Херсонська державна морська академія
Херсонський національний технічний університет
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова
Одеський національний морський університет
Одеська національна морська академія
Клайпедський університет (Литва)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет Молдови
Волгоградський державний технічний університет (Росія)
Білоруський національний технічний університет
Крюїнгова компанія «Marlow Navigation» (Кіпр)

МАТЕРІАЛИ

5-тої Міжнародної науково-практичної конференції

СУЧАСНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ НА ТРАНСПОРТІ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ

присвяченої 180-річчю Херсонської державної морської академії

10-річчю кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки

Херсон – 2014

Організатори конференції

Херсонська державна морська академія
Херсонський національний технічний університет
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова
Одеський національний морський університет
Одеська національна морська академія
Клайпедський університет (Литва)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет Молдови
Волгоградський державний технічний університет (Росія)
Білоруський національний технічний університет
Крюінгова компанія «Marlow Navigation» (Кіпр)

Програмний комітет:

Білоусов Є.В., к.т.н., доц. ХДМА
Букетов А.В., д.т.н., проф. ХДМА
Варбанець Р.А., д.т.н., проф. ОНМУ
Вухерер Т., д.т.н., проф. МУ
Горбов В.М., к.т.н., проф. НУК
Івановський В.Г., д.т.н., проф. ОНМУ
Ісаєв Є.О., д.т.н., проф. ХДМА
Іщенко І.М., к.т.н., проф. ХДМА
Колегаєв М.О., к.т.н., проф. ОНМА
Кристаль М.Г., д.т.н., проф. ВДТУ
Лєонов В.Є., д.т.н., проф. ХДМА
Луняка К.В., д.т.н., проф. ХНТУ
Малахов О.В., д.ф.-м.н., проф. ОНМУ
Малигін Б.В., д.т.н., проф. ХДМА
Маляренко О.Д., д.т.н., проф. БНТУ
Михайлик В.Д., д.т.н., проф. ХДМА
Настасенко В.О., к.т.н., проф. ХДМА
Савіна Г.Г., д.е.н., проф. ХНТУ
Селіванов С.Є., д.т.н., проф. ХДМА
Соколова Н.А., д.т.н., проф. ХДМА
Сторожев В.П., д.т.н., проф. ОНМУ
Тимошевський Б.Г., д.т.н., проф. НУК
Тока А., д.т.н., проф. ТУМ
Тулученко Г.Я., д.т.н., проф. ХНТУ
Шарко О.В., д.т.н., проф. ХДМА
Шарко М.В., д.е.н., проф. ХНТУ
Шостак В.П., к.т.н., проф. НУК
Янутенене Й., д.т.н., проф. КУ

Організаційний комітет:

Голова – Ходаковський Володимир Федорович, професор, ректор ХДМА
Заступники голови – Бень Андрій Павлович, к.т.н., доц., проректор з НПР ХДМА
Білоусов Євген Вікторович, к.т.н., доц., декан ФСЕ ХДМА
Букетов Андрій Вікторович, д.т.н., проф., зав. каф. ЕСЕУ та ЗП ХДМА
Настасенко Валентин Олексійович, к.т.н., проф. каф. ЕСЕУ та ЗП ХДМА
Вчений секретар конференції – Блах Ігор Володимирович, нач. відділу технічної інформації ХДМА
Заст. вченого секретаря конференції – Проценко Владислав Олександрович, к.т.н., доц. каф. ЕСЕУ ХДМА; Бабій Михайло Володимирович, к.т.н., ст. викл. каф. ЕСЕУ ХДМА
Технічний секретар – Браїло Микола Володимирович, ас. каф. ЕСЕУ та ЗП ХДМА

Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 5-та Міжнародна науково-практична конференція, 01-03 жовтня 2014 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія.

У програмі 5-тої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» представлені доповіді, які присвячені проблемам експлуатації, виробництва та проектування енергетичних установок та устаткування на транспорті, а також підготовці спеціалістів у сфері транспортної енергетики й устаткування.

Шановні учасники конференції!

Командування, професорсько-викладацький і курсантський склад Херсонської державної морської академії мають честь прийняти Вас у стінах найстарішого морського навчального закладу України на 5-тій Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування».

Наукові досягнення у морській і суднобудівній галузях, автоматизація процесів керування і проектування, застосування новітніх технологій в експлуатації енергетичних установок сьогодні зумовлюють розробку та запровадження якісно нової системи навчання спеціалістів для морського транспорту.

Правила дипломування моряків і несення вахти – 78/95 з поправками, прийнятими в Манілі у 2010 році, вимагають від національних

Dear Conference Participants!

Kherson State Maritime Academy command, teaching staff and cadets are greatly honored to welcome you in the oldest maritime educational institution of Ukraine to the 5th International scientific-practical conference "Modern Power Plants in Transport, Technology and Equipment for Their Service".

Scientific achievements in marine and shipbuilding industries, automation and process control engineering as well as employment of new technologies to operate power plants determine the nowadays development and implementation of a totally new system for training specialists in marine transport.

The Standards of Training, Certification & Watchkeeping (STCW) Convention with Manila amendments (2010) require a new approach to training

навчальних закладів морського спрямування нового підходу до підготовки фахівців для світових судноплавних і крюїнгових компаній.

Саме тому колектив Херсонської державної морської академії плідно працює над впровадженням компетентнісного підходу до організації навчально-виховного процесу, що дозволить значно підвищити конкурентоспроможність наших випускників.

Проведення 5-тої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» дає можливість висвітлити наукові досягнення з найактуальніших питань морської та суднобудівної галузей, об’єднати зусилля провідних науковців і практиків для покращення якості морської освіти в Україні.

Ходаковський Володимир Федорович,
ректор Херсонської державної
морської академії, професор

specialists for international shipping and crewing companies form national maritime educational institutions.

That is why the team of Kherson State Maritime Academy has been working effectively on the implementation of competence-based approach to the educational process that will enhance the competitiveness of our graduates significantly.

The 5th International scientific-practical conference "Modern Power Plants in Transport, Technology and Equipment for Their Service" makes it possible to highlight the scientific achievements in the most pressing issues of marine and shipbuilding industries, to join efforts of leading scientists and experts in improvement the quality of maritime education in Ukraine.

Khodakovskyi Volodymyr Fedorovych
Rector of Kherson State
Maritime Academy, Professor

ВСТУП

Інтенсифікація світового товарообігу обумовлює збільшення обсягу перевезень, особливо морським та річковим транспортом. Це, разом із імпортом закордонних технологій та обладнання, ставить нові задачі для фахівців у галузі експлуатації, ремонту, проектування та виробництва енергетичних установок. Зазначені обставини формують особливі умови для забезпечення компетентності вказаних спеціалістів, розробки та впровадження компетентнісного підходу їх підготовки. Проблема компетентнісного підходу в галузі морської освіти в Україні на сьогодні грунтовно вирішується колективом Херсонської державної морської академії. Запровадження нових вимог до системи поліпшення якості знань, навчальних та наукових досягнень студентів ХДМА вивело компетентнісний підхід на якісно новий щабель розвитку відповідно до європейських освітніх стандартів і зумовило переведення компетентнісної ідеї на рівень обов’язкової нормативної реалізації у навчальному процесі.

Крім цього на сьогодні безперервно зростають робочі швидкості, потужність та енергооснащеність транспортних і технологічних машин. Вказані фактори значно впливають на проектування, виробництво та експлуатацію енергетичних установок як основного елементу будь-якої машини. Проблеми енергозбереження та нетрадиційна енергетика, нові технології проектування та виробництва, вдосконалення існуючих та створення нових конструкційних, паливо-мастильних та ізоляційних матеріалів для енергетичних установок обумовили доцільність проведення конференції СЕУТТОО, яка в 2014 році проводиться в’пяте.

Досягнення сучасної науки передбачають оптимізацію умов експлуатації енергетичних установок. Зокрема, створення нових конструкційних матеріалів дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики та потужність енергоустановок, розробити нові високоефективні технології ремонту та відновлення їх деталей, нові мастильні матеріали, скоротити витрати енергії на тертя та підвищити зносостійкість устаткування. У свою чергу створення нових технологій та оснащення для ремонту дозволяють скоротити час простоїв та підвищити конкурентоспроможність засобів транспорту, а створення та впровадження альтернативних палив та новітніх відновлюваних джерел енергії – підвищити їх екологоефективність.

Важливе значення для ефективної та безвідмовної роботи енергетичних установок має автоматизація їх роботи, контролю та обслуговування. Це потребує розробки нових математичних та фізичних моделей, що описують реальні теплові, механічні, гідравлічні та комплексні процеси при роботі енергетичних установок у типових чи екстремальних умовах. Особливе місце займають питання безпеки та охорони праці при експлуатації енергетичних установок та допоміжного обладнання на транспорті. Так вантажопідйомність сучасних офшорних кранів сягає кількох тисяч тон, що ставить на чільне місце вимоги до безпеки обслуговуючого персоналу та цілісності унікального коштовного обладнання. Підвищення швидкохідності двигунів енергетичних установок робить першорядною проблему оцінки рівня шуму і вібрації та захисту від них.

П'ята ювілейна міжнародна конференція СЕУТТОО-2014, присвячена 180-річчю Херсонської державної морської академії та 10-річчю кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки, об'єднала результати наукового пошуку провідних вчених у галузі енергетичних установок та молодих дослідників, що тільки починають свій шлях у науковому просторі.

Організатори конференції висловлюють щиру подяку всім авторам доповідей за порозуміння та співпрацю і сподіваються, що сама конференція, дискусії та обговорення, проведені в її рамках, а також матеріали конференції будуть корисними всім її учасникам, викладачам, аспірантам і студентам, які знайдуть у них відповіді на питання, що їх цікавлять.

Програмний та організаційний комітети, колектив кафедри ЕСЕУ та ЗП ХДМА

Секція 1

ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ ПРИ СЖИГАНИЕ ВОДОМАЗУТНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ

Акимов А.В.
Херсонськая государственная морская академия (Украина)

Процесс обводнения мазутов продолжается при их транспортировке, подготовке и хранении. Вода в нефтепродуктах может содержаться в виде взвеси, тогда она легко отделяется в процессе отстаивания при хранении, либо в виде стабильной эмульсии. Образование устойчивых нефтяных эмульсий ведет к значительным финансовым потерям. При использовании в энергетических установках (особенного в котлах) в качестве жидкого топлива высоковязких мазутов могут возникнуть определенные трудности при подготовке их к сжиганию. На большинстве действующих энергетических установок с котлами разогрев мазута в цистернах, выполняется водяным паром, что приводит к обводнению мазута в широких пределах (от 5 до 25 %). Сжигание обводненного топлива без предварительной подготовки приводит к нарушению топочных процессов и снижению экономичности энергетической установки.

Как показывают проведенные исследования [1] и результаты практического применения эта задача может быть решена путем сжигания мазута в виде специально подготовленной водомазутной эмульсии. При сжигании водомазутной эмульсии скорость горения растет за счет увеличения поверхности горения топлива. Увеличение поверхности горения топлива обуславливается вторичным диспергированием путем введения воды в мазут, причем первичное диспергирование обеспечивается форсуночным устройством камеры сгорания, диаметр капли составляет от 0,05 мм и меньше.

Смешивание топлива выполняется в специальных устройствах – эмульгатора, гомогенезаторах, кавитаторах, которые устанавливаются в топливной системе непосредственно перед топливными форсунками. Вторичное диспергирование происходит непосредственно в камере сгорания, при нагревании капли воды покрытой пленкой мазута. Капля воды нагревается в течении 1…2 с при температуре от 1200 до 1400 ºС, из-за чего за счет невысокой температуры кипения (испарения) воды, капля взрывается, разрушая несущую пленку мазута, распыляясь на более мелкие капли, сгорание которых длится около 0,03….0,05 с. Капли чистого (необводненного) мазута сгорают в топочном пламени за 5…7 с. Становится очевидным, что скорость сгорания увеличивается, как минимум, в 3,5 раза. Соответственно котлу будет передано в 3,5 раза большее количество теплоты в единицу времени, что приведет к росту КПД котла. Однако из-за введения в мазут вводится вода, которая является негорючим компонентом топлива, то на ее подогрев будет затрачено определенное количество теплоты. Будем рассматривать процесс нагрева водяных паров, находящихся в открытом сосуде как изобарный; давление водяных паров при этом остается постоянным и равным атмосферному, в то время как температура водяных паров растет. Количество теплоты можно рассчитать по формуле:

$$q_{2-1} = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = \overline{c}_p \left(T_2 - T_1\right),$$

где $\overline{c}_p$ – средняя изобарная теплоемкость в интервале температур $T_1 - T_2$.

Так как топливная смесь подводится в камеру сгорания при температуре 90 ºС, а температура кипения (испарения) воды – 100 ºС, то изменение температуры будет в пределах $\Delta T_I = T_2 - T_1 = 100 - 90 = 10$ ºС при теплоемкости $\overline{c}_p$ =4,209 кДж/(кг·ºС).

Количество теплоты, которое затрачивается на подогрев капель воды:

$$q_{2-1}^{I} = 4,209 \cdot 10 = 42,09 \text{ кДж/кг.}$$

Топливная смесь нагревается в камере сгорания до 1200 ºС, а температура кипения

(испарения) воды – 100 °С, изменение температуры будет составлять:

$$\Delta T_I = T_2 - T_1 = 1200 - 100 = 1100 \text{ °C}$$

при теплоемкости $\overline{c}_p$ =4,216 кДж/(кг·°С).

Количество теплоты, которое затрачивается на подогрев капель воды:

$$q_{2-1}^{II} = 4,216 \cdot 1100 = 4637,7 \text{ кДж/кг.}$$

Таким образом, суммируя количество теплоты, затраченное при нагреве капель воды и количество теплоты при нагреве водяных паров:

$$q_{\Sigma} = q_{2-1}^{I} + q_{2-1}^{II} = 42,09 + 4637,7 = 4679,79 \text{ кДж/кг,}$$

получим количество теплоты, расходуемое на подогрев 1 кг воды.

Аналогичные расчеты проведем для водомазутной эмульсии при содержании воды 2, 10, 15, 17, 20, 30, 35, 40, 45 и 50 %. Результаты расчетов количества теплоты, которая идет на подогрев воды, содержащейся в эмульсии приведены в табл. 1.

Таблица 1. Расчетные данные количества теплоты на подогрев воды в эмульсии $Q_{подв}$

Количество теплоты на подогрев воды в эмульсии	Содержание воды в водомазутной эмульсии W^r, %									
	2	10	15	17	20	30	35	40	45	50
$Q_{подв}$, кДж/ кг	93,6	467,9	701,9	795,6	935,9	1403,9	1637,9	1871,9	2105,9	2339,9

Рассмотрим диссоциацию $N_{H_2O}^0$ молей H_2O при давлении P и температуре T по реакции $H_2O \Leftrightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2$. Если α – равновесная степень диссоциации H_2O, т.е. доля распавшихся молекул H_2O, то после установления равновесия по реакции $H_2O \Leftrightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2$ в смеси останется $N_{H_2O} = (1-\alpha) N_{H_2O}^0$ молей H_2O; появится $N_{H_2} = \alpha N_{H_2O}^0$ молей H_2 и $N_{O_2} = (\alpha/2) N_{H_2O}^0$ молей O_2. Суммарное число молей будет равно:

$$N_{\Sigma} = N_{H_2O} + N_{H_2} + N_{O_2} = (1 + \alpha/2) N_{H_2O}^0 .$$

Мольные доли компонентов в смеси составят:

$$x_{H_2O} = N_{H_2O} / N_{\Sigma} = (1-\alpha)/(1+\alpha/2),$$

$$x_{H_2} = N_{H_2} / N_{\Sigma} = \alpha/(1+\alpha/2),\ x_{H_2} = N_{O_2} / N_{\Sigma} = \alpha/2(1+\alpha/2).$$

Для реакции $H_2O \Leftrightarrow H_2 + 1/2O_2$ получим соотношение $x_{H_2O} / x_{H_2} x_{O_2}^{1/2} = K_p P^{1/2}$, где K_p – константа равновесия, которая определяется по справочным данным для данной реакции.

Таким образом получим соотношение $\alpha^3 - \alpha \cdot \left[3/\left(1 - K_p^2 P\right)\right] + \left[2/\left(1 - K_p^2 P\right)\right] = 0.$ При давлении в топке 0,1 МПа и температуре факела 1200 С получим значение равновесной степени диссоциации $\alpha = 0,05$. Тогда мольные доли компонентов составят: $x_{H_2O} = 0,92,\ x_{H_2} = 0,05,\ x_{H_2} = 0,03.$

Тепловой эффект по реакции горения водорода составит Q_{H_2} = 484 кДж/моль.

На основании проведенных исследований наиболее оптимальным водосодержанием водотопливной эмульсии является W^r=20 %. Примем удельную единицу 1 кг эмульсии, тогда диссоциацию воды при W^r=20 % рассчитаем на 0,20 кг воды. Масса выделившегося водорода составит 5 % от 0,20 кг, т.е. m_{H_2} = 0,01 кг.

Рассчитаем количество выделившегося водорода:

$$n_{H_2} = m_{H_2} / M_{H_2} = 0,01/2 = 0,005 \text{ моль},$$

где $M_{H_2} = 5$ кг/моль – молярная масса водорода.

Таким образом 0,005 моля водорода выделят тепла 0,005·484/1 = 2,42 кДж/ч.

Проведем расчет количества теплоты, которое выделяется при сгорании мазута, содержащегося в эмульсии с водосодержанием W^r=20 %. Количество теплоты при сгорании 1 кг мазута составляет $Q_{маз} = 39200$ кДж/кг, тогда при сгорании водомазутной эмульсии с водосодержание W^r=20 % составит:

$$Q_{ВМЭ20\%} = 39200\cdot(100 – 20)/100 = 31360 \text{ кДж/кг}.$$

Как показали проведенные исследования [1] количество твердых частиц (летучей золы и сажи) на 1 кг мазута составит около $M_{тв}$ = 0,0003 т/год, при этом количество летучей золы составляет $M_з$ = 0,0000027 т/год. Тогда количество сажи при сжигании мазута, образующихся в топке в результате механического недожога топлива на 1 кг мазута будет составлять:

$$M_с = M_{тв} – M_з = 0,0003 – 0,0000027 = 0,0002973 \text{ т/год}=0,2973 \text{ кг},$$

т.е. 27,73 % от 1 кг мазута. При сжигании 1 кг водомазутной эмульсии, содержащей 80 % мазута и 20 % воды, количество коксовых остатков, образующихся в топке в результате механического недожога топлива на 0,80 кг мазута будет составлять $M_к$ = (0,2973·80)/100 = 0,23784 кг.

Количество теплоты от сгорания недожога топлива при сжигании водомазутной эмульсии с водосодержанием W^r=20 % будет составлять:

$$Q_{нед} = 0,23784\cdot31360 = 7458,7 \text{ кДж/кг}.$$

Таким образом можно определить количество теплоты, которое выделится при сжигании 1 кг водомазутной эмульсии. Так, например, при водосодержании эмульсии W^r=20 % получим:

$$Q_\Sigma = Q_{ВМЭ20\%} - Q_{подв} + Q_{H_2} + Q_{нед} = 31360 – 935,9 + 2,42 + 7458,7 = 37885,22 \text{ кДж/кг}.$$

Результаты проведенных исследований [1] показали, что наиболее эффективно использовать в качестве топлива водомазутную эмульсию, в соотношении 80/20, т.е. с водосодержанием W^r=20 %, которая позволяет уменьшить выбросы загрязняющих веществ, сэкономить количество подаваемого мазута на сжигание без потерь тепла, а также данное соотношение мазута и воды позволяет сократить затраты на энергию которая используется в топливной системе на стадии обезвоживания мазута.

Проведенные исследования показали, что к использованию в качестве топлива в котельной установке наиболее подходит эмульсия мазут-вода в соотношении 80/20. Количество теплоты получаемое от сжигания 1 кг чистого мазута (необводненного) – 39200 кДж/кг, а количество теплоты получаемое от сжигания водомазутной эмульсии с водосодержанием 20 % – 37885,22 кДж/кг, т.е. почти одинаковые (разница около 1 %), что говорит о том, что при сжигании необводненного топлива затрачивается 1 кг мазута, а при сжигании топлива в виде водомазутной эмульсии затрачивается 0,8 кг мазута (80 %) практически с тем же выделением количества теплоты. Экономия топлива составляет 20 %. Эти 20% топлива замещаются водой, которая снижает затраты на топливо, снижает выбросы вредных веществ в атмосферу, причем эмиссия двуокиси углерода CO_2 снижается примерно в 1,2 раза, оксида серы SO_2 – в 1,4 раза, оксидов азота NO_x – в 1,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов А.В. Загрязнение поверхностей нагрева котлов и экологические показатели при сжигании водотопливной эмульсии [Текст] / А.В. Акимов // Наукові праці: Науково-методичний журнал. – Т.73. – Вип. 60. Техногенна безпека. – Миколаїв: Вид-во МДТУ ім. П.Могили. – 2007. – С.116-125.

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СУДОВЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

[1]Бабичев С.А., [2]Стрелковская Л.А.
[1]Херсонский национальный технический університет (Украина)
[2]Херсонская государственная морская академия (Украина)

Одним из важнейших условий поддержания на высоком уровне эффективности и надёжности двигателей является своевременное обнаружение и предупреждение отказов, возникающих в процессе эксплуатации. В настоящее время применяется несколько методов контроля технического состояния систем дизелей, которые основываются на выборе группы диагностических параметров и выявлении формы их функциональных связей со структурными элементами системы, однако обнаружение большинства неисправностей затруднено в связи с нечеткостью и несвоевременностью поступления объективной информации о состоянии контролируемого объекта в динамическом режиме его эксплуатации [1].

Для решения подобных задач широкое распространения получили системы нечеткого логического вывода, в основе которых лежит теория нечетких множеств [2-4]. В основе системы нечеткого логического вывода лежит база знаний, включающая в себя множество входных переменных $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$, множество выходных переменных $D = \{d_1, d_2, ..., d_m\}$, базовое терм-множество с соответствующими функциями принадлежности каждого терма: $A = \{a_1, a_2, ..., a_i\}$, конечное множество нечетких правил, согласованных относительно используемых в них переменных:

$$\bigcup_{k=1}^{m}\left[\bigcap_{i=1}^{n}\left(x_i = a_i^k\right), \text{ при } \omega_k\right] \to D = d_k, \tag{1}$$

где $k = 1, ..., m$ – количество логических высказываний;

$i = 1, ..., n$ – число используемых термов.

Целью этапа фаззификации является установление соответствия между конкретным значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей терма входной логической переменной. Для этого функции принадлежности, определённые на входных переменных, применяются к их фактическим значениям, т.е. определяются $\mu^{a_i^k}\left(x_i\right)$ – функции принадлежности переменной x_i для термов a_i^k.

Агрегирование представляет собой процедуру определения степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода. Находятся уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил с использованием операции min:

$$\alpha_k = \bigwedge_{i=1}^{n}\left[\mu^{a_i^k}\left(x_i\right)\right]. \tag{2}$$

Активизация представляет собой процесс нахождения степени истинности каждого из подзаключений правил нечеткого вывода, т.е. определение усеченных функций принадлежности нечетких множеств:

$$\mu'_k(D) = \left(\alpha_k \wedge \mu_k\left(D\right)\right), \tag{3}$$

где $\mu_k\left(D\right)$ – усеченные функции принадлежности для входных переменных;

$\mu'_k(D)$ – усеченные функции принадлежности для нечетких правил.

Аккумуляцией является процесс нахождения функции принадлежности итогового нечеткого подмножества для переменной выхода:

$$\mu_{\Sigma}(D) = \bigvee_{k=1}^{m} \left[\mu'_k(D) \right]. \quad (4)$$

Дефаззификация – процесс нахождения четкого значения для каждой из выходных лингвистических переменных.

Апробация предложенной методики проводилась на примере диагностики технического состояния форсунки судового дизеля K6Z 57/80C. Этот выбор определяется тем, что значительная доля отказов дизелей приходится на топливную систему, а форсунка является одним из её ответственных узлов. В качестве входных переменных использовались: X_1 – давление начала впрыскивания; X_2 – диаметр отверстия в сопле; X_3 – угол распыла топлива форсункой; X_4– подъем иглы; X_5 – течь и увлажнение в местах уплотнений и соединений. В качестве выходной переменной использовался уровень технического состояния форсунки (Y). Термы лингвистической оценки и границы изменения используемых переменных представлены в табл. 1.

Таблица 1. Термы и границы изменений лингвистических переменных

Переменная	Термы лингвистической оценки	Диапазон изменения
X_1	недопустимое, допустимое, норма	22…25 МПа
X_2	недопустимое, допустимое, норма	0,6…0,7 мм
X_3	недопустимое, допустимое, норма	144…160
X_4	недопустимое, допустимое, норма	0,8…1,2 мм
X_5	недопустимое, норма	700…720 г
Y	очень низкое, низкое, среднее, высокое	0…100%

Диапазон изменений значений входных параметров и выходной переменной соответствуют категориям технического состояния по ISO2372. Результаты работы системы представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты работы системы

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
1.	22	0,6	144	0,8	700	91,1
2.	22	0,6	158	0,8	700	90,7
3.	22,1	0,6	158	082	701	87,3
4.	22	0,67	144	0,8	700	50,5
5.	24	0,6	144	0,8	700	41,1

Анализ данных таблицы 2 позволяет сделать вывод об эффективности работы нечеткой системы. Варьирование входных параметров в пределах заданного диапазона вызывает изменение выходной переменной в соответствии с реальной ситуацией, что подтверждается экспертами в области технической диагностики энергетических систем. Дальнейшим направлением исследований авторов является создание комплексной системы диагностики судового двигателя на основе нечеткой логики и нейросетевых технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев Н.Н. Отказы и дефекты судовых дизелей / Н.Н. Кондратьев. – М. : Транспорт, 1985. – 152 с.

2. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. / Л. А. Заде. – М. : Мир, 1976. – 167 с.

3. Kosko B. Fuzzy systems as universal approximations // Proc. 1-st IEEE Conf. on Fuzzy Systems (FUZZ–92)., San Diego, CA, Mar. 1992. - P. 1153–1162.

4. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.

СОЗДАНИЕ ЦИКЛА С КОМБИНИРОВАННЫМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ

Белоусов Е.В.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Введение. Практически сразу после создания Р. Дизелем своего эффективного двигателя, были предприняты попытки к его усовершенствованию. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что значительно улучшить характер протекания рабочего процесса можно заменив изобарный подвод теплоты в процессе сгорания топлива на комбинированный с подводом теплоты сначала при постоянном объеме (по изохоре), а за тем при постоянном давлении (по изобаре) [2]. И если на сегодняшний день приоритет на создание двигателя с воспламенением от сжатия безраздельно закрепился за Р. Дизелем [1], то по поводу приоритета на разработку цикла с комбинированным подводом теплоты среди специалистов единого мнения нет и по ныне. На постсоветском пространстве и в ряде стран восточной Европы создание такого цикла связывают с именем Густава Васильевича Тринклера (Trinkler cycle), во Франции и Италии с именем Луи Гастона Сабатэ (Sabathe cycle), в Германии и Голландии с именем Мирона Павловича Зайлегера (Seiliger cycle).

Целью данной работы является – установить вклад каждого из этих ученных в создание и развитие наших представлений о цикле с комбинированным подводом теплоты на основе анализа исторических фактов.

Тринклер Густав Васильевич (24.04.1876-04.02.1957) – российский ученый и изобретатель. Будучи студентом Санкт-Петербургского технологического института, начинает разрабатывать проект нового теплового двигателя с воспламенением от сжатия, первую конструкцию которого он представил в 1899 г [2, 3]. в качестве своего дипломного проекта. Еще будучи студентом четвертого курса института Тринклер был принят на Путиловский завод, где начал строить первый в мире «бескомпрессорный нефтяной двигатель высокого давления», который он назвал «Тринклер-мотором». В 1900 году начались испытания двигателя, результаты которых были достаточно противоречивы. С одной стороны, двигатель имел КПД на уровне 29 %, а с другой, отличался недостаточной надежностью, по сравнению с уже существующими конструкциями. Невысокая надежность двигателя объяснялась тем, что несмотря на отсутствие внешнего компрессора, топливо подавалось в камеру сгорания с помощью воздушной форсунки (позиция *c* рис. 2), воздух для питания которой отбирался из рабочего цилиндра по каналу *a* на такте сжатия и дожимался до более высокого давления специальным поршневым устройством *b*, которое приводилось в действие от распределительного вала *d* через рычажный привод *e*. Работающий в условиях высоких температур поршень для дожимания воздуха часто заклинивало, а невысокая разность между давлением распыливания и давлением в камере сгорания не позволяла организовать качественное распыливание топлива [3].

Рисунок 1. Тринклер Густов Васильевич

Обнадеживающие результаты полученные в процессе испытания двигателя вызвали давление на изобретателя со стороны Эммануила Нобеля, который ранее (в 1897 году) купил патент на двигатели Рудольфа Дизеля и наладил их производство на своем заводе «Людвиг Нобель» в Санкт-Петербурге. В результате Тринклер вынужден был уехать в Германию, где на заводе «Братьев Кертинг» в Ганновере продолжил свои работы вплоть до 1904 года. В октябре 1904 года руководство завода сочло двигатель Тринклера готовым к коммерческому использованию и для его всесторонних испытаний пригласило известного теплотехника того времени доктора Е. Мейера. По результатам испытаний

Мейер получил индикаторные диаграммы на которых четко видно, что подвод теплоты в ходе осуществления рабочего цикла происходит сначала близко к изохоре, а за тем к изобаре (рис. 3). Именно эти диаграммы впоследствии стали основанием для утверждения приоритета на цикл с комбинированным подводом теплоты за Г. Тринклером.

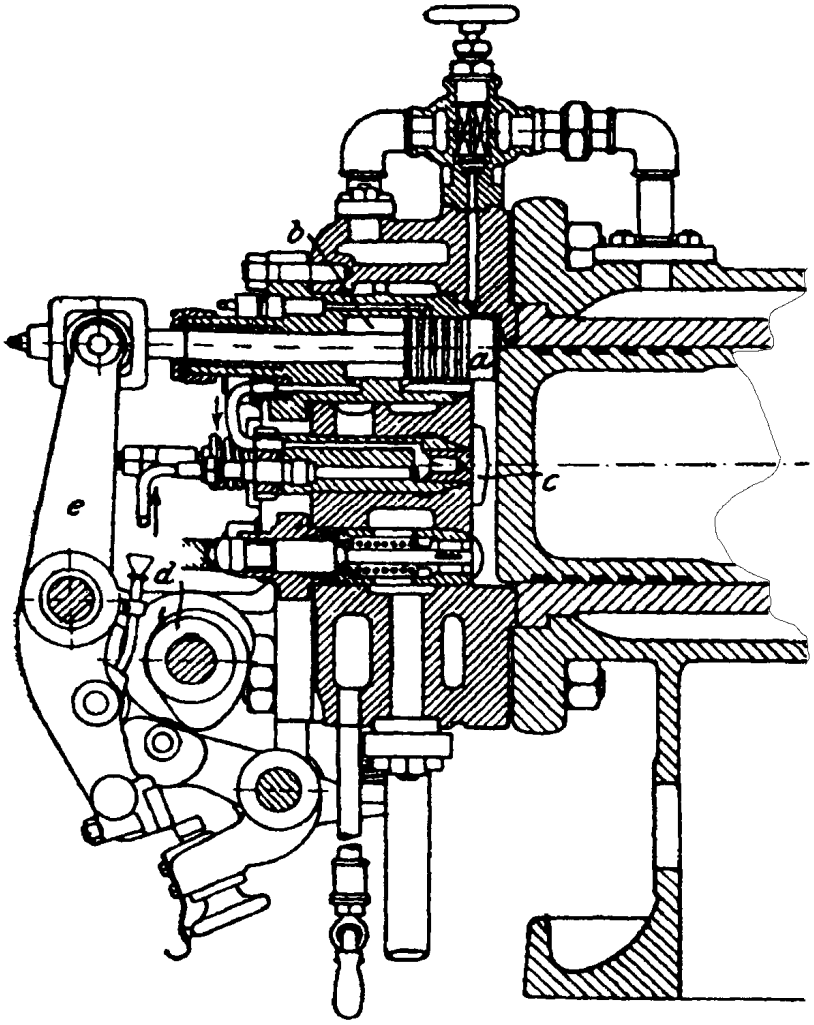


Рисунок 2. Устройство для воздушного распыливания топлива двигателей конструкции Г. Тринклера

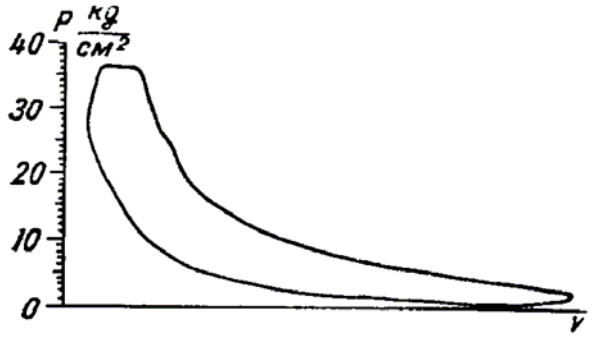


Рисунок 3. Индикаторная диаграмма двигателя Тринклера, полученная Мейером

Понимал Тринклер на момент запуска своего двигателя в серийное производство, что тот работает по комбинированному циклу сказать сейчас сложно. На тот момент влияние характера протекания процесса сгорания на характеристики двигателя были изучены слабо, да и сама классификация циклов поршневых ДВС появилась позже. По результатам своих работ Густав Васильевич патентовал только отдельные конструкции. На осуществление термодинамического цикла как совокупности отдельных процессов, протекающих в определенной последовательности заявка им никогда не подавалась. Скорее всего организация процесса с комбинированным подводом теплоты явилась побочным эффектом от внедрения новых конструктивных решений. Во всяком случае на момент испытания проведенного Мейером, основным преимуществом своего двигателя Тринклер считал отсутствие внешнего воздушного компрессора, что значительно снижало

механические потери, чем изобретатель объяснял более высокий КПД двигателя в целом.

Справедливости ради следует отметить, что и в двигателях Дизеля того времени процесс так же протекал не в строгом соответствии с принятой позже доктриной изобарного подвода теплоты. Если учитывать, что в ходе реального цикла нет четко выраженных переходов между отдельными процессами то при желании можно выделить на диаграмме участки, на которых можно считать реальный процесс приближенным к тому или иному идеальному. На рис. 4 представлена индикаторная диаграмма, снятая с третьего экспериментального двигателя Дизеля 17 февраля 1897 года, на ней вполне может быть выделен участок, соответствующий изохорному подводу теплоты (участок *a*). На это в своей статье «Оценка круговых процессов тепловых машин-двигателей с уделением особого внимания двигателю Дизеля» опубликованной в журнала «Летопись Союза немецких инженеров» №39 от 25 сентября 1897 года тот же профессор Е. Мейер, который испытывал двигатель Тринклера, указывает на то, что «Диаграммы на самом деле обнаруживают, что часть топлива сгорает при приблизительно постоянном объеме, другая часть – при приблизительно постоянном давлении и только остаток, который догорает, сжигается при приблизительно постоянной температуре» [3]. Это заключение в последствии послужило основанием серьезной критики Дизеля, которая сводилась к тому, что в своем двигателе он реализовал принцип комбинированного подвода теплоты вместо заявленного в патенте изотермического.

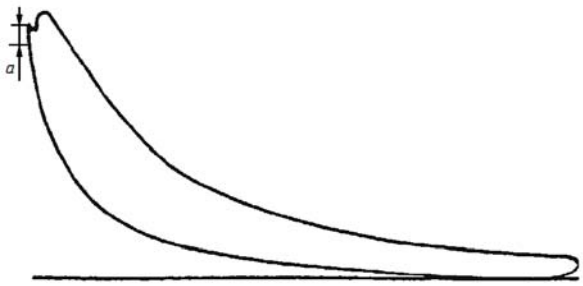


Рисунок 4. Индикаторная диаграмма, снятая с третьего экспериментального двигателя Дизеля 17 февраля 1897 года

То есть, фактически, приоритет на создание Дизелем двигателя с комбинированным подводом теплоты признавался за семь лет до испытаний двигателя Тринклера.

С большой степенью допущения можно так же считать двигатель Тринклера бескомпрессорным. Если понимать под термином компрессор устройство для сжатия воздуха, то такое устройство в двигателе Тринклера присутствует, это поршневое устройство *b* (рис. 2) интегрированное в крышку цилиндра. Фактически в двигателе Тринклера применен двухступенчатый компрессор, где в качестве первой ступени используется рабочее пространство двигателя, а в качестве второй ступени поршневой насос с приводом от распределительного вала. И даже такой подход не является принципиально новым для того времени, так как на экспериментальных двигателях Дизеля воздух для одноступенчатого внешнего компрессора отбирался из рабочего цилиндра после предварительного сжатия.

Луи Гастон Сабатэ (Louis Gaston Sabathe), французский инженер, владелец завода по производству тепловых двигателей (Société des Moteurs Sabathe) в городе Сент-Этьенн (Saint-Etienne) специализировавшегося на производстве судовых двигателей для военно-морского флота. Какой-либо достоверной информации из биографии Сабатэ, автору разыскать не удалось, не помогли даже неоднократные обращения в различные организации Французской республики, включая высшие учебные заведения, национальный политехнический музей, национальную академию наук.

На рис. 5 представлен эскиз запатентованной Сабатэ форсунки для осуществления цикла со смешащим подводом теплоты (патент США №437651 от 10.06.1910) [4]. Ранее аналогичный патент был получен в ряде других стран включая Францию и Россию (1905 и 1908). Как и в случае с двигателем Тринклера, Сабатэ патентует не сам цикл, а конкретную конструкцию, однако в патенте четко указано, что данная конструкция позволяет организовать подвод теплоты сначала по изохоре, а за тем по изобаре, то есть по комбинированному циклу.

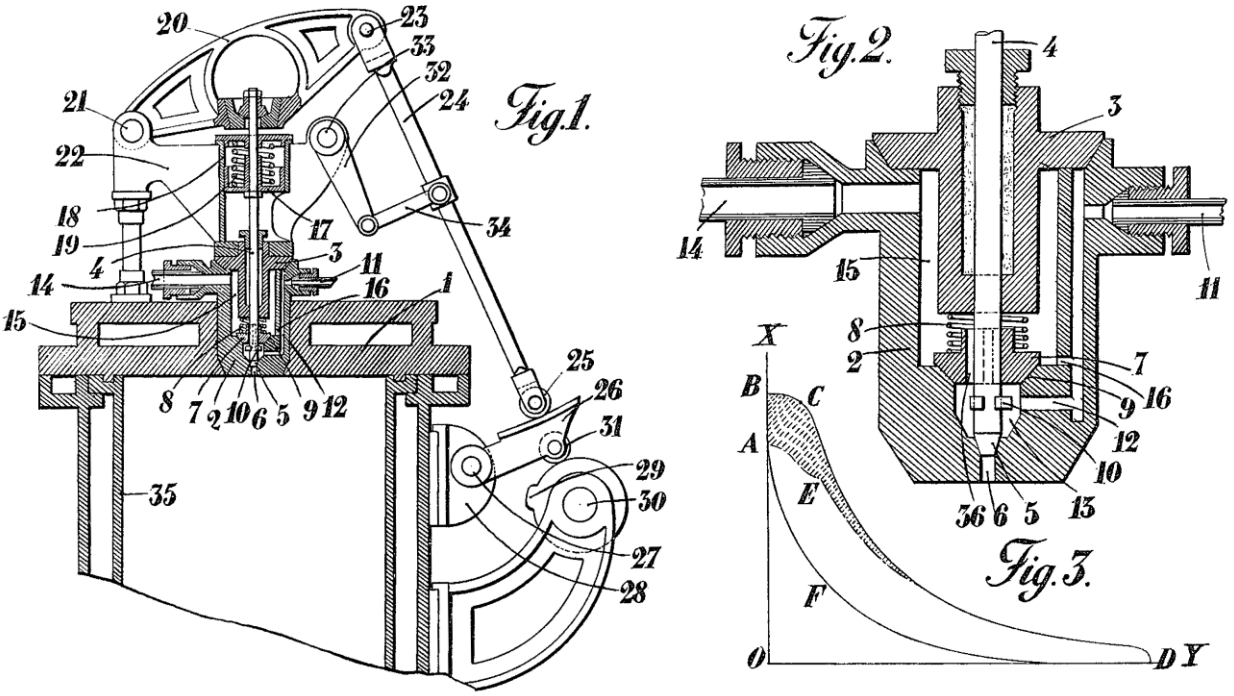


Рисунок 5. Конструкция форсунки двигателя Сабатэ для организации цикла с комбинированным подводом теплоты

В форсунке с пневматическим распыливанием топлива, был реализован принцип двух последовательных подач. В двигателях Сабатэ первая подача топлива осуществлялась до прихода поршня в ВМТ и позволяла обеспечить подвод теплоты практически при постоянном объеме (изохорный подвод теплоты). Вторая порция поступала, когда поршень уже двигался вниз, обеспечивая подвод теплоты практически при постоянном давлении (изобарный подвод теплоты).

На практике это реализовывалось следующим образом: отмерянная специальным дозирующим насосом низкого давления цикловая порция топлива по каналу 11 поступала в полость форсунки в периоды между впрысками. Если нагрузка двигателя была не полной, цикловая порция не превышала объем полости 13, которая отделялась от рабочего цилиндра с помощью игольчатого клапана 5 выполненного как одно целое со штоком 4. Если цикловая подача топлива превышала объем полости 13, часть топлива заполняла кольцевой зазор над подпружиненным дополнительным клапаном 7. По каналу 14 в корпус форсунки поступал предварительно сжатый воздух, который по каналу 36 в корпусе подвесного клапана 7 поступал в полость 13. При приближении поршня к ВМТ, кулачек привода форсунки набегал на толкатель и через систему рычагов поднимал шток 4, открывая тем самым клапан 5. При этом часть топлива, сосредоточенная в полости 13 под давлением сжатого воздуха вдувалась в рабочий цилиндр обеспечивая подвод теплоты при постоянном давлении. При дальнейшем подъеме штока 4 упоры 10, расположенные на нем открывали подвесной клапан, и вторая порция топлива из кольцевого зазора вместе со сжатым воздухом поступала в камеру сгорания, когда рабочий поршень уже начинал свое движение вниз, обеспечивая подвод теплоты по изобаре.

Таким образом, в двигателях Сабатэ целенаправленно был реализован цикл со смешанным подводом теплоты, который ранее был получен в двигателях, построенных Тринклером Г.В. И если вопрос о том, кому же принадлежит приоритет на цикл со смешанным подводом теплоты, остается дискуссионным, то первенство на использование разделенного впрыска топлива, безусловно, принадлежит Сабатэ.

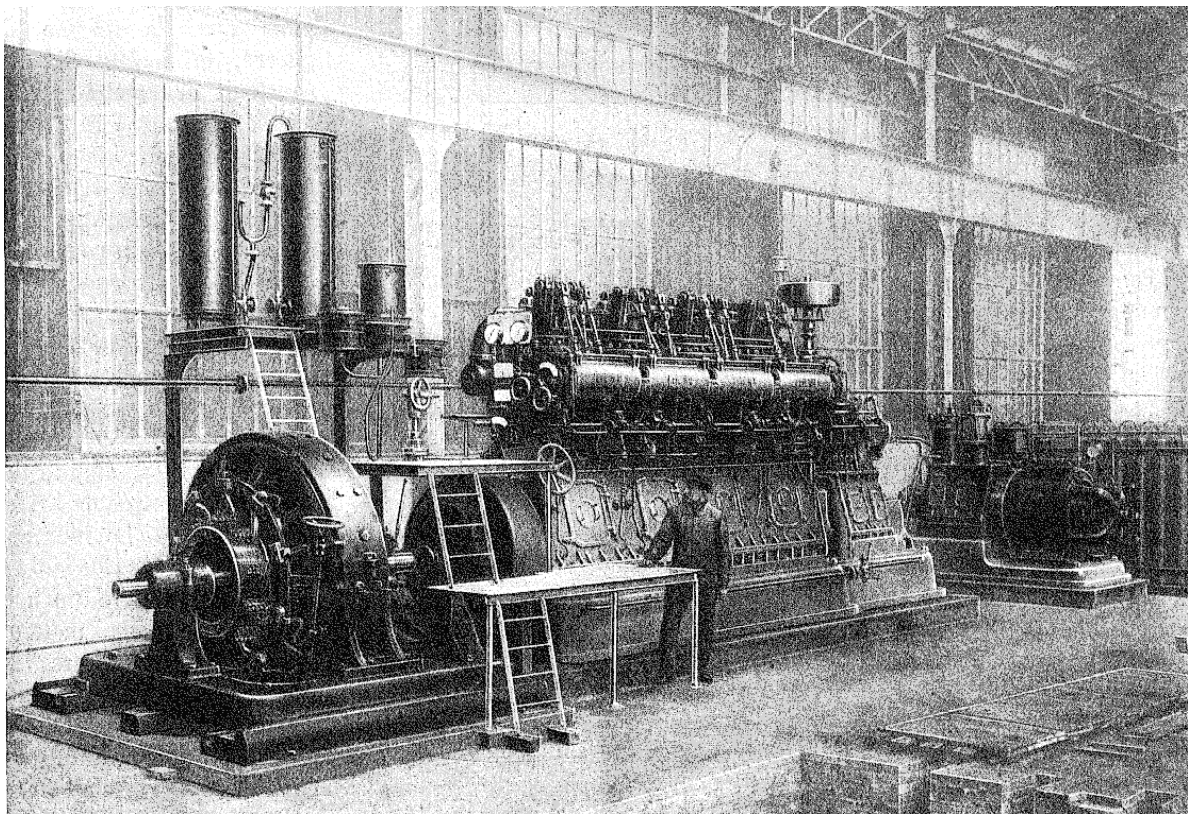


Рисунок 6. Судовой реверсивный четырехтактный, четырехцилиндровый двигатель морского назначения мощностью 700 л.с. (515 кВт) при частоте вращения 300 мин$^{-1}$

Кроме того, в двигателях Сабатэ была предусмотрена регулировка величины хода игольчатого клапана через систему состоящую из толкателя 26, штанги 24 и рычага 20, что позволяло уменьшить расход воздуха на вдувание топлива на пониженных оборотах. Последнее крайне важно при работе двигателя по винтовой характеристике, когда регулирование мощности осуществляется изменением частоты вращения. Снижение оборотов приводило к уменьшению производительности воздушного компрессора, которая могла не покрывать расход воздуха на вдувание топлива [5-7]. Возможность сохранять ввысоке давление воздуха независимо от режима работы позволяло получать качественное распыливание топлива на режимах частичных нагрузок. Кроме того, высокая эффективность рабочего процесса в двигателях Сабатэ при переходе на частичные нагрузки, обеспечивалась тем, что, при малых цикловых подачах подвод теплоты осуществлялся только по изохоре, и лишь с увеличением нагрузки, для ограничения максимального давления цикла осуществлялся переход на комбинированный цикл (фиг. 3 на рис. 5) [4]. Общий вид двигателя Сабатэ судового исполнения представлено на рис. 6.

Рисунок 7. Зейлигер Мирон Павлович

Зейлигер Мирон Павлович (1874-1952) – инженер-теплотехник член правления машиностроительного завода «Людвиг Нобель» [8], владелец технической конторы. В числе других инженеров завода участвовал в доводке полученных от Р. Дизеля чертежей опытного двигателя до коммерческого использования. Позже о проделанной русскими инженерами работе Зейлигер писал: «Только завод в Петербурге смело и с уверенностью продолжал выхаживать тяжелые детские болезни двигателя. Нефтяным двигателем дизель сделался в России». После запуска в производство Дизельных двигателей на заводе «Людвиг Нобель» Зейлигер принимает активное участие в их популяризации и внедрению во все сферы хозяйственной деятельности на просторах Российской империи. В качестве представителя

завода Мирон Павлович учувствовал в приемке Херсонской городской дизельной электростанции строительство которой было начато 28 мая 1908 года на месте Канатной площади (где до недавнего времени был расположен кинотеатр «Украина»), а ввод в эксплуатацию состоялся 15 декабря этого же года. В Херсонском краеведческом музее сохранилась уникальная фотография на которой М.П. Зейлегер запечатлен среди других членов приемочной комиссии (рис. 8) [9].

Рисунок 8. Комиссия инженеров, производившая приемку станции 5 июня 1909 года (Зейлигер М.П. в центре).

Не смотря на достаточно высокий статус в инженерной среде сведений о научных работах Зейлигера в России очень мало, так же, как и сведений о нем самом. После революции Мирон Павлович эмигрировал в Германию. Именно на этот период приходится основной научной его деятельности. Имея большой практический опыт Зейлегер сосредотачивает свои усилия на разработке теоретических основ рабочих процессов дизельных двигателей. Он обобщает уже имеющиеся сведения и теоретические выкладки и развивает их. Основываясь на работах В.И. Гринивецкого и других ученных, Зейлегер окончательно вводит в теорию двигателей понятие трех основных термодинамических циклов, Дизеля, Отто и цикла с комбинированным подводом теплоты [10-12]. Это позволяет перейти к системному исследованию рабочих процессов связав все параметры состояния рабочего тела воедино. Для оценки термической эффективности циклов Зайлегер предложил универсальную формулу, которая сегодня в различных модификациях входит во все учебники по теории поршневых двигателей:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\lambda\rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)},$$

где ε – степень сжатия; $\lambda = p_z/p_c$ – степень повышения давления; $\rho = V_z/V_c$ – степень предварительного расширения; k – показатель адиабат сжатия и расширения газов.

Формула позволяет проследить аналитическую связь смешанного цикла с его параметрами. Для частных случаев, когда $\lambda = 1$ или $\rho = 1$ формула позволяет оценить термическую эффективность Циклов Дизеля и Отто соответственно.

За значительный вклад в развитие теории ДВС, и особенно разработку теории двигателей с комбинированным подводом теплоты в Германии и ряде других стран цикл со смешанным подводом теплоты принято называть циклом Зейлегера (Seiliger cycle).

Выводы. По прошествии боле ста лет со времени изобретения и внедрения дизельных двигателей во все сферы хозяйственной деятельности человека, вопросы приоритетов в области создания двигателя с комбинированным подводом теплоты

очевидно утратили свою актуальность. На сегодня давно истекли действия патентов, на основании которых могли возникать финансовые споры между отдельными изобретателями. Глобализация мировой экономики и соответственно науки привели к ослаблению национал-патриотических течений в области приоритетности закрепления научно-технических достижений за той или иной нацией. Со временем приходит понимание того, что все достижения человечества являются результатом кропотливого труда огромного числа ученных, инженеров, рабочих, организаторов производства не зависимо от их национальной принадлежности.

Возвращаясь к вопросу создания двигателей с комбинированным подводом теплоты сегодня правильней всего будет не ставить вопрос о том, кто же был первый, а приложить все усилия что бы вклад каждого в общее дело был объективно изучен и оценен. В этом смысле данное исследование автор считает только началом большой работы, к которой должны присоединиться другие специалисты, чтобы по крупицам собрать подлинную историю создания тепловых двигателей. Автор считает ненормальной, ситуацию, когда о людях которые внесли неоценимый вклад в развитие тепловых двигателей известно так мало, что разыскать какую-либо информацию он их оказывается чрезвычайно сложно, хотя события, рассмотренные в статье и наше время разделяет менее ста лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Diesel R. Arbeitsverfahren und Ausführungsart für Verbrennungskraftmaschinen, Patentiert № 67207 Im Deutschen Reiche vom 28. Februar 1892. – 13 p.

2. Матвеев Ю.И., Андрусенко Е.И. Развитие и распространение дизелей в России. К 100-летию русской привилегии Г.В. Тринклера на дизельный двигатель. Н. Новгород: ФГОУ ВПО «ВГАВТ». 2010. – 166 с.

3. Матвеев Ю.И., Андрусенко О.Е., Андрусенко С.Е. История возникновения двигателя Дизеля. Памяти Рудольфа Дизеля посвящается. Н. Новгород: ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2011. – 260 с.

4. Sabathe L.G. Internal combustion engine and method of operating the same. patented №. 975,640. July 10, 1908. – 5 p.

5. The Diesel Engine. Busch-Sulzer Bros.-Diesel Engine Co. Saint Louis, U.S.A. 1913. – 118 p.

6. Chalkley A.P. Diesel engines for land and marine work. With ax introductory chapter by the late dr. Rudolf Diesel, Fourth edition, Revised and Enlarged. D. Van Nostrand Compaimy, New York, 1916. – 524 p.

7. Goldingham A.H. Marine and stationary Diesel engines described and illustrated with numerous original formulae for their design and instructions for installation and operation. New York, Spon & Chamberlain, 1915. – 206 p.

8. Механический заводъ Людвигъ Нобель 1862-1912. СпБ.: изд. Голине В. и Вильборг А. 1912. – 160 с.

9. http://www.mycity.kherson.ua/organiz/hersonoblenergo/1electro.html

10. Haas Herbert The Diesel Engine its fuels and its uses. Washington Government Printing Office, 1918. – 133 p.

11. Megson J.E; Jones H.S. Diesel engine in practice. San Francisco, Tech. pub. Co., 1916. – 136 p.

12. Colell R. Außergewöhnliche Druck- und Temperatursteigerungen bei Dieselmotoren. Eine Untersuchung. Berlin: Verlag von Julius Springer. 1921. – 82 p.

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ ЗА НЕРІВНОМІРНІСТЮ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ВАЛУ

Боднар Б.Є., Очкасов О.Б., Децюра А.Я., Черняєв Д.В.
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені ак. В. Лазаряна (Україна)

Вступ. Розвиток обчислювальної техніки та елементної бази розкриває раніше недоступні межи швидкості та точності вимірювання і обчислення фізичних величин, що збільшує можливості сучасних засобів технічної діагностики. Перспективним напрямком діагностики у галузі локомотивного господарства є безрозбірні методі оцінювання технічного стану тепловозного дизеля.

Актуальність досліджень. Тепловозний дизель є найбільш складним вузлом локомотива, від справності якого залежить працездатність тепловоза. На частку дизеля припадає більше 40% відмов і позапланових ремонтів. Надійність тепловозного дизеля безпосередньо залежить від його технічного стану, який можна визначити тільки за допомогою процедур діагностування. До останнього моменту процедури діагностування проводилися згідно із плановою системою технічного обслуговування й ремонту. У зв'язку із цим актуальним завданням є пошук таких діагностичних параметрів, які мали б найбільшу інформативність. Одним з таких параметрів є нерівномірність обертання колінчатого вала, яка комплексно характеризує якість роботи дизеля.

Постановка задачі. Сучасні технічні засоби дозволяють виконувати вимірювання кутової швидкості колінчастого валу з достатньою роздільною здатністю, яка дозволяє оцінити приріст кутового прискорення під час робочого такту кожного циліндра. На цьому ґрунтується метод безрозбірного діагностування дизеля за нерівномірністю кутової швидкості вала [1, 2]. Перевагою цього підходу є простота процесу діагностування (за допомогою лише одного датчика, встановленого на колінчастому валу), який не потребує виведення тепловоза з експлуатації.

Результати досліджень. Для отримання індикаторних показників робочого процесу необхідно визначити механічний ККД машини. Існує спосіб (розробки ЦНИДИ) визначення потужності механічних опорів методом вибігу, який досить просто реалізується при наявності датчика кутової швидкості. Цей спосіб ґрунтується на визначенні похідної від частоти обертання за часом при різкому вимкненні паливоподачі дизеля під час роботи при різних навантаженнях. Таким чином визначається механічний ККД як функція від частоти обертання:

$$\eta_м(n) = \frac{tg\beta_н(n) - tg\beta_{xx}(n)}{tg\beta_н(n)}, \qquad (1)$$

де $tg\beta_{xx}(n)$ - залежність кута нахилу дотичної до кривої вибігу на режимі холостого ходу в діапазоні частоти коливання від $n \in [n_{\min}; n_{\max}]$;

$tg\beta_н(n)$ - залежність кута нахилу дотичної до кривої вибігу під навантаженням.

Під час вибігу на режимі холостого ходу кінетична енергія витрачається на протидію силам тертя. Дорівнюючи роботу сил тертя до кінетичної енергії визначається потужність механічних втрат:

$$N_м = \frac{N_e}{\eta_м} - N_e, \qquad (2)$$

де N_e - ефективна потужність дизеля.

Механічний ККД враховує всі внутрішні втрати двигуна (на тертя, на привід агрегатів, на насосні втрати, втрати на очищення циліндра та інше).

Ефективна потужність дизеля також визначається за результатом вимірювання кутової швидкості вала. Спосіб оцінки N_e ґрунтується на визначенні похідної від частоти обертання за кутом повороту колінвала з метою отримання обертового моменту дизеля:

$$M_{об} = J\frac{d\omega}{d\varphi}, \tag{3}$$

де J – момент інерції дизеля.

Причому обертовий момент $M_{об}^{(m)}$ можна визначити окремо для інтервалів роботи кожного з m циліндрів. Тоді ефективна потужність m-того циліндра буде отримана за формулою:

$$N_e^{(m)} = \frac{\pi n M_{об}^{(m)}}{30}. \tag{4}$$

Звідси середній ефективний тиск для кожного циліндра:

$$P_e^{(m)} = \frac{\tau N_e^{(m)}}{0,0131 D^2 S n} = \frac{\pi\tau M_{об}^{(m)}}{0,393 D^2 S}. \tag{5}$$

де D, S, τ – відповідно діаметр циліндра, хід поршня і тактність двигуна.

Таким чином, при відомих значеннях $N_м$ та N_e отримаємо індикаторну потужність відповідно до кожного циліндра:

$$N_i^{(m)} = N_e^{(m)} + N_м. \tag{6}$$

По значенню індикаторної потужності можна визначити середній індикаторний тиск циліндра [5]:

$$P_i^{(m)} = \frac{225\tau N_i^{(m)}}{V_h n}, \tag{7}$$

де i – тактність двигуна;

V_h – об’єм циліндра.

Розподіл індикаторної потужності по циліндрам та величина механічних втрат є важливим показником резервів зниження витрат палива та підвищення надійності двигуна в цілому.

Висновки. Отже, в результаті процесу діагностування за нерівномірністю частоти обертання колінчастого валу дизеля отримано значення важливих показників робочого процесу тепловозного дизеля $\eta_м, N_м$, $N_e^{(m)}$, $P_e^{(m)}$, $N_i^{(m)}$, $P_i^{(m)}$. Разом з простотою організації та виконання процесу діагностування це показує досить високий рівень інформативності такого методу в порівнянні з безпосереднім отриманням індикаторних діаграм. Отже, вимірювання кутової швидкості колінвала дизеля має значний діагностичний потенціал. Але для отримання значень індикаторного ККД η_i необхідно додатково визначити витрату палива під час процесу діагностування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Боднар, Б.Є. Методи нерозбірного діагностування дизелів при експлуатації рухомого складу / Б.Є. Боднар, О.Б. Очкасов, Д.В. Черняєв, О.Я. Децюра // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – Вип. 41. – С. 63 –67.

2. Б.Є. Боднар, О.Б. Очкасов, Черняєв Д.В. Визначення методу фільтрації сигналу нерівномірності частоти обертання колінчастого вала дизеля// Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, вип. №1(43), с.113-118, Дніпропетровськ, 2013.

СИНТЕЗ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ ПРИ КЕРУВАННІ АВТОНОМНИМИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Гавриленко В.О., Рожков С.О.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Постановка проблеми. Постійне здорожчання традиційних видів енергії змушує виробників шукати альтернативні джерела енергії. Твердопаливні котли, як системи опалення, можуть бути орієнтовані на широкий спектр споживання: від побутового до промислового використання, при цьому, з точки зору забезпечення необхідних показників якості, вимоги до таких систем постійно підвищуються. Використання при опаленні приміщень регенераційних видів палива є досить безпечним для навколишнього середовища, а оскільки така енергія є умовно поновлюваною, то не спостерігається тенденція до його подорожчання. При цьому спалювання відходів допомагає не тільки в утилізації, а й істотно дозволяє заощадити.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо [1], що з метою мінімізації витрат на отримання теплової енергії для опалювання слід використовувати методи оптимального управління. Пошук найкращих алгоритмів та схемотехнічних рішень для проектування та реалізації систем управління автономною системою опалення призвів до використання нечітких законів управління, що спираються на теорію нечітких множин та нечіткої логіки [6]. В області розробки таких систем управління відомі роботи таких учених, як Грігорьева В.А., Зоріна В.М, Плетнева В.П., Ротача В.Я., Кокорева В.В., Букрєєва В.Г., Сабініна В.Р., Смирнова Н.І, Бочкарева Е.Ю., Репіна В.І. та ін. [1 - 6].

Класичні ПІД-регулятори для формування сигналу управління використовують методи числового інтегрування і диференціювання вхідного сигналу. Проте у регуляторів з фіксованою структурою відсутня можливість обчислення сигналу управління з урахуванням нестаціонарності параметрів технологічного об'єкту [4]. У зв'язку з цим актуальним науково-технічним завданням є розробка математичних моделей і технічних засобів для автономних систем опалювання, які дозволять підвищити якість та ефективність управління теплоенергетичними системами даного класу.

Мета дослідження. Метою даної статті є розробка нечіткого регулятора для теплового об'єкту – твердопаливного котла індивідуального опалювання. Принципову і структурну схеми твердопаливного котла показано на рис. 1 [4, 5].

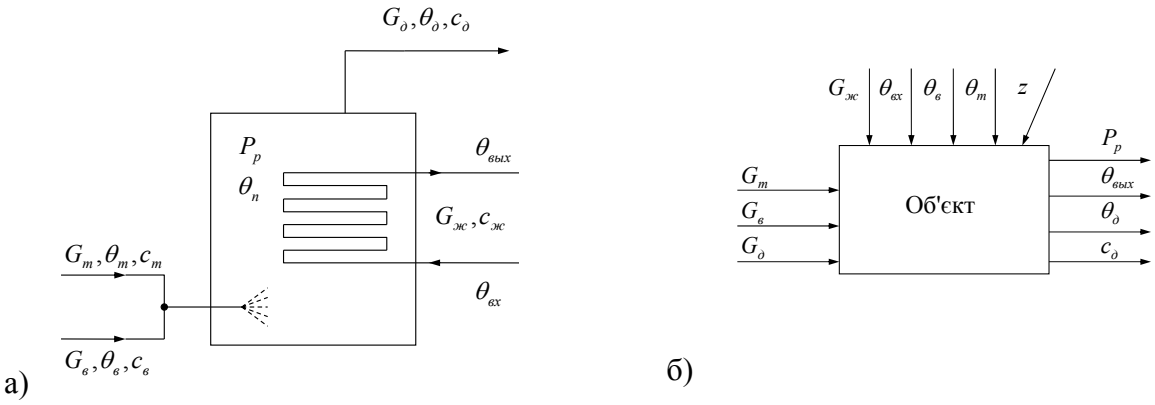


Рисунок 1. Принципова (а) і структурна (б) схеми твердопаливного котла

Твердопаливний котел є складним об'єктом з розподіленими параметрами, в якому транспортне запізнювання обумовлене швидкістю розпалювання палива, його витратами, а інерційність – перепадом тиску в різних точках подачі повітря і відведення димових газів. Система рівнянь теплових балансів для твердопаливного котла згідно з [1]:

$$\begin{cases} W(s)_{G_в \to \theta_п} = \left(\dfrac{\partial \omega_{дт}}{\partial \theta_п}\right)^0 \; при \; P_р \to const \\ \dfrac{d\theta_{тр}}{dt} = \dfrac{\alpha_п \cdot S_п}{m_{тр} \cdot c_{тр}} \cdot (\theta_п - \theta_{тр}) - \dfrac{\alpha_ж \cdot S_ж}{m_{тр} \cdot c_{тр}} \cdot (\theta_{тр} - \theta_{вых}) \\ \dfrac{d\theta_{вых}}{dt} = \dfrac{\alpha_ж \cdot S_ж}{m_ж \cdot c_ж} \cdot (\theta_{тр} - \theta_{вых}) - \dfrac{G_ж \cdot c_ж \cdot \rho_ж}{m_ж \cdot c_ж} \cdot (\theta_{вых} - \theta_{вх}) \end{cases} . \quad (1)$$

Згідно з [3], система рівнянь матеріальних балансів твердопаливного котла:

$$\begin{cases} \dfrac{dG_в}{dt} = \left(\dfrac{\partial \omega_{дв}}{\partial P_в}\right)^0 \cdot \dfrac{S_в}{l_в} - \xi_в \cdot \dfrac{S_в}{l_в} \cdot G_в - \dfrac{S_в}{l_в} \cdot P_р \\ \dfrac{dG_д}{dt} = -\left(\dfrac{\partial \omega_{дг}}{\partial P_д}\right)^0 \cdot \dfrac{S_д}{l_д} - \xi_д \cdot \dfrac{S_д}{l_д} \cdot G_д + \dfrac{S_д}{l_д} \cdot P_р \\ \dfrac{dP_р}{dt} = \dfrac{R \cdot \theta_д^0}{\mu_{CO_2} \cdot V_п} \cdot G_в - \dfrac{R \cdot \theta_д^0}{\mu_{CO_2} \cdot V_п} \cdot G_д \end{cases} , \quad (2)$$

де $\theta_{тр}$ – температура труби;

$m_{тр}, m_ж$ – маса металу трубної системи і рідини відповідно;

$c_{тр}, c_ж$ – питома теплоємність металу труб і рідини відповідно;

$\alpha_п, \alpha_ж$ – коефіцієнт тепловіддачі від пари до труби і від труби до рідини відповідно;

$S_п, S_ж$ – площа теплообміну з боку пари і рідини відповідно;

$\rho_ж$ – щільність рідини;

$S_в, S_д$ – площа поперечного перетину повітряної і газової ділянок відповідно;

$l_в, l_д$ – довжина повітряної і газової ділянок відповідно;

$\omega_{дв}, \omega_{дг}, \omega_{дт}$ – швидкість обертання дуттьового вентилятора, димососа і двигуна подачі палива відповідно;

$P_в, P_д$ – тиск в повітряній і газовій ділянці відповідно;

$\xi_в, \xi_д$ – коефіцієнти аеродинамічного опору на повітряній і газовій ділянці відповідно;

μ_{CO_2} – молярна маса газу для CO_2;

$V_п$ – об'єм камери згорання;

R – універсальна газова постійна;

$\theta_д^0$ – температура димових газів в сталому режимі;

$G_т, G_в, G_д, G_ж$ – витрати палива, повітря, димових газів, теплоносія відповідно;

$c_т, c_в, c_д, c_ж$ – теплоємність речовин відповідно;

$\theta_{т,}, \theta_в, \theta_д$ – температури речовин відповідно;

$\theta_{вх}, \theta_{вых}$ – температура вхідного і вихідного теплоносія;

θ_n – температура в камері згорання;

P_p – розрядження в камері згорання.

Структурну схему управління температурою теплоносія відображено на рис. 2. Дана система регулювання температури функціонує таким чином. У топку твердопаливного котла [4] періодично подається паливо і повітря в співвідношенні $\gamma = \frac{G_в}{G_m} = const$. В процесі згоряння виділяється тепло, яке з димовими газами передається в теплообмінник. У камері згоряння (топці) виникає розрядження, для підтримки якого в межах 10-30 Па використовується регулятор 2 (Р2). Р2 регулює витрату димових газів. У теплообміннику нагрівається теплоносій (вода), який подається в систему опалювання. Для регулювання температури теплоносія використаний регулятор 1 (Р1).

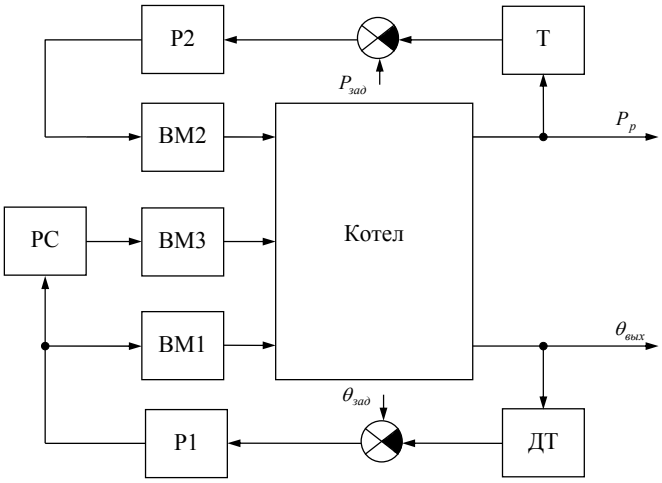


Рисунок 2. Структура системи регулювання температури в приміщенні: Р1, Р2 – регулятор; РС – регулятор співвідношення; ВМ1, ВМ2, ВМ2 – виконавчі механізми подачі палива, відведення димових газів і підвода повітря відповідно; Т – датчик тиску; ДТ – датчик температури; $\theta_{вых,}, P_p$ – вихідні температура в кімнаті і розрядження в топці; $\theta_{зад}, P_{зад}$ – задані значення температури в кімнаті і розрядки в топці котла

Спрощену модель твердопаливного котла (рис. 3) реалізовано в середовищі MATLAB\SIMULINK.

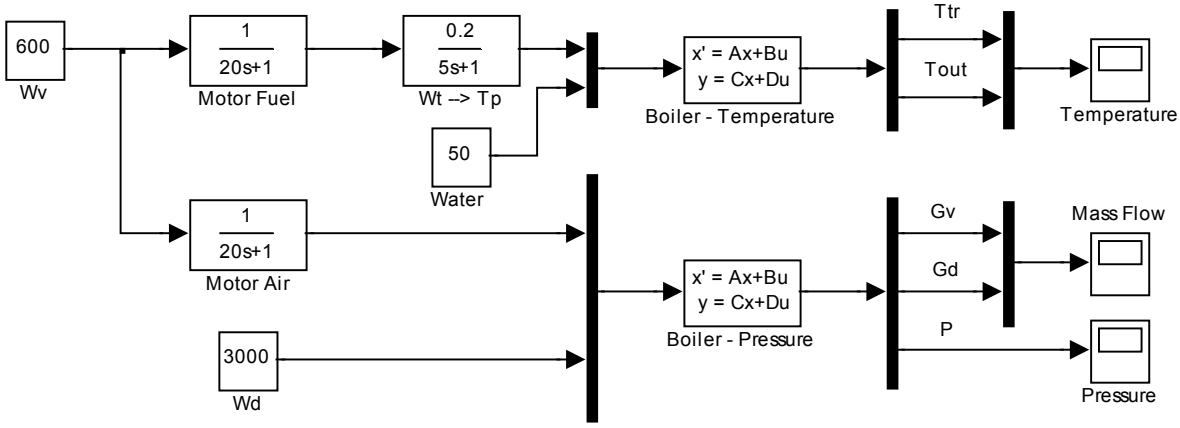


Рисунок 3. Модель твердопаливного котла в SIMULINK

На вхід моделі подаються сигнали кількості оборотів двигунів витрати повітря (Wv) і двигуна витрати димових газів (Wd). Виконавчі механізми представлені у вигляді блоків Motor Fuel – двигун витрати палива і Motor Air – двигун витрати повітря. В моделі

не використовується регулятор співвідношення, який забезпечує постійне співвідношення повітря і палива, тому в блоці «Wt $\rightarrow$ Тр» врахований коефіцієнт γ. Цей блок представляє залежність між витратою палива і температури в камері згорання.

Управління за каналом «температура в камері згорання – вихідна температура теплоносія» представлено у вигляді блоку «Boiler - Temperature». Управління за каналом «швидкість обертання димососа – розрядження» представленоу вигляді блоку «Boiler - Pressure». Результати моделювання зображені на рис. 4 і рис. 5.

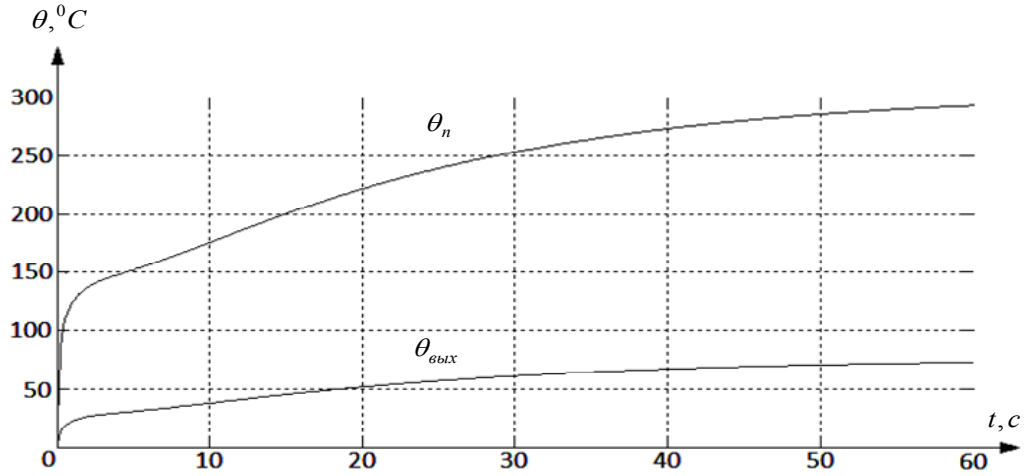


Рисунок 4. Перехідна характеристика зміни температури теплоносія

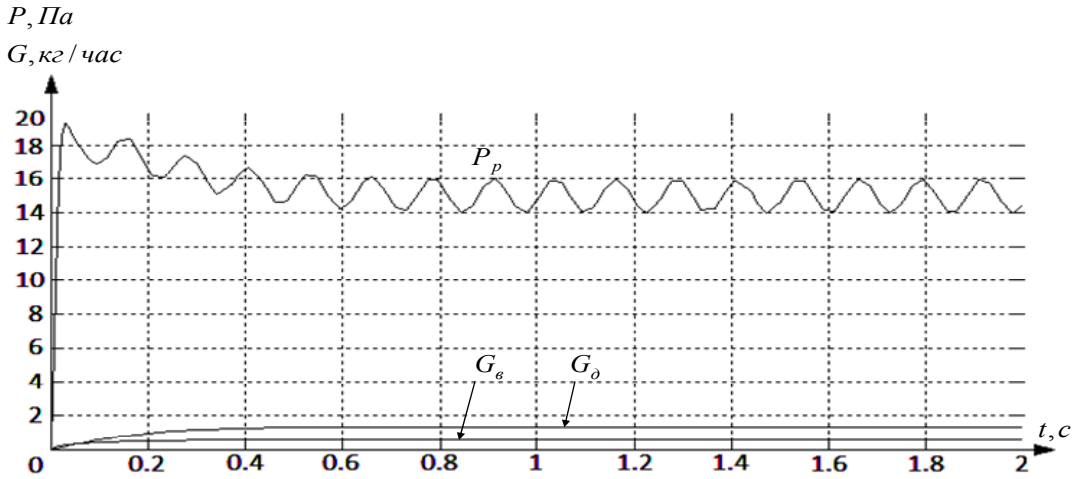


Рисунок 5. Перехідна характеристика зміни розрядки

Синтез нечіткого регулятора виконаний на підставі кластеризації даних, де об'єднання об'єктів в групи (кластери) виконують на основі схожості ознак для об'єктів однієї групи і відмінностей між групами [5]. Алгоритми кластеризації можуть ґрунтуватися як на евристиках, так і на формальних статистичних підходах. Найбільшого поширення і практичного застосування набули алгоритми кластерного аналізу К-середніх і їх нечіткої адаптації, алгоритм С-середніх. Дані алгоритми мають хорошу швидкість збіжності, але вони не гарантують виділення яких-небудь структурних особливостей, коли дані не є добре розділеними.

Алгоритм нечітких вершин С-середніх [5, 6] реалізується таким чином. Встановлюють параметри алгоритму: c – кількість кластерів; m – експоненціальна вага; ε – параметр зупинки алгоритму. Далі випадковим чином формується матриця нечіткого розбиття F, що задовольняє умовам:

$$\sum_{i=1,c} \mu_{ki} = 1, \; k = \overline{1, M} \; , \qquad (3)$$

$$0 < \sum_{k=\overline{1,\,M}} \mu_{ki} < N,\ i = \overline{1,\,c}\,. \tag{4}$$

Розраховують центри кластерів

$$V_i = \frac{\sum_{k=\overline{1,\,N}} (\mu_{ki})^m \cdot X_k}{\sum_{k=\overline{1,\,N}} (\mu_{ki})^m},\ i = \overline{1,\,c}\ , \tag{5}$$

де X – матриця спостереження.

Потім розраховують відстані між об'єктами з X і центрами кластерів:

$$D_{ki} = \sqrt{\left\| X_k - V_i \right\|^2},\ k = \overline{1,\,M},\ i = \overline{1,\,c}\,. \tag{6}$$

Далі перераховують елементи матриці нечіткого розбиття ($k = \overline{1,\,M},\ i = \overline{1,\,c}$):

$$\text{якщо } D_{ki} > 0,\ \mu_{ki} = \frac{1}{\left(D_{ik}^2 \cdot \sum_{j=\overline{1,\,c}} \frac{1}{D_{jk}^2} \right)^{\frac{1}{m-1}}},$$

$$\text{якщо } D_{ki} = 0,\ \mu_{kj} = \begin{cases} 1, & j = i \\ 0, & j \neq i \end{cases},\ j = \overline{1,\,c} \tag{7}$$

Перевіряють умову:

$$\left\| F - F^* \right\|^2 < \varepsilon \tag{8}$$

де F^* – матриця нечіткого розбиття на попередній ітерації алгоритму. Якщо «ні», то перейти до (5).

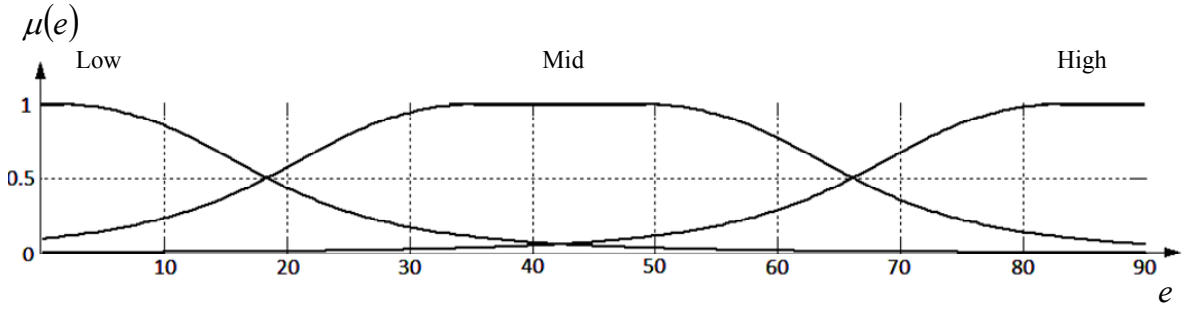


Рисунок 6. Функції належності через помилку (температура)

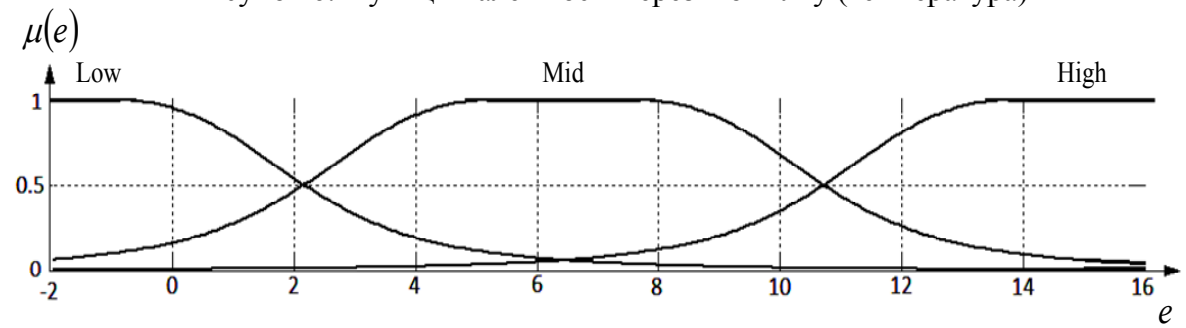


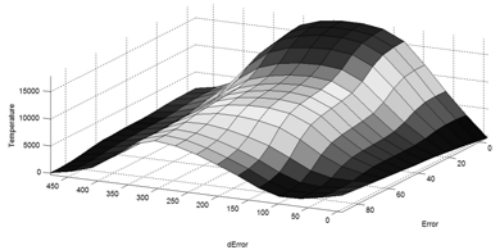
Рисунок 7. Функції належності через помилку (тиск)

Після збору даних, згідно представленому алгоритму С-середніх вершин, виконується синтез бази знань нечіткого регулятора за алгоритмом Сугено [2, 5]. Нечіткий регулятор Такаги-Сугено є компактною системою управління, яка описує механізм логічного виводу з меншими обчислювальними витратами (в 50-100 разів швидше, ніж

існуючі алгоритми) на реалізацію самого алгоритму логічного виводу. Досить складно правильно вибрати кількість кластерів для реальних завдань без якої-небудь апріорної інформації про структури в дані, тому важливим параметром в приведеному алгоритмі є кількість кластерів c. Для реалізації системи регулювання твердопаливним котлом на основі нечіткої логіки система проектується безпосередньою з вчителем – ПІД-регулятором [6].

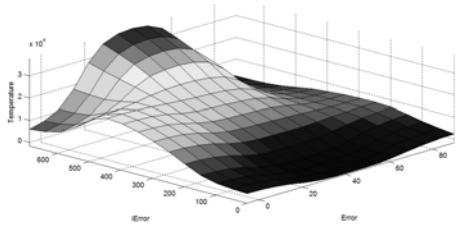
На основі методу синтезу кластерізації даних отримано результати функцій належності по каналу «температура в камері згорання – вихідна температура теплоносія» та по каналу «швидкість обертання димососа – розрядження», які зображені на рис. 6 - 7.

Поверхні по каналу «температура в камері згорання – вихідна температура теплоносія» відображені на рис. 8 і рис. 9. Поверхні по каналу «швидкість обертання димососа – розрядження» відображені на рис. 10 і рис. 11.



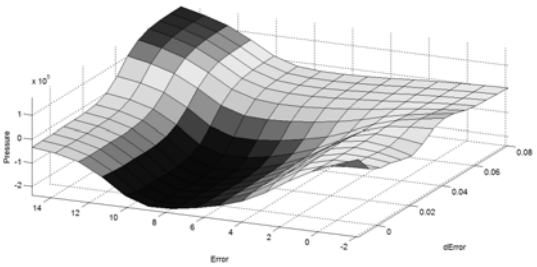
$$u = f\left(e,\ \frac{e \cdot s}{T_{\phi} \cdot s + 1}\right)$$

Рисунок 8. Поверхня



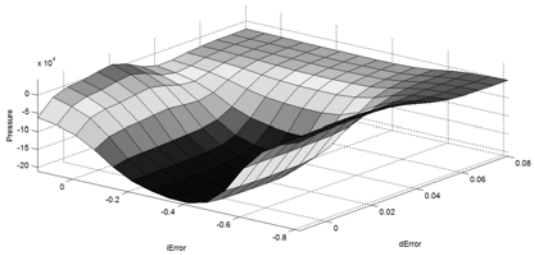
$$u = f\left(e,\ \frac{e}{s}\right)$$

Рисунок 9. Поверхня



$$u = f\left(e,\ \frac{e \cdot s}{T_{\phi} \cdot s + 1}\right)$$

Рисунок 10. Поверхня



$$u = f\left(e,\ \frac{e}{s}\right)$$

Рисунок 11. Поверхня

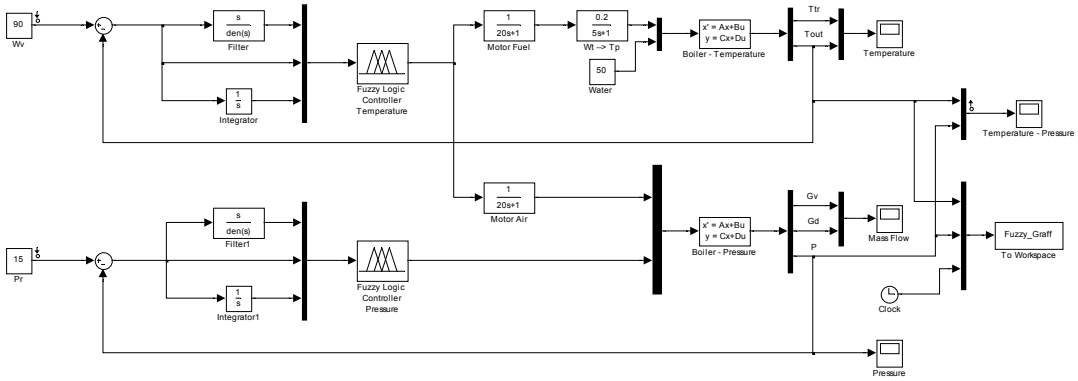


Рисунок 12. Модель твердопаливного котла з регулятором нечіткої логіки (РНЛ)

Модель твердопаливного котла на основі регулятора нечіткої логіки в програмі MATLAB\SIMULINK показано на рис. 14.

Результати моделювання представлені на рис. 13 і рис. 14.

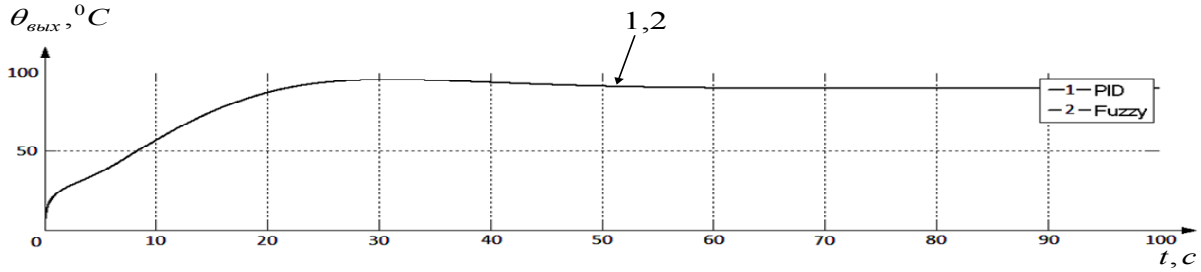


Рисунок 13. Перехідні характеристики по каналу «температура в камері згоряння – вихідна температура теплоносія»

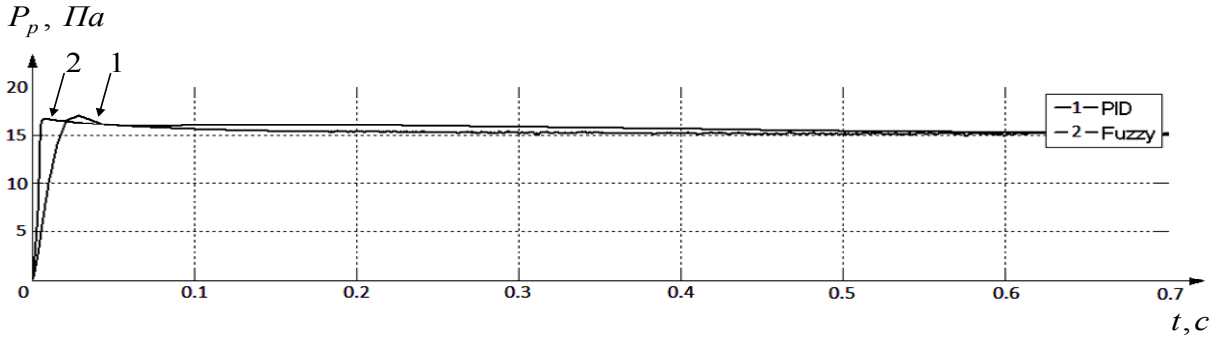


Рисунок 14. Перехідні характеристики по каналу «швидкість обертання димососа - розрядження»

Висновки. У даній статті для автономної системи опалення розроблено нечіткий ПІД – регулятор. Для проектування регулятора з нечіткою логікою (РНЛ) був використаний метод кластеризації за алгоритмом нечітких С – середніх вершин.

На основі аналізу результатів моделювання можна зробити висновок, що за умови малої інерційності об’єкту управління регулятори працюють ідентично. Проте, при великій інерційності об'єкту керування РНЛ переводить його в сталий режим значно швидше. Тому регулятор нечіткої логіки має кращі показники якості управлянні в порівнянні з системою, синтезованою на основі традиційного ПІД – регулятора.

Слід врахувати, що нечіткий регулятор можна налаштувати на будь-який вид нелінійності, що дає змогу коригувати якісні показники управління при використанні даного типу регулятора на реальному об'єкті. Тому у подальшому доцільно провести дослідження інших типів нечітких регуляторів для теплових об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Григорьев В.А. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / В.А. Григорьев, В.М. Зорин. – М.:Энергоатомиздат, 1983. – 552 с.
2. Бодянский Е.В. Интеллектуальное управление технологическими процессами (ферросплавное производство):Монография / Е.В. Бодянский, Е.И.Кучеренко, А.И.Михалёв, В.А.Филатов и др. Под ред. А.И.Михалёва –Днепропетровск: Национальная металлургическая академия Украины, 2013. –213 с.
3. Пономарев А.А. Модель газовоздушного тракта теплоэнергетического котла как объекта регулирования / А.А. Пономарев //Сборник научных трудов НГТУ. – 2010. – №3(61). – С.19–28.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: Учебник для вузов/ В.Я. Ротач. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:МЭИ, 2004. – 400 с.
5. Васильев В.И. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: Учебное пособие / В.И. Васильев, Б.Г. Ильясов. – М.:Радиотехника, 2009. – 392 с.
6. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.Заде. Под ред. Н.Н.Моисеева и С.А.Орловского. Пер. с англ. Н.И.Ринго. – М.: Мир, 1976. – 166 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ БЕСКОНТАКТНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ

Гнатов А.В., Барбашова М.В., Сабокарь О.С.
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (Украина)

В связи с активным развитием промышленности все большим внедрением новых материалов возникает необходимость в определении и исследовании электрофизических свойств данных материалов. Особенно актуально измерение удельного сопротивления и электропроводности металлов. Знание данных характеристик очень важно при проведении магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ) [1, 2].

В ранее опубликованных материалах [3] были описаны неоспоримые достоинства бесконтактного способа контроля удельной электропроводности металлов, основанного на идее о взаимодействии «встречных» магнитных полей двух соленоидов, названного ранее «методом встречных полей».

Опуская комментарии теоретических исследований, подчеркнём, что обязательным фактором работоспособности предлагаемого способа является низкочастотный временной режим возбуждаемых полей, что означает их интенсивное проникновение сквозь элементную базу системы «источники поля – листовые металлы».

Цель данной работы - экспериментальная апробация бесконтактного способа измерения удельной электропроводности «методом встречных магнитных полей».

Экспериментальное оборудование. Экспериментальное оборудование было представлено следующими составляющими: а) индукторная система из двух источников магнитного поля и двух листовых металлов; б) блок элементов, включающий схему подачи питания от источника мощности к индукторам, проволочные реостаты для регулировки тока и измерительные шунты; б) источник мощности[4]; в) система для контроля напряжённости магнитного поля в рабочих зонах системы.

Работа экспериментального комплекса для контроля удельной электропроводности листовых металлов иллюстрируется схемой на рис. 1.

Между индукторами отдельными слоями, разделёнными диэлектрическими прокладками укладываются листовые металлы: лист №1 и лист №2. Один из них – лист №1 с толщиной – d_1 с известной удельной электропроводностью – γ_1, второй – это лист металла №2 с известной толщиной $-d_2$ (измеряется предварительно!), но неизвестной удельной электропроводностью – $\gamma_2 = ?$.

При включении питания от источника мощности в цепи индукторов №1,2 протекают экспоненциально затухающие токи – $J_{1,2}$ (частота – $f \approx 2$ кГц), соответственно. В рабочих зонах системы («обмотка индуктора №1 – лист №1», «лист №1 – лист №2», «лист №2 – обмотка индуктора №2») возбуждаются магнитные поля с касательными компонентами напряжённости – $H_{1,C,2}$, соответственно. Последние измеряются с помощью индукционных датчиков, сигналы которых, проинтегрированные с помощью аналогового преобразователя ($RC-$цепочка), поступают на вход усилителя, выход которого подключён к цифровому осциллографу. Токи в цепях индукторов определялись с помощью измерительных шунтов – $R_{ш} = 5 \cdot 10^{-3}$ Ом.

Варьируя величины сопротивлений переменных малоиндуктивных проволочных резисторов – $R_{1,2}$, добиваются минимально возможной напряжённости поля между листовыми металлами, $H_C \to 0$. Сигналы с индукционных датчиков – $ИД_{1,2}$, а также

шунтов – $R_{ш}$, осциллографируются. По результатам измерений определяется неизвестная удельная электропроводность листового металла №2, γ_2 =?

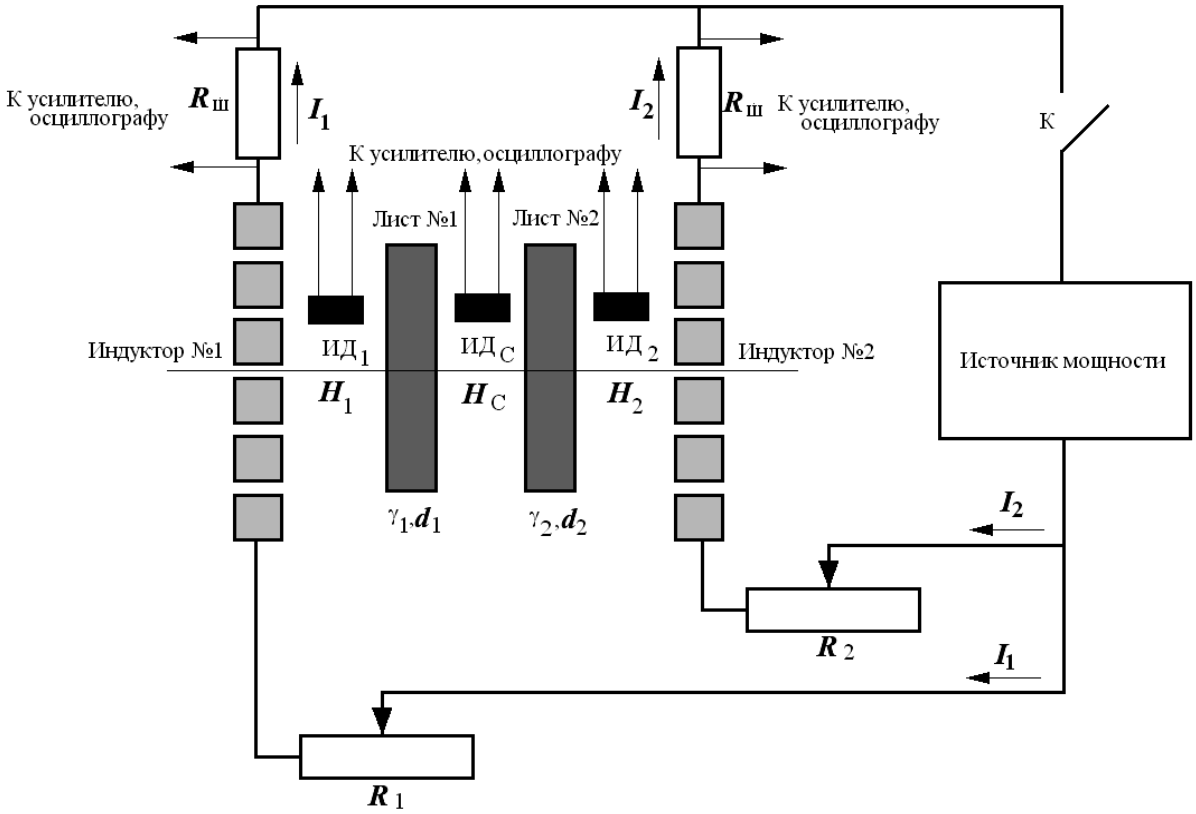


Рисунок 1. Схема комплекса для бесконтактного контроля удельной электропроводности листовых металлов, элементы схемы: источник мощности, индукторы №1,2, переменные проволочные резисторы – $R_{1,2}$, измерительные шунты – $R_{ш}$, индукционные датчики – ИД$_{1,C,2}$ с интеграторами, листовые металлы – лист №1,2, измеряемые величины: касательные компоненты напряжённости магнитного поля – $H_{1,C,2}$, токи в обмотках индукторов – $J_{1,2}$.

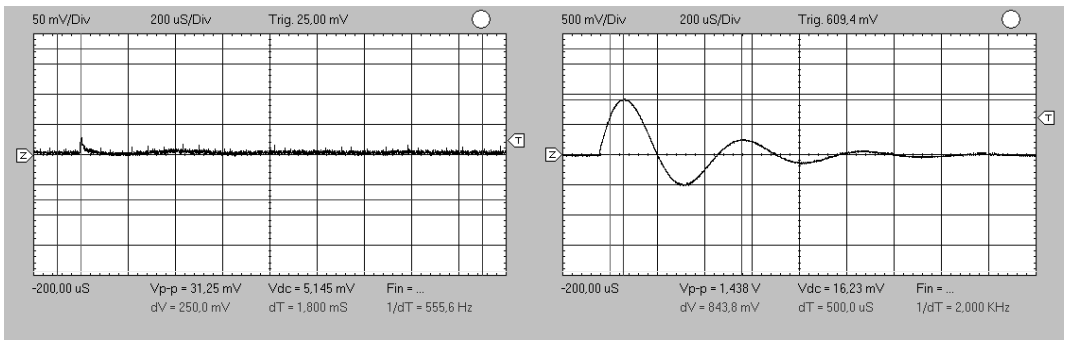
Эксперименты, результаты измерений. Проведенные исследования включали несколько экспериментов.

Определение достоверности предложенного способа контроля.

Эксперимент №1. Между индукторами помещались два одинаковых медных листа толщиной ~ 50мкм. Обмотки индукторов соединялись последовательно, что, автоматически, должно было позволить получить нулевое поле во внутренней полости между листовыми металлами.

Типичные осциллограммы, иллюстрирующие функциональную зависимость от времени напряжённости – H_C и токов – $J_1 = J_2$, приведены на рис. 2.

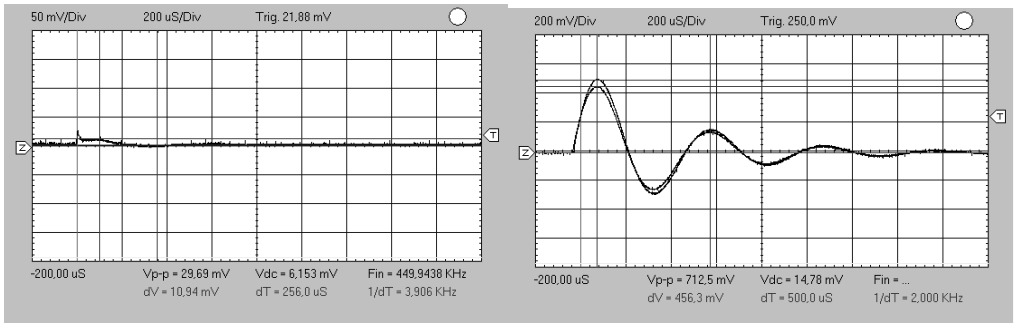
С учётом величины сопротивления измерительного шунта максимум тока составляет $J_m \approx 168$ А, максимум напряжённости – $H_{Cm} \approx 24$ А/м. Последняя величина фиксирует отличие амплитуды поля от идеального нуля (но обеспеченная равными токами!), обусловленное асимметрией реальной системы относительно плоскости, проходящей через её центр. Отмеченное обстоятельство является первой объективной причиной погрешности в измерении удельной электропроводности листового металла.



а) б)

Рисунок 2. Осциллограммы сигналов при последовательном соединении обмоток индукторов, а) касательная компонента напряжённости магнитного поля между листовыми металлами – H_C; б) временная развёртка токов в цепях индукторов.

Эксперимент №2. Между индукторами помещались два одинаковых медных листа толщиной ~ 50мкм. Обмотки индукторов соединялись параллельно. Минимум амплитуды поля во внутренней полости между листовыми металлами устанавливался вариацией токов в обмотках индукторов.



а) б)

Рисунок 3. Осциллограммы сигналов при параллельном соединении обмоток индукторов: а) касательная компонента напряжённости магнитного поля между листовыми металлами – H_C; б) временная развёртка токов J_1 (верхняя осциллограмма) и J_2 (нижняя осциллограмма) в цепях индукторов.

Типичные осциллограммы, иллюстрирующие функциональную зависимость от времени напряжённости – H_C и токов – $J_{1,2}$, приведены на рис.3.

Как следует из осциллограмм, минимально возможная амплитуда напряжённости в центральной полости– $H_{Cm} \approx 32$ А/м обеспечивается не равными токами в обмотках индукторов. Их отношение составляет $\frac{J_{1m}}{J_{2m}} \approx 1.093$. Последняя величина определяет в цифрах возможную объективную погрешность проводимых измерений (до 10%), обусловленную способом выхода на режим, в котором устанавливается минимальное значение напряжённости возбуждаемого магнитного поля между листовыми металлами.

Эксперимент №3. Исследуемый вариант системы для бесконтактного контроля удельной электропроводности листовых металлов, как было отмечено в описании конструктивного варианта её исполнения, представляет собой систему с источниками поля – индукторами, обмотки которых представлены тонкостенными экранами из медной фольги с $d_i = 50$ мкм и $\gamma_i = 5.61 \cdot 10^7$ 1/Ом·м [5].

Ключевыми соотношения, связывающие возбуждающие токи – $J_{1,2}$ и касательные компоненты напряжённости магнитного поля в зонах между листовыми металлами и

обмотками собственно индукторов – $H_{1,2}$ при нулевом значении – $H_C \approx 0$ и достаточно низких частотах электромагнитных процессов, имеют вид:

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{\gamma_1 d_1 + \gamma_i d_i}{\gamma_2 d_2 + \gamma_i d_i}. \quad (1)$$

$$\frac{H_2}{H_1} \approx \frac{\gamma_2 \cdot d_2}{\gamma_1 \cdot d_1}. \quad (2)$$

В качестве образцов были взяты листовые образцы медной фольги различной толщины – 50мкм, 100мкм, 150мкм с удельной электропроводностью – $\gamma_{Cu} = 5.61 \cdot 10^7$ 1/Ом·м и алюминиевой фольги толщиной – 40мкм с удельной электропроводностью – $\gamma_{Al} = 3.75 \cdot 10^7$ 1/Ом·м [5].

Первые три эксперименты были проведены исключительно для медных образцов при различном сочетании их толщин: 1) лист №1($d_1 = 50$ мкм, $\gamma_1 = \gamma_{Cu} = 5.61 \cdot 10^7$ 1/Ом·м) ÷ лист №2 ($d_1 = 100$ мкм, $\gamma_2 = \gamma_{Cu} = 5.61 \cdot 10^7$ 1/Ом·м) ; 2) лист №1($d_1 = 50$ мкм, $\gamma_1 = \gamma_{Cu} = 5.61 \cdot 10^7$ 1/Ом·м) ÷ лист №2 ($d_1 = 150$ мкм, $\gamma_2 = \gamma_{Cu} = 5.61 \cdot 10^7$ 1/Ом·м);

3) лист №1($d_1 = 100$ мкм, $\gamma_1 = \gamma_{Cu} = 5.61 \cdot 10^7$ 1/Ом·м) ÷ лист №2 ($d_1 = 150$ мкм, $\gamma_2 = \gamma_{Cu} = 5.61 \cdot 10^7$ 1/Ом·м).

В правой части зависимостей (1) и (2) присутствуют отношения токов в индукторах и напряжённостей в зонах между их поверхностями и листовыми металлами. Данные отношения могут вычисляться по первым временным максимумам из соответствующих осциллограмм. Это наиболее простой подход. Более сложные вычисления могут использовать усреднённые во времени (как средние значения непрерывных функций [6] на некотором интервале) значения тех же токов и напряжённостей. Последний подход должен обладать большей точностью, поскольку нивелируется «временной сдвиг» между возбуждающими токами при их регулировке для выхода на режим с нулевым полем в центральной полости между листовыми металлами.

Результаты проведенных измерений и оценок по формулам (1) и (2) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты проведенных экспериментов и оценок

№ п/п	Расчет и эксперимент / Условия эксперимента	Отношения токов			Отношения напряженностей		
		Расчет	Усред. величин	Макс-в	Расчет	Усред. величин	Макс-в
1	Медные листы: $d_1 = 50$ мкм, $d_2 = 100$ мкм	0,66	0,68	0,82	0,50	0,51	0,78
2	Медные листы: $d_1 = 50$ мкм, $d_2 = 150$ мкм	0,50	0,43	0,48	0,33	0,32	0,31
3	Медные листы: $d_1 = 100$ мкм, $d_2 = 150$ мкм	1,33	1,12	1,07	1,50	1,52	1,15
4	Алюминиевые листы: $d_1 = 40$ мкм, $d_2 = 80$ мкм	0,75	0,88	0,81	0,50	0,46	0,88

В дальнейшем при определении неизвестной удельной электропроводности использовать отношение временных максимумов токов в индукторах системы

представляется более целесообразным по сравнению с отношением максимумов напряжённости магнитного поля:

- во-первых, сигнал, снимаемый непосредственно с активного сопротивления – измерительного шунта, прямо пропорционален току. Это обстоятельство означает существенное упрощение измерительного комплекса в целом, так как отсутствует необходимость в дополнительных устройствах типа интеграторов в случае индукционных датчиков;

- во-вторых, как показывают оценки, среднее отклонение расчёта от экспериментальных оценок, выполненного по первым временным максимумам токов, составляет $\sim 17.1\%$. Среднее отклонение расчёта от экспериментальных оценок, выполненного по усреднённым токам во времени, составляет $\sim 9.75\%$. Данный уровень достоверности измерений, как свидетельствует практика, является вполне приемлемым для задач магнитно-импульсной обработки металлов [1].

Выводы. Практическая реализация способа в виде комплекса, включающего индукторы с достаточно тонкостенными токопроводами, источник мощности гармонических экспоненциально затухающих сигналов и систему ручной регулировки токов в индукторах с помощью переменных проволочных (практически безиндуктивных!) резисторов, позволяет проводить контроль с точностью ~10 ÷ 20%, что практически приемлемо для решения задач магнитно-импульсной обработки металлов.

Увеличение точности измерений с помощью исследованного комплекса для определения удельной электропроводности листовых металлов возможно при использовании двух независимых источников питания с прецизионной регулировкой токов в индукторах – источниках магнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белый И. В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И. В. Белый, С. М. Фертик, Л. Т. Хименко. – Х.: Вища школа, 1977. – 189 с.

2. Батыгин Ю.В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 1 / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, Л. Т. Хименко. – Х.: МОСТ-Торнадо, 2003. – 288 с.

2. Измерение удельной электропроводности листовых металлов системой с обмотками индукторов в виде тонкостенных металлов / Ю.В. Батыгин, М. В. Барбашова, Е. А. Чаплыгин // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць.– Х.: НТУ «ХПІ». – 2013. – №35(1008). – С. 70 – 82.

3. Низковольтный генератор импульсов тока широкого частотного диапазона для физического моделирования / А. Ю. Бондаренко, Г. С. Сериков, Е. А. Чаплыгин // Научные журналы НТУ «ХПИ»: Электротехника и электромеханика №6 - НТУ "ХПИ" – 2007. - ISSN 2074-272X.

5. Круг К.А. Основы электротехники. - М-Л.: Главная редакция энергетической литературы. – 1936. – 887с.

6. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука. – 1974. – 832 с.

ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ МЕТАЛУ ПАРОВИХ ТУРБІН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРЕТИНГ-УТОМИ

Гребенчак Ю.М.
Луцький національний технічний університет (Україна)

Вступ. Одним з важливих чинників впливу на ресурс складних конструктивних елементів, які експлуатуються за умов постійного контактування їх поверхонь є фретинг-процеси [1]. Вони виникають за циклічного навантаження деталей у місцях щільного прилягання їхніх поверхонь. Навіть у стаціонарному режимі експлуатації турбоагрегат вібрує. Допустимий рівень вібрацій жорстко регламентується [2]. Однак, за тривалої експлуатації певних конструктивних вузлів (зокрема лопаток і диска) навіть за дотримання регламентованих рівнів вібрації існує небезпека їх пошкодження через сприятливі умови для протікання фретинг-процесів навіть за низької амплітуди проковзування [3, 4].

Актуальність досліджень. Враховуючи висновок фрактографічної експертизи зламу обода диска про домінування корозійно-втомного рельєфу на етапі докритичного росту втомної тріщини [5], експлуатовану сталь 34ХН3М дослідили на багатоциклову втому на повітрі і в модельному корозивному середовищі та порівняли отримані показники з властивостями сталі після термічного оброблення, яким моделювали властивості сталі у вихідному стані.

Постановка задачі. Метою роботи є дослідження впливу експлуатаційної деградації металу парових турбін на характеристики фретинг-утоми

Результати досліджень. За результатами втомних випроб гладких зразків на повітрі побудували криві втоми для сталі 34ХН3М у вихідному стані та після $3\cdot10^5$ год експлуатації в ЦНТ парової турбіни ТЕС (рис. 1).

Границя витривалості сталі на базі $3\cdot10^7$ циклів у вихідному стані значно вища, ніж експлуатованої. Зокрема, границя витривалості σ_{-1} експлуатованої сталі становила 242 МПа, тоді як сталі у вихідному стані – 429 МПа. Таку значну різницю (зниження становило майже на 44 %) пов’язали з деградацією сталі в часі експлуатації.

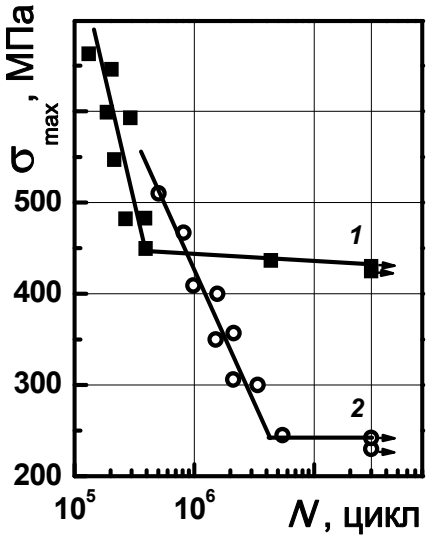


Рисунок 1. Криві втоми сталі 34ХН3М у вихідному стані (*1*) та після експлуатації (*2*) за випроб на повітрі

На довговічність експлуатованої сталі дисків крім робочих напружень, впливає й робоче середовище. Загальні вимоги до організації та проведення хімічного контролю якості конденсату, живильної води і пари блочних установок ТЕС чітко регламентовані [6]. Однак, незважаючи на це, в робочому середовищі парових турбін все таки присутні корозійно-активні домішки, які в зоні фазового переходу та за підвищених механічних

напружень спричиняють корозійні пошкодження елементів проточної частини парової турбіни. З огляду на це, проаналізували вплив модельного середовища (зі стократним перевищенням допустимих меж для складових технологічного середовища) на втомну витривалість сталі. За результатами випроб отримали криві корозійної втоми (рисунок 2). Ефект деградації в модельному корозивному середовищі істотно знизився. Границя витривалості σ_{-1C} сталі у вихідному стані в корозивному середовищі становила 100, а після експлуатації – 45 МПа, тобто знизилася на 55 %.

Аналізуючи результати досліджень можна висновок, що під час випробувань в середовищі, границя витривалості σ_{-1C} сталі у вихідному стані знизилась більше ніж в 4,5 рази порівняно з випробами на повітрі. В експлуатованій сталі спостерігали подібну тенденцію, однак різниця за границею витривалості, отриманою на повітрі і в середовищі, значно менша. Це можна пов'язати з впливом тривалого наводнювання сталі в експлуатаційних умовах, через що додатковий чинник окрихчення у вигляді корозивного середовища стає менш разючим.

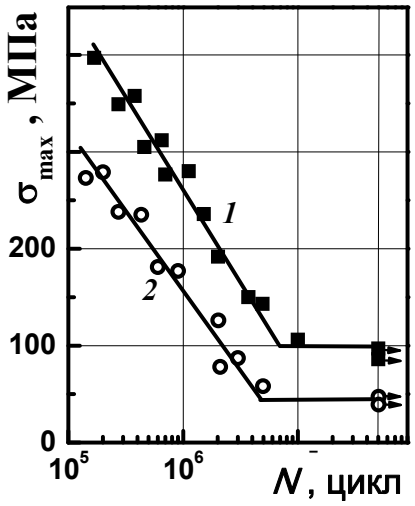


Рисунок 2. Криві втоми сталі 34ХН3М у вихідному стані (*1*) та після експлуатації (*2*) за випроб в модельному середовищі

Висновки. Отже, порівнюючи результати за випробувань в середовищі, границя витривалості сталі у вихідному стані знизилась більше ніж в 4,5 рази порівняно, а в експлуатованій – у понад 2 рази. Дане явище пов'язане з наводнюванням сталі під час експлуатації, що в свою чергу спричинило менш разючий вплив корозивного середовища, як додаткового чинника окрихчення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Калда Г. С. Фреттинг - усталость металлов (обзор) / Калда Г. С. // Проблемы трибологии. – 1997. – №3.– С. 144-149.

2. ГОСТ 31320-2006. Вибрация. Методы и критерии балансировки гибких роторов.

3. Трухный А.Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки. / А.Д. Трухный, Б.В. Ломакин – М.: Типография «Новости», 2002. – 534 с.

4. Левин А. В. Прочность и вибрация лопаток и дисков паровых турбин / А. В. Левин, К. Н. Боршанский, Е. Д. Консон. – Л.: Машиностроение, 1981. – 710 с

5. Student O. Technical expertise of damaged structural elements of power plant steam turbine / O. Student, Yu. Tkachuk, P. Sydor // Proceeding 14th International Conference: Mechanika-2009, Kaunas, 2009. – Kaunas: Technologija, 2009. – P. 396-400.

6. Методические указания по предотвращению коррозионных повреждений дисков и лопаточного аппарата паровых турбин в зоне фазового перехода: РД 34.30.507-92. – М.: ВТИ. – 1993.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ СИНХРОННО-АСИНХРОННЫЙ ПРИВОД ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СУДОВ С ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЕМ

Данык В.В., Ищенко И.М.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Известно, что в настоящее время критерием совершенства транспортной системы, в том числе и судна, являются экономичность, энергетическая (топливная) эффективность и надежность.

Современное состояние полупроводниковой и микропроцессорной техники дает возможность относительно просто обеспечить отмеченные требования применением на судах систем электродвижения. В качестве гребных двигателей используются вентильные двигатели, синхронные и асинхронные двигатели с частотным управлением и т.п. Гребные двигатели в таких системах обычно работают с редукторами, обеспечивающими понижение частоты вращения винта до 100…200 мин$^{-1}$. Примером такой гребной установки может служить установка рассматриваемого судна. К основным недостаткам указанной системы относятся применение двух преобразователей частоты и их систем управления и регулирования. При этом, системы регулирования частоты вращения и мощностей гребных электродвигателей (ГЭД) достаточно сложны в производстве и обладают невысокой надежностью в работе. В связи с этим рассмотрим возможность применения на судне в качестве гребной электроустановки (ГЭУ) установки с дифференциальным электроприводом.

Под дифференциальными электроприводами понимают класс электроприводов, у которых угловая скорость выходного вала и развиваемый момент определяются алгебраическим суммированием скоростей и моментов двух или нескольких электрических машин с введением постоянных коэффициентов.

Этот класс можно разделить на две группы. К первой группе относятся электроприводы с механическими дифференциалами, вторую группу составляют электромеханические дифференциалы (биротативные машины, или машины двойного вращения, и машины двойного питания, в которых алгебраически суммируются скорости магнитных полей).

Расширение масштабов применения двухдвигательных электроприводов с механическими дифференциалами обусловлено их существенными техническими и экономическими преимуществами в механизмах, работающих в исключительно тяжелых условиях при ударных нагрузках, пуске и заторможенном состоянии и стопорении рабочих органов, при повышенной опасности выхода из строя одного из двигателей либо элементов его токоподвода под действием струй жидкого металла (например, на сталевозе) и т.д.

Объединенные следящие системы с двумя двигателями, работающими через дифференциал, обладают повышенной точностью.

К основным техническим преимуществам дифференциального электропривода относятся:

1. Уменьшение ударных нагрузок при пуске с заторможенным выходным валом (в том числе и при выборе зазоров в механических передачах). Дифференциальный электропривод с нарегулируемыми короткозамкнутыми двигателями, вращающимися встречно, в сравнении с однодвигательными нерегулируемыми электроприводами, работает с заметно уменьшенными перегрузками и при стопорении. Это качество позволяет уменьшить массу и стоимость механических передач, двигателей и конструкций, повысить срок безаварийной службы оборудования, уменьшить эксплуатационные расходы.

2. Возможность получения значительного диапазона регулирования при использовании асинхронных двигателей. Это качество позволяет во многих случаях

отказаться от электропривода постоянного тока. Так, например, дифференциальный привод с двумя асинхронными короткозамкнутыми двигателями, один из которых двухскоростной, имеет семь ступеней скорости. Резко улучшаются регулировочные свойства при применении двигателей с фазными роторами.

3. Существенное уменьшение ударного падения скорости. Это достоинство позволяет упростить и удешевить систему регулирования, повысить качество изделий, например, на редукционных станах.

4. Идеальное распределение нагрузок между двигателями. Принципиальным свойством механического дифференциала является способность автоматического деления нагрузок между двигателями. Например, наиболее распространенный симметричный конический дифференциал делит статический момент поровну между обоими двигателями. Это качество дает возможность отказаться от ненужного завышения мощности и дорогостоящих регуляторов нагрузки, применяемых в обычном двухдвигательном электроприводе с жестким соединением валов.

Схема дифференциального привода с двумя электрическими машинами для привода винта судна приведена на рис. 1.

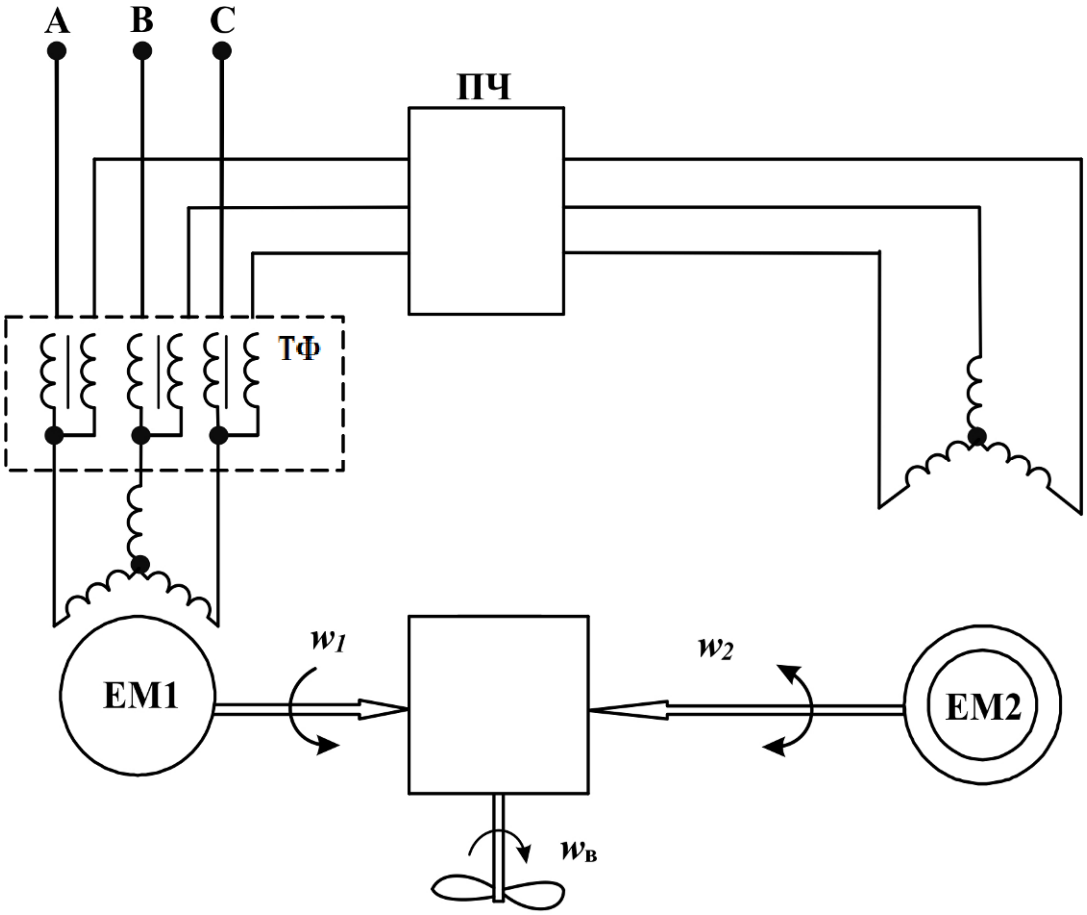


Рисунок 1. Принципиальная схема дифференциального электропривода

Как следует из схемы, основными агрегатами и элементами привода являются дифференциальный редуктор, электрические машины ЕМ1 и ЕМ2, трансформаторный фильтр ТФ и полупроводниковый преобразователь частоты ПЧ. Кроме того, привод включает в себя системы управления, регулирования и защиты.

В качестве электрических машин в приводе могут использоваться следующие типы машин: асинхронные, синхронные бесщеточные, вентильные с электромагнитным возбуждением или с постоянными магнитами. Исходя из требований по надежности работы привода, а также простоте производства и обслуживания в качестве электрических машин выбираем асинхронные машины с короткозамкнутыми роторами.

Применение трансформаторного фильтра обусловлено необходимостью уменьшить влияние преобразователя частоты на искажение синусоидальности кривой напряжения в бортовой системе электроснабжения. Кроме того, с его помощью можно выбрать оптимальную величину напряжения для питания преобразователя и электрической машины ЕМ2. Преобразователь частоты выбирается с учетом типа электрической машины ЕМ2 и режимов ее работы.

Регулирование момента и частоты вращения винта может осуществляться изменением режимов работы и частоты вращения обеих электрических машин или регулированием частоты вращения одной машины при постоянной частоте вращения второй.

На основе анализа различных режимов работы привода принимаем режим при работе электрической машины ЕМ1 при постоянной частоте вращения. Регулирование частоты вращения винта обеспечивается регулированием частоты вращения и изменением режимов работы электрической машины ЕМ2. Пуск привода обеспечивается плавным увеличением частоты вращения машины ЕМ2. При этом машина ЕМ1 разгоняется до номинальной частоты вращения и затем включается на питание от сети. Разгон машины ЕМ2 обеспечивается при питании от преобразователя частоты. Машина при этом работает практически на холостом ходу. После пуска машины ЕМ1, регулирование частоты вращения и момента винта осуществляется соответствующим регулированием машины ЕМ2.

Определим основные соотношения дифференциального электропривода. Соотношения частот вращения водила, связанного с валом винта, электрических машин ЕМ1 і ЕМ2, связанных с соответствующими шестернями, определяется равенством:

$$i_1'\left(1+\frac{z_2}{z_1}\right)\omega_в = \omega_1 + \frac{z_2 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_3}\cdot\omega_2 .$$

Обозначив передаточные отношения как i_1 и i_2 получим:

$$i_1 \cdot \omega_в = \omega_1 + i_2 \cdot \omega_2 .$$

Мощности на валах дифференциального привода определяются уравнением:

$$P_B = P_{EM1} + P_{EM2} .$$

В результате анализа режимов работы привода принимаем значения передаточных чисел равными $i_1 = 20$ и $i_1 = 1$. Основные параметры привода при различных частотах вращения вала винта приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные параметры привода при различных частотах вращения вала винта

$n_в$, мин$^{-1}$	$n'_в$, мин$^{-1}$	$P_в$, кВт	P_{EM1}, кВт	P_{EM2}, кВт	n_{EM2}, мин$^{-1}$
10	200	1,2	9	-7,8	-1270
20	400	8,6	33	-25	-1070
40	800	69	133	-64	-670
60	1200	232	299	-67	-270
80	1600	550	532	18	130
100	2000	1074	832	242	530
120	2400	1855	1200	655	930
140	2800	2950	1630	1320	1330
160	3200	4400	2150	2300	1730

По полученным расчетам определены характеристики привода, представленные на рис. 2.

Как следует из приведенных расчетов, электрическая машина ЕМ2 должна работать в режиме генератора в диапазоне частот вращения винта от 0 до 78 мин$^{-1}$ и в режиме двигателя при частотах вращения винта от 78 до 160 мин$^{-1}$.

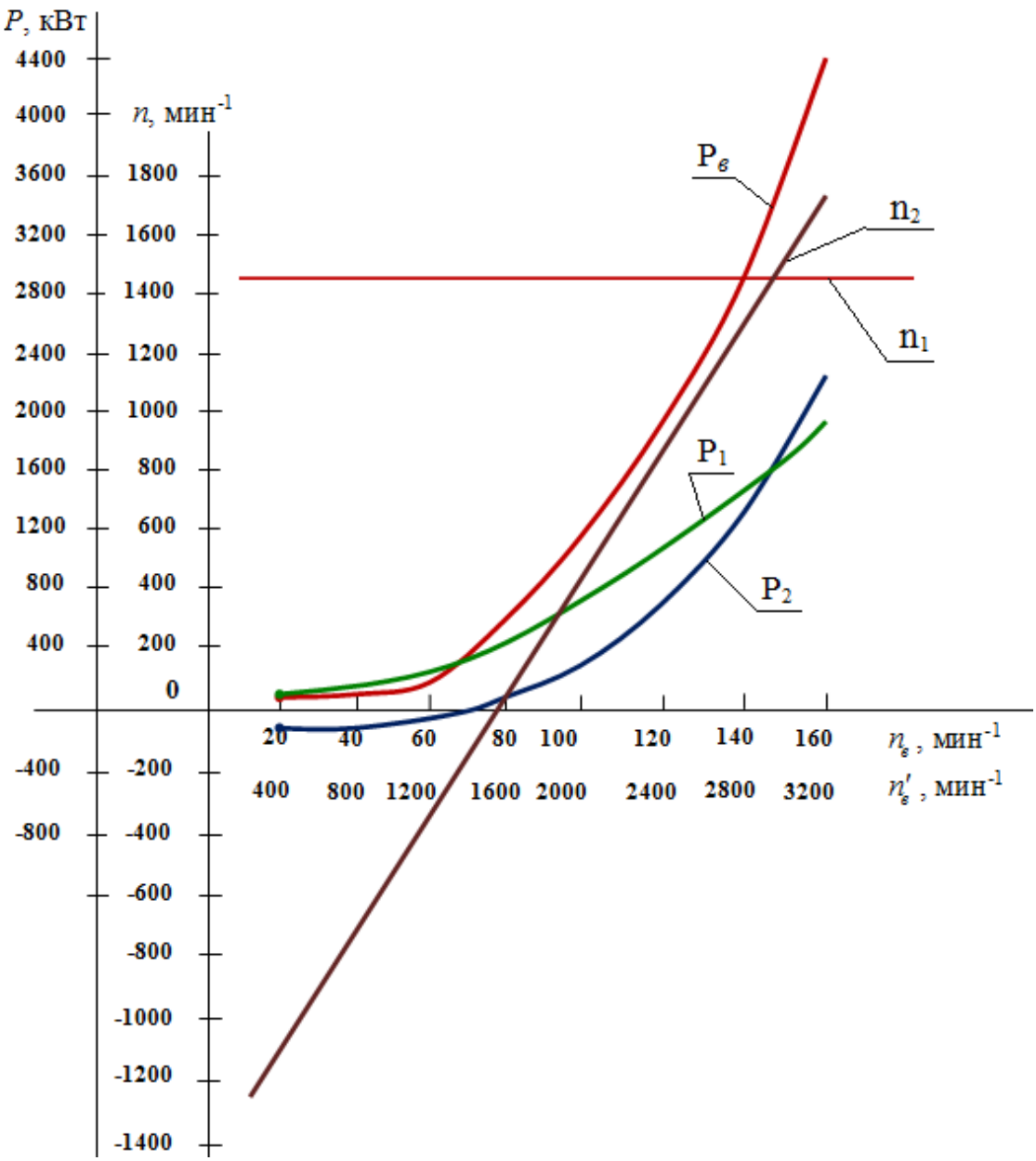


Рисунок. 2. Характеристики привода

Вывод. Проведенный анализ дифференциального привода гребных винтов показывает, что по сравнению с другими типами приводов он обладает повышенной надежностью в работе, не требует сложных в работе и производстве полупроводниковых преобразователей частоты. Следовательно, такие типы приводов целесообразно использовать для привода винтов на судах с гребными электрическими установками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фрейдзон И.Р. Судовые автоматизированные электроприводы и системы. – Л. : Судостроение, 1988. – 472 с.

2. Размадзе Ш.М. Преобразовательные схемы и системы. – М.: Высшая школа, 1967. – 527 с.

3. Пахомов Ю.А. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания. – М. : ТрансЛит, 2007. – 528 с.

4. Чиженко И.М. Основы промышленной электроники / И.М. Чиженко, В.С. Руденко, В.И. Сенько. – М. : Высш. школа, 1974. – 430 с.

5. Руденко В.С. Основы промышленной электроники / В.С. Руденко, В.И. Сенько, В.В. Трифонюк. – К. : Вища школа, 1985. – 400 с.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ СИСТЕМ З ОРГАНІЧНИМ ТЕПЛОНОСІЄМ

Дулдієр О.П., Чепаліс І.В., Баденюк Д.А.
Одеська державна морська академія (Україна)

Розвиток суднобудування супроводжується постійним впровадженням нових технологій, які, з однієї сторони, спрощують експлуатацію суднових технічних засобів, а з іншої, вимагають більш жорстких стандартів до систем контролю цих технологій.

Однією з таких технологій є використання органічного теплоносію в системі підігріву (рис. 1) основними перевагами якої є:

- значно менший тиск в системі, що позначається її на вартості і спрощує експлуатацію;
- теплова інерційність зміни температури органічного теплоносію в діапазоні роботи 115…410 ºС, що має виняткове значення при аварійних зупинках;
- можливість одночасного забезпечення роботи з різними температурами;
- повна ізольованість системи, що виключає непродуктивні витрати;
- уповільненість корозії трубопроводів, що зменшує експлуатаційні витрати.

Як відомо, основними елементами системи є допоміжний і утилізаційний котли, в яких органічний носій нагрівається до температури 300 °С.

Система управління забезпечує необхідну температуру в діапазоні навантажень від 0 до 100 %, аварійний захист та паралельну роботу ДК і УК за допомогою датчиків, які встановлюються на вході і виході котлів, а також на трубопроводах, по яких підводиться тепло до споживачів.

Особливістю експлуатації таких систем є виникнення прихованих коливань витрати, які пов’язані з трьома змінними складовими:

- стохастичним коливанням температури;
- періодичними коливаннями тиску;
- турбулентними пульсаціями потоку.

Наявність таких коливань значно впливає на параметри органічного теплоносія навіть в одному трубопроводі.

З вище перерахованих найменш дослідженою є третя складова, яка визначається режимом та структурою турбулентного потоку. Турбулентні пульсації пов’язані з формуванням в турбулентному потоці теплоносія вихорів різного масштабу. Цей процес має випадковий характер і в конкретному розрізі витрата буде змінюватися випадково відносно свого середнього значення. Практичне значення в цьому випадку набуває амплітуда турбулентних пульсацій витрати і час їх виникнення, які можна оцінити середньостатистичними характеристиками. Оцінка вказаних параметрів турбулентних пульсацій корисна з точки зору визначення їх впливу на забезпечення стабільності температури у вказаній системі.

Теоретичний аналіз вказаних факторів неможливий, якщо невідома передатна функція системи, яка пов’язує коливання швидкості теплообміну з параметрів турбулентних пульсацій в потоці. Рішення таких задач викликає значні математичні ускладнення. Тому розробка методики визначення цих функцій має пріоритетне значення.

Крім того, система управління є локальною, в якій функції перетворення в елементів дискретні. В час між моментами квантування такі елементи системи поводяться як розімкнені, що додатково приводить до прихованих коливань.

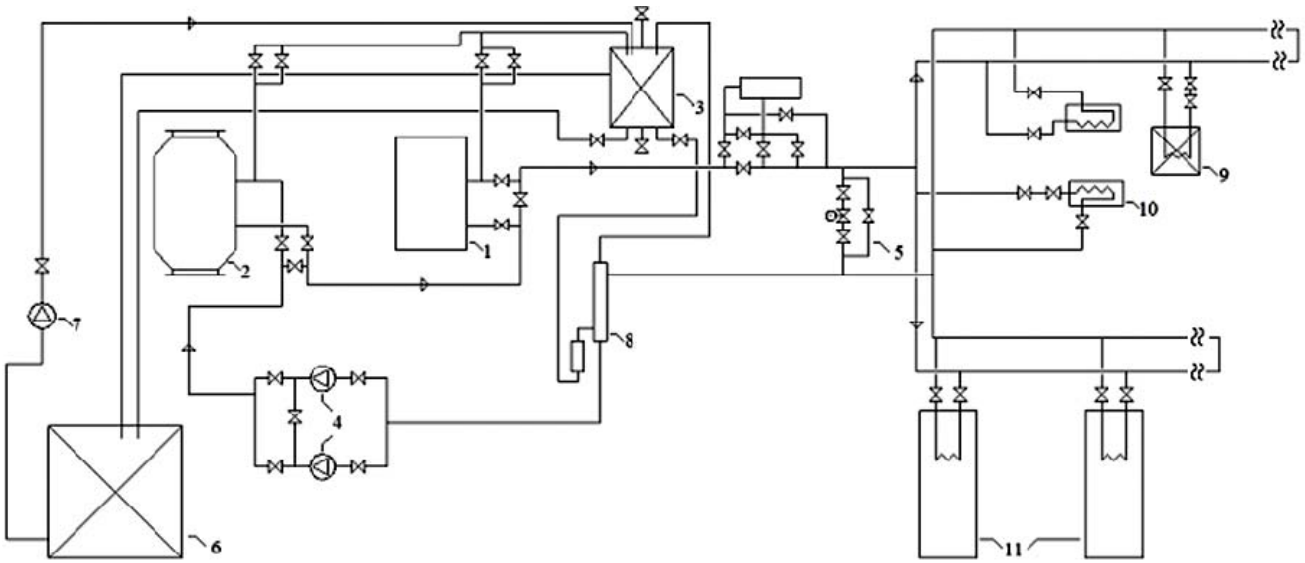


Рисунок 1. Система на органічному теплоносію: 1, 2 – допоміжний та утилізаційний котли; 3 – цистерна розширення; 4 – циркуляційні насоси; 5 – контроль потоку; 6 – масляний танк; 7 – насос живлення; 8 – деаераційна труба; 9, 10, 11 – паливні і масляні споживачі.

Для вирішення вказаної задачі була розроблена модель (рис. 2) системи підігріву органічного теплоносія, яка дозволяє за допомогою додаткових елементів, що генерують вищеперелічені складові, досліджувати їх вплив на роботу системи.

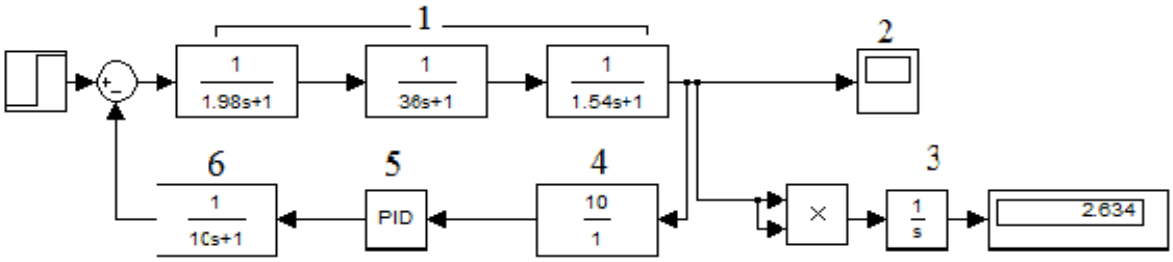


Рисунок 2. Модель котла: 1 – передатна функція; 2 – регістратор; 3 – індикатор статистичних показників процесу; 4 – вимірювальний пристрій; 5 – контролер; 6 – виконавчий механізм

ВИКОРИСТАННЯ ВІБРОМЕТРІЇ В ЗАДАЧАХ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНИХ ГТД

[1]Єнчев С.В., [2]Олалі М.О., [2]Олалі Н.В.
[1]Національний авіаційний університет (Україна)
[2]Найджа Дельта Університет (Нігерія)

ГТД випромінює шум в широкому діапазоні частот та довжин хвиль, причому області низьких частот відповідає довжина хвилі близько 30 см, а області високих частот – не більше 2,5 см. Типовий спектр шуму ГТД має частотний діапазон до 10…15 кГц, він в основному є суцільним з множиною дискретних складових.

Широкосмуговий шум генерується турбулентністю потоку поблизу поверхонь обтікання лопаток компресора, зривом кінцевих вихорів при обтіканні лопаток, випадковою неоднорідністю потоку на вході робочого колеса, взаємодією обертового потоку з ротором та статором, процесом горіння. Наприклад, шум камери згорання є широкосмуговим з максимальним рівнем інтенсивності в діапазоні частот 250…500 Гц, який може досягати значень 130…140 дБ.

Шум, який характеризується дискретними складовими спектра, зумовлений вимушеними та резонансними коливаннями деталей двигуна. Найбільш інтенсивними є складові на частотах послідовності (слідкування) лопаток робочих коліс або ж лопотів гвинта, а також на їх гармоніках. Різне навантаження на лопатки, що пов’язане зі зміною радіальних зазорів на периферії чи кутів установки лопаток, різний крок решітки, неоднакова форма лопатки та ін. призводять до генерації шуму на гармоніках частоти обертання ротора. Дискретні складові на частоті, не кратній частоті обертання, зумовлені обертовою нерівномірністю у вхідному каналі та механічними коливаннями лопаток. Окрім відзначеного, компресор генерує тональний шум на частотах, що кратні частоті обертання ротора. Цей шум в частотному поданні являє собою субгармоніки частоти слідкування лопаток ротора і є комбінаційним шумом.

Інтенсивність дискретних складових залежить від навантаження та від умов обтікання деталей газоповітряним потоком. Так, для декількох перших ступенів при переміщенні вздовж осі компресора інтенсивність дискретних складових шуму знижується в геометричній прогресії приблизно на 3…4 дБ на ступінь за однакового відношення робочих та направляючих лопаток. Тобто можна вважати, що вихідна звукова енергія другого ступеню складає половину енергії першого ступеню, а третього – чверть від енергії першого і т.д. Отже, внесок наступних ступенів компресора буде малим.

Акустичний шум двигуна розповсюджується безпосередньо в повітряний простір в передньому секторі на вході в двигун, а також в задньому секторі – за реактивним соплом. Розповсюдження звуку через конструкцію пов’язано з частковим відбиттям та поглиненням звукових хвиль. Найближча до джерела випромінювання зона, де акустичне поле залежить від характеристик випромінювання, є ближнім звуковим полем, в якому напрям коливань частинок середовища може не співпадати з напрямом розповсюдження звукової хвилі. Акустичне дальнє поле – це звукове поле в зоні, яка віддалена від джерела на відстань, набагато більшу довжини хвилі, а напрям розповсюдження частинок середовища співпадає з напрямом розповсюдження звуку.

Шум, який генерується джерелами механічного походження, зазвичай значно слабкіший аеродинамічного шуму та має свій прояв у ближньому звуковому полі, тобто поблизу джерела збудження. Зменшення частоти обертання ротора робочого колеса призводить до зниження загального рівня випромінюваної вперед та назад звукової енергії, а обертання колеса в турбулентному потоці (для другого та третього ступенів компресора) – до підвищення інтенсивності шуму більше, ніж на 10 дБ.

За наведеними у вказаних вище літературних джерелах даними, можна відзначити, що для типового бездефектного ГТД на всій множині розрахункових режимів та умов

експлуатації інтенсивність акустичний шуму знаходиться в діапазоні від 80…90 дБ (для широкосмугового шуму) до 130…140 дБ (для окремих дискретних складових).

Приблизне розміщення складових загального спектру шуму двигуна показує, що дискретні складові тонального шуму компресора знаходяться в діапазоні 1200…2000 Гц, а значна частина дискретних складових шуму турбіни – в діапазоні 3500…10000 Гц.

Як і вібрації, акустичний шум ГТД в процесі експлуатації має механічне та аеродинамічне походження, причому останній є більш інтенсивним. Основними джерелами шуму є гвинт, вентилятор, компресор, турбіна, горіння в камері згорання, реактивний струмінь, а також агрегати, приводи, обертові й коливальні елементи двигуна.

Вібраційна та віброакустична діагностика – це напрями в технічній діагностиці, що використовують у якості діагностичної інформації різні коливальні процеси: механічні коливання, змінні (динамічні) деформації, акустичні коливання в твердих, рідких та газових середовищах тощо. Дані методи мають низку характерних особливостей, які в основному пов’язані з характером сигналів, що використовуються.

Одними з найбільш теоретично досліджених та поширених на практиці методів вібраційної та віброакустичної діагностики елементів конструкцій є низькочастотні (0…25 кГц) методи вільних та вимушених коливань, що полягають в збудженні вільно згасаючих чи резонансних вимушених коливань об’єкту діагностики та подальшому аналізі їх параметрів і характеристик. Для діагностики використовуються інтегральні та локальні варіанти методів, за якими аналізуються коливання ГТД як єдиного цілого чи окремої його частини.

Експлуатація ГТД супроводжується вимушеними та резонансними коливаннями його окремих агрегатів, вузлів та деталей. Саме тому більшість несправностей, які виникають в двигунах при їх експлуатації, або безпосередньо викликаються коливаннями, або ж знаходять в них своє відображення.

Загалом застосування до ГТД методів вібраційної та віброакустичної діагностики забезпечує вирішення наступних груп задач:

- на етапі експлуатації, в процесі стендових випробувань та в процесі доводки двигуна забезпечується оцінка технічного стану двигуна та його елементів, а також виділення несправностей на початку їх розвитку;
- на всіх етапах виробництва та експлуатації проводиться оцінка вібраційного стану двигуна та його елементів (оцінка сукупності параметрів, що характеризують вібрацію двигуна і його окремих агрегатів, вузлів та деталей на визначеній множині режимів та умов експлуатації) для попередження несправностей, що викликаються коливаннями.

У останньому випадку забезпечується оцінка та прогнозування динамічного навантаження конструкції, визначення і оцінка небезпечних дій на елементи конструкції та їх небезпечних коливань, оцінка факторів, що впливають на коливання, оцінка й прогнозування стійкості елементів конструкції двигуна до збуджуваних коливань, розпізнавання вібраційних процесів та ідентифікація двигуна як динамічної системи і т.д.

Висока ефективність даних методів діагностики підтверджена їх широким застосуванням для визначення неврівноваженості обертових деталей, дефектів опор роторів, зубчатих передач, насосів, пошкоджень та відривів лопаток робочих коліс, зносу елементів конструкцій, підвищених пульсацій тиску в газоповітряному тракті, вібраційного горіння та ін. Причому, в умовах експлуатації один тільки контроль роторної вібрації забезпечує ефективність визначення несправностей, яка приблизно в 7 разів більша порівняно з методами, що базуються на контролі параметрів систем двигуна та фізико-механічних параметрів.

Діагностика вібрації авіаційних ГТД має кілька різних напрямів, що розвиваються різними темпами. Частина з цих напрямів використовує результати аналізу вібрації вузлів для визначення дефектів ГТД. Одним з таких напрямів є акустична дефектоскопія, що використовує джерела коливальних сил ультразвукового діапазону частот і аналізує

особливості поширення і поглинання вібраційних хвиль у металевих конструкціях найпростішої форми.

Другим напрямом є модальний аналіз коливань обладнання і конструкцій на різних, переважно резонансних, частотах, що дозволяє визначити форму і швидкість загасання коливань.

Більшість сучасних методів вібраційної діагностики базується на аналізі вібрації ГТД. Ці методи складають основу функціональної (робочої) діагностики, незважаючи на те, що режими роботи устаткування можуть бути самими різними – від сталих (номінальних або спеціальних) до перехідних, в тому числі пускових, імпульсних тощо. У функціональній діагностиці вібрації двигунів використовується інформація, що міститься в характеристиках коливальних сил і властивостях коливальних систем. І оскільки до початку аналізу вібрації обладнання, як правило, немає достатньо точної інформації ні про коливальні сили, ні про коливальні системи, у функціональній діагностиці максимальний результат дають самі складні методи аналізу вібрації, що є функцією параметрів коливальних сил і властивостей коливальної системи.

Дослідження вібрації машин і обладнання різного призначення показують, що найбільш складну структуру мають коливальні сили, при опису яких, на відміну від коливальної системи, не можна обмежуватися тільки лінійними моделями. Більш того, аналіз нелінійних процесів формування коливальних сил дає максимальну діагностичну інформацію про стан вузлів – джерел таких сил. Саме з цієї причини часто доводиться розробляти і застосовувати вузько спеціалізовані методи і алгоритми аналізу сигналів вібрації працюючого обладнання, що дозволяють оптимізувати задачу пошуку конкретних видів дефектів у конкретних типах обладнання.

Вібрація, що вимірюється в контрольних точках обладнання, є результатом дії коливальних сил у різних вузлах обладнання на механічну коливальну систему з різними передавальними характеристиками від кожного з джерел коливальних сил до кожної точки контролю вібрації. У найбільш загальному вигляді коливальні сили описуються сумою періодичних, випадкових і ударних складових, а передавальні характеристики – амплітудно-частотними і фазочастотними компонентами. Максимальний обсяг діагностичної інформації, що міститься в структурі коливальних сил, можна отримати, лише розділивши сигнал на складові (періодичні, випадкові і ударні) і аналізуючи кожну з них окремо, з урахуванням передавальних характеристик коливальної системи.

Так, в машинах роторного типу серед коливальних сил на низьких частотах практично відсутні ударні складові, вельми малий внесок дають випадкові складові, а передавальні характеристики мають лише невелике число резонансів. Тому за низькочастотною вібрацією (зазвичай до частот порядку 1000 Гц) машин роторного типу можна досить точно визначити характеристики, коливальні сили і коливальні системи, а основним способом отримання діагностичної інформації стає спектральний аналіз вібрації, вимірюваної в різних точках і напрямах. Спектральний аналіз низькочастотної вібрації машин і обладнання є одним з основних напрямів функціональної діагностики, що дозволяють виявляти до половини можливих дефектів машин роторного типу задовго до виникнення аварійної ситуації.

Інші напрями функціональної вібраційної діагностики пов'язані з аналізом високочастотної вібрації вузлів – джерел коливальних сил у різних видах обладнання отримали назву методу ударних імпульсів (SPM–метод). Початок цим методам дали шведські фахівці, що запропонували спосіб аналізу ультразвукової вібрації підшипників кочення, що збуджують мікроудари при розривах масляної плівки. Саме в цьому діапазоні частот вібрація дефектних підшипників збуджується тільки ударними імпульсами, а коливальну систему з практично достатньою точністю можна розглядати як суцільне середовище з обмеженим коефіцієнтом втрат. Аналогічні подання використовуються і в методі акустичної емісії, коли джерелами ударних імпульсів стають процеси формування мікротріщин в статично навантажених конструкціях. SPM-метод широко

використовується для контролю стану підшипників кочення і систем імпульсної подачі палива в двигунах внутрішнього згоряння, а метод акустичної емісії – для діагностики судин під тиском.

Новий етап розвитку методів вібраційної діагностики вузлів устаткування за високочастотною вібрацією почалося з робіт радянських фахівців, які використовували спектральні методи для аналізу коливань потужності виділених з сигналу вібрації випадкових компонент. Як виявилося, великий обсяг діагностичної інформації міститься в процесах, які модулюють потужність випадкової вібрації, які виникають під дією сил механічного, гідродинамічного і аеродинамічного тертя.

Випадкові складові вібрації в цьому методі, технічно реалізованому таким же чином, як і відомий метод "огинаючої", виділялися за допомогою широкосмугових фільтрів, в смугу частот яких не повинні були потрапляти періодичні складові. У машинах з великою кількістю періодичних складових вібрації часто не вдається вибрати досить широку смугу частот, в яку не потрапляє жодна гармонічна складової вібрації. Саме з цієї причини метод не використовувався для діагностики таких машин до тих пір, поки не було вирішено питання поділу сигналу на періодичні та випадкові компоненти без втрат діагностичної інформації. Рішення запропонували фахівці США, що використали для цього адаптивні фільтри, які вирізняють з сигналу гармонічні складові.

Паралельно розвивалися і методи аналізу коливальних сил і вібрації обладнання на низьких частотах, де основний внесок в сили і вібрацію вносять періодичні компоненти. Зростання обсягу одержуваної діагностичної інформації забезпечувався перш за все за рахунок ускладнення моделі аналізованих періодичних коливальних сил, які при появі дефектів у багатьох випадках виявляються модульованими за амплітудою і (або) частотою. Для аналізу модульованих сигналів все ширше використовуються цифрові алгоритми та засоби демодуляції сигналів на основі перетворення Гільберта.

Найбільша кількість невирішених діагностичних завдань визначається складністю аналізу властивостей коливальних сил при середньочастотній вібрації, де порівнянний за величиною внесок дають періодичні, випадкові і ударні сили, а коливальна система має велику кількість резонансів досить високої добротності. Особливо це відноситься до поршневих машин, в яких сили ударного походження максимальні. Труднощі аналізу середньочастотної вібрації обмежують і можливості діагностики компактних машин великої питомої потужності, наприклад авіаційних двигунів, в яких через недоступність багатьох вузлів і, перш за все, підшипників, для прямого вимірювання високочастотної вібрації, неможливо отримати діагностичну інформацію про початок розвитку багатьох видів дефектів.

Великі перспективи у вирішенні задач кількісного аналізу складних сигналів вібрації, що містять імпульсні компоненти, може дати розвиток метод вейвлет-аналізу сигналів. І, нарешті, прогрес вібраційної діагностики в істотному ступені залежить від вибору всієї сукупності методів і засобів аналізу сигналів, використовуваних для постановки діагнозу у кожного виду машин і обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова. – СПб.: СПбГМТУ, 2004. – 156 с.

2. Нихамкин М.А. Вибрационные процессы в газотурбинных двигателях / М.А. Нихамкин. – Пермь: ПНИПУ, 2011. – 118 с.

3. Бурау Н.І. Методи цифрової обробки сигналів для вібраційної діагностики авіаційних двигунів: моногорафія / Н.І. Бурау, Л.Л. Яцко, О.М. Павловський, Ю.В. Сопілка. – К:НАУ, 2012. – 152 с.

4. Енчев С.В., Товкач С.С. Вейвлет-анализ параметров систем автоматического управления авиационных двигателей / С.В. Енчев, С.С. Товкач // Научный вестник МГТУ ГА. — Москва, 2014. – №204. – С.90-96.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НОЖІВ РІЗАЛЬНОГО АПАРАТУ

Самарін О.Є.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Експлуатаційна надійність збиральних сільськогосподарських машин багато у чому залежить від ресурсу їх різальних апаратів, ножі яких зазнають інтенсивного абразивного зношування. При цьому змінюється геометрія та форма різальної частини ножа, що приводить до порушення агротехнічних вимог до якості зрізання стебел, збільшенню втрат від недобору маси, підвищенню енерговитрат при зрізанні стебел [1].

Збільшення періоду ефективної експлуатації різальних елементів має слугувати підвищенню показників надійності збиральної машини.

Основними недоліками відомих способів збільшення ресурсу різальних апаратів є застосування дорогих зносостійких матеріалів, трудомісткість нанесення зносостійких матеріалів на різальні кромки ножів, збільшення маси апарату.

Метою дослідження є перевірка зносостійкості ножів різального апарату в умовах абразивного впливу часток ґрунту.

Об'єктами дослідження є ножі різального апарату сільськогосподарської машини, що відрізняються геометричною формою та мають різне направлення волокон металу.

Дослідження проводились в лабораторії конструкторського бюро на спеціальному стенді УІІ-2 для випробування ножів, що показаний на рис. 1 [2].

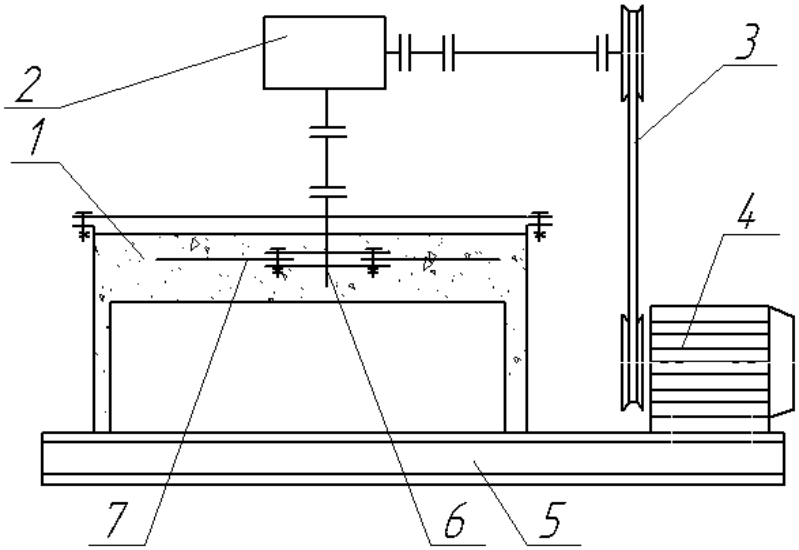


Рисунок 1. Стенд для випробування ножів:
1 – ємкість з піском; 2 – конічний редуктор; 3 – ремінна передача;
4 – електродвигун; 5 – рама; 6 – ротор; 7 - ніж

Стенд імітує реальні умови роботи ножів у середовищі підвищеної запиленості та абразивного впливу часток ґрунту.

Він представляє собою ємкість 1, яка наповнена піском. В ємкості 1 розташовано ротор 6, на якому шарнірно закріплено ножі 7. Ножі встановлено діаметрально з метою врівноваження дії відцентрових сил, що виникають при обертанні ротора 6, а також для збільшення кількості ножів, що працюють в однакових умовах. Привод ротора виконується через конічний редуктор 2, який передає крутний момент від електродвигуна 4 через ремінну передачу 3. Зміна шківів у передачі дозволяє змінювати частоту обертання ротора 6, що розширює можливості стенда.

Перший експеримент проводився з ножами, що використовуються в роторних різальних апаратах збиральних машин і мають найбільш розповсюджену форму.

З цією метою було відібрано ножі, що мають Г-подібну (рис. 2, *а*) та серповидну (рис. 2, *б*) форму. Ніж серповидної форми має також зрізаний кут 10□10 мм.

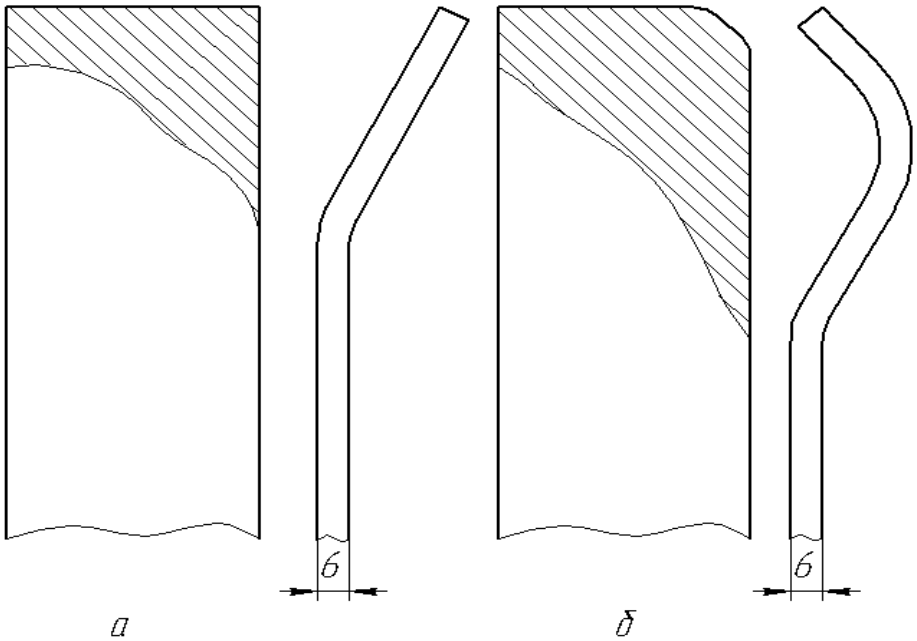


Рисунок 2. Форми ножів: *а* – Г-подібна; *б* – серповидну

При цьому ножі мають однакову товщину та ширину і виготовлені зі сталі 65Г. Частота обертання ротора з ножами відповідає частоті обертання ножів на машині.

На рис. 2, *а* та рис. 2, *б* заштрихована зона показує вироблену частину ножів. Як видно площа виробленої частини у серповидного ножа більша, ніж у Г-подібного.

Результати випробування ножів на зносостійкість наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Результати випробування ножів на зносостійкість

Показники	Номера ножів			
	1	2	3	4
Твердість в од. HRC	53…54	51…55	51…56	51…55
Конфігурація ножів	рис. 2, *а*		рис. 2, *б*	
Початкова маса ножів, г	458		462	
Час випробування, год.	8,5			
Максимальний радіус зношення верхньої точки, мм	265			
Частота обертання ротора стенда, хв$^{-1}$	2100			
Маса ножа після випробування, кг	390			
Зношення ножа, г	64	61	72	
Питоме зношування ножа, г/год	7,52	7,17	8,4	8,4

Випробування показали, що середнє зношування ножів №1а в конкретних умовах складає 7,3 г/год, а зношування ножів №1б складає 8,4 г/год, що пояснюється більшим фронтальним спротивом останніх.

Метою наступного дослідження є виявлення впливу направлення волокон металу на зношування ножів [3]. Випробування також проводились на спеціальному стенді, показаному на рис. 1

З цією метою було відібрано плоскі ножі (рис. 3), які були виготовлені зі сталі 65Г з різним направленням волокон металу - уздовж, поперек та під кутом 45° до прокольної осі ножа.

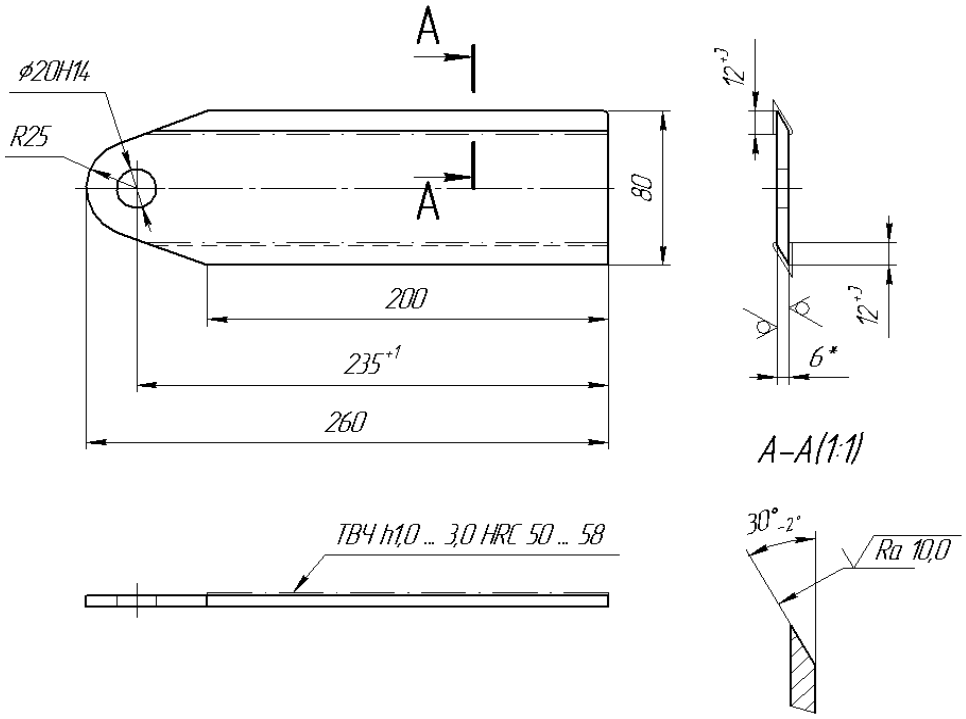


Рисунок 3. Плоский ніж

Результати випробувань наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Результати випробування плоских ножів

Термічна обробка		Початкова маса ножів, г	Кінцева маса ножів, г	Зношування ножів	Час випробування, год	Направлення волокон металу
ТВЧ	ТВЧ-ТП					
1	5	445…455	432…440	13…15	4	Вздовж осі ножа
2	4	445…445	400…402	43…45	43	Поперек осі ножа
3	6	450…455	413…420	35…37	11	Під кутом 45^0 до осі ножа

Пояснення: ТВЧ – токи високої частоти; ТП – термічне покращення

Аналіз результатів випробування показав, що питоме зношування ножів знаходиться у межах 3,4…3,5 г/год.

Характер зношування ножів постійний та наближений до зношування ножів реальної машини.

На шліфованих поверхнях спостерігаються дефекти металу та різні сторонні включення.

Експеримент показав, що у даному випадку термообробка та направлення волокон металу не впливають на зносостійкість ножів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Крупин А.Е. Повышение износостойкости режущих элементов сельскохозяйственных уборочных машин // Вестник НГИЭИ. – 2012. – № 10. – С.42-47.

2. Протокол испытания ножей на износ. Лаборатория испытаний ГСКБ ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод». 2012. – 1 с.

3. Протокол испытания ножей КПР 00.00.01 на износ. Лаборатория испытаний ГСКБ ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод». 2013. – 1 с.

Секція 2

ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ТРАНСПОРТІ, НЕТРАДИЦІЙНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ

КОНТАКТНЫЙ НАГРЕВ ВОДЫ УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ В ГАЗОВЫХ КОТЛАХ

Акимов А.В.
Херсонськая государственная морская академия (Украина)

В уходящих газах котлов, сжигающих природный газ, содержится около 15 % водяных паров, скрытая теплота парообразования которых составляет до 15 % теплоты сгорания газа. На эту величину низшая теплота сгорания $Q_н^р$ природного газа меньше высшей теплоты сгорания $Q_в^р$. Таким образом, КПД котла $\eta^к_{бр} \approx 90$ %, рассчитанный по $Q_н^р$ и фактически соответствует $\eta^к_{бр} \approx 80$ %, рассчитанному по $Q_в^р$. В настоящее время величину $\eta^к_{бр}$ определяют по отношению к низшей теплоте сгорания топлива $Q_н^р$. Такая методика расчета теплового баланса котлов не учитывает скрытой теплоты водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания любого топлива, в том числе и природного газа. Поэтому она дает завышенные значения коэффициента использования топлива (КИТ) и тем самым дезориентирует в отношении истинного уровня топливоиспользования.

Так как при сжигании природного газа потери теплоты в результате механической неполноты сгорания, близостью к нулю потерь с химической неполнотой сгорания и весьма небольшой потерей теплоты в окружающую среду единственной потерей теплоты в котлах, о дальнейшем снижении которой, в принципе, может идти речь, является лишь потеря с уходящими газами, которая составляет по отношению к низшей теплоте сгорания газа 5…6 %, а при составлении баланса по высшей теплоте сгорания – 16…18 %.

На основании изложенного можно сделать выводом о том, что в котлах, работающих на природном газе, единственным путем существенного улучшения использования топлива является глубокое охлаждение продуктов сгорания до такой температуры, при которой удастся сконденсировать максимально возможную часть водяных паров, содержащихся в газах, и использовать выделяющуюся при конденсации скрытую теплоту. Кроме этого, глубокое охлаждение газов позволяет полнее использовать физическую теплоту продуктов сгорания.

В котельных установках, сжигающих газ, другого пути заметного повышения КИТ, кроме глубокого охлаждения продуктов сгорания до температуры, при которой происходит конденсация водяных паров из дымовых газов, нет. Имеются все основания считать глубокое охлаждение продуктов сгорания природного газа в энергетических топливоиспользующих установках наиболее эффективным путем значительного повышения КИТ и топливной экономии. Глубокое охлаждение продуктов сгорания позволяет применять скрытую теплоту парообразования (что резко повышает КИТ), получать конденсат из уходящих газов, использовать полученную теплоту конденсации водяных паров для подогрева конденсата системы регенерации турбины, а также для нагрева подпиточной воды и нужд тепличного хозяйства, отопления и вентиляции главного корпуса электростанции, для предварительного подогрева воздуха и решения экологических задач.

В качестве последней ступени глубокого охлаждения газов может быть применен контактный экономайзер, который обеспечивает уменьшение расхода топлива за счет снижения потерь теплоты с уходящими газами и использования скрытой теплоты водяных паров, содержащихся в уходящих газах.

В контактном газовом экономайзере вода непосредственно соприкасается с продуктами сгорания природного газа, продукты сгорания которого при полном сгорании состоят из углекислого газа, водяных паров, азота и кислорода, а при наличии химического недожога – и окиси углерода, водорода и метана. Кроме того, в продуктах сгорания имеется окись азота NO.

При контакте с водой возможно растворение в ней какой-то части газов, входящих в состав продуктов сгорания. Анализ растворимости отдельных газов показал, что хорошо растворяется в воде только углекислый газ, а все остальные газы – слабо. Согласно закону Генри, справедливому и для реальных газов, особенно при низких концентрациях растворенных газов и их малой растворимости, количество растворенного газа пропорционально его парциальному давлению над жидкостью и коэффициенту растворимости, зависящему от температуры жидкости и вида газа $C_{CO_2} = K_{CO_2} \cdot p_{CO_2}$, где C_{CO_2} – концентрация растворенной в воде углекислоты, мг/л; K_{CO_2} – коэффициент растворимости, мг/л; p_{CO_2} – парциальное давление углекислоты в продуктах сгорания, МПа.

Парциальное давление газов, равное отношению их объема к суммарному объему дымовых газов, зависит от коэффициента избытка воздуха в дымовых газах.

Данные о растворимости отдельных составляющих продуктов полного сгорания природного газа в зависимости от коэффициента избытка воздуха и температуры воды приведены на рис. 1, 2.

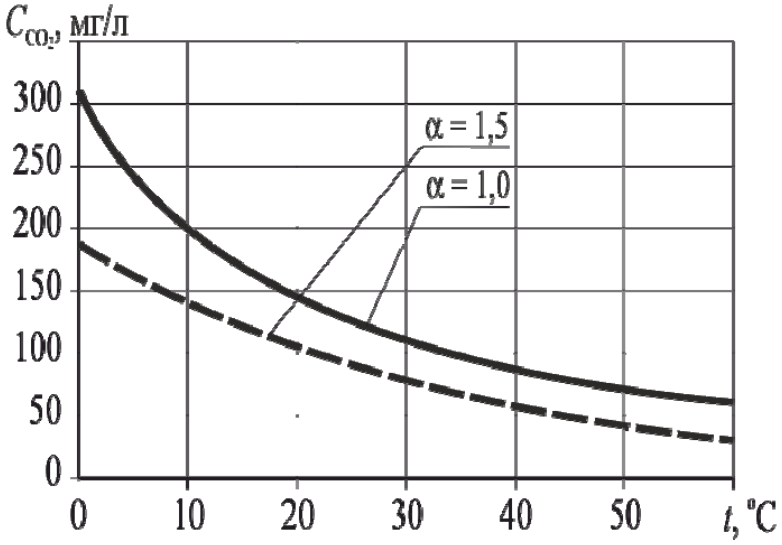


Рисунок 1. Зависимость растворимости CO_2 в воде (расчетные данные) от температуры воды и коэффициента избытка воздуха

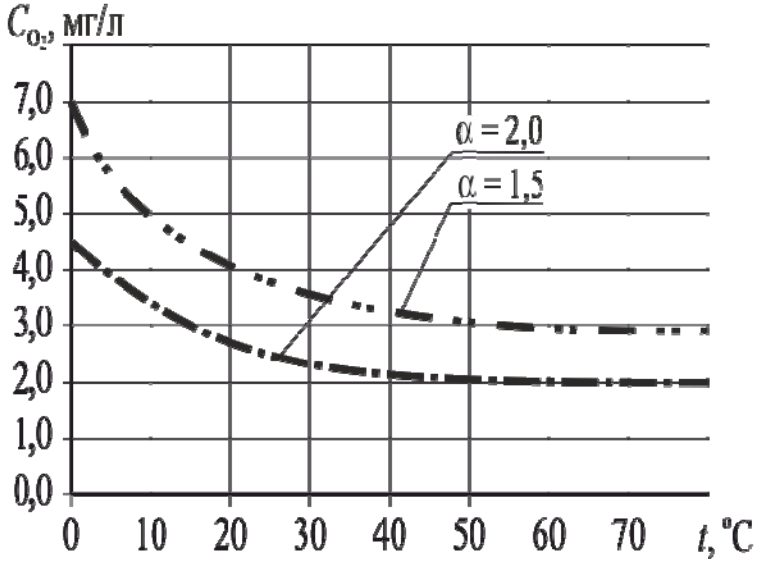


Рисунок 2. Зависимость растворимости O_2 в воде (расчетные данные) от температуры воды и коэффициента избытка воздуха

Согласно имеющимся данным, в воде, подогретой дымовыми газами в контактном экономайзере до 40 °С, и при коэффициенте избытка воздуха α, равном 1,0…1,2, могут содержаться примерно следующие концентрации растворенных газов, мг/л: $CO_2 \leq 100$; $N_2 = 11$; $O_2 = 3$; $H_2 = 0,75$; $CH_4 = 0,85$; CO = 1,0; NO = 0,05. При более высоком значении α эти значения будут ниже. Например, при температуре воды 40 °С и α = 1,5 концентрация углекислого газа составляет 70, а при α = 2,0 она равна 50 мг/л.

Из перечисленных газов продуктов сгорания водород и азот являются инертными. Метан и углекислота действуют на человека наркотически, но их токсические концентрации значительно выше тех, которые содержатся в продуктах сгорания. Кислород в продуктах сгорания не вреден, а концентрация NO незначительна. Поэтому основное внимание должно быть уделено содержанию CO в воде. Окись углерода CO является ядовитым газом. В воде она растворима очень мало и не вступает с ней с химическое взаимодействие. Отравление CO возможно только через дыхательные пути и легкие. В связи с этим есть основание полагать, что применение нагретой в контактных экономайзерах воды для технологических нужд не представляет опасности для человека. Например, расчеты показывают, что концентрация CO при использовании воды, нагретой в контактном экономайзере, в душевых кабинах, даже если предположить, что вся растворенная в воде окись углерода полностью выделится при ее прохождении через душевую сетку, будет значительно меньше предельно допустимой концентрации 0,03 мг/м^3.

Таким образом, нагретая в контактном экономайзере вода является безвредной не только при полном сгорании газа, когда в продуктах сгорания нет CO и CH_4, но даже при наличии продуктов химического недожога в количествах, встречающихся на практике.

РЕШЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ТВЕРДОЕ ТЕЛО – ЖИДКОСТЬ ДЛЯ ПРЕДПУСКОВОЙ ПОДГОТОВКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аппазов Э.С., Клюев О.И., Русанов С.А., Луняка К.В.
Херсонский национальный технический университет (Украина)

Использование теплоаккумулятора на основе фазового перехода твердое тело – жидкость (плавящихся теплоаккумулирующих материалов) позволяет кроме теплоты фазового перехода использовать теплоту нагрева твердой и жидкой фазы. Достоинством таких конструкций является высокая удельная тепловая емкость, обуславливающая компактность конструкции и постоянство их температуры разряда, обеспечивающее большую эффективность в сравнении с системами аккумулирования нагретого теплоносителя [1].

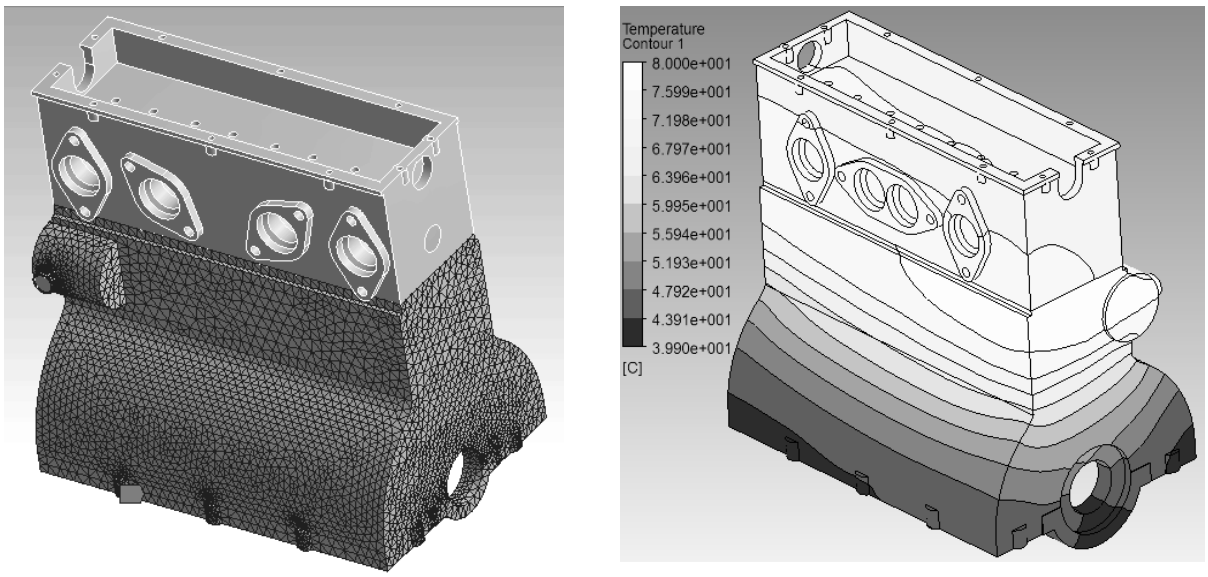
Эффективность работы определяется скоростью и равномерностью нагрева двигателя автомобиля. При проектировании или подборе тепловых аккумуляторов необходимо учитывать особенности теплообмена циркуляционной жидкости в рубашке охлаждения двигателя, наружной поверхности блока цилиндров и головки блока цилиндров с окружающей средой [2]. Излишне высокая мощность аккумулятора приводит к удорожанию конструкции, а также к увеличению габаритов, что усложняет монтаж на борту автомобиля и увеличивает продолжительность циклов заряда-разряда. Поэтому тепловая емкость аккумулятора должна быть согласована с массой, материалом двигателя и скоростью движения жидкости внутри контура.

Указанное предварительное согласование проводится путем расчетных исследований гидродинамики и теплообмена для основных типов двигателей с определением неравномерности прогрева блока цилиндров и головки блока цилиндров, необходимым временем прогрева для заданных параметров окружающей среды.

В качестве примера приведем результаты моделирования предварительного прогрева четырехцилиндрового рядного двигателя. Расчетное исследование было выполнено с помощью пакета CFX-5.7 [3]. Расчетная область с расчетной сеткой представлены на рис. 1, а. Расчетный участок состоял из 4 подобластей: зона, соответствующая блоку цилиндров (solid), зона головки блока цилиндров (solid), проточная зона в блоке цилиндров (fluid), проточная зона в головке блока цилиндров (fluid). Построение расчетной сетки выполнялась с помощью модуля CFX-Mesh. Расчетная сетка насчитывала 3 млн. элементов, сеточная независимость была проверена путем выполнения расчетов для одного из режимов на более густой и более разреженных сетках с учетом контроля за необходимыми значениями параметра y+ на стенке [3].

Расчеты течения выполнялись в стационарной постановке. На низких расходах сходимость расчетов была усложнена, что требует детального сопоставления с экспериментальными данными. В результате расчетов получена картина прогрева блоков двигателя (рис. 1, б), в соответствии с которой отмечена заметная неравномерность прогрева цилиндров в блоке с одной стороны, однако и достаточная температура, обеспечивающая комфортный пуск в области головки блока цилиндров для данного состояния окружающей среды с другой.

В результате проведенных натурных исследований с использованием двигателя ВАЗ-21083 с карбюраторной системой питания были установлены нелинейные особенности прогрева наружной поверхности блока цилиндров и головки блока цилиндров, при этом пусковой ток стартера при температуре охлаждающей жидкости 60°С и температуре окружающей среды 0°С снизился на 10%. Прогрев наружной поверхности блока цилиндров и головки блока цилиндров соотносится с расчетными данными.



а) *б*)

Рисунок1. Расчетная сетка (*а*) и картина прогрева внешних поверхностей двигателя (*б*)

Выводы: Правильный выбор и эксплуатация теплоаккумулятора позволяет значительно минимизировать негативные последствия холодного старта двигателя и повысить комфорт начала движения. Ликвидация холодного пуска позволяет экономить до 7…10 % топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косенков И.А. Требования к системам предпусковой подготовки ДВС транспортных средств./П.В.Дружинин, А.А. Коричев, И.А.Косенков // Двигателестроение, СПб, – 2009. – № 4. – С.15-19.

2. Вашуркин И.О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой. – СПб.: Наука, 2002. – 145 с.

3. CFX-5 Solver Theory, 2004, 261 p.

ОСОБЕННОСТИ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЗУТА НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Богданов В.А., [1]Богданов А.В.
[1]Каспийский институт морского и речного транспорта – Филиал Волжской государственной академии водного транспорта (Российская Федерация)

Введение. Проблема улучшения потребительских показателей тяжёлого судового топлива при его магнитно-импульсной обработке (МИО) в настоящее время является достаточно актуальной [1]. Известно, что магнитное поле взаимодействует только с электрическими зарядами. Большинство исследователей влияния МИО на топливо не указывают, на какие заряды действует магнитное поле, то есть на природу электропроводности органического топлива.

Органические топлива считают диэлектриками. Известно, что при транспортировке нефти по трубам в результате трения происходит накопление электрического заряда, что может вызвать искру и воспламенение [2]. Это обстоятельство также указывает на актуальность изучения электрического заряда в нефти и нефтепродуктах.

Целью данной работы является исследование природы электрического заряда в мазуте, образуемого при пропускании через него переменного электрического тока.

Постановка задачи. Согласно разрабатываемой нами модели, электропроводность органического топлива с малой вязкостью близка к диэлектрикам. С увеличением вязкости топлива и соответствующим увеличением различных включений (высокомолекулярных соединений, воды, серы и других добавок) при равновесных условиях электропроводность остаётся очень низкой, но при воздействии высоких электрических и магнитных полей может существенно возрастать. Возрастание неравновесной электропроводности ограничено в частотном и температурном диапазоне. От комнатных температур до примерно 100 °С электропроводность мазута уменьшается на несколько порядков. С увеличением частоты, примерно до 100 Гц электропроводность возрастает, а затем резко уменьшается до частоты, равной примерно 1 кГц.

Наблюдаемое нами температурное и частотное изменение электропроводности хорошо коррелируется с изменением вязкости и эффективности магнитно-импульсной обработки (МИО) топлива. Уменьшение вязкости с увеличением температуры в указанном диапазоне связывается с разрывом цепочек высокомолекулярных соединений в тяжёлом топливе.

Экспериментально показано, что наибольшая эффективность МИО по частоте (около 40 Гц) примерно совпадает с частотой, при которой наблюдается максимальный участок отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) на вольтамперной характеристике. Участок ОДС обусловлен донорно-акцепторной рекомбинацией (ДАР) носителей между диполями, образованными включения в тяжёлом топливе.

Положительный и отрицательный заряд в диполях можно представить как обкладки конденсатора, которые должны создавать емкостное сопротивление. В настоящей работе измерены осциллограммы тока и напряжения при различных частотах тока, подаваемого на мазут.

Результаты экспериментальных исследований. Измерения электропроводности на переменном токе проводилось на мазуте марки М-40 с помощью контейнера, описанного в работах [1,2] при комнатной температуре, На электроды погружённые в мазут подавалось синусоидальное напряжение частотой от 20 Гц до 1 МГц. Величины напряжения на электродах и проходящего через мазут тока подавались на двуканальный осциллограф. Осциллограммы тока и напряжения на мазуте при различных частотах представлены на рис.1.

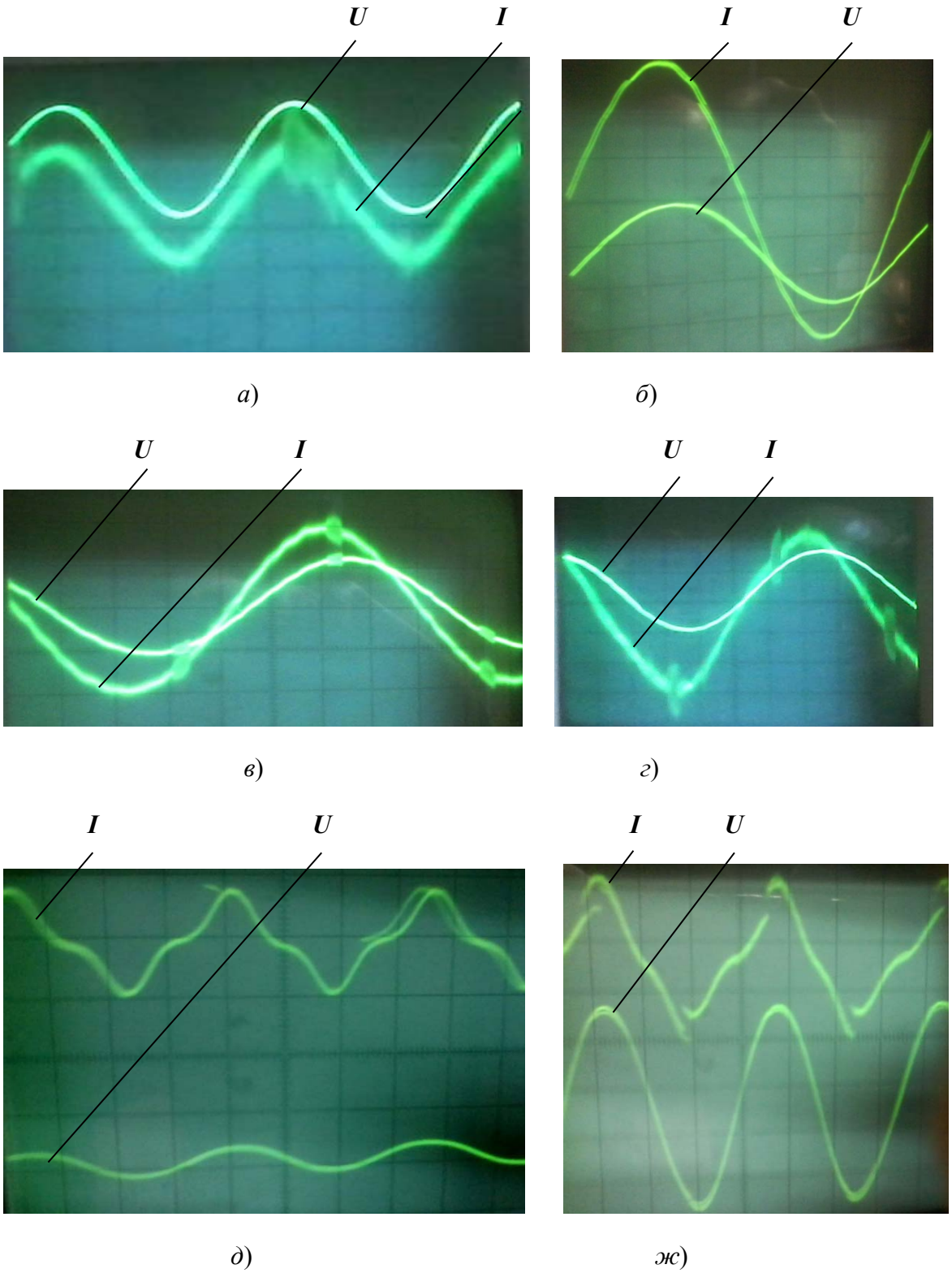


Рисунок 1. Осциллограммы тока и напряжения на мазуте при различных частотах, Гц: *а* - 30: *б* - 50; *в* - 100; *г* – 200 и напряжениях, В: *д* - 2; *ж* - 4 при частоте 50 Гц.

Величины тока (*I*) и напряжения (*U*) на осциллограммах представлены в относительных единицах. Как видно из данных рисунков, величина тока отстаёт от напряжения, а сдвиг фаз между током и напряжением с увеличением частоты возрастает, что свидетельствует о емкостном характере электропроводности мазута.

Отклонение от синусоидальной формы тока на рис.1, обусловлено нелинейностью вольтамперной характеристике при заданной частоте и напряжении на мазуте.

Образование скачков тока на рис. 1, *ж*, может свидетельствовать о пробое слоя мазута между положительным и отрицательным зарядами в диполях и образовании микроплазм, аналогично наблюдаемых в полупроводниковом синтетическом алмазе [4]. Размеры микроплазм составляют обычно единицы или десятки микрон, а температура в них может достигать сотен градусов. Исследуя микроплазмы на микроплазменном характериографе позволяют определить их геометрические размеры, напряжение пробоя и ряд других характеристик.

Исследование сдвига фаз предлагаемым методом позволяет определить емкость, концентрацию диполей параметры различных включений в мазуте независимым методом.

Выводы. Результаты проведённых исследований подтверждают модель электропроводности тяжёлых судовых топлив, обусловленную ДАР в диполях, образованных различными включениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малыгин Б.В., Ходаковский А.В., Кавун В.И. Прикладной магнетизм. Магнитная активация водных растворов и органических энергоносителей: монография. – Херсон: ХГМА, 2012. – 308 с.

2. Кириллов О.Л. Подходы к методике оценки опасности появления искр в процессе перегрузки слабопроводящих жидких нефтепродуктов. – Вестник ХНТУ. - Херсон, ХНТУ. – 2012. - № 2 (45). – С.58-60.

3. Богданов А.В., Богданов В.А. Электропроводность мазута // Научный вестник ХГМА. - Херсон, ХГМА. – 2013. - № 2 (9). – С. 83-87.

4. Богданов А.В., Викулин И.М., Богданова Т.В. Исследование микроплазменного пробоя в контакте металл – полупроводниковый алмаз. – Физика и техника полупроводников. - Изд. «Наука». Ленинградское отделение, Л-д, ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР. – 1982, Т.16, вып.6. - С. 1124-1125.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРОВ УТИЛИЗАЦИИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНАНОВОК НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

[1]Горобец В.Г., [2]Богдан Ю.А.
[1]Национальный университет биоресурсов и природоиспользования Украины (Украина)
[2]Киевская государственная академия водного транспорта
им. гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного (Украина)

Важной задачей энергосбережения является рациональное использование энергетических ресурсов не только с экономической точки зрения, но и с экологической, так как энергетические выбросы могут существенным образом влиять на состояние окружающей среды.

Одним из современных направлений по ресурсо- и энергосбережению является использование способа когенерации. Когенерационные установки (КГУ) одновременно производят электрическую и тепловую энергию и имеют высокий коэффициент полезного действия (КПД), который существенно превышает КПД установок при отдельном производстве энергий. Неотъемлемым элементом КГУ является утилизационный контур, составляющей частью которого есть теплообменное оборудование. Технико-экономические показатели КГУ играют существенную роль и улучшение этих показателей позволяет более рационально и эффективно утилизировать теплоту вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) двигателей внутреннего сгорания (ДВС), имеющих доминирующее положение в мире среди тепловых двигателей.

Актуальность исследования. Учитывая тот факт, что работа современных ДВС невозможна без тепловых потерь (согласно Второму закону термодинамики) с ВЭР, учитывая общую тенденцию по энергосбережению в мировом сообществе, необходимо разрабатывать на их базе когенерационные установки с теплоутилизационными контурами, что позволит полезно использовать бросовою теплоту ВЭР. При этом эффективность использования теплоты ВЭР напрямую зависит от совершенства теплообменного оборудования контура утилизации. Многочисленность научных работ по утилизации теплоты ВЭР и эффективности используемого теплообменного оборудования подтверждает актуальность исследований направленных на повышение эффективности КГУ на базе ДВС.

Постановка задачи. Определить основные показатели эффективности (инструментарий) для осуществления комплексного анализа и оптимизации контуров утилизации КГУ на базе ДВС.

Изложение основного материала исследования. Объектом исследования является утилизационный контур КГУ на базе ДВС. В состав утилизационного контура входят: теплообменные аппараты (ТА), насосы, арматура и трубопроводы. Основными элементами контура являются теплообменные аппараты, количество которых зависит от структурной схемы контура и поставленных задач по утилизации теплоты ВЭР. Совершенство ТА определяет энергетические, материальные и экономические затраты на их разработку, эксплуатацию, а также эффективность контура утилизации теплоты и КГУ в целом.

Эффективность ТА следует определять базируясь на параметрах, которые их характеризуют [1]: коэффициента теплопередачи, площади поверхности теплообмена, температур теплоносителей, водяных эквивалентов, потерь давления теплоносителей, их массы и габаритов, затрат при эксплуатации и изготовлении. Оптимизацию в свою очередь необходимо выполнять основываясь на следующих показателях:

1) энергетических (эффективность теплообмена, число единиц переноса теплоты, отношение водяных эквивалентов, теплогидравлической эффективности, эксергетической эффективности);

2) массогабаритных (коэффициент использования объема охлаждающего элемента, коэффициент использования массы охлаждающего элемента);

3) экономическим.

При анализе контуров утилизации предпочтительно использовать эксергетический метод, позволяющий учитывать не только количество, но и качество потоков эксергии [2]. Особенностью эксергетического метода является его универсальность, обусловленная тем, что используя понятие эксергии можно единым критерием эксергетической эффективности оценить запасы и потоки энергии всех видов, которые входят в баланс любой энергопреобразующей системы. Еще более эффективным методом оценки и оптимизации утилизационных контуров является эксергоэкономический метод, позволяющий определять эффективность энергетических и экономических показателей в их взаимосвязи [2]. В работе используя различные подходы, разработана методика для определения эффективности контуров утилизации теплоты КГУ на базе ДВС, а также проведен сравнительный анализ используемых подходов. В результате проведенных исследований проводится оптимизация таких систем.

Выводы. Разработана методика расчета и определены основные показатели эффективности для осуществления комплексного анализа и оптимизации контуров утилизации КГУ на базе ДВС.

Применение эксергоэкномического анализа повышает энергетическую эффективность и определяет пути сокращения стоимости утилизационного контура КГУ на базе ДВС, как при его разработке, так и при последующей эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кэйс В. М. Компактные теплообменники / Кэйс В. М., Лондон А. Л. – М.: Энергия, 1967. – 224 с.

2. Горобець В. Г., Драганов Б. Х. Ексергетичний аналіз ефективності енергетичних систем для комплексного виробництва електричної та теплової енергії з використанням поновлювальних джерел енергії // Відновлювальна енергетика. – 2010. - №3 (22), - С.5-12

ПРИЧИНЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ОТКАЗОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Груздев В.В., Сторожев В.П.
Одесский национальный морской университет (Украина)

Введение. Морское судно представляет собой сложное инженерное сооружение, состоящее из корпуса, главной силовой установки, вспомогательных механизмов, различных систем и устройств. Для его нормальной работы все вышеперечисленные объекты должны находиться в работоспособном состоянии, а их функционирование должно быть взаимосвязано между собой. Все это накладывает жесткие требования на процессы проектирования, эксплуатации и ремонта судов и носит комплексный характер. Кроме того, при эксплуатации судна должна быть обеспечена его безопасность плавания, сохранность человеческой жизни на море и надежная перевозка грузов.

Системы, механизмы, узлы и детали судна работают в различных эксплуатационных условиях. Их долговечность зависит от действующих нагрузок, температур, агрессивности сред, применяемых материалов, технологий, качества изготовления деталей и их сборки, длительности эксплуатации и многих других причин. Поэтому ведущие процессы, определяющие безотказность работы каждого из составляющих обширного комплекса устройств, не являются одинаковыми. Несмотря на имеющее место разнообразие, эти процессы подразделяются на относительно небольшое обобщенное количество, хорошо известное в технике [1,2]. К ним относятся процессы трения и износа, фреттинг-усталости, коррозии, разрушения от нагрузок, циклической усталости, кавитации. Понятно, что те или иные процессы могут быть ведущими или даже единственными в зависимости от условий эксплуатации деталей, узлов и устройств.

Актуальность исследования. Если в целом проанализировать работу деталей судовых технических средств, то окажется, что порядка нескольких тыс. узлов работают при различных условиях трения и сопутствующих процессах. Из-за износа и других повреждений происходит снижение работоспособности деталей, узлов и объектов в целом. При этом определяющим признаком эксплуатации различных объектов является время. Оно служит основным критерием для разработки нормативно-технических требований деталей, узлов и объектов в целом. На практике абсолютно надежных систем не существует, поэтому необходимо в процессе создания объекта предусмотреть возможность его ремонтопригодности и безотказности.

Постановка задачи. Одним из понятий, связанных с безотказностью объекта является понятие отказа. Под отказом объекта понимается событие, заключающееся в нарушении его работоспособности. Схема снижения работоспособности на примере энергетической системы судна представлена на рис. 1, из которого видно, что работоспособность имеет три зоны. В зависимости от объекта и его условий работы эти зоны могут иметь различное значение. Важным с точки зрения работоспособности объекта является обеспечение максимального значения зоны технического обслуживания. Это зона совокупности работоспособных состояний объекта. Как бы долго объект не работал, с течением времени его элементы изнашиваются, появляются и другие различные повреждения. Наступает момент отказа. Нижней границей зоны технического обслуживания является необходимость в ремонте либо восстановлении отдельных деталей и объектов в целом для придания им работоспособного состояния. Значения границы отказов неоднозначны, их устанавливают, исходя из выполнения объектом заданных функций.

В зависимости от структуры объекта, воздействующих на него нагрузок, внешней среды, преобладания процессов изнашивания и других факторов, имеют место различные варианты снижения работоспособности. Так, например, для трущихся пар с последующим увеличением зазора, имеет место замедленный в начальный период эксплуатации и

ускоренный в последующий период [3]. Для деталей, работающих при длительных знакопеременных нагрузках с последующим появлением трещин и усталостных разрушений, имеет место равномерное снижение работоспособности [4]. Ускоренный в начальный период эксплуатации и замедленный в последующий период, например, для деталей подверженных коррозионному износу [5].

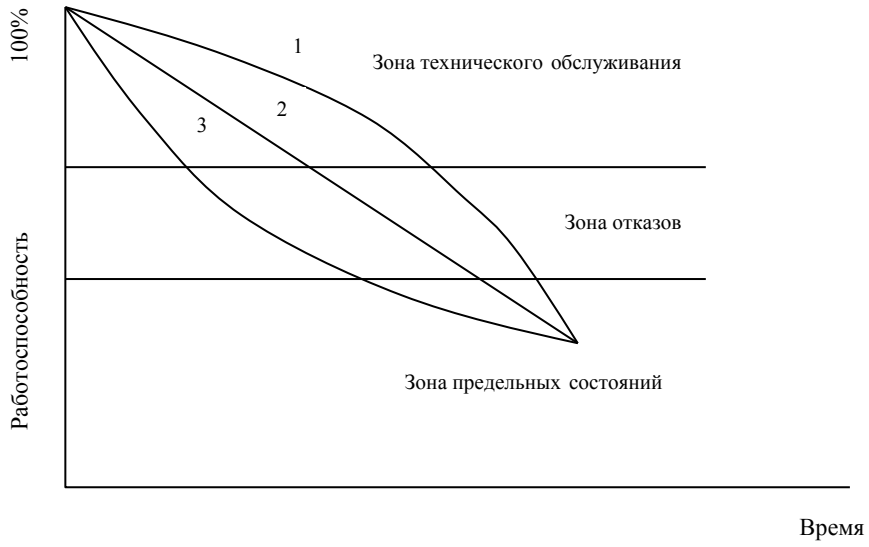


Рисунок 1. Снижение работоспособности энергетической системы судна:
1 – из-за повреждений трущихся пар; 2 – для деталей, работающих при длительных знакопеременных нагрузках; 3 – для деталей, подверженных коррозионному износу.

Одним из объектов, обеспечивающим жизнеспособность судна, является энергетическая система, в которую входит главная силовая установка и валопровод. Система состоит из отдельных объектов, узлов и деталей. Укрупненный анализ отказов, составленный с учетом наших и литературных данных, показывает (рис. 2.), что на главный двигатель и валопровод приходится 68%, на долю вспомогательных механизмов порядка 21%, а на дизель-генераторы — 11%. Однако причины отказов бывают самые различные, что достаточно полно описано в литературе [6].

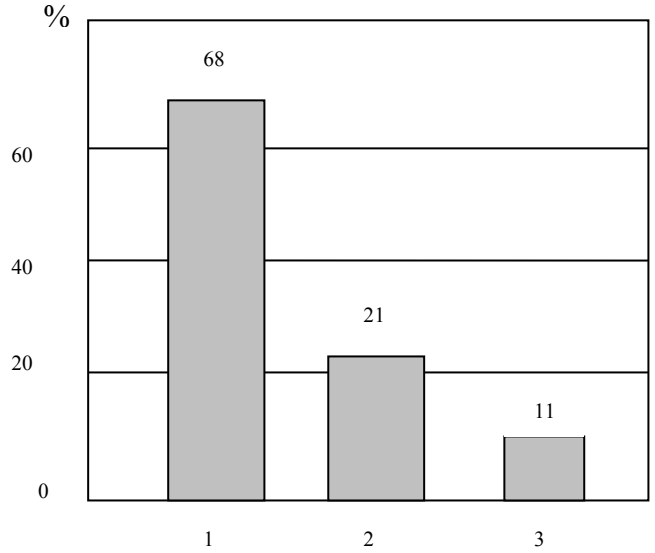


Рисунок 2. Средние величины отказов для укрупненных элементов энергетической системы: 1 – отказы главного двигателя и валопровода; 2 – отказы вспомогательных меха-низмов; 3 – отказы дизель-гене-раторов.

Результаты исследования. Приведенные ниже данные были получены путем обмеров большого числа основных деталей дизелей различных типов с последующей статистической обработкой. Это - первый этап. На втором этапе проведено исследование не отдельных деталей с присущими им закономерностями износа и законами его распределения, а системы, состоящей из ряда основных пар трения и деталей, без которых их работа невозможна, например, крышек цилиндров. Для всех однотипных деталей методика обмеров их

изношенных поверхностей была одинаковой, как и сами приспособления, применяемые на судоремонтных заводах, но с некоторым усовершенствованием систем базирования и заменой измерительных головок на более точные.

Таблица 1. Значения величин, характеризующих остановки судов, вызванных отказами элементов главного двигателя, в том числе, из-за износа их деталей (в знаменателе)

Тип двигателя	Количество (частота отказов) остановок на тысячу часов ходового времени *n*, $1/10^3$ ч.		Средняя продолжительность одной остановки t_o, ч.		Продолжительность остановок на одну тысячу часов ходового времени t_m,ч/10^3ч.		Продолжительность остановок за один год (при T =7500 ч) $t_г$, ч.	
B&W	2,3/1,6	69%	1,6/1,1	68%	4,09/2,90	70%	31/21	68%
Зульцер	1,5/1,1	73%	1,6/1,2	75%	2,76/2,00	72%	20/14	70%
MAH	1,8/1,3	72%	1,2/0,8	70%	2,49/1,71	68%	18/12	67%

Прежде всего, предстояло выяснить, насколько велика доля отказов из-за износа деталей главных двигателей по отношению к их отказам, вызывающих остановку судна. Полученные нами данные для разных типов двигателей сведены в таблицу 1. Видно, что остановки двигателей из-за износа деталей составляют порядка 70 % по отношению к суммарным причинам, принятым за 100 %. Причем, некоторый разброс до 5 % для разных двигателей не изменяет порядок величин, что дало основание более детально изучить влияние износных составляющих на формирование этих 70 %.

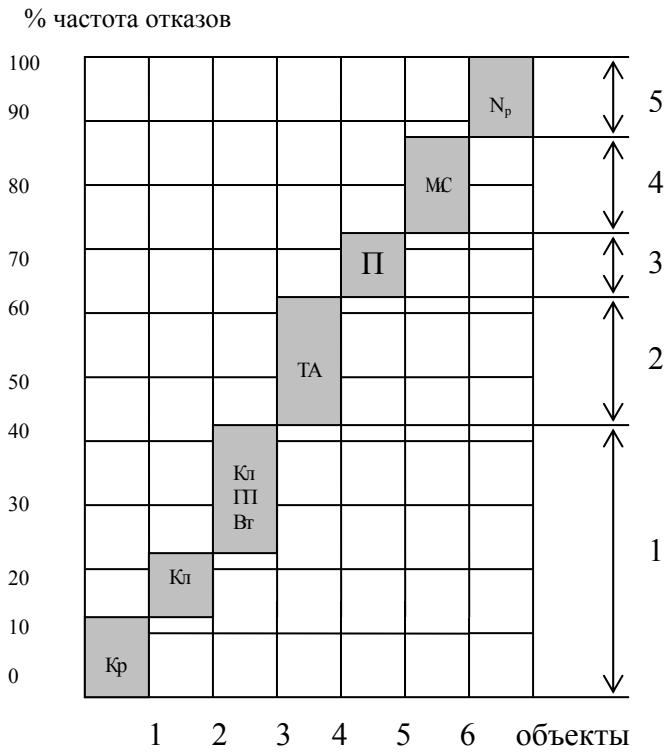


Рисунок 3. Частота появления отказов деталей, узлов, механизмов и систем, обслуживающих двигатель: 1 – цилиндро-поршневая группа (ГП – головки поршня, Вт – втулки, Кп – кольца поршня, Кр – крышки, Кл – клапаны); 2 – ТА-топливная аппаратура (форсунки, топливные насосы); 3 – подшипники (головные, мотылевые, рамовые); 4 – механизмы и системы, обслуживающие главный двигатель; 5 – N_P - прочие элементы.

Изнашиваемые детали главных судовых двигателей трех типов – B&W, Зульцер и MAH были распределены на пять групп. В первую группу входили основные детали цилиндро-поршневой группы (ЦПГ): головки поршня, втулки, поршневые кольца, крышки цилиндров, клапаны и прочие детали. Ко второй группе были отнесены подшипниковые детали: головные, мотылевые и рамовые. В третью группу включены изнашиваемые детали топливной аппаратуры, куда отнесены узлы трения топливных насосов и форсунок. Изнашиваемые детали механизмов и систем, обслуживающих главный

двигатель, включены в четвертую группу. Все прочие узлы, элементы и детали, подверженные износу, составили пятую группу. Понятно, что появление отказов в работе деталей и узлов в этих группах не является следствием одного лишь износа. Существуют и другие виды отказов, например, поломки, коррозия, образование трещин и проч.

Если рассматривать частоту отказов деталей, узлов и механизмов, обслуживающих и составляющих двигатель, то мы получим обобщенную картину, представленную на рис. 3.

Заметим, что эти данные являются усредненными по трем типам двигателей. Видно, что отказы в работе цилиндро-поршневой группы дизелей составляют почти 40 %, что, безусловно, больше, чем отказы по другим группам. Если при этом учесть, что восстановительные и ремонтные работы по деталям и узлам первой группы достаточно трудоемкие, особенно головок поршней, втулок и крышек, то станет понятным, что именно этим деталям следует уделять повышенное внимание. Несмотря, однако, на имеющие место различные причины отказов, прекращение работы деталей из-за повреждений от их износа достаточно весомо, что можно подтвердить данными, представленными на рис. 4.

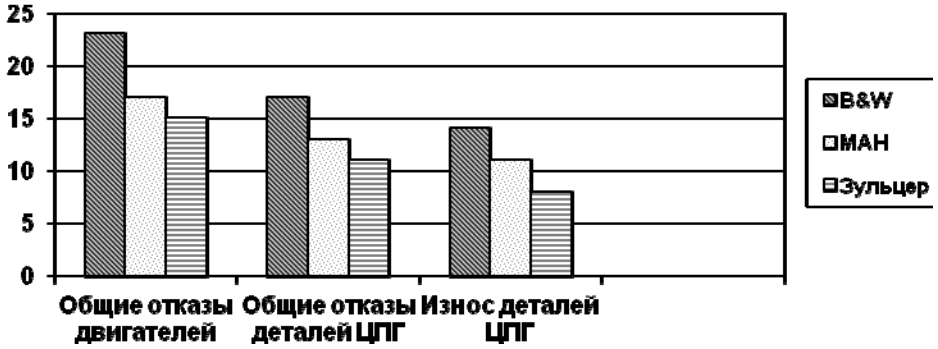


Рисунок 4. Экспериментальные результаты исследований

Выводы. Отказы деталей ЦПГ по причине их износа для рассматриваемых типов двигателей достаточно велики, но имеют различную частоту. Приведенные выше данные указывают на необходимость более детального изучения закономерностей износа деталей цилиндро-поршневой группы с развитием исследований применительно к поршням, втулкам, кольцам, крышкам и клапанам судовых малооборотных двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костецкий Б.И. и др. Надежность и долговечность машин.- К.: Техніка, 1975. – 408 с.

2. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – К.: Наукова думка, 1984.- 272 с.

3. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. Кн. 1 /Под ред. Крагельского И.В., Алисина А.А.- М.: Машиностроение, 1978. - 400 с.

4. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е., Саврина Н.М. Усталость крупных деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. - 240 с.

5. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1985. - 424 с.

6. Смирнов О.Р., Юдицкий Ф.Л. Надежность судовых энергетических установок. Л.: Судостроение, 1984. – 280 с.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ И ДОПУСТИМЫХ ОШИБОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖОСЕВЫХ РАССТОЯНИЙ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ ПРИ ИХ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Егоров О.И.
Днепропетровский национальный университет
железнодорожного транспорта им. В.Лазаряна (Украина)

Идентификация подвижных единиц заключает в себе определение различных характеристик: количество осей, количество вагонов и их осность, номера вагонов, основное удельное сопротивление движению и т.д. Степень идентификации зависит от набора данных, необходимых на данном технологическом участке или для данной системы автоматизации. Одним из возможных способов идентификации подвижных единиц, а именно идентификации их типа, заключается в определении их межосевых расстояний.

Определение межосевых расстояний подвижных единиц применяется в различных системах автоматизированного управления на сортировочных станциях. Наиболее актуально это в задачах определения типа подвижных единиц, базы вагона или отцепа, системах счета осей и т.д. При этом применяются различные методы идентификации, использующие специальные контрольные участки, включающие в себя точечные путевые датчики, рельсовые цепи, фотоэлементы и другое напольное оборудование, применяемое на железнодорожном транспорте. В данной работе рассматриваются методы, использующие контрольный участок, который состоит из трех контрольных точек (точечных путевых датчиков). Определение типа подвижной единицы в таких методах производится по вычисленным межосевым расстояниям. Погрешности, возникающие при использовании таких методов, связаны с несовпадением момента срабатывания путевого точечного датчика с моментом прохождения колеса вагона над геометрическим центром датчика. Такое несовпадение в работе принято как случайная величина, распределенная по нормальному закону.

После определения возможных значений ошибки определения межосевых расстояний, которое было выполнено с использованием метода планирования эксперимента, можно сделать вывод о качестве данной операции и, как результат, выполнить определение типа подвижной единицы. Разумеется, насколько бы не был точен метод определения межосевого расстояния, погрешность всегда будет присутствовать. На значение погрешности влияет множество факторов, например, таких как погрешность работы датчика, расстояние между датчиками, износ колесных пар, виляние колесных пар, порывы ветра и т.д. Задача состоит в сравнении допустимых и возможных значений ошибок. Данные о возможных значениях ошибок определения межосевых расстояний можно получить с использованием имитационной модели, или воспользовавшись аналитическими зависимостями, для выбранного контрольного участка, датчиков и межосевого расстояния подвижных единиц. Значения скорости и ускорения подвижных единиц можно не учитывать. Данные для определения допустимых значений ошибки определения межосевых расстояний необходимо можно взять из таблиц межосевых расстояний парка вагонов и локомотивов колеи 1520. Данные о возможных значениях ошибок характеризуются средним квадратическим отклонением с нулевым математическим ожиданием. Допустимые значения ошибок представлены в виде разницы межосевых расстояний двух подвижных единиц одинаковой осности и с наиболее близкими значениями. Для выполнения сравнения выполним преобразование допустимых значений ошибок от абсолютных значений к значениям среднего квадратического отклонения, используя для этого правило 3-х сигм. Алгоритм преобразования состоит из следующих операций:

- выбираются два наиболее близкие значения межосевого расстояния подвижных единиц разных типов. При этом отдельно будем рассматривать расстояния между осями в тележке и между внутренними осями подвижных единиц;
- определяется абсолютное значение разности данных величин и делится пополам;
- полученная разность делится на 3, согласно правилу 3-х сигм с вероятностью 0,997 принятой за техническую единицу. Полученное значение будем рассматривать как среднее квадратическое отклонение допустимого значения ошибки определения межосевого расстояния.

Рассмотрим вначале значения межосевых расстояний между внутренними осями подвижных единиц. Они составляют следующие значения: 1350, 1700, 1750, 1850, 2100 мм. Следовательно, средние квадратические отклонения должны быть равны 58,3, 8,3, 33,3 и 41,7 мм. Согласно разработанной ранее имитационной модели возможное значение среднего квадратического отклонения для данного межосевого расстояния находится в интервале 5…9 мм (для измерительного участка длиной 6…12 м и среднего квадратического отклонения работы датчика 3…7 мм). Для данных межосевых расстояний такая точность является приемлемой.

При рассмотрении межосевых расстояний между внутренними осями подвижных было отмечено, что разные типы подвижных единиц имеют одинаковые данные величины, либо разность этих величин очень мала, примерно 6…20 мм. Определить межосевое расстояние с такой точностью практически невозможно.

Результаты дальнейшего анализа представлены в виде набора графиков, которые продемонстрированы на рис. 1 и 2.

Рисунок 1. График зависимости возможных и допустимых значений ошибок определения межосевых расстояний для контрольного участка 12 м

Рисунок 2. График зависимости возможных и допустимых значений ошибок определения межосевых расстояний для контрольного участка 6 м

На обоих рисунках сплошной линией отображаются средние квадратические отклонения допустимых значений ошибок определения межосевых расстояний. Пунктирными линиями отображаются средние квадратические отклонения возможных значений ошибок. Нижняя пунктирная линия соответствует датчику со средним квадратическим отклонением, равным 3 мм, а верхняя равным 7 мм.

Таким образом, можно сделать следующее заключение: наиболее оптимальное качество идентификации подвижной единицы можно получить только при длине контрольного участка равный не менее 12 м и средне квадратическом отклонении зоны срабатывания датчика не более 3 мм. Однако в ряде случаев это не является приемлемым как для длины контрольного участка, так и для возможных характеристик датчика. Поэтому необходимо разработать соответствующую методику, которая даст положительный результат при критических значениях исходных данных.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕМПФЕРА ДАВЛЕНИЯ В ОТСЕЧНОЙ (ВСАСЫВАЮЩЕЙ) МАГИСТРАЛИ НА РАБОТУ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЕЙ

Ивановский В.Г., Сиверин В.Г.
Одесский национальный морской університет (Украина)

Исследования показали, что на процесс впрыска топлива оказывает большое влияние волновой процесс изменения давления в отсечной (всасывающей) магистрали, который снижает стабильность топливоподачи и вызывает значительную механическую напряженность отсечных (всасывающих) трубопроводов. Это, в свою очередь, вызывает неравномерность работы по цилиндрам двигателя и от цикла к циклу, неравномерность распределения нагрузки по цилиндрам и, в некоторых случаях, приводит к разрыву отсечных трубопроводов. Таким образом, возникает необходимость демпфировании колебательного процесса изменения давления в отсечной (всасывающей) магистрали.

В процессе эксперимента фиксировались следующие параметры топливоподающей аппаратуры: давления топлива в полости форсунки, в нагнетательной и отсечной полостях насоса при помощи тензодатчиков сопротивления; перемещение иглы форсунки и поршня демпфера давления отсечки при помощи индуктивных датчиков. Все параметры регистрировались на осциллографе.

Исследование показало, что установка пружинного поршневого демпфера приводит к значительному снижению интенсивности волнового процесса изменения давления в отсечной полости насоса на всех режимах работы топливной аппаратуры. Однако коэффициент демпфирования, который равен отношению максимального давления в отсечной полости насоса без установки демпфера к максимальному давлению в отсечной полости при наличии демпфера, различен и зависит от эксплуатационных и конструктивных параметров: обороты вала привода топливных насосов, давления подкачки топлива, диаметра и массы поршня демпфера, предварительного затяга и жесткости пружины демпфера.

С увеличением оборотов коэффициент демпфирования возрастает, достигает максимума и с дальнейшим увеличением оборотов снижается. С уменьшением давления подкачки топлива коэффициент демпфирования уменьшается. Увеличение диаметра поршня, уменьшение его массы, уменьшение жесткости пружины демпфера и уменьшение предварительного ее затяга приводит к увеличению коэффициента демпфирования.

Выводы.

Наличие поршневого демпфера приводит к повышенному первоначальному разрыву сплошности объема топлива как со стороны нагнетательной, так и со стороны отсечной (всасывающей) полостей топливоподающей системы. Первое объясняется уменьшением противодавления перетекания топлива из нагнетательной магистрали в отсечную полость. Второе объясняется инерционностью поршня демпфера, который продолжает двигаться с большой скоростью после снижения давления в отсечной полости до атмосферного. Однако в результате обратного хода поршня под действием пружины разрыв сплошности эффективно замыкается и к началу следующего впрыска он замыкается быстрее и более полно. Это оказывает положительное влияние на протекание процесса топливоподачи, увеличивает стабильность подачи и, в меньшей степени, искажает закон подачи топлива насосом, заданный профилем кулачковой шайбы.

Замыкание разрыва сплошности поршнем демпфера сопровождается гидравлическими ударами, которые вызывают колебания давления топлива и колебательные движения поршня, в результате которых возникают повторные разрывы сплошности.

Однако эти колебания быстро затухают и сплошность восстанавливается. Далее, поршень движется под действием пружины, в результате чего давление в отсечной полости остается больше давления подкачки топлива, что положительно сказывается на процессе наполнения надплунжерного пространства насоса топливом и тем самым улучшается стабильность работы топливной аппаратуры. Особенно положительно действие поршневого демпфера для топливных систем с повышенным разрывом сплошности и при малом давлении подкачки топлива, когда замыкание разрыва сплошности затруднено.

Наличие поршневого демпфера приводит к более быстрому замыканию и разрыву сплошности, образованного нисходящим ходом плунжера, если к началу замыкания каверны поршень демпфера не пришел в свое первоначальное положение.

Поршневой демпфер, а также демпферы других типов, должен устанавливаться непосредственно у отсечной полости насоса высокого давления. В этом случае имеет место наибольшее демпфирование давления в отсечной полости насоса перед всасывающими отверстиями, что положительно сказывается на процессе топливоподачи.

Установка одного демпфера на торце коллектора, подводящего топливо к насосам высокого давления, как показали исследования, малоэффективна и является причиной усиления неравномерности распределения нагрузки по цилиндрам двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ивановский В. Г. Исследование волновых явлений в отсечной (всасывающей) магистрали топливоподающих систем дизелей / В. Г. Ивановский // Судовые машины и механизмы – Одесса: Науч.-техн.сб. ОИИМФ. – 1967. – Вып. 1.;

2. Перник А. Д. Проблемы кавитации / А. Д. Перник – Одесса: Судостроение. – 1966.

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЛАВАННЯ ВЕЛИКОТОННАЖНИХ СУДЕН В СКЛАДНИХ НАВІГАЦІЙНИХ УМОВАХ

Кожухаренко Р.В.
Київська державна академія водного транспорту
імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного (Україна)

Основним завданням судноводія Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного (Україна) є забезпечення безпеки ефективного плавання, а також захист морського середовища. Про ефективність судноводіння в морський практиці прийнято можна стверджувати за траєкторною похибкою, її розміру та характеру змін. Під траєкторною похибкою при цьому розуміють, бокове відхилення центра мас судна від заданого маршруту, яке можливо розглянути як функцію часу.

Використовують різні способи оцінки ефективності судноводіння на даний час [1, 2]. Всі ці способи вирішують завдання по визначенню необхідного обсягу вільного простору навколо судна відносно його центру мас та розглядають тільки його бокове відхилення від траєкторії руху. Цього в край недостатньо для сучасних великотоннажних суден. Особливо актуальним вирішення цього питання стає при плаванні великотоннажних суден в стислих умовах таких як канали, рейди та акваторії портів, а також при виконані швартових операцій, де іноді відстань до брівки каналів, причалів вимірюється малими значеннями в межах десятків метрів, а інколи й декількома метрами. В таких умовах плавання, судноводія в першу чергу цікавить положення носа й корми судна відносно небезпек, а також положення діаметральної площини судна на траєкторії його руху відносно вісі каналів та фарватерів.

З прийняттям на озброєння в другій половині минулого сторіччя технічних засобів судноводіння (ТЗС) таких як, наприклад: - гідроакустичні абсолютні лаги (ГАЛ), гідроакустичні, радіолокаційні та лазерні системи забезпечення швартування суден, дозволяють по-перше, тільки частково вирішити завдання забезпечення безпечного плавання в стислих умовах, по-друге, ці ТЗС не знайшли широкого використання в зв’язку зі складністю цих систем та відносною дорожнечею, а також за рахунок всебічного використання глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС). Дуже мала кількість портів обладнана лазерними системами швартування суден. ГАЛ дозволяють більш точно, в порівняні з відносними лагами, визначати складові вектора швидкості судна, в режимі «Швартування». Обсяг та напрям поперечної складової абсолютної швидкості переміщення носа та корми судна. Незважаючи на те, що при різкозміному маневруванні, параметри руху судна мають понижену точність, ГАЛ вперше дозволили вимірювати їх відносно дна моря з урахуванням всіх факторів, викликаючих знос судна. Однак, використання ГАЛ та систем забезпечення швартування судна не дає судноводію такої важливої інформації як:

- високоточного визначення положення кінцівок судна відносно небезпек та вимір відстані до них з використанням можливостей електронно-картографічних навігаційно-інформаційних систем (ЕКНІС);
- положення діаметральної площини судна відносно вісі каналів та рекомендованих курсів, запланованої траєкторії руху;
- можливості візуально-просторового визначення на крупно масштабній електронній мапі, положення свого судна зображеного в масштабі мапи відносно навігаційних та інших небезпек на морі;
- звукової чи світлової сигналізації при небезпечному наближені носа або корми судна до небезпек.

Одним з шляхів підвищення безпеки плавання великотоннажних суден в стислих умовах з використанням високоточних режимів ГНСС, пропонується використання

способу розміщення антен та приймачів ГНСС по лінії діаметральної площини в носових та кормових кінцівках судна. Що, в свою чергу, дає можливість визначати з достатньою точністю координати місцеположення носа та корми судна, та передачу цих координат в відеопрокладчик для відображення на електронній мапі та графічного побудування між цими точками силуету судна. Це дасть можливість, при використані монітора відеопрокладчика з великою діагоналлю та роздільною здатністю, спостерігати на електронній мапі положення свого судна відносно небезпек та проходження їх кінцівками судна. А саме на електронній мапі – плані М 1:5000 довжина силуету судна, яка має довжину 300 м буде складати 6 см. Таке візуальне сприйняття дійсного становища з відтворюваним на електронній мапі, дозволяє судноводію швидко зорієнтуватися в навколишньому середовищі.

Крім того за допомогою електронного візира ЕКНІС можливо проводити вимірювання відстані від носа та корми судна до навігаційних та інших небезпек в межах точності роботи DGPS. На даний час за допомогою ГНСС GPS та ГЛОНАСС в диференційному режимі можливо визначати місце судна з середньоквадратичною похибкою ± 5м. Після вводу в повному обсязі в експлуатацію європейської ГНСС «ГАЛИЛЕО» буде можливо в усьому Світовому океані визначати місце судна в межах 0,3 ÷ 1,0 м з вірогідністю Р = 95%.

Позитивними якостями запропонованого способу є:

- зручність, яка виражається в наочності та ідентичності зображення на моніторі відеопрокладчика з оточуючим середовищем;
- простота виробки сигналів попередження о наближенні носа та корми судна до небезпек;
- можливості виміру від кінцівок судна, за допомогою електронного візиру ЕКНІС напрямків та відстаней до різноманітних небезпек;
- вирішення завдань щодо розходження суден відносно кінцівок судна, а не відносно місця установки антен РЛС, САРП, НІС.

В подальшому розвитку запропонованого способу є вироблення ЕКНІС рекомендацій або керуючих сигналів на авто кермовий пристрій чи систему автоматичного керування судновою енергетичною установкою (СЕУ) для змінення курсу судна, який веде до небезпеки або змінення режиму СЕУ в автоматичному режимі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Богом'я В.І. Навігаційне забезпечення управління рухом суден. / Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тіхонов І.В. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів: К.: Компас, 2012. - 335 с.

2. Вагущенко Л.Л., Кошовий А.А. Автоматизовані комплекси судноводіння / Вагущенко Л.Л., Кошовий А.А. Підручник для морських академій: К.: Квщ, 2001. – 292 с.

3. Мальцев А.С., Тюпиков Е.Е., Ворохобин И.И. Маневрирование судов при расхождении: 3-е издание. – «ТЕС», 2013. - 304 с.

4. Смирнов Е.Л. Технические средства судовождения. Том 2. Конструкция и эксплуатация. Смирнов Е.Л., Яловенко А.В., Перфильев В.К., Воронов В.В., Сизов В.В., Учебник для вузов: С – Пб, Элмор. 2000. – 656 с.

5. Хребтов А.А. Судовые измерители скорости / Хребтов А.А., Кошкарев В.Н., Осюхин Б.А., Виноградов К.А., Чернявец В.В. / Судостроение, 1978. – 286 с.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОАКУСТИЧНИХ ТЕПЛОВИХ МАШИН В СКЛАДІ СЕУ

Коробко В.В.
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)

Вступ. Останнім часом в практиці судноплавства спостерігається стійка тенденція до появі нових типів суден. Відомо, що тип судна та його призначення визначають склад суднової енергетичної установки. Так, розвиток морських технологій видобутку вуглеводневих палив зумовив потребу у принципово нових суднах, які забезпечують весь технологічний ланцюг цієї галузі: від розвідки та видобування, до переробки та транспортування нафтопродуктів та скрапленого газу. Перехід до промислового використання відновлювальних енергетичних ресурсів – енергії вітру, морських течій, солярної енергії - забезпечується з допомогою спеціалізованих суден, здатних перевозити крупногабаритні грузи та виконувати монтажні роботи. Суттєві зміни притерпіли транспортні судна – контейнеровози, танкери, пасажирські та інші. Однак, незмінними є вимоги до СЕУ – економічна ефективність та екологічна чистота.

Постановка задачі. На сьогодні виробники суднових двигунів, завдяки впровадженню нових технологій та наукових розробок, досягли суттєвих успіхів в підвищенні їх економічності та екологічності. Зараз, для ЕУ сучасних суден пропонуються новітні двигуни, характеристики яких задовольняють вимогам TIER II та TIER III. Крім того, значно змінилися складові вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР) СЕУ, з'явились джерела енергії з кріогенною температурою (LNG палива), зменшилась температура відходячих газів ГД, зросла температура надувного повітря після турбонагнітачів. За таких умов склалась ситуація, коли традиційні схеми утилізації ВЕР на суднах стають малоефективними або економічно недоцільними. Ці обставини вимагають розробки нових інноваційних заходів енергозбереження в судновій енергетиці.

Розгляд проблеми. Аналізуючи наявну інформацію щодо стану та тенденцій розвитку суднової енергетики, можна прийти до висновку, що в цій галузі доля сталих або безальтернативних рішень постійно зменшується, відповідно з'являються принципово нові ідеї [1]. Так, в сучасних проектах нових суден все частіше відмовляються від використання утилізаційних парогенераторів та водяної пари як теплоносія. Замість їх поширюються утилізаційні системи, на базі високотемпературних органічних теплоносіїв. Такий підхід потенційно надає нові можливості для вдосконалення характеристик ЕУ суден, спрощує їх конструкцію, дозволяє реалізувати оригінальні схемні рішення.

Перспективним напрямом для систем утилізації ВЕР на суднах можна вважати застосування термоакустичних теплових машин (ТАТМ). Робота цих машин основана на термоакустичному ефекті – самочинному виникненні пульсацій тиску газового середовища в об'ємі резонатора при наявності повздовжнього градієнту температур в пористій матриці – стеку [2-5]. Термоакустичні апарати (ТАА) – двигуни (ТАД) та рефрижератори (ТАР) – забезпечують пряме перетворення теплової енергії в механічну, і навпаки. При певних обставинах, інтенсивність процесів в ТАТМ досягає великих значень. В ТАТМ відсутні будь які рухомі механічні елементи, що забезпечує їх високу надійність. В ТАА не використовуються шкідливі для довкілля речовини, ці пристрої прості по конструкції та придатні для масштабування. Завдяки простоті ТАТМ мають вартість значно меншу в порівнянні з традиційними машинами, тому вони можуть застосовуватись для утилізації малих обсягів ВЕР. Принципова схема системи утилізації ВЕР з використанням ТАТМ показана на рис. 1. Запровадження проміжних циркуляційних контурів з високотемпературним рідкісним теплоносієм дає змогу ТАТМ працювати в складі ЕУ суден, утилізуючи ВЕР різних температурних рівнів.

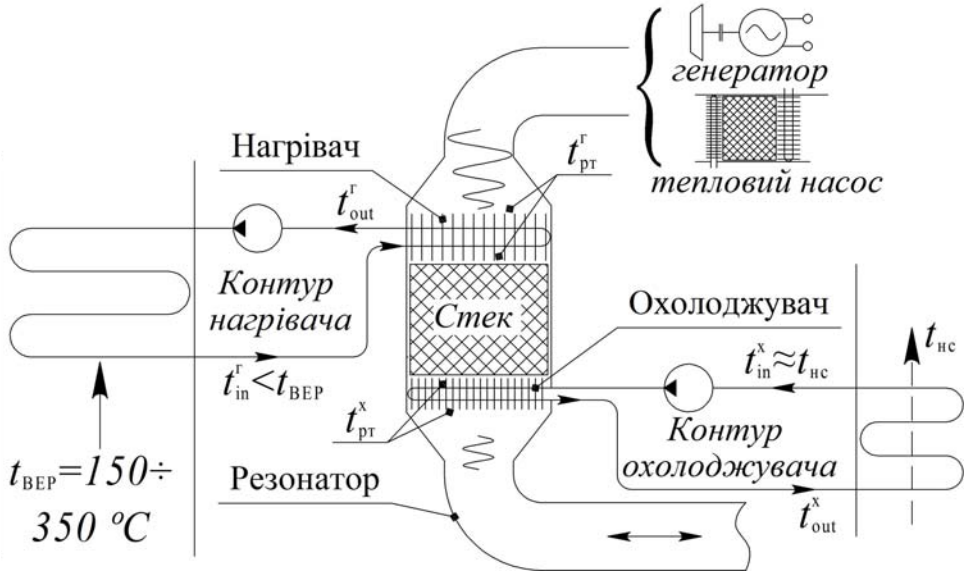
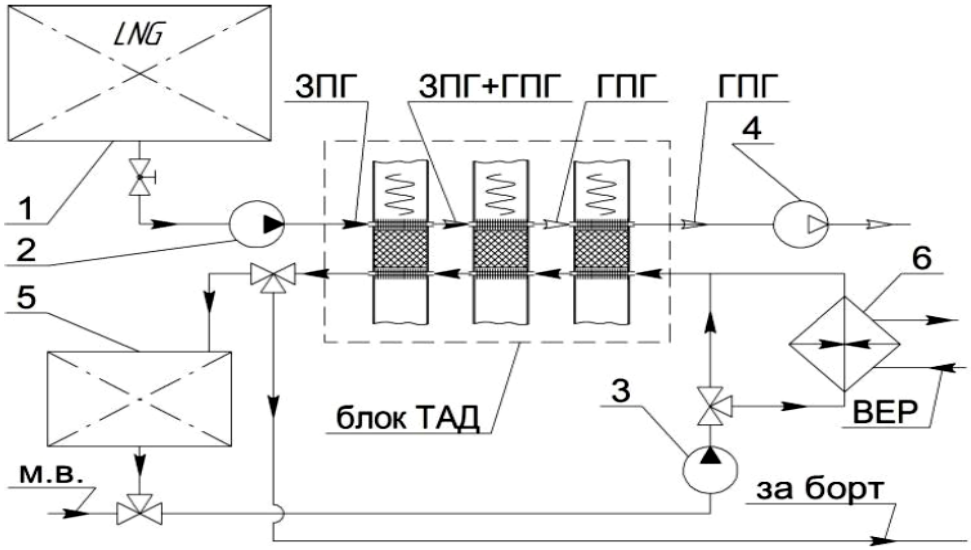
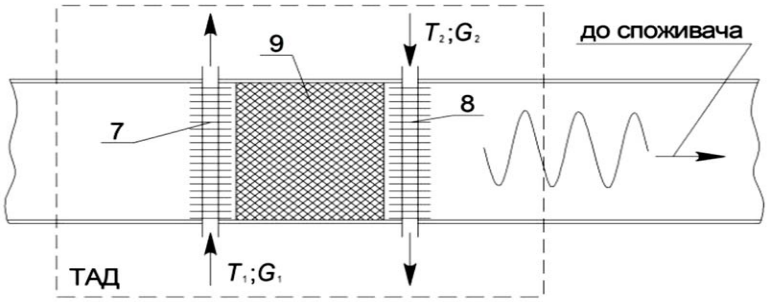


Рисунок 1. Принципова схема системи утилізації ВЕР з допомогою ТАТМ

Оскільки механічна енергія в ТАТМ існує у хвильовій формі, то найбільш просто її використовувати в ТАР та термоакустичних теплових насосах [5].



а)



б)

Рисунок 2. Принципова схема системи регазифікації LNG палива: а) – загальний вигляд, б) – схема ТАД ; 1 – ємність з ЗПГ; 2,3 – насоси; 4 – компресор; 5 – цистерна з прісною водою; 6 – теплообмінник ВЕР двигуна; 7,8 – теплообмінники, нагрівач та охолоджувач; 9 – стек, або регенератор

В практиці суднобудування є приклади успішного використання термоакустичних рефрижераторів в складі корабельної ЕУ фрегату ВМС США. Існують числені проекти та

діючи установки скраплення природного газу, які призначені для використання на суднах FPSO [4], також розроблені і працюють термоакустичні системи скраплення водню.

Застосування систем утилізації ВЕР на базі ТАТМ доцільно в разі їх суттєвих переваг над традиційними технологіями, або коли їх використання надає судновій енергетичній установці нові якості. ТАТМ здатні ефективно працювати в складі кріогенних систем, оскільки для їх роботи потрібна лише наявність повздовжнього градієнту температури в стеку, при цьому абсолютні значення температур неважливі.

В цьому плані привабливою виглядає можливість застосування ТАТМ в складі СЕУ. В більшості існуючих систем регазифікації потенціал кріогенного палива практично втрачається. ТАТМ дають змогу створити енергогенеруючу систему регазифікації LNG палива рис. 2 [6].

Пропонується в складі установки регазифікації в якості нагрівачів скрапленого газу використати блок низькотемпературних ТАД. В більшості ТАТМ в якості робочого тіла використовується гелій, що виключає можливі проблеми пов'язані з низькими, кріогенними температурами поверхні внутрішніх теплообмінників (8) ТАД. Потрібний для роботи ТАД градієнт температур забезпечується завдяки різниці в температурі між рідиною системи охолодження ГД (80 ^{o}C – 90 ^{o}C) – теплообмінник (7), та температурою LNG палива (-160 ^{0}C) – теплообмінник (8). Завдяки внутрішній незворотності робочого процесу в ТАД температура скрапленого газу, який прокачується скрізь ТАД буде підвищуватись.

Таким чином, така система спроможна утилізувати енергії двох джерел низькопотенційних ВЕР СЕУ – скидну теплоту системи охолодження ГД та кріогенний потенціал LNG, виробляючи додаткову енергію для загальносуднових потреб.

Висновок. Враховуючи температурний рівень ВЕР сучасних СЕУ, реальні суднові потреби в енергії, а також потенційні можливості термоакустичних технологій, можна вважати доцільним їх впровадження на суднах в наступних напрямках:

- суднові системи кондиціонування та рефрижерації;
- спеціальні системи охолодження електронних блоків кораблів та суден;
- вантажні системи на суднах газовозах;
- паливні системи на суднах з LNG та LPG паливами;
- технологічні системи суден FPSO;
- системи регенерації технологічних ВЕР шляхом підвищення їх температурного рівня.

ЛІТЕРАТУРА

1. Heinrich Schmid, Less Emissions Through Waste Heat Recovery, Wartsila Corporation, 2004, http://www.wartsila.com

2. Swift G.W. Thermoacoustic: A unifying perspective for some engines and refrigerators / G.W. Swift // American Institute of Physics. – 2002. – 300 p.

3. Spoelstra S. Thermoacoustic heat pumps for energy savings [Text] / S. Spoelstra, M.E.H. Tijani // Grensoverschrijdende akoestiek, Nederlands Akoestisch Genootschap, The Netherlands, 2005. – 23 p.

4. G. W. Swift, «Thermoacoustics for liquefaction of natural gas» G. W. Swift and J. J. Wollan, GasTIPS. - V. 8, N 4. - P. 21-26.

5. Коробко В.В. Перспективи застосування термоакустичних технологій в системах регазифікації / Коробко В.В., Московко О.О. // Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції: «Суднова енергетика: стан та проблеми». – 2013.

РАЗРАБОТКА ВКЛАДЫШЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПА Д100 С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЕНИЯ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

[1]Кравченко С.А., [2]Олейник А.К., [1]Ткачук Н.А., [1]Веретельник О.В.
[1]Национальний технический университет «ХПИ» (Украина)
[2] Государственное предприятие «Завод им. В.А. Малышева» (Украина)

Введение. Одним из мероприятий, направленных на повышение надёжности и качества тепловозных дизелей 10Д100, является увеличение ресурса работы подшипников коленчатого вала. В настоящее время для шатунных подшипников используется вкладыши из бимеллической стале-алюминиевой полосы с антифрикционным слоем из сплава АМО1-20. А для коренных вкладышей из бронзы Бр. СЦС5-5-5 с баббитовой заливкой БК2. Стале-алюминиевые подшипники имеют ресурс работы в 4…5 раз больший, чем бронзобаббитовые, их стоимость ниже на 30…50 %, однако их установка требует введения дополнительных мероприятий, направленных на улучшение приработки сопряжения шейка коленчатого вала вкладыш подшипника.

Конструктора и технологи ГП «Завод им В.А. Малышева» совместно со специалистами НТУ «ХПИ» постоянно заниматься совершенствованием технологий упрочнения рабочих поверхностей шеек коленчатого вала и повышения надёжности работы вкладышей на стале-алюминиевой основе [1].

Основной упор при решении этих вопросов делается на применение и адаптацию к условиям производства новых технологий, которые раннее предприятием не применялись при изготовлении двигателей. Это позволило не только снизить энергетические затраты производства деталей, но и существенно повысить надёжность их работы.

Постановка задачи. Стале-алюминиевые подшипники более склоны к задирообразованию в сравнении с бронзобаббитовыми. В настоящее время для улучшения их приработки используется твёрдосмазочное покрытие ВНИИНП-212, однако это не устраняет возможность задирообразования как при обкатке, так и при эксплуатации двигателей. Поэтому для установки стале-алюминиевых коренных подшипников потребовалось введение дополнительных мероприятий, направленных на улучшение прирабатываемости сопряжения вкладыш подшипника – шейка коленчатого вала.

При изготовлении чугунных коленчатых валов на ГП "Завод им. В. А. Малышева" использованы технологии дискретного упрочнения рабочих поверхностей коренных и шатунных шеек, а алюминиевые поверхности стале-алюминиевых вкладышей были упрочнены с применением технологии гальваноплазменного упрочнения алюминиевых сплавов, которая разработана специалистами НТУ "ХПИ".

На протяжении более 10 лет эксплуатации двигателей маневровых тепловозов ЧМЭ-3 поршни которых изготовлены из алюминиевого сплава АК4 и рабочие поверхности которых упрочнены с применением этой технологии. В условиях эксплуатации это позволило существенно увеличить их износостойкость и сократить межремонтные сроки. Ориентировочный годовой экономический эффект от применения поршней с корундовым слоем на один тепловоз составил 250 тыс. гривен [2].

Целью исследования является обоснование применения комбинированных технологий и исследование полученных результатов их применения, а также, разработка математических моделей взаимодействия высоконагруженных трущихся поверхностей.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- численное исследование и первичный анализ процессов контактного взаимодействия упрочненных деталей кривошипно-шатунного механизма, трения и износа в их сопряжении, а также разработка рекомендаций по обоснованию технологических режимов обработки поверхностных слоев деталей с целью повышения трибомеханических характеристик высоконагруженных трущихся поверхностей;

- проведение испытаний образцов, изготовленных из материала поршня, вкладыша и коленчатого вала, которые были изготовлены с применением разработанных технологий;
- экспериментальная оценка повышения износостойкости исследуемых образцов;
- разработка на основе результатов проведенных исследований рекомендаций по применению технологий дискретного упрочнения и гальвано-плазменного преобразования трущихся поверхностей высоконагруженных пар для дальнейшего применения в производстве двигателей, как альтернативных наиболее распространенным стандартным технологиям нормализации, закалки ТВЧ, азотированию и др.

Решение поставленных задач даст возможность существенно увеличить надёжность работы деталей поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма.

Результаты исследования. При выполнении данной работы на ГП "Завод им. В. А. Малышева" были изготовлены образцы из высокопрочного чугуна, поверхности которых были упрочнены методом дискретного упрочнения, а образцы стале-алюминиевых вкладышей были упрочнены методом гальвано-плазменного преобразования. Суть технологии дискретного упрочнения чугунных деталей состоит в том, что на ее поверхность электроискровым способом с электрода, выполненного из легирующего материала, на катод (поверхность детали) переносятся легирующие частицы в виде островков или линий всевозможной конфигурации, которые при попадании на поверхность быстро остывают, что приводит к появлению каверн (углублений) [3, 4]. В дальнейшем при шлифовании детали имеющиеся макро- и микродефекты удаляются, что исключает возможность появления концентраторов напряжений и улучшает качество поверхности. Технология гальвано-плазменного преобразования поверхности основана на технологии микродугового оксидирования и применяется при преобразовании поверхности деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов. Обработка деталей (образцов) осуществлялось на исследовательской установке "Корунд - 7", разработанной в НТУ "ХПИ" [5]. Процесс обработки осуществлялся в ваннах в щелочном электролите при рабочем напряжении 1000…1200 В при плотности тока до $1 \cdot 10$ А/м^2. Технология гальвано-плазменной обработки отличается от известных методов микродугового оксидирования электрофизическими параметрами процесса. На алюминиевой поверхности детали образуется слой из Al_2O_3, имеющий высокую твердость и пористую структуру [6]. После гальванического процесса поверхность полируется, что существенно улучшает ее качество.

На данное время отсутствуют исследования контактно-фрикционного взаимодействия в сопряжениях, содержащих, с одной стороны, детали рабочие поверхности которых, обработаны по технологии дискретного упрочнения, а с другой, – обработанные по технологии гальвано-плазменного преобразования поверхности ("корундирование"). Это приводит к необходимости решения нескольких новых актуальных и важных задач. В частности, это – численное исследование напряженно-деформированного состояния в зоне контактного сопряжения таких деталей, анализ износа и потери на трение. Следующий этап исследований – экспериментальные исследования на лабораторных образцах. Ниже представлены результаты данных исследований.

Численные исследования. При численном исследовании напряженно-деформированного состояния получаемой системы деталей, обработанных методами дискретного упрочнения и корундирования, использовался подход и математическая модель, предложенные в статье [7]. На этой основе для механической системы, представленной на рис. 1, разработана конечно-элементная модель, содержащая представительный объем (рис. 2). Данный объем (ячейка) дает возможность на микроуровне промоделировать напряженно-деформированное состояние взаимодействующих тел, распределение контактных давлений, оценить трение и износ в сопряжении деталей, переведя исследования на реальный макромасштаб.

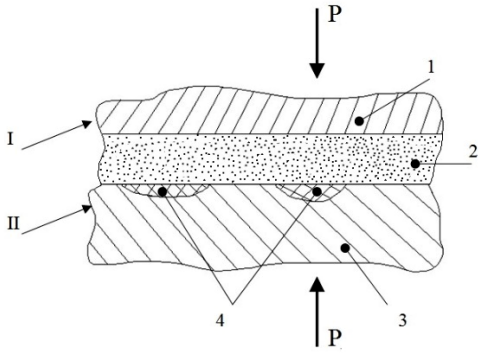


Рисунок 1. Схема контактного взаимодействия деталей: *I* – деталь из сплава АКЧ (1), упрочненная путем гальвано-плазменного преобразования поверхности с образованием корундового слоя (2), *II* – деталь (основной материал – сталь, чугун (3)), обработанная методом дискретного упрочнения (ДУЗ – дискретно-упрочненная зона (4))

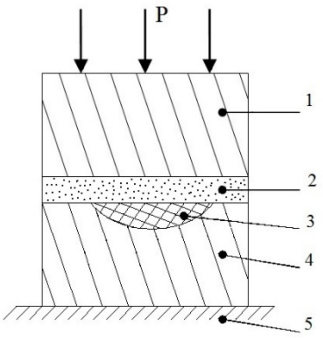


Рисунок 2. Схема модели представительной ячейки механической системы: 1 – АКЧ, 2 – слой Al_2O_3, 3 – ДУЗ, 4 – основной материал, 5 – основа (жесткое основание)

При задании механических свойств корундового слоя учитывалось влияние двух факторов: микрогеометрии выступов-впадин на поверхности слоя и его пористость. В зависимости от режимов технологического процесса эти величины могут изменяться в достаточно широких пределах. Для расчетных исследований использовался основной материал высокопрочный чугун.

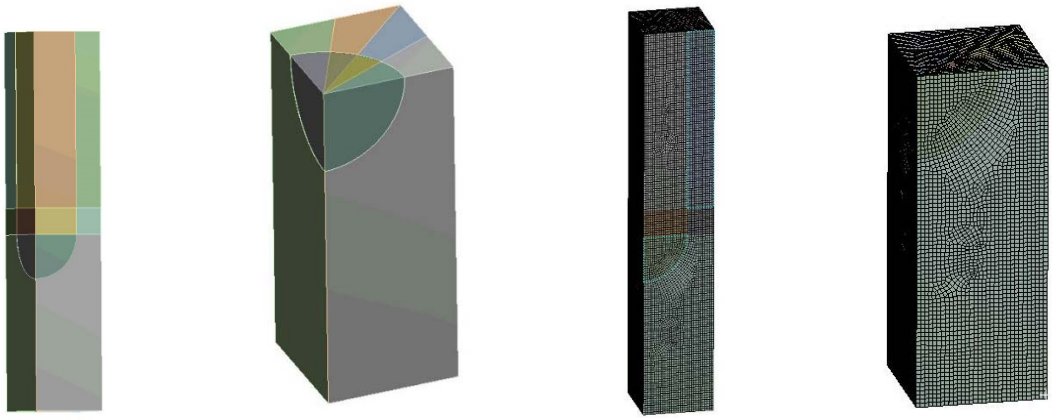
На рис. 3 представлена геометрическая и конечно-элементная модели представительной ячейки механической системы, а также геометрическая модель с приложенными внешними нагрузками. При этом на вертикальные стенки модели накладывались условия симметрии таким образом, чтобы геометрическая модель представляла собой некоторую внутреннюю часть общей модели. Конечно-элементная модель насчитывала 200 тыс. гексагональных элементов. Прикладываемая нагрузка – 100 МПа.

Из анализа представленных данных видно, что в области ДУЗ (рис.1) наблюдается более высокий уровень контактных давлений, чем в области контактирования с основным материалом детали *II*. Соответственно, если в паре "корундовый слой – сталь" коэффициент трения ниже, чем в паре "корундовый слой – основной материал детали *II*", то при их взаимном движении возникает два эффекта. Первый связан с уменьшением суммарной величины трения в сопряжении деталей *I* и *II* (оценочно – в 1,2-1,8 раза). Второй определяет понижение износа, что объясняется более низкой интенсивностью износа высоколегированной стали по сравнению с чугуном.

Еще одним важным обстоятельством является механизм обеспечения устойчивого благоприятного комплексного эффекта от взаимодействия факторов "распределение контактного давления" – "трение" – "износ". В традиционных технологиях данная линейная последовательность факторов находиться в "положительной" обратной связи: наличие значительных контактных давлений в сопряжении взаимно движущихся деталей приводит к касательным силам трения, которые вызывают износ; при износе, как указывалось выше, растут нагрузки, что, в свою очередь, приводит к росту контактных давлений и т.д. В результате получаем циклически прогрессирующий процесс по "спирали" *P* (рис. 4, А), который удаляется от номинального (исходного цикла) в процессе эксплуатации. В противовес этой тенденции для предложенной технологии реализуется также иная, конкурирующая тенденция (см. рис. 4, В).

В этом случае действие усилий трения вызывает рост износа основного материала 4 (см. рис. 2) по сравнению с износом материала ДУЗ 3. При этом материал корундового слоя 2 при достижении приработочного предела в дальнейшем изнашивается слабо. В этих условиях происходит перераспределение контактных давлений преимущественно на

область ДУЗ, общая сила трения растет медленнее, сила трения в зоне сопряжения с основным материалом уменьшается, что приводит к уменьшению его износа. Таким образом, реализуется сценарий "отрицательной" обратной связи, и развитие процессов идет по линии S (см. рис. 4), которая удаляется от линии N медленнее, чем P. В определенных условиях это может приводить к превращению S в практически стабильную окружность, что означает реализацию установившихся процессов "контактное взаимодействие–трение–износ" (см. рис. 4).



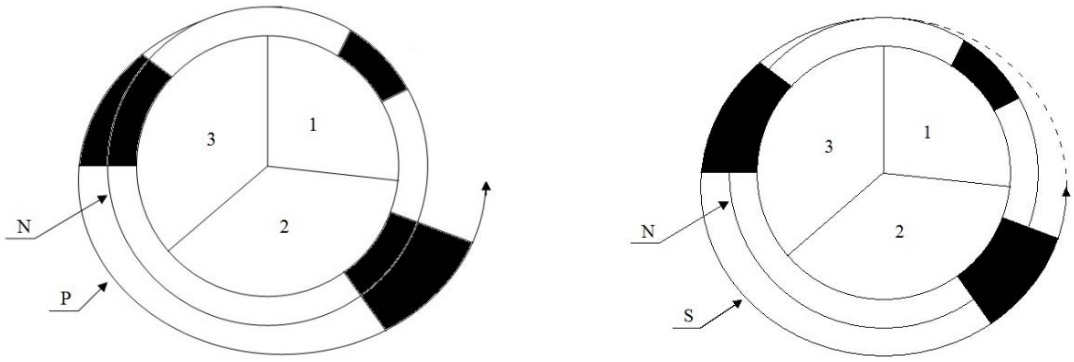
Полная геометрическая модель | Нижняя часть модели (ДУЗ и основной материал) | Конечно-элементная модель | Конечно-элементная модель нижней части (ДУЗ и основной материал)

Прикладываемое давление | Условие закрепления

Рисунок 3. Геометрическая и конечно-элементная модели, внешние нагрузки: прикладываемое давление и закрепление

Естественно, что в реальных условиях действительные процессы сочетают тенденции A и B (см. рис. 4). Однако важен сам механизм стабилизации B, поскольку он характеризует тенденцию к установившемуся самоповторению исследованных процессов, а не их интенсификации (что характерно для традиционных процессов обработки поверхностных слоев материалов деталей поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма двигателей). Первичные оценки полученных результатов дают первичные рекомендации относительно выбора параметров технологического процесса: относительная площадь ДУЗ – 65-75%, толщина корундового слоя – 0,03 мм; пористость – 10-20 %. Эти оценки предполагается уточнить в ходе дальнейших исследований.

Выводы. Численное моделирование процессов контактного взаимодействия, трения и износа продемонстрировало наличие механизма их стабилизации в системе сопряженных деталей, рабочие поверхности которых обработаны методами дискретного упрочнения и корундирования.



А В

Рисунок 4 Механизмы развития процессов контактного взаимодействия (КВ), трения (Т) и износа (И): А – традиционные технологии, В – предложенная технология. 1 – Контактное взаимодействие, 2 – износ, 3 – трение.

Применение пары трения – сталеа-люминиевые вкладыши из АМО1-20 с корундовым слоем и коленчатый вал, изготовленный из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, поверхности коренных и шатунных шеек которого упрочнены методом дискретного упрочнения, существенно повышают стойкость пары к задирообразованию. Введение диспергированной добавки оксида магния в модифицированный приповерхностный слой вкладыша АМО1-20 приводит к снижению коэффициента трения при граничной смазке во всем исследованном диапазоне нагрузок, что может быть связано с улучшением процессов микроприработки рабочей поверхности шеек коленчатого вала с образованием на их поверхности аморфизированного слоя.

Результаты проведенных численных исследований и экспериментальных испытаний свидетельствуют о целесообразности применения гальвано-плазменной обработки стале-алюминиевых вкладышей в паре с чугунным коленчатым валом, шейки которого упрочнены методом дискретного упрочнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах (транспортная техника): - М.: Транспорт, 1987. – С. 223.

2. Шпаковский В. В.Внедрение поршней с корундовым слоем при ремонте дизелей тепловозов ЧМЭ-3 / В. В. Шпаковский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. - №12. С.112–115.

3. Парсаданов И. В. Научное обоснование параметров дискретного упрочнения вісоконагруженніх деталей транспортніх єнергетических установок / И. В. Парсаданов, С. А. Кравченко, Н. А. Ткачук, В. Н. Шеремет // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. 2012. - №1 (6). С. 298-310.

4. Тартаковский Э. Д. Анализ эффективности существующих методов ремонта коленчатых валов дизеля 5Д49 / Э. Д. Тартаковский, В. Г. Гончаров, В. М. Сапожников // Зб. Наукових праць. – Харків: УДАЗТ, – 2009. Вип. №107. С. 71–79.

5. http://web.kpi.kharkov.ua/diesel/549-2/.

6. Шпаковский В. В. Повышение ресурса и снижение расхода топлива ДВС путем применения частично-динамической теплоизоляции камеры сгорания. Учебн. Пособие по курсу "Особенности эксплуатации и ремонта современных двигателей внутреннего сгорания" / Харьков. НТУ"ХПИ". – 2013. – С. 132.

7. О.В. Веретельник, Н.А. Ткачук, С.Ю. Белик. Контактное взаимодействие поршня с гальваноплазменной обработкой боковой поверхности со стенками цилиндра ДВС // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Тем.вип.: Машинознавство та САПР. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 22. – С. 32–39.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И НОРМИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МОЛОТИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Кухтов В.Г., Знайдюк В.Г.
Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им. П. Василенко (Украина)

В предлагаемой методике сделана попытка перейти от прочностных расчетов и оценки циклической долговечности к статистическим оценкам ресурса деталей.

Целесообразно на этапе проектирования иметь нормативы напряженно-деформированного состояния, учитывающие конструктивно-технологические особенности, рассеивание прочностных свойств материалов, структуру прогнозируемых режимов нагружения и позволяющие оценивать либо экспериментальным (предпочтительно), либо расчетным путем, или их сочетанием достижение заданного ресурса.

В реальной конструкции зерноуборочного комбайна неизбежны рассеивание механических свойств материалов, случайный характер изменения нагрузок во времени и накопление усталостных повреждений.

Наиболее достоверным методом оценки напряженно-деформированного состояния, позволяющим математически описать режимы изменения нагрузки во времени, является экспериментальный метод, базирующийся на тензометрических измерениях эксплуатационной нагруженности и лабораторных усталостных испытаниях натурных образцов.

Однако, далеко не всегда возможно проведение экспериментальных исследований сложных деталей – несущих элементов, тонкостенных конструкций, вращающихся частей. Для проведения испытаний этих деталей на усталость требуется уникальное дорогостоящее оборудование, аппаратное обеспечение и пр. Альтернативой экспериментальным исследованиям является численная оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) и оценка соответствия выявленных напряжений допустимым с использованием конечно-элементного анализа. По полученным оценкам НДС необходимо оценить величину ресурса, который выработает исследуемая конструкция.

В теории упругости работоспособность конструкции увязывают с допускаемыми напряжениями и коэффициентами запаса, приближенно учитывающими рассеивание прочностных и нагрузочных характеристик, а также характер нагружения (растяжение, сжатие, кручение, изгиб). По аналогии с нормированием износостойкости необходимо пронормировать допускаемые напряжения (коэффициенты запаса) для элементов молотильной системы зерноуборочного комбайна с тем, чтобы на стадии проектирования производить расчеты, позволяющие оценить потенциальный ресурс конструкций и оценить соответствие требуемым нормативам.

При этом необходимо учитывать ряд факторов.

Применяемые материалы, их прочностные характеристики σ_n, $\sigma_в$, $\sigma_т$, σ_{-1} и рассеивание этих характеристик и концентрацию напряжений.

При расчетах на прочность концентрация напряжений учитывается введением поправок в численные значения амплитуд действующих на деталь напряжений. Если расчетные номинальные амплитуды напряжений равны σ_a, τ_a, то с учетом концентрации они увеличиваются и равны $\sigma_a \cdot K_\sigma \left(\tau_a \cdot K_\tau\right)$.

Состояние поверхности деталей, обусловленное механической обработкой, влияние, которого оценивается коэффициентом качества поверхности

$$\beta = \frac{\sigma_{-1n}}{\sigma_{-1}},$$

где σ_{-1n} – предел выносливости образца с определенной обработкой.

Коэффициент качества учитывается при корректировке амплитуды (σ_a).

С учетом концентраций напряжений – $\frac{\sigma_a \cdot K_\sigma}{\beta}$.

Размеры деталей (масштабный фактор).

Влияние масштабного фактора в наибольшей мере наблюдается в элементах конструкций с неравномерным распределением напряжений по сечению.

Для учета масштабного фактора вводится коэффициент масштаба, определяемый как отношение границы выносливости $\sigma_{-1Д}$ детали к границе выносливости шлифованных лабораторных образцов (Ø7 - 12 мм) при симметричном цикле нагружения

$$\varepsilon_\sigma = \frac{\sigma_{-1Д}}{\sigma_{-1}}.$$

При расчетах на выносливость этим коэффициентом, по аналогии с K_σ и β, корректируется амплитуда номинальных напряжений с учетом концентрации и состояния поверхности.

$$\frac{\sigma_a \cdot K_\sigma}{\varepsilon_\sigma \cdot \beta}.$$

Асимметрия цикла. В расчетах влияние асимметрии цикла учитывается добавлением к амплитуде части среднего напряжения σ_m. В итоге получим

$$\sigma_{a.п.} = \sigma_a \frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma \cdot \beta} + \psi_\sigma \cdot \sigma_m, \qquad (1)$$

где ψ_σ – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла.

Эта формула предложена С.В. Серенсоном и Р.С. Кинасошвили [2]. Полученная таким образом приведенная амплитуда учитывается в расчетах на прочность при усталости элементов конструкций. По пределам выносливости, полученным при различных коэффициентах асимметрии цикла “*r*”, строят диаграммы предельных напряжений.

При расчете долговечности деталей, разрушающихся от усталости, необходимо также учитывать продолжительность их работы под нагрузкой в общем времени работы машины выполнением условия

$$t_{(н.д)\gamma} > t_{(д)\gamma},$$

где $t_{(н.д)\gamma}$ – нормативный гамма-процентный ресурс детали;

$t_{(д)\gamma}$ – расчетный гамма-процентный ресурс детали.

Если продолжительность работы детали $t_{(д)\gamma}$ связана с $t_{(н.д)\gamma}$ соотношением

$$K_t = \frac{t_{(н.д)\gamma}}{t_д} \geq 1,$$

то должно выполняться условие

$$t_{(д)\gamma} \geq \frac{t_{(н.д)\gamma}}{K_t}.$$

Исходя из возможных случаев нагружения конструкции молотильной системы зерноуборочных комбайнов семейства «Скиф», следует рассматривать вариант расчета при нестационарном нагружении и заданном ресурсе и ресурсе, превышающем полный срок службы (корпус молотильной и сепарирующей систем является несущей

конструкцией комбайна).

Данный вариант расчета - наиболее часто встречающийся в практике расчетов. Реальные процессы нагружения элементов конструкций представляют собой случайные процессы, которые характеризуются случайными средними амплитудами циклов напряжений (нестационарное нагружение).

Для проведения расчетов на выносливость случайные процессы нагружения схематизируют по известным критериям (методам) [3]. Смысл схематизации - приведение нестационарных процессов к стационарным с симметричным циклом нагружения.

После схематизации определяют приведенные амплитуды $\sigma_{a.n}$ по формуле (1) и подсчитывают число циклов n_i которые имеют одинаковые приведенные амплитуды $\sigma_{(a\,n)i}$.

Руководствуясь гипотезой линейного суммирования повреждений [4], определяют их меру

$$D_i = \frac{n_i}{N_i},$$

где n_i, – число циклов действующих напряжений с i-й приведенной амплитудой;

N_i - число циклов до разрушения при действии i -х приведенных амплитуд напряжений.

Поскольку n_i, может принимать значения от 0 до N_i,, то величина меры повреждений находится в пределах $0 < D_i < 1$, $D_i = 1$ и соответствует разрушению детали.

Руководствуясь гипотезой линейного суммирования повреждений, можно записать

$$D = \sum_{i=b}^{k} D_i = \sum_{i=b}^{k} \frac{n_i}{N_i},$$

где b и k - обозначение наименьших и наибольших приведенных амплитуд в вариационном ряду, полученном при схематизации.

Учитывая, что $N_i = \dfrac{\sigma_{-1}^m}{(\sigma_{a.n})_i^m}$ получим

$$D = \frac{\sum_{i=b}^{k} (\sigma_{a.n})_i^m \cdot n_i}{\sigma_{-1}^m \cdot N_\sigma}.$$

Приведя полученную величину меры повреждений D к единице наработки комбайна t_K, получим величину меры повреждения в единицу времени

$$D_y = \frac{D}{t_K} = \frac{\sum_{i=b}^{k} (\sigma_{a.n})_i^m \cdot n_i}{\sigma_{-1}^m \cdot N_\sigma \cdot t_K} \qquad (2)$$

Соответственно гипотезе линейного суммирования повреждений полное повреждение $D(t_\sigma)$ за ресурс равно

$$D(t_\sigma) = D_y \cdot t_\sigma.$$

Учитывая, что $D(t_\sigma) = 1$, можно записать

$$D_y \cdot t_\sigma = 1,$$

отсюда $t_\sigma = \dfrac{1}{D_y}$, учитывая (1) ресурс детали при усталостном повреждении будет равен

$$t_\sigma = \frac{\sigma_{-1}^m \cdot N_\sigma \cdot t_K}{\sum_{i=b}^{k} (\sigma_{a.n})_i^m \cdot n_i}.$$

Ресурс при разрушении от кручения

$$t_\tau = \frac{\tau_{-1}^{m'} \cdot N'_\sigma \cdot t_K}{\sum_{i=b}^{k} (\tau_{a.n})_i^m \cdot n_i}, \tag{3}$$

где $\tau_{a.n}$, N'_σ и m' - соответственно амплитуда касательных напряжений, база испытаний, показатель кривой усталости при кручении.

Для плоского напряженного состояния ресурс определяется из зависимости [5]

$$t_{\sigma,\tau} = \frac{t_\sigma}{\left[1 + \left(\frac{t_\sigma}{t_\tau}\right)^{\frac{2}{m}}\right]^{\frac{m}{2}}}. \tag{4}$$

Показатели степени кривых усталости $(m = m')$ приняты одинаковыми. Полагая, что случайная величина D_y распределена по нормальному закону, вероятность безотказной работы детали в момент времени определяют из уравнения [5]

$$P_\sigma(t) = F_0\left(\frac{1 - \overline{D}_{t_K} \cdot t_\sigma}{\sigma_{D_{t_K}} \cdot t_\sigma}\right), \tag{5}$$

где F_0 – табулированная функция нормального распределения;

$\overline{D}_y$ – среднее значение;

σ_{D_y} – среднее квадратическое отклонение.

Получив зависимость $P_\sigma(t)$ для различных значений наработки (кривую убыли), определяют статистические оценки ресурса (средний, гамма-процентный и др.).

Учитывая, что среднее квадратическое отклонение (σ_{D_y}) равно произведению коэффициента вариации (v_{D_y}) на среднее значение удельной величины меры повреждений ($\overline{D}_y$): $\sigma_{D_y} = v_{D_y} \cdot \overline{D}_y$, приняв

$$\frac{1 - \overline{D}_y \cdot t}{v_{D_y} \cdot \overline{D}_y \cdot t} = X_{P_\sigma},$$

а также учитывая (1), получим

$$D_i = \overline{D}_y \cdot t = \frac{1}{X_{P_\sigma} \cdot v_{D_y} + 1} = \frac{n_i \cdot \sigma_i^m}{N_\sigma \cdot \sigma_{-1}^m} = \frac{\sum_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \sigma_i^m \cdot n_i}{N_\sigma \cdot \sigma_{-1}^m}.$$

Откуда допустимое (нормативное) напряжение для обеспечения заданного циклического ресурса (n_i) с гарантированной вероятностью $P_\sigma(t) = F_0(x)$ будет равно

$$\sigma_{P_\sigma} = \sqrt[m]{\frac{N_\sigma \cdot \sigma_{-1}^m}{n_i\left[X_{p_\sigma} \cdot v_{D_y} + 1\right]}}. \tag{6}$$

Учитывая, что

$$\frac{n_i}{N_i} = D_i, \text{ отсюда } \frac{N_i}{n_i} = \frac{1}{D_i},$$

а также, что $D_i = D_y \cdot t$, получим допустимые уровни напряжений для обеспечения гамма-процентного ресурса (t_γ) с гарантированной вероятностью

$$P_\sigma(t) = F_0\left(X_{P_\sigma}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{X_{P_\sigma}} e^{\frac{X_{P_\sigma}^{\ 2}}{2}} \cdot dX_{P_\sigma}\ ;\ \sigma_{P_\sigma} = \sqrt[m]{\frac{\sigma_{-1}^{m}}{D_y \cdot t_\gamma \left[X_{p_\sigma} \cdot v_{D_y} + 1\right]}}, \qquad (7)$$

где t_γ – нормативное значение гамма-процентного ресурса;

X_{P_σ} – интеграл вероятностей [6].

Выводы. Учитывая изложенное, констатируем:

1. Для деталей молотильной системы зерноуборочных комбайнов семейства «Скиф» осуществляющих несущую функцию, исходя из условия обеспечения ресурса, равного полному сроку службы, с гарантированной вероятностью безотказной работы, близкой к единице, а также для обеспечения необходимой стереометрии механизмов [7] (расположения осей, опор подшипников, направляющих), расчетные приведенные амплитуды напряжений (либо фактические, определенные экспериментально) должны удовлетворять условию

$$\sigma_{a.n} < \sigma_{-1}.$$

Приведенные расчетные амплитуды ($\sigma_{a.n}$) и коэффициенты запаса (n_σ) напряжений определяются с учетом рекомендаций ГОСТ 25.504-82;

2. По деталям молотильной системы, для которых необязательно обеспечение полного срока службы, оценка вероятности безотказной работы, построение кривой убыли, и статистические оценки ресурсов определяются по формуле (5). Допустимые (нормативные) напряжения этих конструкций определяют из условия обеспечения нормативных значений гамма-процентных ресурсов по формулам (6) и (7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кухтов В.Г. Долговечность деталей шасси колёсных тракторов // Харьков: ХНАДУ, 2004. – 292с.

2. Расчет деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / Когаев В.П. и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 224с.

3. ГОСТ 25.101-83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статического представления результатов. – Введ. 01.07.84 – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 29с.

4. ГОСТ 25.504-82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчеты характеристик сопротивления усталости. Введ. 01.07.843 – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 80 с.

5. Анілович В.Я., Грінченко О.С., Літвіненко В.Л. Надійність машин в завданнях та прикладах / За ред. В.Я. Аніловича. Харків: «Око», 2001 – 320 с.

6. Венцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Машиностроение, 1960. – 450 с.

7. Погорелый Л.В. Инженерные методы испытания сельскохозяйственных машин – К.: Техника, 1981. – 176 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ КЛИНОРЕМЕННЫХ ВАРИАТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Кухтов В.Г., Лысенко С.В.
Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко (Украина)

Постановка проблемы. Развитие отечественного машиностроения направлено на ускорение технического прогресса, развитие выпуска экономичных, надежных и долговечных машин, повышения уровня их конструирования и совершенствования технологии производства. Одной из первоочередных задач является обеспечение высокой надежности и долговечности тех наиболее распространенных типов узлов, в которых конструктивно предусмотрено сопряжение деталей. Недостаточная контактная прочность последних, определяющая в большинстве случаев прочность узла, снижает эксплуатационную надежность и долговечность машин.

При решении задач о ресурсе необходимо учитывать снижение металлоемкости, что достигается усложнением конструкторских решений, применение новых технологий и материалов с более высокими прочностными характеристиками, новых покрытий и горюче – смазочных материалов, решить вопрос о величине наработки, до которой целесообразно эксплуатировать каждый конструктивный элемент [1].

Анализ исследований и публикаций. В литературе [2], [3] изложены вопросы теории, расчета и конструирования механических вариаторов скорости с предупредительным и автоматическим регулированием скорости, даны технические характеристики и указаны области применения наиболее распространенных конструкций вариаторов. Подробно рассмотрены причины падения скорости. Дана трактовка кривых скольжения. Приведены результаты экспериментальных исследований, а также новые данные по нагрузочной способности клиноременных вариаторов с уточнением их расчета. Однако, в приведенных работах практически отсутствуют исследования технологических погрешностей и их влияние на долговечность.

Цель данной работы является установление, проявляется ли в условиях эксплуатации влияние погрешностей изготовления деталей вариатора и не перекрывается ли оно более существенно проявляющимися эксплуатационными факторами.

Основной материал. Надежность и долговечность клиноременных передач в значительной степени обусловлена динамическими нагрузками, возникающими в процессе их эксплуатации. Одной из причин динамических воздействий в передачах являются технологические погрешности изготовления и монтажа их деталей, и погрешности изготовления клиновых ремней.

Анализ причин возникновения погрешностей позволил установить, что вся их совокупность может быть представлена в виде двух следующий групп: погрешностей изготовления клиновых ремней и погрешностей изготовления и монтажа остальных деталей передачи (шкивов, ступиц, валов, подшипников и т.д.)

Погрешности клиновых ремней включают в себя: погрешности геометрических размеров сечения (высоты, расчетной ширины, угла профиля), погрешности упругих свойств (непостоянство значений модулей упругости на растяжение и изгиб по длине ремня) и погрешности формы контура (неодинаковость кривизны отдельных участков ремня в свободном состоянии).

Совокупность погрешностей изготовления и монтажа остальных деталей сводится к двум комплексным погрешностям шкива в сборе — радиальному и торцевому биению.

Проявление вышеперечисленных погрешностей в передаче неодинакова. Для сравнительной оценки влияния отдельных видов погрешностей на величину этого воздействия введен общий параметр – изменение усилия натяжения за пробег ремня

($\Delta 2F_0$), вызываемое каждой из погрешностей. Сравнительная оценка проводилась на основании выведенных аналитических зависимостей позволяющих дифференцированно оценивать влияние отдельных погрешностей на величину параметра $\Delta 2F_0$.

Проведенная сравнительная количественная оценка позволила установить, что наиболее значительно на изменение величины натяжения влияют погрешность размера расчетной ширины (Δb_p) и погрешность формы контура. Влияние погрешностей упругих свойств и радиального биения шкивов может быть существенно лишь при значительной величине погрешностей. Погрешности высоты и угла профиля сечения, а также торцевое биение шкивов практически не вызывают изменения натяжения ремня.

Суммарное изменение усилия натяжения за пробег ремня, являющееся результатом совместного проявления всех его погрешностей в передаче, может служить комплексным параметром для количественной оценки качества изготовления его в условиях производства, а следовательно, и основным нормируемым параметром, допуск на который необходимо оговаривать в ТУ и ГОСТ.

Проведенная теоретическая оценка позволила выявить главные погрешности, проявление которых наиболее существенно влияет на величину параметра $\Delta 2F_0$.

Для проверки выводов теоретического анализа были проведены соответствующие исследования. Эти исследования предусматривали определение величин и характеристику изменения по длине ремня основных видов его погрешностей и вызываемых ими изменений усилия натяжения за пробег ремня. Объектами исследования служили вариаторные ремни зерноуборочных комбайнов.

Исследования погрешностей размеров сечения проводились на специальном стенде путем замеров их по отдельным участкам, на которые предварительно разбивался контур ремня. Одновременно с этим проводились замеры погружения ремня в канавку шкива по отношению к наружному диаметру. На этом же стенде исследовали изменение усилия натяжения за пробег ремня путем фиксации показаний динамометра при последовательном прокручивании ремня на данном участка. Исследования проводились на обычных шкивах.

По результатам замеров строились профиллограммы, кривые положения ремня в канавке шкива, а также кривые изменения усилия натяжения за пробег ремня, представлены в литературе [4].

Исследования погрешностей упругих свойств проводились путём замеров приведенных модулей упругости на растяжение и изгиб для отдельных участков ремня.

Анализ результатов экспериментальных исследований позволил сделать следующие основные выводы:

– погрешности расчетной ширины и формы контура являются основными причинами изменения усилия натяжения за пробег, что подтверждает выводы, сделанные на основании теоретического анализа.

– кривая изменения усилия натяжения за пробег по своему характеру близка к гармонической, с частотой, равной удвоенному пробегу ремня;

– изменение упругих свойств по длине ремней в общем невелико однако различие этих свойств между отдельными ремнями значительно, что может существенно влиять на проявление других видов погрешностей.

Значение погрешностей и вызываемые ими усилия по своей сущности являются случайными величинами, поэтому для количественной оценки их необходимо оперировать статистическими понятиями. В связи с этим были проведены соответствующие статистические исследования. Объектами исследования являлись приводные и вариаторные ремни, а также шкивы передач комбайнов. Методика и основные результаты этих исследований приведены в работе [5].

Анализ результатов исследований позволил установить следующее:

– распределение величин погрешностей и вызываемых ими усилий подчиняются нормальному закону;

– среднестатистические значения усилий, вызываемые погрешностями ремней челюстной вулканизации, – недопустимо велики и сопоставимы *с* усилием начального натяжения;

– -среднестатистические значения усилий; вызываемые ремнями ротационной вулканизации и радиальными биениями шкивов, значительно меньше усилий, вызываемых ремнями челюстной вулканизации.

На рис. 1 приведена кривая распределения параметра $\Delta 2F_0$ для одного из исследованных ремней (вариаторного ремня 68х24х2600).

Изменения усилия натяжения, вызываемые погрешностями, в работающей передаче будут приводить к возникновению дополнительных динамических напряжений в ремне и тем самым снижать его долговечность.

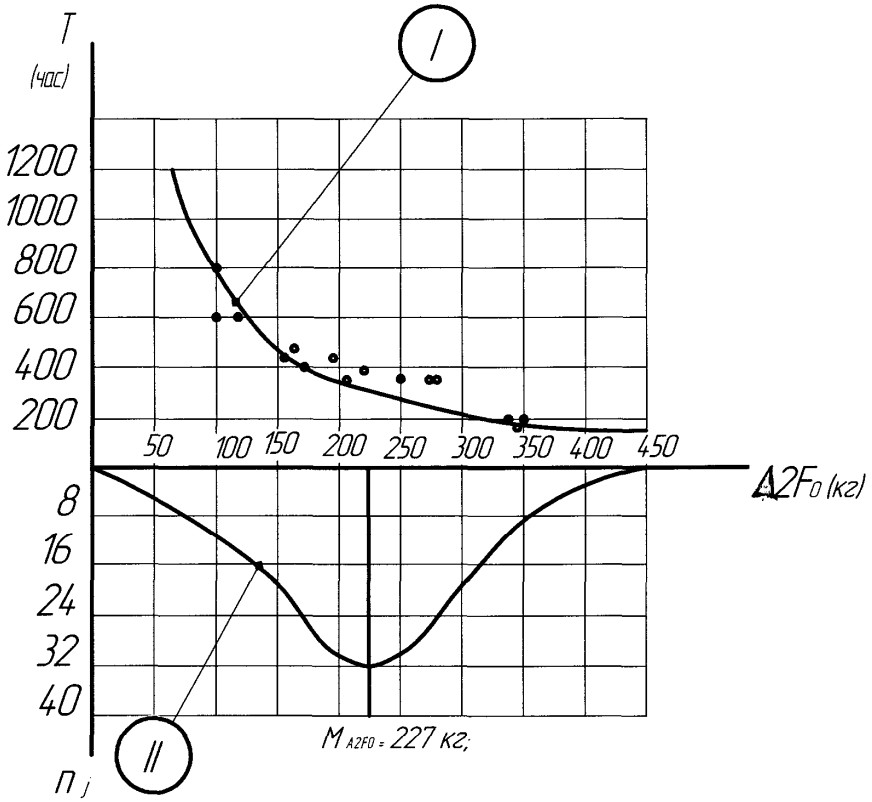


Рисунок 1. I – зависимость долговечности вариаторного ремня от величины усилия, вызываемого его погрешностями.
II – кривая распределения параметра $\Delta 2F_0$, у вариаторного ремня.

Долговечность ремня с учетом влияния дополнительных усилий вызываемых его погрешностями, может быть определена по выражений

$$T_п = \frac{T}{\eta}, \qquad (1)$$

где T – долговечность ремня без учета влияния его погрешностей.

$\eta = \left[1 + \frac{\Delta F_0 k_{др}}{S_z\left(\sigma_1 + 0.24E_{р.пр}\frac{h}{D}\right)}\right]^p$ – коэффициент, показывающий, во сколько раз дополнительные усилия от погрешностей ремня снижают его долговечность;

$k_{др}$ – коэффициент, учитывающий влияние динамических свойств передачи на величину дополнительных усилий в ремне;

σ_1 – напряжение в ведущей ветви ремня;

S_z – суммарная площадь сечения обеих ветвей ремня;

h – высота сечения ремня;

D – расчетный диаметр меньшего шкива;

$E_{р.пр}$ – приведенный модуль упругости на растяжение;

p – показатель .степени кривой усталости.

Расчеты, проведенные на основании этой зависимости, показали, что усилия, вызываемые погрешностями, значительно снижают долговечность ремней.

Экспериментальные исследования по влиянию дополнительных усилий, вызываемых погрешностями ремней, на их долговечность включали в себя стендовые и эксплуатационные испытания.

Режимы испытаний были отработаны экспериментально. Были приняты следующие режимы; начальное натяжение σ_0 =18 кг/см^2; скорость ремня V = 18 м/сек.; средняя нагрузочная мощность N = 80 л. с.

Полученная по результатам испытаний зависимость долговечности ремней от величины усилия, вызываемого их погрешностями, представлены рис. 1. Обработка результатов испытаний позволила полупить зависимость между эффективным числом циклов, выдерживаемых ремнем до разрушения, и максимальным условным напряжением в опасном сечении, которая имеет вид:

$$Z_{эф} = \left(\frac{190}{\sigma_{max}}\right)^{23.89} \quad (2)$$

Эксплуатационные испытания ремней проводились на зерноуборочных комбайнах.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Технологические погрешности изготовления, проявляясь в передаче, вызывают изменение усилия натяжения за пробег ремня.
2. Изменение усилия натяжения в работающей передаче приводит к возникновению дополнительных динамических нагрузок в ремнях и тем самым значительно снижает их долговечность.
3. Улучшение качества изготовления ремней с позиции их точности является важным резервом повышения их долговечности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кухтов В.Г. Долговечность деталей шасси колесных тракторов. Харьков: РИО ХНАДУ, 2004. - 292 с.

2. Пронин Б.А., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи. -М.: Машиностроение, 1980. - 320 с.

3. Есипенко Я.И. Механические вариаторы скорости. - Государственное издательство технической литературы УССР. - К., 1961. -218 с

4. Бесступенчато - регулируемые передачи. Межвузовский сборник научных трудов. Ярославль.1976.

5. Галаджев Р. С., Кочетов В. А., Ровеиьков Е. Д., Савенков М. В. Статистический анализ дополнительных усилий, возникающих в клиноременных передачах зерноуборочных комбайнов. «Каучук и резина», 1972, № 11. УДК 621.82,01+621.852.1.

ИСПЫТАНИЯ НАКЛАДНОГО МАГНИТНОГО АКТИВАТОРА ТОПЛИВА НА АВТОТРАНСПОРТЕ

Малыгин Б.В., Погорлецкий Д.С., Котыло А.В.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Экологические требования к современному автомобилю являются в настоящее время приоритетными. Экологическая безопасность - это свойство автомобиля снижать негативные последствия влияния эксплуатации автомобиля на участников движения и окружающую среду. Она направлена на снижение токсичности отработанных газов, уменьшение расхода топлива. Возможность снижения расхода топлива и, соответственно, уменьшение эксплуатационных расходов и загрязнения атмосферы отработавшими газами на сегодняшний день приоритетная задача многих научных организаций и институтов.

Постановка проблемы. Автопроизводители активно снижают объемы моторов и оснащают их системами турбонаддува и непосредственного впрыска ради снижения расхода топлива и выбросов углекислого газа (CO_2) [1]. Однако, по оценкам специалистов из научно-исследовательского технического института TÜV Nord, такие агрегаты в процессе сжигания топлива производят гораздо больше ядовитых веществ, чем старые «атмосферники», сообщает LiveCars.ru. Согласно сказанному совершенствование механизма подготовки топлива к сжиганию, для уменьшения расхода топлива и повышения экологических показателей двигателей по выбросам отработавших газов в атмосферу является на сегодняшний день перспективным направлением исследований.

Актуальность исследования. Разработка и испытания приборов для магнитной обработки топлива на автотранспорте становится актуальной, в связи с тем, что значительное внимание отводится цене топлива и экологическому аспекту. Согласно этому высказыванию магнитная обработка углеводородного топлива довольно актуальна со стороны уменьшения вредных выбросов в атмосферу, расхода топлива, а также повышения эксплуатационного срока службы двигателей.

Цель работы: Установить на автомобили активаторы углеводородного топлива, провести испытания и анализ влияния магнитного активатора на автомобильные двигателя внутреннего сгорания. Наметить пути дальнейших исследований.

Изложение основного материала. Прототипом активатора топлива для использования на автотранспорте послужил активатор, который прошёл испытания на промышленном стенде [2]. Была доказана целесообразность использования данного устройства на судовых дизельных двигателях. Нами был разработан, опытный образец накладного магнитного активатора топлива для автомобилей, который отличается от прототипа простотой конструкции и монтажа, увеличенной мощностью магнитов (рис. 1). Он установлен и проходит испытания на нескольких автомобилях разных марок: Volkswagen Golf Variant с двигателем 1,9 TDI (рис. 2); Renault Kangoo 1.5 dCi (рис. 3); Mazda 3 2.0 (рис. 4). На всех автомобилях установлены бортовые компьютеры фирмы Multitronics; на Volkswagen Golf Variant (RIF-500), Renault Kangoo (TC 50UPL), Mazda 3 (VG1031UPL).

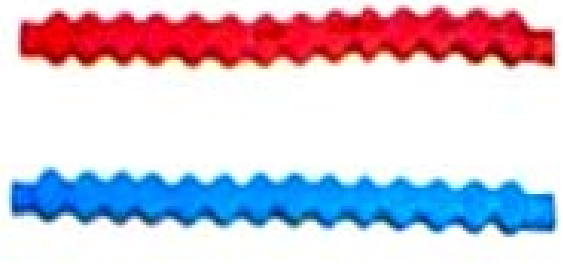


Рисунок 1. Накладной магнитный активатор

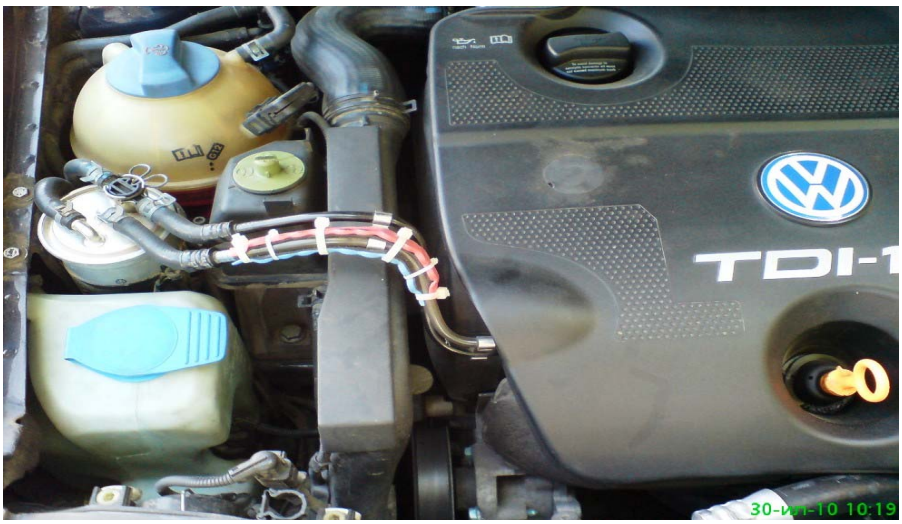


Рисунок 2. Volkswagen Golf Variant1.9 TDI

Рисунок 3. Renault Kangoo 1.5 dCi

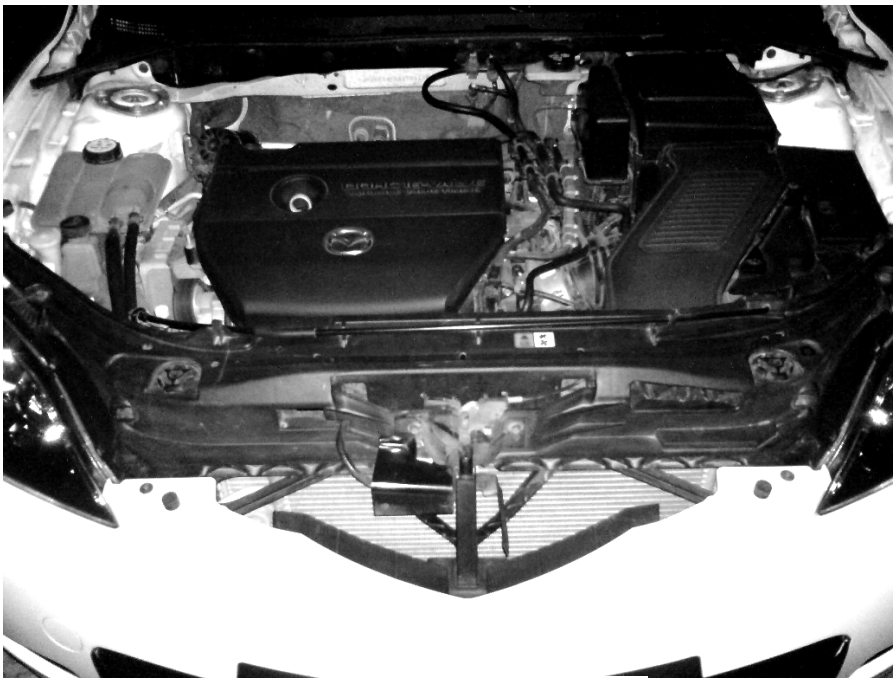


Рисунок 4. Mazda3 2.0

Автомобили находились в технически исправном состоянии, на что имели акты технического осмотра. Маршрут и состояние дорожного покрытия, условия движения, а также погодные условия были одинаковыми в период проведения замеров расхода топлива. Период времени, за который были собранные данные по расходу топлива, составляет 4 месяца или 5000 км пробега. В начале испытаний сделаны базовые замеры среднего расхода топлива без активатора, которые, по сравнению с паспортными данными, имеют отличия: Volkswagen Golf Variant1.9 TDI – 12 %; Renault Kangoo 1.5 dCi – 15 %; Mazda 3 2.0 – 10 %. Согласно данным показаниям видно, что установленный средний расход топлива больше чем паспортный. После установки магнитного активатора топлива разница между средним расходом с активатором и без него составила: Volkswagen Golf Variant1.9 TDI – 11%; Renault Kangoo 1.5 dCi – 13%; Mazda 3 2.0 – 8%. Данные результаты позволяют сделать вывод, что при использовании магнитного активатора, расход топлива на автомобилях максимально приблизился к заводским параметрам (табл. 1).

Таблица 1. Средний расход топлива на автомобилях

Марка автомобиля	Модель бортового компьютера	Паспортный расход топлива, (средний расход)	Расход топлива до установки магнитного активатора, (средний расход)	Расход топлива после установки магнитного активатора, (средний расход)
Volkswagen Golf Variant 1.9 TDI	Multitronics-RIF-500	7,4 л/100 км	8,5 л/100 км	7,5 л/100 км
Renault Kangoo 1.5 dCi	Multitronics TC 50UPL	5,5 л/100 км	6,5 л/100 км	5,6 л/100 км
Mazda3 2.0 MZR	Multitronics VG1031UPL	8,2 л/100 км	9,2 л/100 км	8,4 л/100 км

Выводы и перспективы дальнейшего исследования.

Использование магнитного активатора топлива привело к тому что расход топлива максимально приблизился к заводским параметрам. В перспективе проведение исследования влияния магнитного поля на физические и химические свойства углеводородного топлива, а также проверка возможности замены постоянных магнитов на электромагнит и обработка топлива импульсным магнитным полем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные двигатели для автомобилей оказались вреднее старых. http://news.eizvestia.com

2. Акт технических испытаний магнитного активатора топлива (АТМ) в лаборатории судовых энергетических установок и технической эксплуатации (СЕУ и ТЕ). Одесского национального морского университета. 07.09.2010 года; г.Одесса.

ГИДРОВОЛНОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Настасенко В.А.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Введение. Гидроволновая энергетика, как разновидность гидроэнергетики, до настоящего времени не получила широкого промышленного применения. Объясняется это различиями в виде использования источников энергии – в гидроэнергетике ею является кинетическая энергия движения потока воды, которая образована потенциальной энергией ее верхнего слоя, поднятого плотиной, в гидроволновой энергетике – ею является энергия движения волн, которая имеет 3 составляющих ее вида: 1) кинетическую – образованную поступательным движением волн, 2) потенциальную – образованную перепадом высот между их верхушкой и подошвой, 3) круговую – образованную вращательным движением капель воды в пересечении волны, при этом соотношение данных запасов энергии составляет величины 1:1:4.

Основными сдерживающими факторами развития гидроволновой энергетики являются: нестабильность параметров волн, более сложная система преобразования механической энергии в электрическую, а главное – опасность разрушения станций или отдельных ее механизмов мощными волнами во время сильного шторма. Если обеспечить этим системам повышенный запас прочности, то они теряют чувствительность к нижнему порогу действия волн, которые изменяются в течение времени года и времени суток, особенно в летние периоды, что значительно уменьшает суммарную мощность системы. Этот фактор важен для Украины, которая не имеет участков моря, подобных «ревущим 40-вым широтам», где высота волн составляет величину не менее 1,5 м. Еще сложнее использование данных систем на морском транспорте, поскольку мощности современных суден превысили 40 МВт/ч, что требует значительных объемов для размещения любой из известных гидроволновых систем на судне и уменьшает его грузоподъемность, а рост размеров их корпусов существенно уменьшает чувствительность судна к качке волнами.

Однако указанные недостатки могут быть устранены у прибрежных гидроволновых электростанций, поскольку их размеры выбирают с учетом конкретных параметров волн, действующих в местах их расположения, а вся полезная грузоподъемность корпуса может быть использована лишь для его гидроволновой системы. Таким образом, в условиях постоянного мирового роста потребностей в электрической энергии и ограниченности возможностей строительства гидроэлектростанций, которые обычно затапливают большие земельные площади, и исходя из угрозы исчерпаемости уже в XXI веке используемых для тепловых электростанций традиционных топлив на базе нефти и газа, вопрос разработки высокоэффективных гидроволновых электростанций является актуальным и важным, как для Украины, так и для мирового сообщества в целом.

Главная цель и основные задачи работы. Выбор для исследований в данной работе гидроволновой энергетики обусловлен тем, что удельный потенциал энергии волн значительно выше, по сравнению с потенциалом солнечной и ветровой энергетики, кроме того, гидроволновые станции не занимают площадей на суше, ограниченных размерами и имеющих конкретную стоимость. Поэтому *главной целью данной работы* является анализ развития известных систем гидроволновой энергетики и выбор наиболее перспективных из них для создания прибрежных гидроволновых электростанций, а основными задачами является сравнение их технико-экономических возможностей. *Научную новизну работы* составляет обоснование новой концепции развития и использования гидроволновой энергетики, в т.ч. на морском транспорте, поскольку в работах Морского Регистра России [1] она определена для суден, как недоступная. Решение поставленных в данной работе задач имеет большое теоретическое и практическое значение, поскольку именно это вид энергетики может быть главным видом развития энергетики будущего.

Анализ базовых вариантов гидроволновых энергетических установок.

Простейшая гидроволновая энергетическая установка состоит из стенки, покрытой пьезокристаллами, вырабатывающими электрический ток при сжатии под ударами волн, однако их к.п.д. не превышает 10 %, а под ударами сильных волн они быстро разрушаются. Учитывая относительную дороговизну пьезоэлектриков и потребность больших площадей для обеспечения промышленных объемов вырабатываемого электрического тока, данные системы технически возможны, но экономически нецелесообразны, поскольку затраты на выработку 1 кВт/ч электроэнергии превышают 1$.

Среди наиболее известных гидроволновых энергетических установок, доведенных до практической реализации, следует считать «контурные плоты Коккерелля» и «утки» Солтера [2], имеющие колеблющиеся волнами поплавки, движения которых передается на электрогенераторы. Их недостатки – большая протяженность собранных друг с другом в связки устройств, что может привести к их разрыву при сильных волнах и усложняет их ориентации при изменении направления движения волн. Поэтому современные установки, [3] действующие по принципу плота Коккерелля (рис.1) сделаны автономными, однако стабильность их эксплуатации при сильных волнах затруднена.

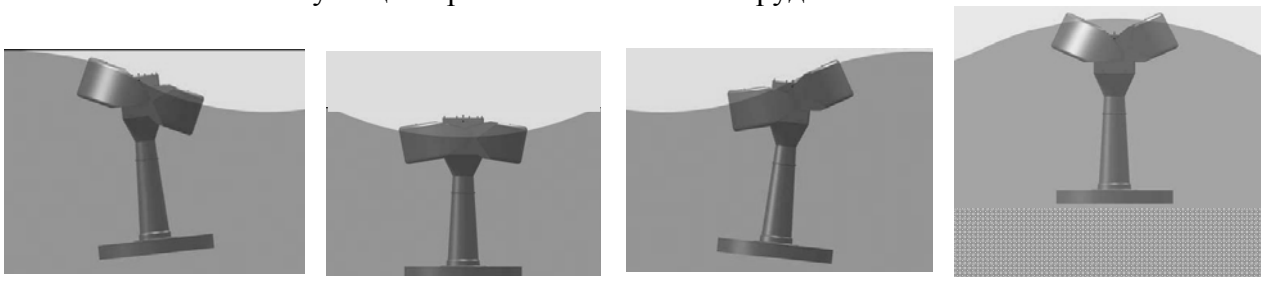


Рисунок 1. Гидроволновая станция компании Columbia Power Technologies и фазы ее действия

Таким образом, необходим поиск новых технических решений устраняющих указанные недостатки известных гидроволновых станций.

Новое направление в исполнениях гидроволновых энергетических установок

Новое направление в развитии гидроволновой энергетики связано с системами электрогенераторов маятникового типа по патенту Российской Федерации на изобретение [4], схемы которых показаны на рис. 2.

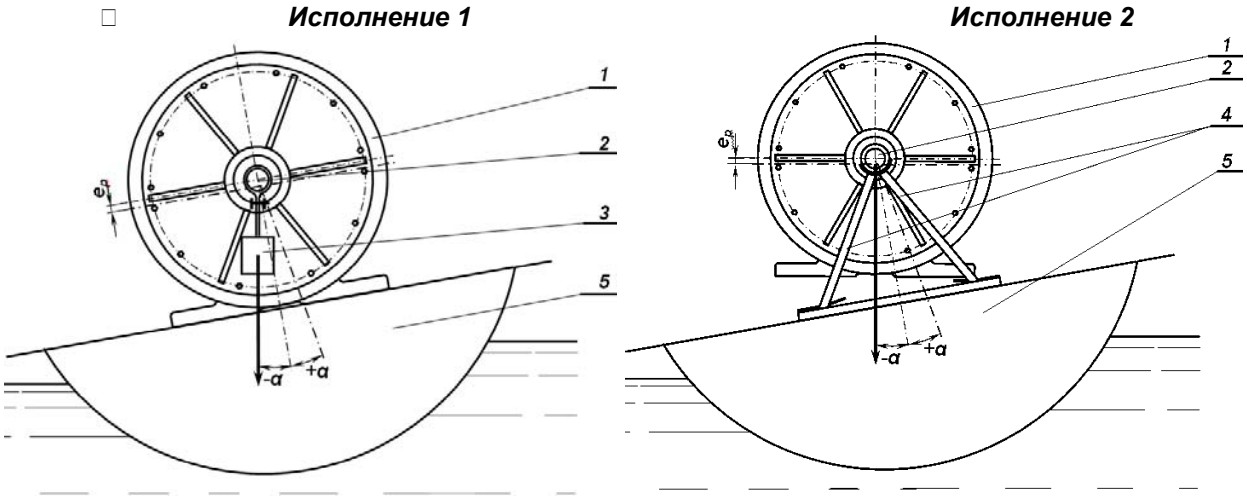


Рисунок 2. Принципиальные схемы гидроволновых электрогенераторов маятникового типа

В отличие от обычных электрогенераторов, в которых введенный в статор 1 ротор 2 статически сбалансирован, в новой системе на него надевают груз 3 (исполнение 1), или электрогенератор 1 устанавливают ротором 2 на опоры 4 со свободным подвесом статора

(исполнение 2), который уже является статически неуравновешенным за счет смещения e_p центра его массы относительно оси подвеса ротора, что обеспечивает ротору или статору стойкую ориентацию к центру Земли. При установке таких систем на плавающее средство 5, которое колеблется волнами на угол $\pm\alpha$, статор и ротор генератора осуществляют такие же колебания друг относительно друга, что ведет к выработке ими электрического тока.

Данные системы электрогенераторов могут устанавливаться в трюме корпуса плавучей гидроволновой электростанции друг за другом рядами и шеренгами. Кроме простоты конструкции, главным преимуществом данной системы является ее размещение в корпусе судна, которое исключает прямое действие на нее ударов волн и адекватно уменьшает возможность поломок. Второе их преимущество по сравнению с «плотами Коккерелля» и «утками Солтера» – маневренность относительно фронта подхода волн и возможность укрытия в бухтах и портах при приближении сильного шторма за счет собственных подруливающих и ходовых электродвигателей. Однако недостатком данной системы, отнесенной к 1-му поколению маятниковых гидроволновых электрогенераторов является ее небольшая мощность, за счет малой условной частоты вращения ротора или статора (составляющей всего 1… 2 мин$^{-1}$) и незначительной величины эксцентриситета, что требует устранения этих недостатков при дальнейшей разработке данных систем.

Во 2-м поколении, на базе заявки на патент Российской Федерации на изобретение [5], возможно увеличение частоты вращения роторов за одно колебание системы (рис. 3). Генераторы 1, которые имеют статор 2 и ротор 3, могут быть установлены на опорах 4 с осью 5 на концах 6 опор, со смещением оси 7 ротора относительно оси 5, связанной с осями промежуточных зубчатых колес 8, которые введены в зацепление с шестерней 9 на валу ротора и с внутренним зубчатым венцом 10, закрепленным на корпусе статора. При этом эксцентриситет оси подвеса и центра массы генератора значительно растет, что обеспечивает ему более стойкую ориентацию к центру Земли, с выработкой увеличенной мощности электрического тока по рассмотренному выше принципу.

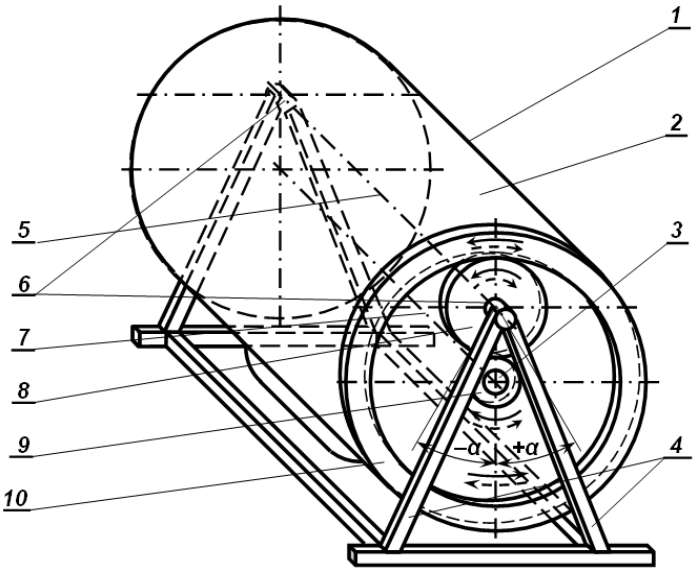


Рисунок 3. Принципиальная схема маятниковых гидроволновых электрогенераторов с промежуточными зубчатыми колесами

При этом волны действуют не на генераторы и их зубчатые колеса, а на корпус плавающего средства, и при установке опор на демпферы – удары волн смягчаются, что исключает поломку зубчатых колес, Кроме увеличения частоты вращения ротора и эксцентриситета в системе подвеса, преимуществом новой системы гидроволновых электрогенераторов является принудительное противоположное вращение ротора и статора, которое обеспечивает ей чувствительность, начиная с наклона корпуса плавучего средства волнами на угол $\alpha \leq 1^{o}$.

3-е поколение гидроволновых электрогенераторов основано на развитии предыдущего поколения за счет выполнения внешней оси подвеса и увеличения длины маятника (рис. 4).

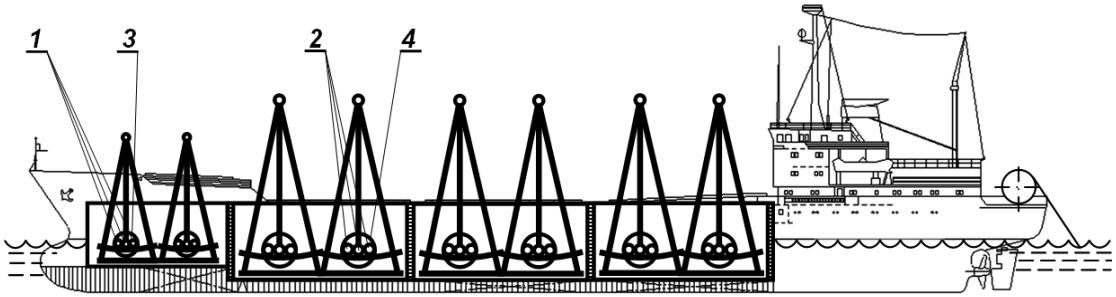


Рисунок 4. Плавучая прибережная електростанция 3-го поколения з гидроволновми электрогенераторами маятникового типа

Энергетический потенциал E такой системы в пределах углов колебания волнами $\pm\alpha = 10^o$ растет прямопропорционально росту эксцентриситета e и массы m, а от угла α – в пределах зависимости (1), которая близка к квадратичной:

$$E = gme(1-\cos\alpha) \text{ (Дж)}. \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения.

Например, при средней массе системы m = 10 т, радиусе r = 30 м, минимальном угле $\alpha = 1^o$ и максимальном угле $\alpha = 10^o$, энергетический потенциал одного генератора будет составлять следующие величины:

$$E_{\min} = 9{,}8 \cdot 10 \cdot 30 \cdot (1-\cos 1^o) \approx 0{,}45 \text{ (КДж)}, \quad \text{……..(2)}$$

$$E_{\max} = 9{,}8 \cdot 10 \cdot 30 \cdot (1-\cos 10^o) \approx 45 \text{ (КДж)}. \quad (3)$$

Поэтому наиболее целесообразно размещение таких гидроволновых станций в местах, где минимальная высота волн составляет 1,5 м, что реально выполнимо в 40-х широтах океанов.

С учетом минимального периода колебания корпуса плавающего средства τ_{min}= 2 с при $\alpha = 1^o$, и максимального τ_{max}= 6 с при $\alpha = 10^o$, мощность, которую может развивать каждый такой электрогенератор, будет составлять от 0,75, до 25 КВт/ч. Таким образом, для промышленной гидроволновой электростанции мощностью 1 МВт, необходимо наличие 40 таких генераторов, размещаемых в корпусе водоизмещением < 10 тыс. т. для повышения их чувствительности к качке малыми волнами.

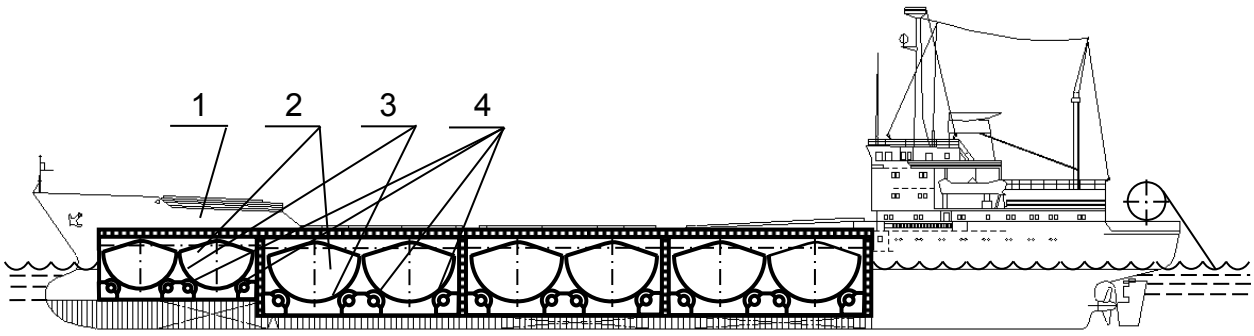


Рисунок 5. Плавучая прибережная гидроволновая электростанциія 4-го поколения по заявке на патент Российскої Федерации № 2014103002

Дальнейшее увеличение энергетического потенциала обеспечено в гидроволновых станциях 4-го поколения по заявке на патент РФ [6]. Ее особенностями являются увеличение колеблющихся секторов 2 активной массы m до 1 тыс. т. и установка их дуговых основания 3 на опорные ролики 4, что значительно увеличивает их энергетический потенциал, что показано в работе [7].

$$\Sigma E_p = \Sigma R_{п(л)} r_к \frac{\pm \alpha\pi}{180^o} = 13,84 \Sigma m r_к \frac{3,14(\pm\alpha)}{180^o} = 0,24 \Sigma m r_к (\pm\alpha) \quad (4)$$

$$\Sigma N_p = \frac{2\Sigma E_p}{\tau_в} \text{ (кВт).} \quad (5)$$

Таким образом, энергетический потенциал каждого рабочего модуля станции 4-го поколения в 100 раз превышает энергетический потенциал модулей предыдущей станции 3-го поколения, что делает производство станции мощностью 10 МВт технически возможным и экономически целесообразными.

Общие выводы и рекомендации. Анализ основных видов гидроволновых систем показал, что все известные ранее технические системы несовершенны и в большинстве случаев – экономически нецелесообразны.

Более перспективными являются гидроволновые электрогенераторы маятникового типа по патенту РФ [3], а среди них – станции 4-го поколения с установкой дуговых секторов с генеральным грузом на опорные ролики.

Их преимуществами по сравнению с известными системами являются:

1. Размещение внутри корпуса плавающего средства, что существенно уменьшает возможности их повреждения ударами сильных волн.
2. Небольшие размеры корпусов – до 150 м в длину и 16 м в ширину с автономным электродвигателем, что облегчает их управляемость по отношению к фронту подхода волн и обеспечивает возможность их укрытия в бухтах и портах в сильный шторм.

Таким образом, применение гидроволновых электрогенераторов маятникового типа может быть положено в основу новой концепции развития гидроволновой энергетики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шурляк В.К. Применение альтернативных видов энергии и топлив на морских судах.– С-Петербург ГМА им. Макарова, 2012. - 47с. – URL: www.korabel.ru/filemanoger /OTHER/0/0/3

2. Вершинский Н.В. Энергия океана. – М.: Наука, 1986. – 152 с.

3. URL: www.ansyssolutionys.ru Adobe Reader -[ANSYS-Advatage-15-2011-AQWA.pdf

4. Патент Российской Федерации на изобретение № 2396673 Генератор электрического тока, его варианты и способы их установки. МПК H02K 19/00 Заявка № 2009100832/09 от 12.01.09. Авт. изобр. Настасенко В.А. //БИ № 22 от 10.08/2010.

5. Заявка на патент Российской Федерации на изобретение № 2012125508 от 19.06.12. Маятниковый гидроволновой генератор электрического тока. Авт. Настасенко В.А.

6. Заявка на патент Российской Федерации на изобретение № 2014103002 от 28.01.14. Плавучая прибрежная гидроволновая электростанция. Авт. Настасенко В.А.

7. *Настасенко В.О.* Порівняння енергетичного потенціалу гідрохвильових енергетичних установок маятникового типу 3-го – 4-го поколінь /Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. –Херсон, ХДМА, 2014. – с. 279-284.

УТОЧНЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ ЧОТИРИТАКТНИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗВОРОТНО-ПОСТУПАЛЬНОЇ ДІЇ

Овдій В.М.
Херсонський державний університет (Україна)

Ефективність чотиритактних двигунів внутрішнього згоряння зворотно-поступальної дії лежить в межах від 20% до 42%. Згідно сучасним уявленням [1] розподіл енергії палива (тепловий баланс) в чотиритактних двигунах внутрішнього згоряння визначається за формулою:

$$Q = Q_е + Q_w + Q_г + Q_{н.с.} + Q_{ост}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

де: Q – теплота, що виділяється при згорянні палива, кДж/с; $Q_е$ – теплота, що відповідає ефективній роботі, кДж/с; Q_w – втрати теплоти на охолодження двигуна, кДж/с; $Q_г$ – втрати теплоти з відпрацьованими газами, кДж/с; $Q_{н.с.}$ – втрати теплоти від неповноти згоряння палива, кДж/с; $Q_{ост}$ – останній член балансу, що дорівнює сумі всіх неврахованих втрат, кДж/с. В відсотках рівняння теплового балансу має вигляд:

$$100\ \% = q_е + q_w + q_г + q_{н.с.} + q_{ост} \quad (2)$$

В таблиці 1 відображено розподіл енергії в чотиритактних двигунах внутрішнього згоряння, який з невеликою розбіжністю відображають різні автори навчальних підручників.

Таблиця1. Розподіл енергії палива в чотирьохтактних двигунах внутрішнього згоряння

Тип двигуна	$q_е$, %	q_w, %	$q_г$, %	$q_{н.с.}$, %	$q_{ост}$, %
Високого стиснення	32…40	20…25	20…25	0…5	5…10
Низького стиснення	20…25	20…30	25…30	0…10	5…10
З наддувом	37…42	25…30	20…25	0…5	5…10

Таким чином, підвищення ефективності чотиритактних двигунів внутрішнього згоряння передбачає зменшення перерахованих енергетичних втрат. Але, ніяке удосконалення систем і механізмів двигунів внутрішнього згоряння чомусь не дозволяє перевищити рубіж їх ефективності понад 42 %. В чому причина? Чи вичерпані всі можливості удосконалення ДВЗ? А може в рівняннях (1) та (2) не враховані ще якісь додаткові витрати енергії?

Аналіз сучасної інформації з питань роботи двигунів внутрішнього згоряння показує, що ні в одному з опрацьованих літературних джерел автори не враховують витрати енергії на подолання сил інерції покою при виводі рухомих деталей поршневої групи з мертвих точок поршнів та на їх гальмування [2], вже не кажучи про затрати енергії на маятникове коливання шатуна, привод механізму газорозподілу, стиснення повітря в дизельних двигунах або робочої суміші в бензинових двигунах та ефективності крутного моменту під час робочого ходу поршня [3].

Для оцінки витрат енергії на подолання сил інерції покою при виводі рухомих деталей поршневої групи з мертвих точок поршнів та на їх гальмування ми заложили наступні вихідні данні та позначення: процес розглядаємо в одному циліндрі; маса рухомих деталей поршневої групи (поршня, пальця, кілець, шатуна) m; хід поршня S, діаметр циліндра d, частота обертання колінчатого валу двигуна n, c^{-1}.

За один оборот колінчастого валу поршнева група двічі набуває прискорення і двічі потерпає гальмування до нуля. Тобто за один оборот колінчатого валу необхідно чотири рази затратити енергію на зміну кінетичної енергії зворотно-поступального руху поршневої групи ($z = 4$).

За одну секунду число прискорень та гальмувань поршня складає:

$$k = n \cdot z = 4 \cdot \text{n}, \text{ с}^{-1}.$$

Шлях прискорення та шлях гальмування поршня складає половину його робочого ходу, тобто:

$$l = S / 2, \text{ м}.$$

Максимальна швидкість поршня в центрі циліндра і складає:

$$V_{\max} = l \cdot k = S \cdot 4 \cdot n/2 = 2 \cdot S \cdot n, \text{ м/с}.$$

При цьому, кінетична енергія зворотно-поступального руху деталей кривошипно-шатунного механізму одного циліндра складає:

$$E_к = m \cdot V^2_{\max}/2 = m \cdot (2 \cdot S \cdot n)^2/2 = 2m \cdot S^2 \cdot n^2, \text{ Дж}.$$

Необхідні витрати на зміну кінетичної енергії за одну секунду складуть:

$$E_i = E_к \cdot k = 2m \cdot S^2 \cdot n^2 \cdot k = 2m \cdot S^2 \cdot n^2 \cdot 4n = 8m \cdot S^2 \cdot n^3, \text{ Вт}.$$

Робочий об'єм циліндра:

$$V_{рц} = \pi d^2 \cdot S/4, \text{ м}^3.$$

Маса повітря в циліндрі:

$$m_{пов} = V_{рц} \cdot \rho_{пов}, \text{ кг}.$$

Для визначення відсоткових втрат енергії палива на зміну кінетичної енергії зворотно-поступального руху поршневої групи визначимо його розрахункову потужність.

Маса палива для утворення паливної суміші:

$$m_{пал} = m_{пов}/15 = \pi d^2 \cdot S \cdot \rho_{пов}/4 \cdot 15 = \pi d^2 \cdot S \cdot \rho_{пов}/60, \text{ кг}.$$

При теплотворній здатності палива $q = 46 \cdot 10^6$ Дж/кг та густині повітря $\rho_{пов} = 1{,}293$ кг/м^3, одноразова кількість виділеної теплоти при згорянні палива в циліндрі дорівнює:

$$Q_п = q \cdot m_{пал} = q\, \pi d^2 \cdot S \cdot \rho_{пов}/60, \text{ Дж}.$$

За одну секунду в одному циліндрі виділиться:

$$Q = Q_u \cdot n/2 = q\, \pi d^2 S \cdot \rho_{пов} \cdot n/60 \cdot 2 = q\, \pi d^2 \cdot S \cdot \rho_{пов} \cdot n/120, \text{ Вт}.$$

Відсоткові витрати q_i на подолання сил інерції складуть:

$$q_i = 100 \cdot E_i / Q = 100 \cdot 120 \cdot 8m \cdot S^2 \cdot n^3 / q\, \pi d^2 \cdot S \cdot \rho_{пов} \cdot n =$$
$$= 96 \cdot 10^3 \cdot m \cdot S \cdot n^2 / q \cdot \pi d^2 \cdot \rho_{пов} = 96 \cdot 10^3 \cdot m \cdot S \cdot n^2 / 46 \cdot 10^6 \cdot 3{,}14 \cdot d^2 \cdot \rho_{пов} =$$
$$0{,}514 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot S \cdot n^2 / d^2, \%$$

При значенні параметрів двигуна (m = 1 кг; S = 100 мм; d = 76 мм; n = 3000 хв$^{-1}$ = = 50 с$^{-1}$) відсоткові витрати q_i на подолання сил інерції становлять:

$$q_i = 0{,}514 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 0{,}1 \cdot 50^2 / 0{,}076 \cdot 0{,}076 = 22{,}25\%$$

Залежність витрат енергії палива на подолання сил інерції зворотно- поступального руху поршневої групи від частоти обертання колінчатого валу в діапазоні n = 0…100 с$^{-1}$ (0…6000 хв$^{-1}$) для зазначених конструктивних параметрів двигуна відображена на рис.1.

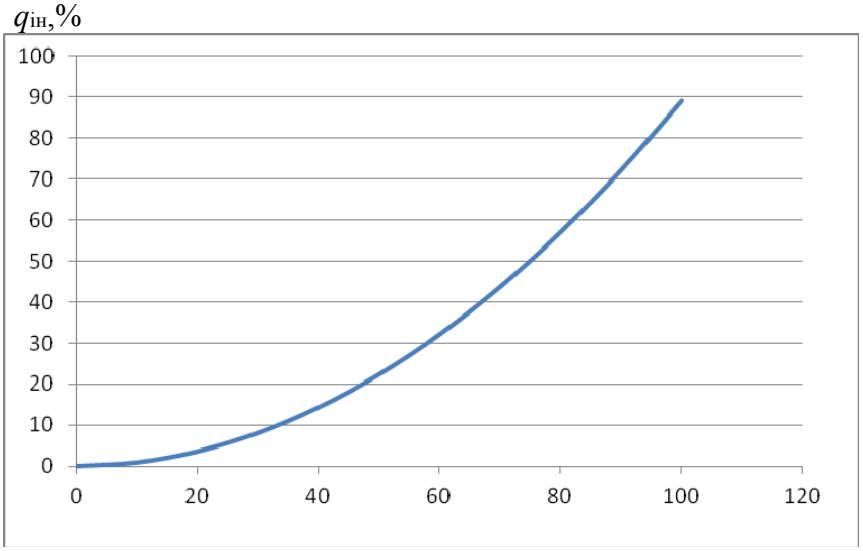


Рисунок 1. Залежність відсоткових $q_{ін}$,% витрат енергії палива на подолання сил інерції зворотно-поступального руху поршневої групи від частоти обертання колінчатого валу

Таким чином, втрати енергії палива на подолання сил інерції тільки зворотно-поступального руху поршневої групи залежать від сталих для даного двигуна параметрів (маси рухомих частин поршневої групи, ходу поршня, діаметра циліндра) та від частоти в другій ступені обертання його колінчатого валу.

Необхідні витрати потужності на стиснення робочої суміші в бензинових двигунах та повітря в дизельних двигунах зі ступенем стиснення ε можуть бути підраховані за формулою:

$$E_{стис} = V_{рц} \cdot p_{ат} \cdot \varepsilon \cdot n/2, \text{ Вт},$$

і в більшості представляє теоретичний інтерес, ніж практичний, тому що частина цих витрат використовується під час робочого ходу поршня.

Аналіз формули відсоткових витрат енергії палива на подолання сил інерції зворотно-поступального руху поршневої групи:

$$q_i = 0{,}514 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot S \cdot n^2/d^2, \%,$$

та залежності цих витрат від частоти обертання колінчатого валу двигуна (рис. 1) пояснює наявність номінальної та гранично допустимої частоти обертання колінчатого валу для кожної марки двигуна і вказує на необхідність уточнення даних розподілу енергії палива, наведених в таблиці 1.

ЛІТЕРАТУРА

1. Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания [Текст] : учебник. в 3 т. Т. 1. Теория рабочих процессов / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян [и др.] ; под ред. В.Н. Луканина. – М. : Высшая школа, 2009. – 368 с. : ил.

2. Овдій В.М. Енергетичні витрати в чотирьохтактних двигунах внутрішнього згоряння / Інновації у підготовці фахівців технологічної, професійної освіти та готельно-ресторанного бізнесу // Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Херсон: Айлант, 2012. – С. 59-60.

3. Овдій В.М., Браїло М.В. Кінетика крутного моменту в чотирьохтактному двигуні внутрішнього згоряння / Теорія і практика вдосконалення машин: проблеми і перспективи // Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Херсон: Айлант, 2011. – С. 108-111.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭМИССИИ CO_2 В ГАЗИФИКАЦИОННОМ ЦИКЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЯ В ГАЗИФИКАТОРЕ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

Пилатов А.Ю., Вершина Г.А., Горбунов А.В., Ноженко Е.С., Муха О.В., Матус А.В.
Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, (м.Луганск, Украина)
Львовский центр науки, инноваций и информатизации (Украина)
Технологический институт аэронавтики (м.Сан-Жозе дос Кампос, Бразилия)

Введение.

В настоящее время основным источником энергии для транспорта и тепловой энергетики продолжает оставаться жидкое и газообразное углеводородное топливо. Однако суммарные запасы углеводородных и производных от них топлив меньше уступают мировым ресурсам твердых топлив. При этом, сырье для жидких углеводородов может быть израсходовано уже в ближайшие десятилетия (см. рис. 1).

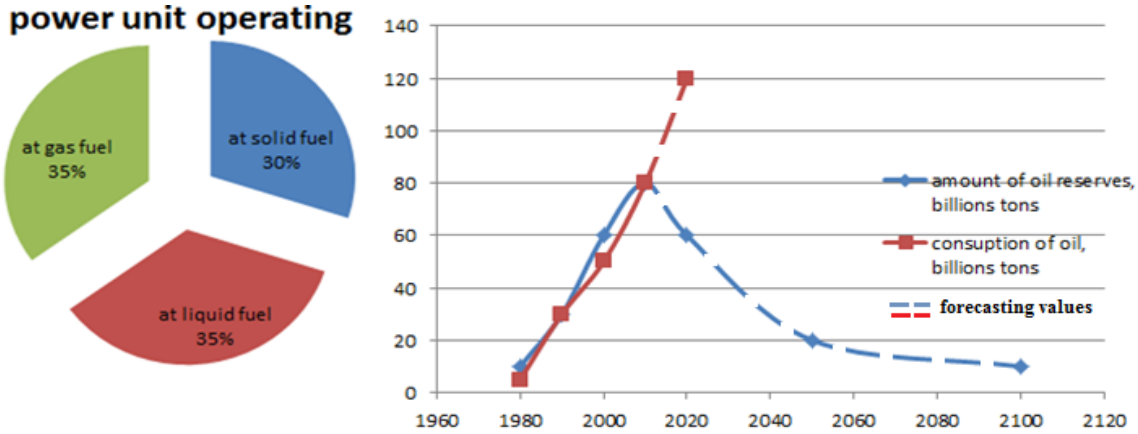


Рисунок 1. Распределение суммарного потребелния топливных углеводородных ресурсов [1]

Актуальность.

Актуальной задачей многих исследований является разработка методов эффективного и экологически безопасного использования углеводородных источников путем, например, вторичного их использования в таких важных отраслях экономики как транспорт и энергетика.

Кроме того, отмечается [2], что одновременно с быстрым расходованием добываемых энергоресурсов (рисунок 1) существенно растет доля парниковых газов (CO_2 и H_2O) в атмосфере, доля роста которых на транспортную отрасль составляет 60% и для предотвращения глобального изменений в атмосфере Земли предпринимается различный комплекс мер, ограничивающих рост выбросов парниковых газов, в том числе связанных с регулированием и уменьшением мощности транспортных двигателей. Одновременно с этим следует учитывать, что на мировом рынке продолжает сохраняться спрос на высокие мощностные показатели, что может быть связано с общим ростом энергопотребления и ростом населения земного шара.

Постановка задачи. В работах [1, 2] разрабатывается один из вариантов концепции энергетических систем комбинированного газификационного цикла, основанный на химическом использовании отработанных газов двигателя в газификаторе, использующем в качестве твердого топлива различные виды низкосортного угля либо биомассу (рис. 2).

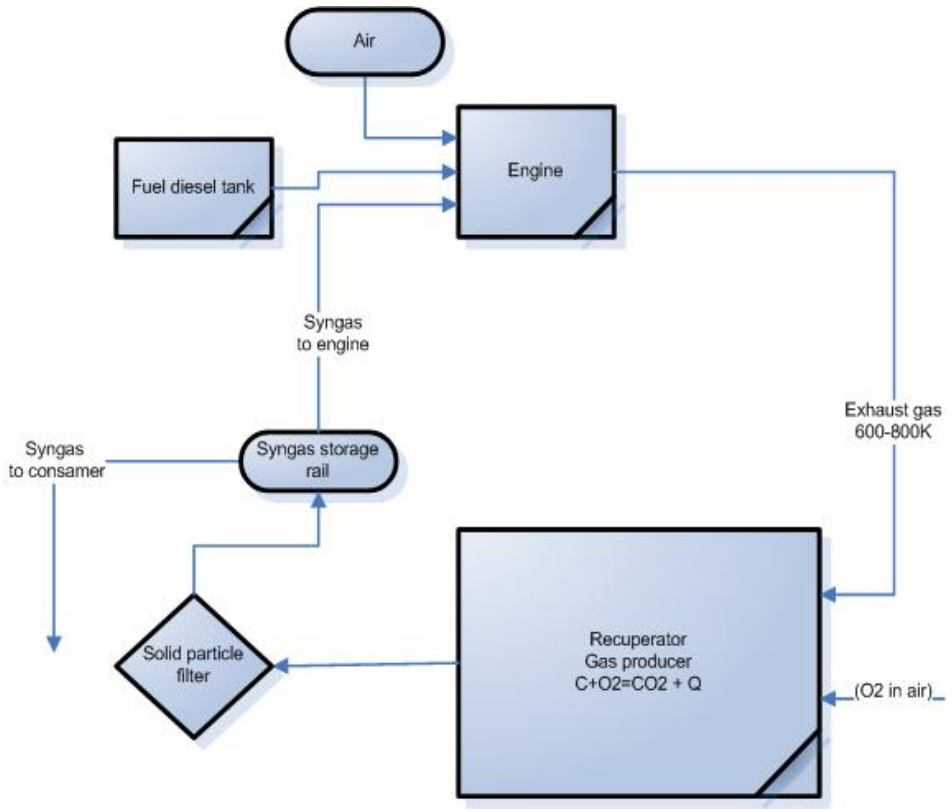


Рисунок 2. Схема общего газификационного цикла [1]

Воздух (*Air*) и топливо из топливной системы (*Fuel diesel tank*) поступает в двигатель (*Engine*), после которого образуются отработавшие газы (*Exhaust gas*) с температурой 600…800 К, которая недостаточна для проведения газификации по кинетической схеме [1, 2] в газификаторе (*Recuperator*). Вследствие этого в газификаторе требуется дополнительное сжигание ($C+O_2=CO_2+Q$) некоторого количества угля или биомассы в подаваемом из воздуха кислороде (O_2 *in air*). После очистки в фильтре твердых частиц (*Solid particle filter*). Из за того, что теплотворная способность производимого в газификаторе (*Recuperator*) существенно меньше теплотворности основного топлива двигателя (*Engine*), находящегося в топливной системе (*Fuel diesel tank*), необходимо увеличивать массу газа (*Syngas to engine*) для компенсации потерянной мощности в двигателе (*Engine*). Для увеличения цикловой подачи газа в двигателе в этих целях образуемый в газификаторе (*Recuperator*) синтез газ аккумулируется в газовом аккумуляторе (*Syngas storage rail*). Избыток массы газа (*Syngas to consamer*) удаляется из системы общего газификационного цикла (рис. 2) потребителям из газового аккумулятора (*Syngas storage rail*).

Идущий к потребителю синтез газ (*Syngas to consumer*) содержит процент CO_2, выделяющийся затем в атмосферу. Для определения количества CO_2 используется формула

$$\frac{dG_{CO2}}{dt} = \chi_g \cdot G_t\left(\left(\delta\beta + 1 - \beta\right)\cdot \alpha \cdot L_0 + 1 - \beta\right) \qquad (1)$$

где χ_g – массовая доля CO_2 в отходящих к потребителю отработавших газах;

G_t – часовой расход основного топлива прототипа;

δ – отношение теплотворной способности основного топлива к теплотворной способности синтез газа;

β – массовая доля синтез газа в топливной смеси основного топлива и синтез газа.

α – коэффициент избытка воздуха двигателя;

L_0 – стехиометрический коэффициент топливо-воздушной смеси.

В данной работе рассматривается вариант $\beta = 1$ рекуперативного обобщенного газификационного цикла (рис. 3), в котором исключается основное жидкое углеводородное топливо из рабочего процесса двигателя и использование в качестве топлива выработанного газификатором синтез газа. Из анализа полученных результатов в [1] следует, что увеличение массовой доли синтез газа в топливе приводит к существенному увеличению эмиссии CO_2.

Цель данного исследования – оценка эффективности снижения эмиссии CO_2 в отходящем к потребителю из газового аккумулятора (или в окружающую среду) синтез-газе, а также КПД общего цикла газификации путем введения добавок (воды, углекислого газа и топлива) в отработавшие газы перед входом в газификатор (рис. 3). При этом, отработавшие газы имеют температуру в пределах 700…900° С, и содержат остаточный кислород до 10% от массы отработавших газов, который также участвует в газификации и может быть использован для сжигания дополнительной массы топлива, как добавки, впрыснутой в отработавшие газы перед газификатором.

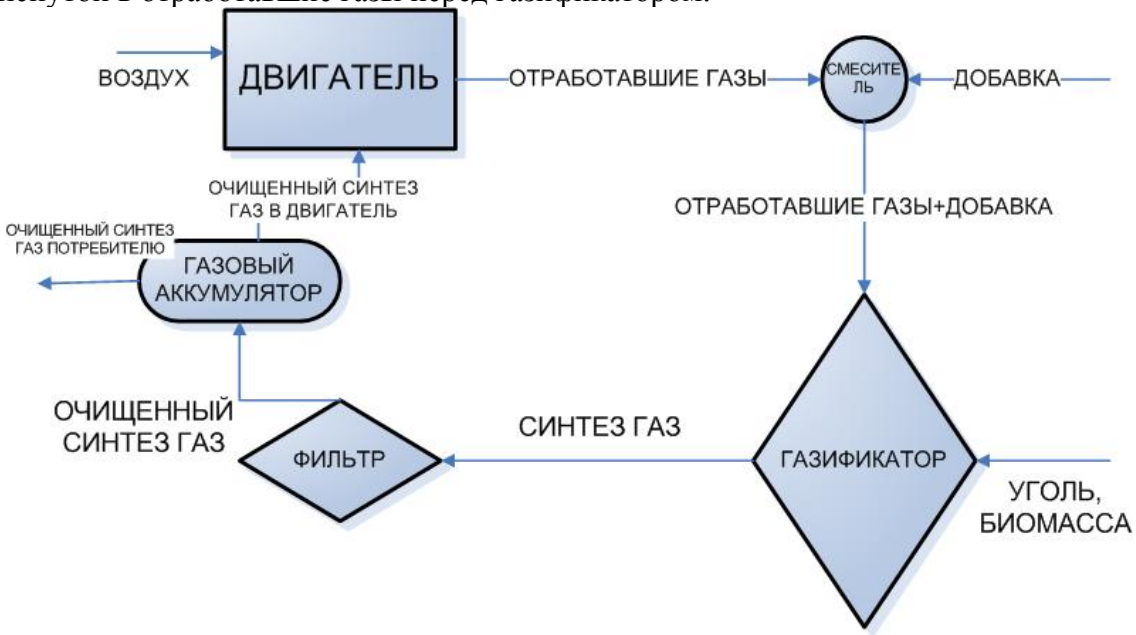


Рисунок 3. Предложенная схема рекуперативного комбинированного цикла с газификацией

Результаты исследований.

Результаты расчета процентного содержания углекислого газа в очищенном синтез-газе, идущем к потребителю (см. рис. 3), представлены на рис. 4, массовый расход углекислого газа представлен на рис. 5.

КПД рекуперативного обобщенного цикла определялся по формуле

$$\eta_{IGCC} = \frac{\delta \cdot Ne + \gamma \cdot Q_{\text{вых}}^{\text{СГ}}}{Q_{\text{потр}}^{\text{СГ}} + Q_{\text{потр}}^{\text{угля}}}, \qquad (2)$$

где δ – отношение теплотворной способности получаемого очищенного синтез газа к теплотворной способности основного топлива;

Ne – механическая эффективная мощность двигателя;

γ – отношение массового расхода газа, идущего в двигатель, к массовому расходу газа, направленному к потребителю;

$Q_{\text{вых}}^{\text{СГ}}$ – химическая энергия очищенного синтез газа после газификатора, кДж/с;

$Q_{\text{потр}}^{\text{СГ}}$ – химическая энергия синтез газа, как топлива, направляемого в двигатель, кДж/с;

$Q_{\text{потр}}^{\text{угля}}$ – химическая энергия угля либо биомассы, поступающей в газификатор, кДж/с.

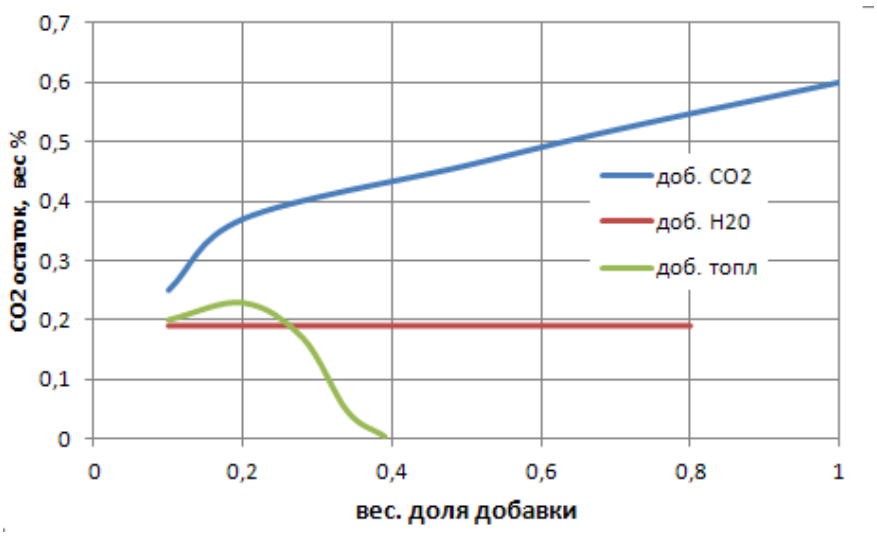


Рисунок 4. Влияние добавок на концентрацию CO_2 в очищенном газе, идущем к потребителю

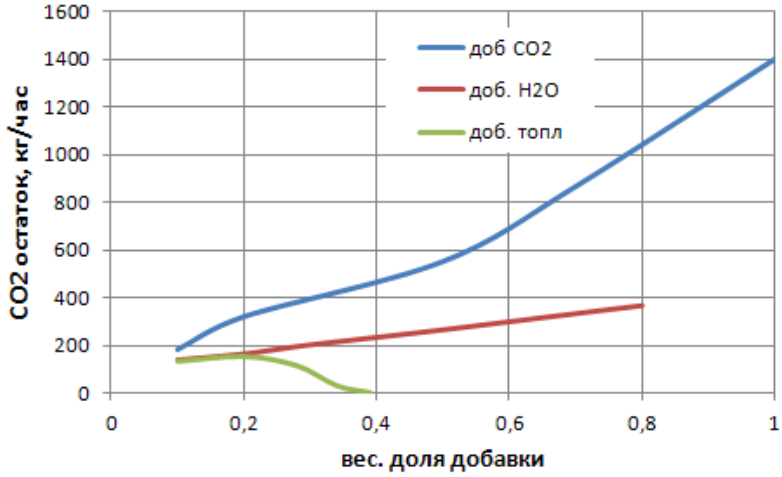


Рисунок 5. Влияние добавок на массовый выход CO_2 в очищенном газе, идущем к потребителю

Результаты расчета КПД рекуперативного обобщенного цикла представлены на рисунке 6. На рисунке 6 случаи, когда учитывается выпуск полезного очищенного синтез газа потребителю из системы, имеют подписи «с учетом». Соответственно, случаи, без учета выпуска полезного синтез газа потребителю из системы обозначены подписями «без учета».

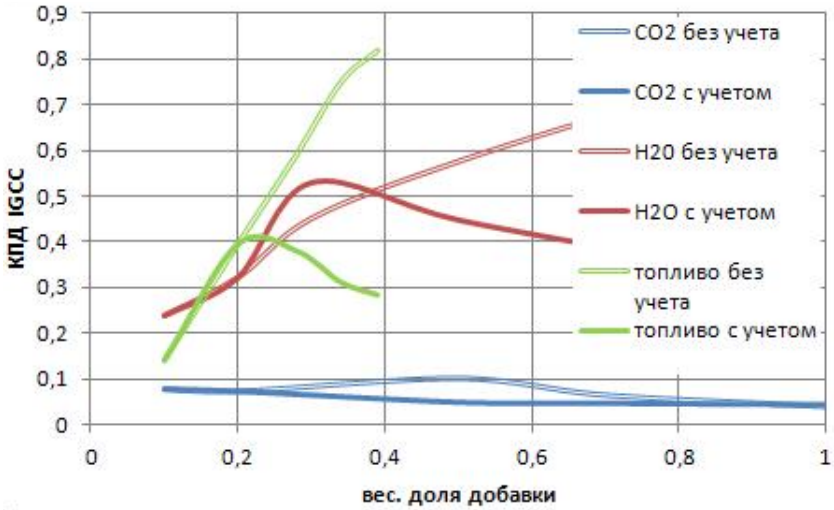


Рисунок 6. Влияние добавок на КПД рекуперативного комбинированного цикла.

Выводы

Анализ полученных нами результатов показал, что добавка углекислого газа увеличивает его содержание в очищенном газе от 30 до 60 мас.%. Добавка воды в отработавшие газы практически не влияет на итоговую концентрацию CO_2 в очищенном газе.

За счет повышения температуры максимально на 750° С в потоке отработанных газов при сгорании добавки топлива, интенсифицируется протекание основных лимитирующих стадий газификационного процесса, в результате чего количество углекислого газа CO_2 снижается до 0,4% по массе.

Эффективным способом повышения КПД рекуперативного обобщенного цикла газификации при незначительных долях весовых добавок (до 20%) можно считать добавку топлива перед газификатором и сгорания его в потоке отработавших газов. В диапазоне 20-40% концентрации добавок эффективным становится ввод воды благодаря увеличению концентрации водорода в очищенном газе (до 2,5 раза) и росту отношения массового расхода газа, идущего в двигатель, к массовому расходу газа, направляемому потребителю.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Y. Pilatau, H. A. Viarshyna, A. V. Gorbunov, O. S. Nozhenko, H. S. Maciel, V. Y. Baranov, O. V. Mucha, R. Maurao, P. T. Lacava, I. Liapeshko, G. Petraconi Filho, A. Matus Analysis of syngas formation and ecological efficiency for the system of treating biomass waste and other solid fuels with CO_2 recuperation based on integrated gasification combined cycle with diesel engine. – Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, October 2014, Volume 36, Issue 4, pp 673-679.

2. А.П. Кравченко, Г.А. Вершина, А.Ю. Пилатов, Е.С, Ноженко, И.И. Лепешко Математическое модель диффузионно-кинетического восстановления продуктов сгорания углеводородных топлив.-Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2011. – №2. – С. 58-69.

НОВІ ПРИСТРОЇ, ЩО ВИКЛЮЧАЮТЬ ПАДІННЯ ВАНТАЖУ ПРИ ОБРИВІ КАНАТА

Проценко В.О., Авраменко О.М.
Херсонська державна морська академія (Україна)

До безпеки суднових вантажопідйомних машин та палубних механізмів, що містять канатний підвіс вантажу або робочих органів пред'являються високі вимоги, оскільки обрив канатів у цих пристроїв може стати причиною виникнення людських жертв та втрати коштовного обладнання. Актуальність підвищення безпеки вантажопідйомних машин обумовила значну кількість робіт спрямованих на створення та дослідження спеціальних пристроїв, що запобігають падінню вантажу при обриві канатів. Значний внесок у розробку та дослідження таких пристроїв зробили вчені Одеського політехнічного інституту, зокрема М.Ф. Глушко, В.Ф. Семенюк, М.А. Козлов, М.І. Стукаленко та ін. [1-3]. Створені на сьогодні пристрої, що виключають падіння вантажу при обриві каната принципово можуть бути розділені три групи - механізми-уловлювачі із затиском обірваних віток каната ексцентриками [1, 3-8], механізми-уловлювачі із затиском обірваних віток каната колодками [3, 9-10] та механізми із спеціальним зрівняльним барабаном [3, 11]. Далі зупинимось на пристроях першої групи, як більш простих.

Наприклад, відома безпечна поліспастна підвіска, що містить блоки, встановлені на колінчастій осі, змонтованої на гаковій обоймі, та ексцентрикові зажими, закріплені на щоках обойми [6]. Простота такої конструкції, заснована на стабільних силах гравітації нівелюється нестабільністю сил тертя в шарнірах ексцентриків які здатні загальмувати їх від повороту та відповідно захвату каната. Іншими недоліками описаної підвіски є низька надійність конструкції та значні динамічні навантаження цілих віток каната через некерований поворот ексцентриків. За рахунок цього до початку спрацювання механізму та затиску ексцентриками канату проходить деякий час, за який відбувається розгін вантажу, що приводить до збільшення коефіцієнту динамічності цілої вітки каната і значно знижує ефективність таких пристроїв.

Задачею даної роботи є створення безпечної вантажної підвіски, в якій за рахунок конструктивного виконання можливо було б підвищити її надійність та знизити динамічні навантаження цілих віток каната.

Розв'язання поставленої задачі забезпечується тим, що безпечна вантажна підвіска містить обойму в якій з можливістю повороту встановлена вісь скоби із жорстко закріпленою на ній скобою з гаком та встановленими з можливістю обертання блоками, по обидва боки від яких з можливістю повороту встановлені ексцентрики, при чому скоба та ексцентрики кінематично пов'язані між собою через муфти вільного ходу, що встановлені на ексцентриках.

Конструкція однієї з розроблених конструкцій безпечних вантажних підвісок показана на рис. 1. Вона містить обойму 1 в якій з можливістю повороту встановлена вісь скоби 2 із жорстко закріпленою на ній скобою 3 з гаком 4 та встановленим з можливістю обертання блоком 5, по обидва боки від якого в обоймі 1 з можливістю повороту встановлені ексцентрики 6, скоба 3 та ексцентрики 6 кінематично пов'язані між собою через муфти вільного ходу 7, що встановлені на ексцентриках 6, кінематичний зв'язок скоби 3 з ексцентриками 6 забезпечений важелями 8, що розташовані по один бік від блока 5 та шарнірно сполучені зі скобою 3 і муфтами вільного ходу 7 ексцентриків 6.

Пропонована безпечна вантажна підвіска працює наступним чином. При цілих лівій 21 та правій 22 вітках каната (рис. 2) і робочому режимі підйому, між ексцентриками 6 і канатом на блоці 5 гарантовано забезпечено зазор z, оскільки сили ваги вантажу $G_в$ на гаку 4, натягу канатів S_1 і S_2 утворюють врівноважену систему паралельних сил – канат буде намотуватись на барабан зі швидкістю $V_к$, обойма 1 буде рівномірно рухатись вгору

зі швидкістю $V_в$, блок 5 обертатися на осі скоби 2 з кутовою швидкістю $\omega_{бл}$, ексцентрики 6, важелі 8 та скоба 3 будуть знаходитись відносно обойми 1 в нерухомому положенні.

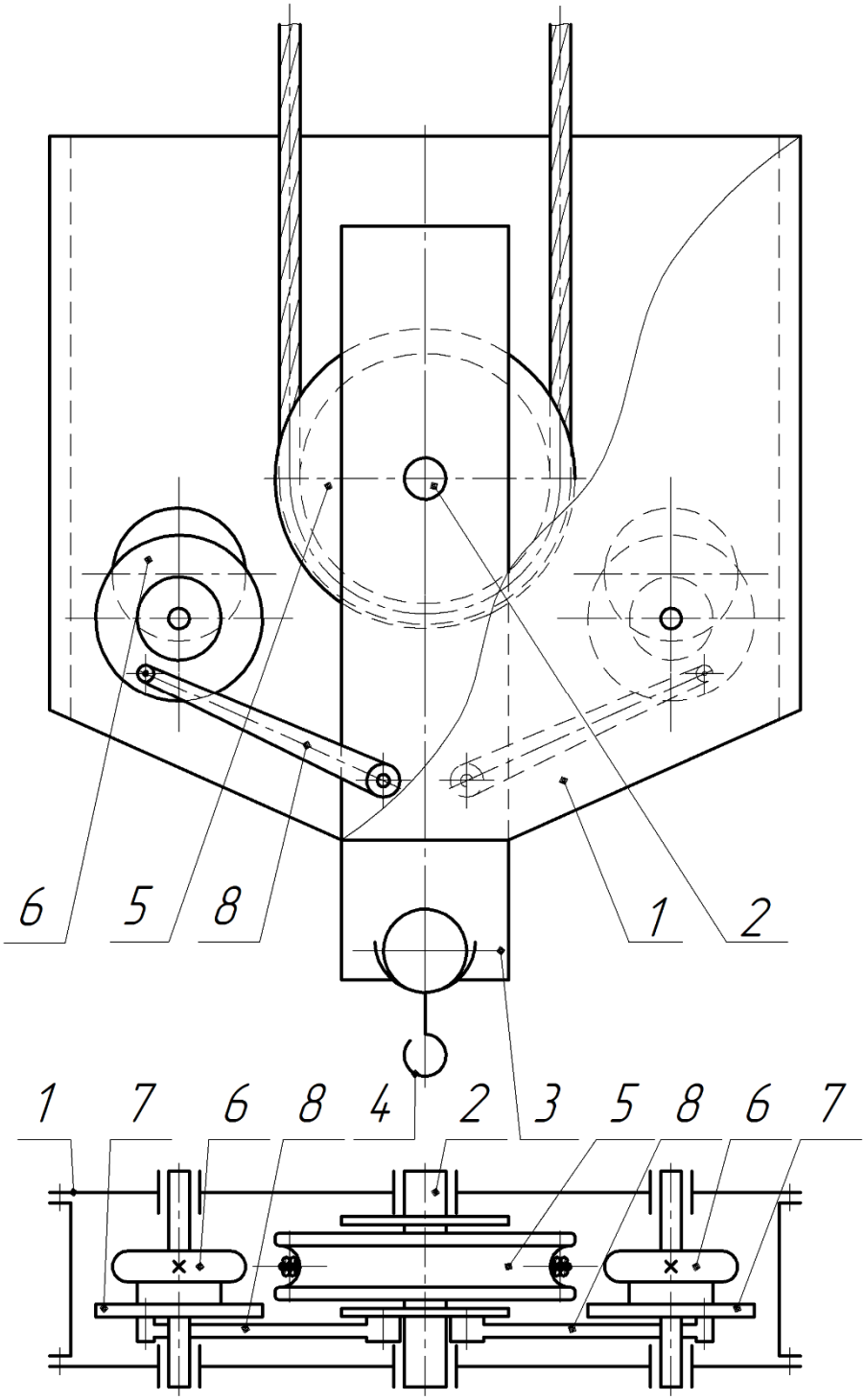


Рисунок 1. Будова безпечної вантажної підвіски

При обриві правої вітки каната 22 (рис. 3) каната зусилля її натягу S_2 зменшується до нуля, а зусилля в лівій вітці 21 каната S_1 зростає до величини $G_в$, в результаті чого з'являється неврівноважений момент $M = G_в \times h$, який спричиняє короткочасне падіння вантажу зі швидкістю $V_п$, повертання обойми 1 відносно скоби 3 на осі 2 з кутовою швидкістю $\omega_п$ на кут α. Цей поворот скоби та обойми за рахунок наявності між скобою та ексцентриками кінематичного зв'язку, спричиняє поворот останніх. При цьому зазор між одним із ексцентриків і канатом збільшується до максимального, а зазор між іншим ексцентриком та канатом зменшується до нуля. Наприклад, поворот скоби 3 та обойми 1 спричиняє поворот важелями 8 ексцентриків 6 через муфти вільного ходу 7 (вони при

цьому замкнені) на кут φ, до моменту початку затиснення каната між ексцентриком 6 та блоком 5. Після захоплення каната ексцентриком 6, муфта 7 розмикається і відбувається остаточне затиснення каната ексцентриком 6, що супроводжується його поворотом на кут γ, після цього ексцентрик 6 заклинює канат відносно блока 5 і вантаж повисає на одній лівій вітці 21 каната чим виключається його падіння при обриві каната.

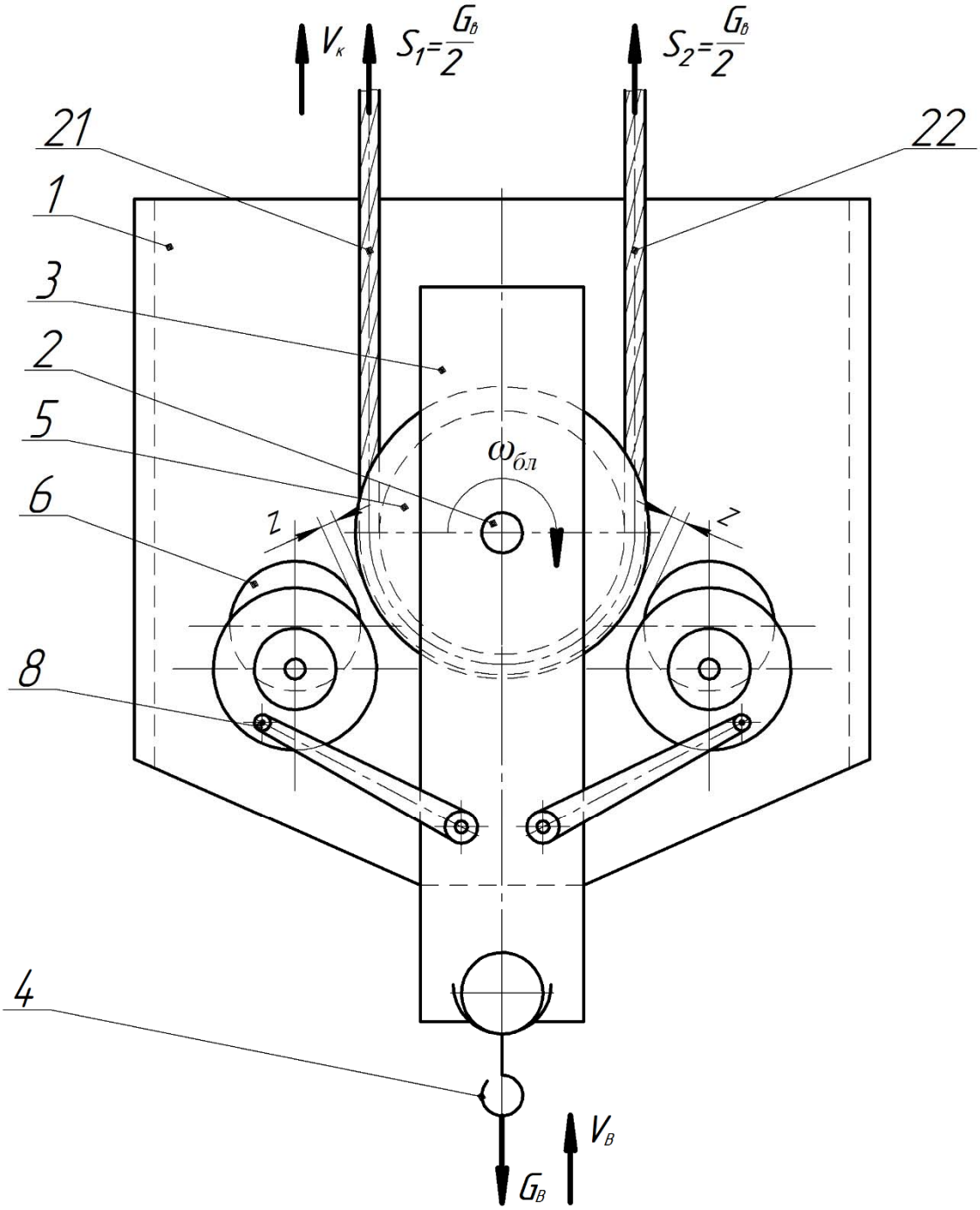


Рисунок 2. Схема роботи безпечної вантажної підвіски при цілому канаті

Виконання в пропонованій безпечній вантажній підвісці кінематичного зв’язку між скобою та ексцентриками через муфти вільного ходу дозволяє виконувати керований поворот ексцентриків і за рахунок цього скоротити час спрацювання механізму та затиску канату між ексцентриком та блоком при обриві однієї з віток каната, що дозволяє зменшити динамічні навантаження цілих віток каната та підвищити надійність конструкції. Наявність муфт вільного ходу дозволяє додатково підвищити надійність безпечної вантажної підвіски за рахунок розмикання кінематичного зв’язку між скобою та

ексцентриками після затиснення канату між одним із ексцентриків та блоком. Сукупність наведених ознак є новим технічним рішенням, неочевидним з базового рівня техніки, їх втілення можливе в умовах реального промислового виробництва при незначній зміні базових технологічних процесів.

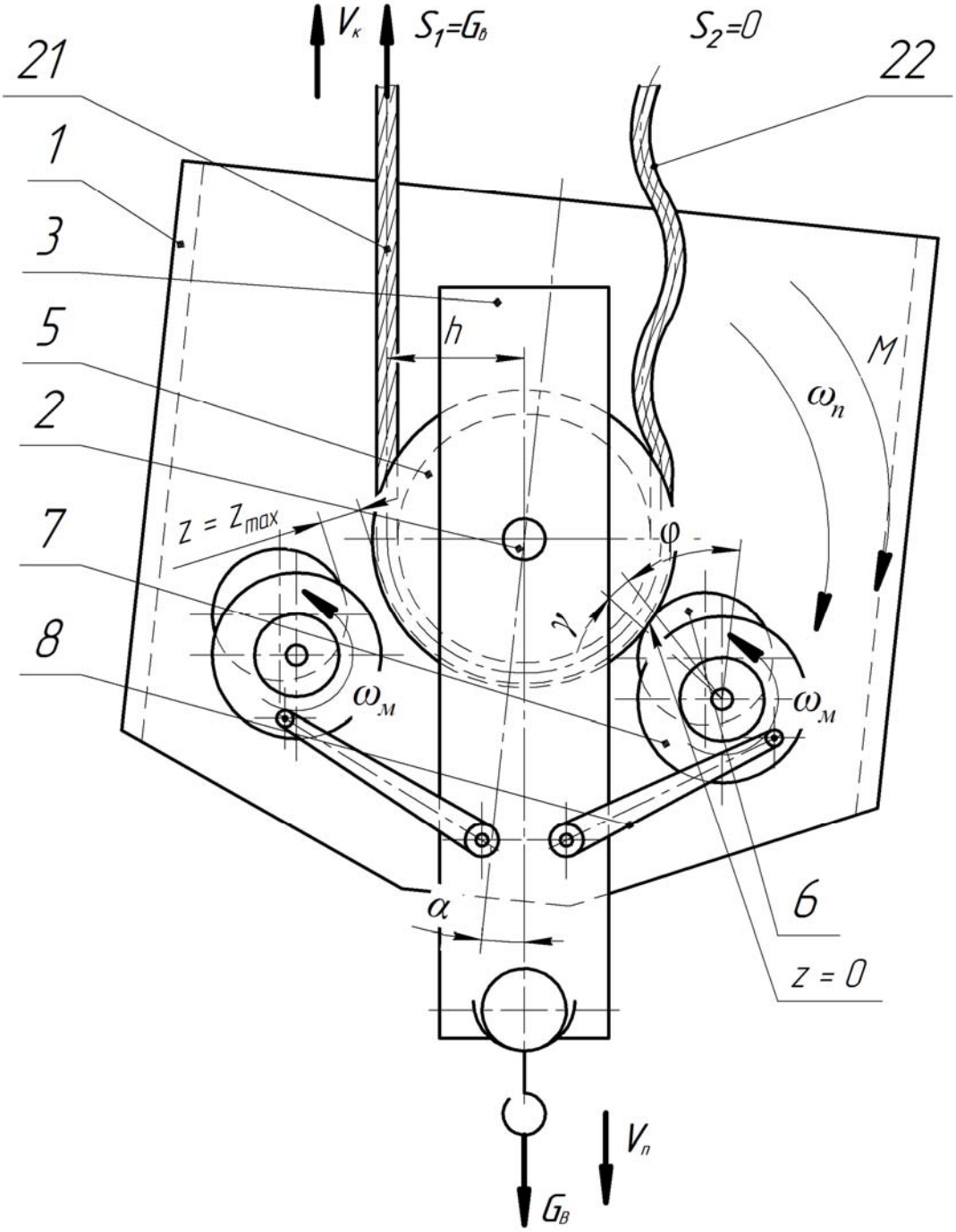


Рисунок 3. Схема роботи безпечної вантажної підвіски при обірваному канаті

Напрямками подальших досліджень може бути обґрунтування параметрів розроблених конструкцій підвісок, а саме визначення оптимальних передавальних відношень кінематичного зв’язку скоби та ексцентриків, а також вибір переважних варіантів механічних передач для забезпечення кінематичного зв’язку при обриві каната. Особливу актуальність мають дослідження динамічності цілої вітки каната при його обриві вантажу та синтез віброгасників для додаткового зменшення динамічних навантажень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Козлов М.А. Исследование и разработка безопасных полиспастных систем грузоподъемных машин: Спец. 05.186 - подъемно-транспортные машины: автореф. дис. канд. техн. наук / М.А. Козлов. - Одесса, 1971.- 19 с.

2. Стукаленко М.И. Метод расчета и проектирования устройств безопасности, исключающих аварию грузоподъемных машин при обрыве подъемного каната: Спец. 05.05.05 - подъемно-транспортные машины: автореф. дис. канд. техн. наук / М.И. Стукаленко. - Одесса, 1996.- 16 с.

3. Козлов М.А. Специфические вопросы расчета и конструирования грузоподъемных машин / М.А. Козлов. - К.: Слово, 2013. - 80 с.

4. Патент Франції №1375787.

5. А.С. СССР №254042.

6. А.С. СССР №437703.

7. А.С. СССР №1470653.

8. А.С. СССР №1409581.

9. Патент Японії № 47-33222.

10. Патент США № 3662992.

11. Колесник Н.П. Расчеты строительных кранов. - К.: Вища школа.,1985. - 240 с.

12. Шумило О.М. Суднові стрілові палубні крани. Проектування - О.: Фенікс, 2011. - 197 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА В ВОЗДУХЕ

Редчиц Д.А.
Институт транспортных систем и технологий НАН Украины

Введение. Задача управления отрывом потока воздуха является актуальной для развития авиационной и ракетно-космической техники, двигателе- и турбиностроения, ветроэнергетики. Существующие способы управления отрывом потока, как правило, являются энергозатратными и требуют изменений в конструкции обтекаемого тела (охлаждение поверхности, перфорации, установка интерцепторов и др.). В связи с этим, разработка эффективных и малозатратных методов предотвращения отрыва потока относится к самым современным направлениям фундаментальной и прикладной аэродинамики.

Применение плазменных актуаторов (ПА) на основе диэлектрического барьерного разряда (ДБР) относится к числу современных и перспективных способов изменения структуры течения. В отличие от классических способов использования ДБР является менее энергозатратным и не требует конструктивных изменений (перфорирования поверхности, установки интерцепторов или дополнительных подвижных элементов).

Поскольку плазменные актуаторы встроены в поверхность тела, они не создают дополнительной преграды, ионизируют внешний поток и за счет возникающей силы Лоренца позволяют достичь желаемую структуру течения. Имеющиеся экспериментальные данные зарубежных авторов подтверждают высокую эффективность данного способа управления отрывом потока.

Существующие математические модели динамики частично ионизированного потока опираются на эмпирические константы и пригодны только для ограниченного класса течений. Разработка адекватной модели для описания процессов, исследуемых в широком диапазоне определяющих параметров, является актуальной и пока не решенной задачей в данной области знаний. Разрабатываемая математическая модель должна учитывать основные происходящие физико-химические процессы – конвекцию, турбулентность, вязко-невязкое взаимодействие, ионизацию потока, перенос ионов и электронов, электрохимические преобразования, фотоионизацию.

Отдельную проблему составляет разработка специализированного программно-методического обеспечения для численной реконструкции исследуемых процессов. Современные коммерческие пакеты программ вычислительной аэродинамики достаточно хорошо воспроизводят стационарные турбулентные течения несжимаемой среды. Однако они не учитывают большинство явлений, необходимых для моделирования динамики частично ионизированного потока, возникновение и перенос электронов и ионов, фотоионизацию, электрохимические процессы. Кроме того, необходимость моделирования нестационарных процессов накладывает дополнительные ограничения на используемые численные алгоритмы.

1. Концепция математической модели.

В классическом понимании математическая модель – это совокупность исходных уравнений, дополненная физическими и математическими граничными условиями. Для сопряженных задач такие системы представляют собой «верхушку айсберга», поскольку здесь существует ряд дополнительных проблем, связанных с совместной численной реализацией уравнений, описываемых разнородные физические процессы.

Для создания математической модели недостаточно просто выписать дифференциальные уравнения, описывающие конкретные физические процессы. Как правило, единая система, описывающая разнородные физико-химические процессы сталкивается с проблемой рассогласования по характерным временам и скоростям,

разнородностью протекания физических процессов (диффузия, адвекция, кросс слагаемые в источниковых членах) и их математическим описанием.

Одной из главных проблем является различие масштабов по времени протекания нелинейных физических процессов. Так слишком мелкий шаг интегрирования снижает общую работоспособность на 2-3 порядка. Процессы, приводящие к мелким шагам по времени (например, зарождение стримера) зачастую бывают локальными, т.е. происходят не во все время цикла, а в сравнительно небольшой период цикла. Процессы, соответствующие более крупным шагам по времени фактически не развиваются и процессорное время тратится не рационально. Для обеспечения работоспособности специализированного пакета необходимо предпринять дополнительные меры математического (численного) характера.

В этой связи имеет смысл расширить понятие концепции математической модели до численно-аналитической. Аналитическая часть представляет собой систему исходных уравнений, граничные условия, оценку адекватности описываемых физических процессов. Численная сторона математической модели связана в первую очередь с обеспечением работоспособности специализированного пакета программ. Речь идет не столько о хорошо известных численных алгоритмах решения отдельных уравнений или систем уравнений, а о тех дополнительных мерах, обеспечивающих взаимную работоспособность различных аспектов общей математической модели. Такие дополнительные меры численного (алгоритмического) характера представляют собой необходимые условия работоспособности конкретного программного продукта и являются неотъемлемой частью разработанной численно-аналитической модели. Для создания работоспособной модели необходимо разработать соответствующие новые численные приемы для обеспечения работоспособности и эффективности конечного численного алгоритма.

2. Постановка проблемы исследования электродинамики, динамики и химической кинетики плазмы.

Исходя из результатов предыдущих исследований по методам математического описания низкотемпературной неравновесной идеальной плазмы [0, 0], в качестве базового выбран диффузионно-дрейфовый подход для описания пространственно-временной структуры диэлектрического барьерного разряда в воздухе при атмосферном давлении, включая кинетические явления и плазмохимические реакции.

2.1. Кинетическая схема плазмы диэлектрического барьерного разряда

В качестве рабочего газа выступает воздух с фиксированной долей азота $N_2/N = 0.78$ и кислорода $O_2/N = 0.22$ при нормальном давлении на уровне моря $p = 101325$ Н/м² (1 атм.). Температура воздуха принимается постоянной и равной $T = 300\,K$. Общее число молекул азота и кислорода в единице объема составляет $N = 2.447 \cdot 10^{25}\ 1/м^3$.

В работе рассматриваются электронно-возбуждённые и метастабильные (*) состояния молекул азота $N_2^*\left(A^3\Sigma_u^+\right)$, $N_2\left(B^3\Pi_g\right)$, $N_2^*\left(a'^1\Sigma_u^-\right)$, $N_2\left(C^3\Pi_u\right)$ и кислорода $O_2^*\left(a^1\Delta_g\right)$, $O_2^*\left(b^1\Sigma_g^+\right)$, атомы кислорода O, электроны e, а также положительные N_2^+, N_4^+, O_2^+, O_4^+ и отрицательные ионы O^-, O_2^-, в общей сложности 14 частиц и 97 плазмохимических реакций, включая поверхностные процессы.

Химические реакции включают процессы диссоциации, ионизации молекул электронным ударом из основного состояния, ступенчатую, ассоциативную и фотоионизацию, возбуждение молекул, ионизацию возбужденных (метастабильных) молекул, прилипание и отлипание электронов, рекомбинацию электронов и положительных ионов, химические превращения нейтральных атомов, молекул и ионов, а также процессы вторичной эмиссии электронов из открытого электрода и диэлектрической поверхности.

2.2. Уравнения электродинамики плазмы

В общем случае плазма может быть описана четырьмя уравнениями Максвелла в виде

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_c, \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B}/\partial t, \quad \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \partial \mathbf{D}/\partial t, \tag{1}$$

где $\mathbf{H}$ – напряжённость магнитного поля, $\mathbf{B}$ – магнитная индукция, $\mathbf{E}$ – напряжённость электрического поля, $\mathbf{D}$ – электрическая индукция, $\mathbf{j}$ – плотность электрического тока, $\rho_c = e(n_+ - n_-)$ – плотность результирующего объемного заряда, e – элементарный заряд, n_+, n_- – объемная плотность положительных и отрицательных частиц. Уравнения (1) представляют собой закон Гаусса, закон Гаусса для магнитного поля, закон Фарадея и закон Ампера-Максвелла соответственно.

Закон Фарадея и закон Гаусса для магнитной индукции выполняются тождественно, если электрическое и магнитное поля выразить через скалярный φ и векторный $\mathbf{A}$ потенциалы [0]

$$\mathbf{E} = -\nabla\varphi - \partial \mathbf{A}/\partial t, \quad \mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}. \tag{2}$$

Вектор электрической индукции $\mathbf{D}$ связан с вектором напряжённости электрического поля $\mathbf{E}$ через абсолютную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_o$ и равен $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$, где ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость среды, ε_o – электрическая постоянная.

Так как скорости движения заряженных частиц в плазме гораздо меньше релятивистских скоростей и отсутствуют внешние источники магнитного поля, тогда напряжённость магнитного поля $\mathbf{H}$ и магнитная индукция $\mathbf{B}$ полагаются равными нулю. К тому же, производная по времени магнитной индукции $\partial \mathbf{B}/\partial t$ равна нулю. Тогда $\mathbf{E} = -\nabla\varphi$ и закон Гаусса с учетом поверхностного заряда σ примет вид

$$\nabla(\varepsilon_r \nabla\varphi) = -\rho_c/\varepsilon_o - \sigma\delta/\varepsilon_o, \tag{3}$$

где δ – дельта-функция Дирака, σ – суммарная поверхностная плотность электрического заряда. Уравнение (3) представляет собой уравнение Пуассона для электрического поля.

Плотность результирующего заряда в любой точке плазмы определяется как разность между плотностью положительного и отрицательного заряда. Тогда можно записать

$$\nabla \cdot (\varepsilon_r \nabla\varphi) = -e\left(n_{N_4^+} + n_{N_2^+} + n_{O_4^+} + n_{O_2^+} - n_{O_2^-} - n_{O^-} - n_e\right)\Big/\varepsilon_0 - (\sigma_+ - \sigma_-)\delta/\varepsilon_0, \tag{4}$$

где σ_+, σ_- – поверхностная плотность положительного и отрицательного зарядов, $n_{N_4^+}, n_{N_2^+}, n_{O_4^+}, n_{O_2^+}, n_{O_2^-}, n_{O^-}, n_e$ – объемная плотность электронов, а также положительных и отрицательных ионов азота и кислорода.

2.3. Уравнения динамики частиц плазмы в диффузионно-дрейфовом приближении

Исходя из кинетической схемы диэлектрического барьерного разряда, можно составить уравнения динамики для каждого сорта частиц. Система уравнений динамики частиц плазмы в диффузионно-дрейфовой формулировке с учетом, того что $\mathbf{E} = -\nabla\varphi$, может быть записана в декартовой форме

$$\frac{\partial \mathbf{n}}{\partial t} - \left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\boldsymbol{\mu}\mathbf{n}\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\boldsymbol{\mu}\mathbf{n}\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)\right] - \left[\frac{\partial}{\partial x}\mathbf{D}\frac{\partial \mathbf{n}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\mathbf{D}\frac{\partial \mathbf{n}}{\partial y}\right] = \mathbf{S}, \tag{5}$$

где $\mathbf{n}$ − вектор искомых переменных для объемной плотности частиц, $\boldsymbol{\mu}$ и $\mathbf{D}$ – векторные коэффициенты подвижности и диффузии частиц, $\mathbf{S}$ − вектор источниковых членов

$$\mathbf{n} = \left[n_{N_4^+}, n_{N_2^+}, n_{N_2(A^3\Sigma_u^+)}, n_{N_2(B^3\Pi_g)}, n_{N_2(a'^1\Sigma_u^-)}, n_{N_2(C^3\Pi_u)}, n_{O_4^+}, n_{O_2^+}, n_{O_2^-}, n_{O^-}, n_O, n_{O_2(a^1\Delta_g)}, n_{O_2(b^1\Sigma_g^+)}, n_e\right]^T,$$

$$\boldsymbol{\mu} = \left[\mu_{N_4^+},\ \mu_{N_2^+},\ 0,\ 0,\ 0,\ 0,\ \mu_{O_4^+},\ \mu_{O_2^+}, -\mu_{O_2^-}, -\mu_{O^-},\ 0,\ 0,\ 0, -\mu_e \right]^T,$$

$$\mathbf{D} = \left[D_{N_4^+},\ D_{N_2^+},\ 0,\ 0,\ 0,\ 0,\ D_{O_4^+},\ D_{O_2^+},\ D_{O_2^-},\ D_{O^-},\ 0,\ 0,\ 0,\ D_e \right]^T,$$

$$\mathbf{S} = \left[S_{N_4^+}, S_{N_2^+}, S_{N_2\left(A^3\Sigma_u^+\right)}, S_{N_2\left(B^3\Pi_g\right)}, S_{N_2\left(a'^1\Sigma_u^-\right)}, S_{N_2\left(C^3\Pi_u\right)}, S_{O_4^+}, S_{O_2^+}, S_{O_2^-}, S_{O^-}, S_O\ , S_{O_2\left(a^1\Delta_g\right)}, S_{O_2\left(b^1\Sigma_g^+\right)}, S_e \right]^T.$$

Здесь под произведением вида $\boldsymbol{\mu}\mathbf{n}$ подразумевается вектор $\left[\mu_1 n_1, \mu_2 n_2, \ldots, \mu_\ell n_\ell\right]^T$.

Компоненты вектора источниковых членов $\mathbf{S}$ в выражении (5) формируются исходя из кинетической схемы диэлектрического барьерного разряда и отвечают за источники и стоки определенного сорта частиц. Принцип формирования источниковых членов, описание объемных, поверхностных химических реакций и их коэффициентов, а также значения коэффициентов переноса (подвижность и диффузия) положительных и отрицательных ионов приведены в работе [0, 0].

Скоростью движения нейтральных и возбужденных частиц можно пренебречь, так как она сопоставима со скоростью движения сплошной среды и на 2-3 порядка меньше, чем скорость движения заряженных частиц. К тому же скорости протекания химических процессов с участием нейтральных и возбужденных частиц гораздо выше, чем процессы диффузии.

2.4. Уравнения баланса поверхностной плотности положительного и отрицательного заряда

Процессы на поверхности диэлектрика играют существенную роль в работе плазменного актуатора.

Так, взаимодействие заряженных частиц с диэлектрической поверхностью приводит к накоплению электрического заряда на поверхности диэлектрика. Уравнения баланса поверхностной плотности положительного и отрицательного заряда определяется по следующим выражениям

$$\partial\sigma_+/\partial t = -e\left(1+\gamma_{diel}\right)\Gamma_{i+} - \alpha_{rw}\sigma_+\sigma_-/e\,, \qquad \partial\sigma_-/\partial t = -e\Gamma_{i-} - e\Gamma_e - \alpha_{rw}\sigma_+\sigma_-/e\,, \tag{6}$$

где Γ_{i+}, Γ_{i-}, Γ_e – поток положительных, отрицательных ионов и электронов по нормали к поверхности, который определяется по типу граничных условий (табл. 1), σ_+, σ_- – поверхностная плотность положительного и отрицательного зарядов, α_{rw} – коэффициент поверхностной рекомбинации, $\gamma_{diel} = 0.005$ – коэффициент ионно-электронной эмиссии из диэлектрика. Коэффициент поверхностной рекомбинации α_{rw} определяется поверхностной диффузией электронов

$$\alpha_{rw} = d_r\sqrt{\pi k_b T_w/m_e}\,, \tag{7}$$

где $d_r = 10^{-9}\,м$ – радиус рекомбинации (величина, характеризующая двумерные столкновения, аналогичная эффективному сечению столкновений для трехмерного случая), T_w – температура диэлектрической поверхности.

2.5. Начальные и граничные условия для исходной системы уравнений

Уравнение Пуассона для электрического потенциала. В качестве начальных условий для уравнения Пуассона задавалось нулевое распределение электрического потенциала в области.

Уравнение (3) решается для электрического потенциала, используя приложенное напряжение к электродам как граничное условие, а также соответствующие значения относительной диэлектрической проницаемости для воздуха и диэлектрика. Переменное напряжение, приложенное к открытому электроду, задается как

$$\varphi(t) = \varphi^{\max}\sin\left(2\pi\omega t\right), \tag{8}$$

где ω – частота и $\varphi^{\max}$ – амплитуда колебаний. К изолированному электроду прикладывается нулевой потенциал. На внешних границах ставится условие Неймана $\partial\varphi / \partial\ell_n = 0$.

Уравнения динамики частиц плазмы. В качестве начальных условий для уравнения динамики заряженных частиц плазмы задавалась фоновая концентрация ионов и электронов в воздухе ($n_+ = 10^9\ 1/м^3$, $n_- = 10^9\ 1/м^3$, $n_e = 10^{10}\ 1/м^3$). Граничные условия для уравнений динамики заряженных частиц на твердой поверхности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Граничные условия для уравнений динамики заряженных частиц

$E_{\ell_n} > 0$	$\Gamma_{i+} = -1/4\, n_{i+} V_{i+}^{th}$,	$\Gamma_{i-} = -\mu_{i-} E_n n_{i-} - 1/4\, n_{i-} V_{i-}^{th}$,	$\Gamma_e = -\mu_e E_n n_e - 1/4\, n_e V_e^{th}$,
$E_{\ell_n} \le 0$	$\Gamma_{i+} = \mu_{i+} E_n n_{i+} - 1/4\, n_{i+} V_{i+}^{th}$,	$\Gamma_{i-} = -1/4\, n_{i-} V_{i-}^{th}$,	$\Gamma_e = -\gamma_{Cu,diel} \Gamma_{i+}$,

где $V_{i,e}^{th}$ – тепловая скорость движения частиц, γ_{Cu} – коэффициент ионно-электронной эмиссии из медного анода, который зависит от напряженности электрического поля. На внешних границах ставится условие Неймана $\partial n / \partial\ell_n = 0$.Тепловая скорость движения частиц определяется по формуле

$$V_{i,e}^{th} = \sqrt{8 k_b T_{i,e} / \pi m_{i,e}}\,, \tag{9}$$

где $m_{i,e}$, $T_{i,e}$ – масса и температура ионов и электронов, k_b – константа Больцмана.

Выводы

1. Разработана новая математическая модель диэлектрического барьерного разряда в воздухе, включающая нестационарные электродинамические процессы, кинетические явления и плазмохимические реакции.

2. Предложена новая взаимносогласованная система исходных уравнений для электрического потенциала и 14 уравнений динамики заряженных частиц плазмы, записанная в произвольной криволинейной системе координат и использующая различный масштаб псевдовремени в отдельных уравнениях.

3. Разработана модификация уравнения Пуассона для электрического потенциала для непосредственного выделения дифференциальных операторов по φ с использованием противопоточной аппроксимации плотности заряженных частиц во вторых производных.

4. Проведены тестовые расчеты зарождения и развития потока плазмы вблизи плоской пластины.

ЛИТЕРАТУРА

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля («Теоретическая физика», том II). – М.: Наука, 1988. – 512 с.

Abe T., Takagaki M. Momentum coupling and flow induction in a DBD plasma actuator // AIAA Paper. – 2009. – № 1622. – 8 p.

Bogdanov E.A., Kolobov V.I., Kudryavtsev A.A., Tsendin L.D. Scaling laws for oxygen discharge plasmas // Technical Physics. – 2002. – Vol. 47, № 8. – P. 946-954.

Corke T., Jumper E., Post M., Orlov D. Application of weakly ionized plasmas as wing flow control devices // AIAA Paper. – 2002. – № 350. – 9 p.

Enloe C., McLaughlin T., VanDyken R., Fischer J. Plasma structure in the aerodynamic plasma actuator // AIAA Paper. – 2004. – № 844. – 8 p.

Kossyi A., Kostinsky A., Matveyev A.A., Silakov V. Kinetic scheme of the non-equilibrium discharge in nitrogen-oxygen mixtures // Plasma Sources Science and Technology. – 1992. – Vol. 1, № 3. – P. 207–220.

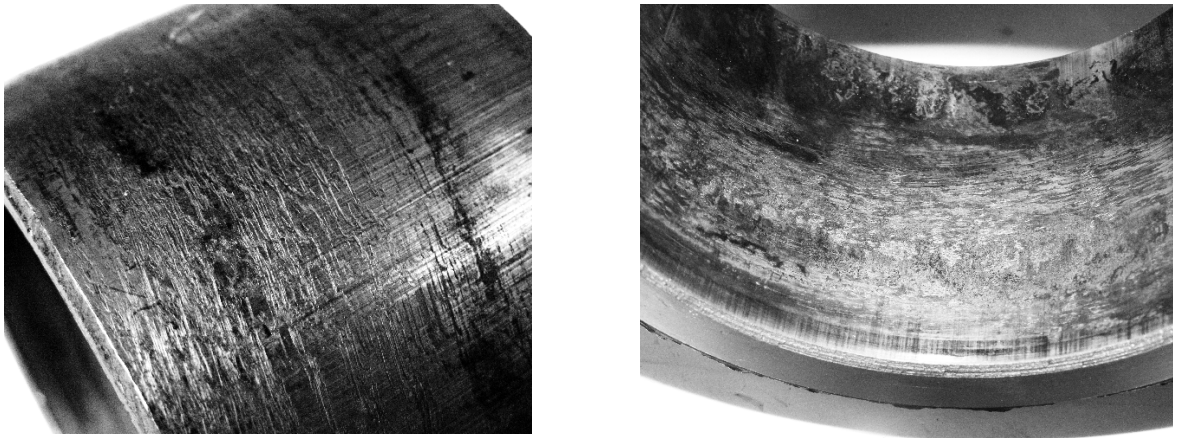
Nudnova M., Kindusheva S., Aleksahdrov N. Rate of plasma thermalization of pulsed nanosecond surface dielectric barrier discharge // AIAA Paper. – 2010. – № 465. – 15 p.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРЕССОВОГО СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ В ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Савчук В.П.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Исследования надежности подшипников скольжения, работающих в качестве опор зубчатых колес в силовых передачах транспортных машин, показали наличие отказов, связанных с нарушением условий посадки. На рис. 1 представлены поверхности под запрессовку металлокерамической втулки (а) и зубчатого колеса (б) после 4 тыс. часов работы. Их состояние указывает на наличие взаимных перемещений контактирующих поверхностей.

Особенностью нагружения данного узла есть работа подшипника в режиме качения с проскальзыванием. Эпюры распределения нормальных напряжений, вызванных воздействием рабочих нагрузок приведены на рис. 2.



а б

Рисунок 1. Следы фреттинг-износа на поверхностях подшипника (а) и зубчатого колеса (б) под запрессовку после 4 тыс. часов наработки

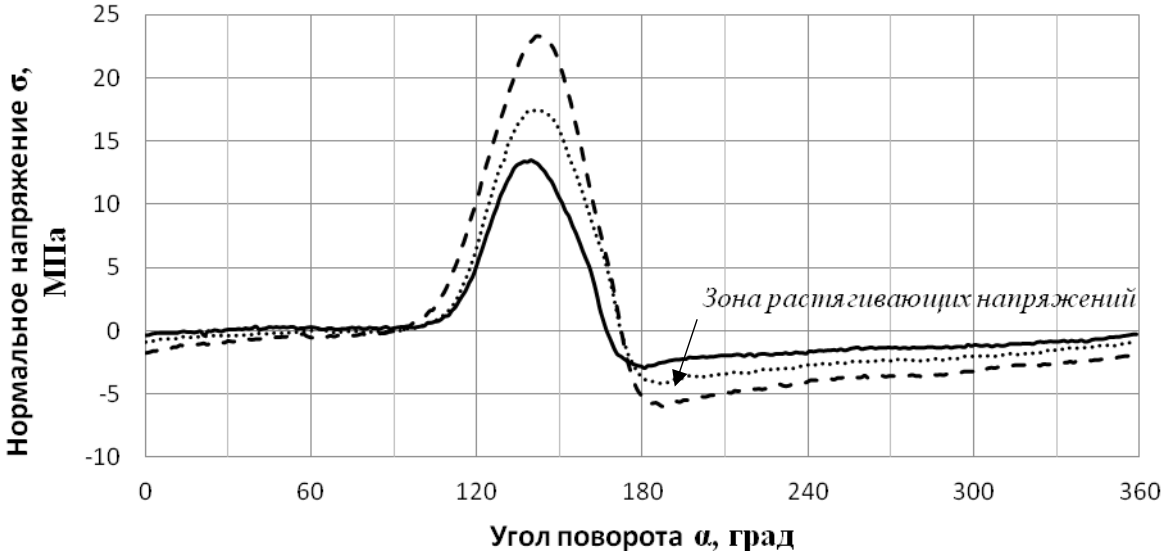


Рисунок 2 – Пример осциллограмм распределения нормальных напряжений в материале подшипника при 7,5 кН (▬▬), 10 кН (┈┈), 12,5 кН (▬ ▬ ▬)

Полученные осциллограммы указывают на присутствие зоны растягивающих напряжений, вероятно вызванных особенностью работы подшипника. Металлокерамическая втулка как бы прокатывается между валками, роль которых

выполняет цапфа подшипника и соответственно посадочная поверхность под подшипник зубчатого колеса. На наш взгляд, это вызывает движение материла подшипника в отверстии зубчатого колеса и вызывает фреттинг-износ. Важным фактором, влияющим на обеспечение неподвижности данного сопряжения есть возможность образования пластической деформации материала подшипника под суммарным воздействием рабочих нагрузок и напряжений, вызванных посадкой с натягом.

В качестве материала подшипника, исследуемых узлов, используется металлокерамика марки ПА-ЖГрДМс .

Произведем расчет напряжений в материале подшипника при условии наличия максимального натяга в сопряжении «втулка-шестерня» и под воздействием максимальной радиальной нагрузки на подшипник. По чертежу завода изготовителя значение максимального натяга составляет N_{max}=0,172мм. Удельное давление на сопряженных поверхностях p' с расчетным натягом N связано зависимостью, вытекающей из решения Ляме для расчета толстостенных сосудов:

$$p' = \frac{N_{\max}}{D \cdot \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)} = \frac{0{,}172 \cdot 10^{-3}}{82 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{5{,}255}{90 \cdot 10^9} + \frac{6{,}102}{210 \cdot 10^9} \right)} = 23{,}7 \text{ МПа.}$$

где C_1 и C_2 – коэффициенты.

Наибольшие напряжения, вызванные давлением p', во втулке возникают на её внутренней поверхности и определяются из выражения:

$$\sigma_{\max} = -\frac{2p' \cdot D_2^2}{D_2^2 - D_1^2} = -\frac{2 \cdot 23{,}7 \cdot 10^6 \cdot 0{,}082^2}{0{,}082^2 - 0{,}07^2} = -174{,}7 \text{ МПа}$$

Максимальная расчетная нагрузка на узел составляет F=12,5 кН. Основываясь на результаты стендовых испытаний подшипникового узла, получена графическая зависимость между максимальными давлениями на материал подшипника p_{max} и относительным зазором ψ при различных значениях радиальной нагрузки в диапазоне F=3,75…15,0 кН полученные при средней температуре подшипника в диапазоне $t_{п.ср}$=43…52 °С (рис.3).

Для установления значения предельного зазора в подшипниковом сопряжении, исходя из условия прочности материала подшипника, используем следующие данные:

– амплитуда нагрузки на подшипник изменяется в пределах ±5%;

– нагрузка распределена неравномерно по длине подшипника. Максимум радиальной нагрузки отличается от его среднего значения на 23%;

– максимальные напряжения в материале подшипника, возникающие за счет посадки с натягом составляют σ=178 МПа;

– минимальный коэффициент запаса прочности по нагрузке составляет $k_з$=1,21.

Используя приведенные данные, максимально допустимое напряжение в материале подшипника, с учетом запаса прочности [$\sigma_{сж}$]=179 МПа, приближается к значению напряжения, создаваемого натягом в узле. Поэтому для обеспечения установленного заводом-изготовителем предельного зазора $S_{гр}$=0,5 мм (соответствует значению относительного зазора ψ = 0,007) необходимо или использовать материал с повышенными прочностными свойствами, или снизить максимальное значение натяга в сопряжении «шестерня-втулка».

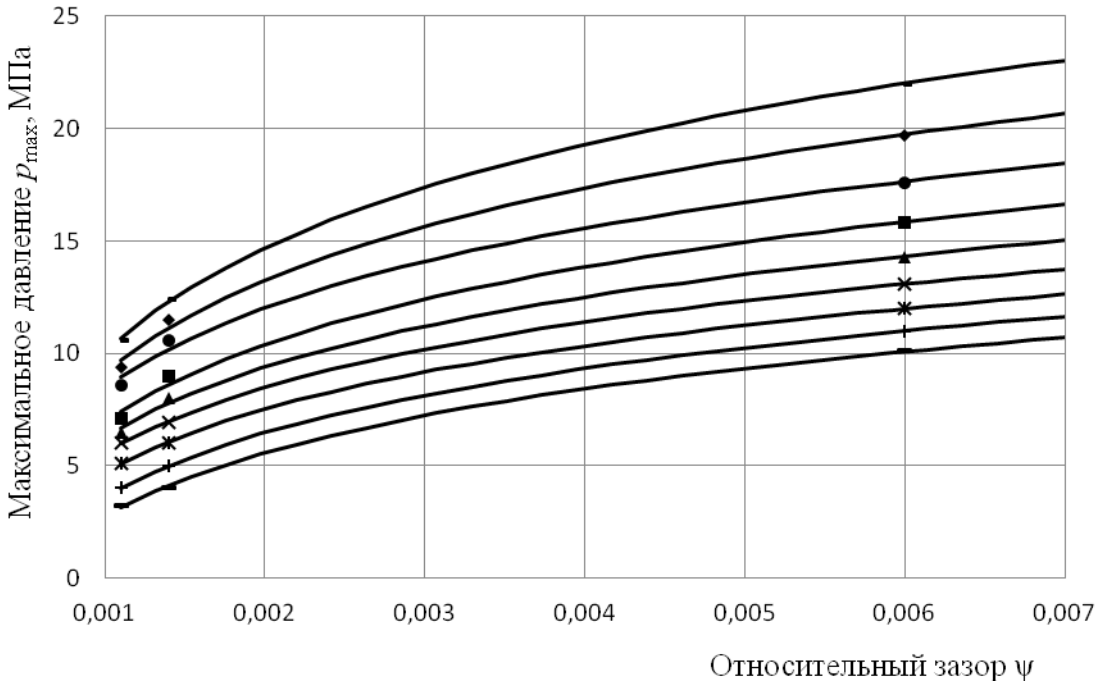


Рисунок 3. Влияние относительного зазора ψ на максимальные давления на материал подшипника при различных значениях радиальной нагрузки: «─» – F=3,75 кН; «+» – F=5 кН; «*» – F=6,25 кН; «×» – F=7,5 кН; «▲» – F=8,75 кН; «■» – F=10 кН; «●» – F=11,25 кН; «♦» – F=12,5 кН; «-» – F=15 кН.

В соответствии с ГОСТ 26802-86, удельное допустимое давление на материал железографита ПА-ЖГрДМс, исходя из условия обеспечения долговечности подшипника, составляет $[p_m]$=2,5 МПа. Это значение соответствует допустимому значению радиальной нагрузки $[F]$=8 кН. Исходя из полученных данных и практических рекомендаций, устанавливающих тот факт, что максимальное давление на подшипник не превышает значение (5…6)$\cdot p_m$, можно предположить, что максимально допустимое давление на материал подшипника не должно превышать значения p_{max}=12,5…15 МПа. Используя графические зависимости, приведенные на рис. 4.4, предельное значение относительного зазора при значении максимальной радиальной нагрузки на опору F=12,5 МПа составляет ψ=0,0027, что соответствует значению диаметрального зазора 2Δ=0,19 мм.

Проведенные исследования показывают необходимость:

– установления значения предельного зазора до $S_{гр}$=0,19…0,20 мм исходя из требований к прочности материала подшипника;

– снижения значение максимального натяга при установке втулки в шестерню до значения N_{max}=0,15 мм, что обеспечит запас по давлению до 50 МПа для используемого материала;

– замены используемой марки материала втулки ПА-ЖГрДМс на марку с более высокими прочностными свойствами: ПА-ЖГрДК6, ПА-ЖГрЦс, ПА-ЖГрЛ, ПА-ЖГр3Цс, ПА-ЖФКМ, имеющие физико-механические свойства согласно ГОСТ 26802-86 и др., поскольку исходя из условия долговечности узла, максимальное значение зазора в сопряжении не должно превышать значения S=0,19 мм.

ВИЗНАЧЕННЯ ВІБРАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

Самарін О.Є.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Комбайн призначений для збирання зернових колосових культур прямим і роздільним комбайнуванням у всіх зерносіючих зонах країни, а при обладнанні його спеціальними пристосуваннями - для прибирання зернобобових і круп'яних культур, кукурудзи на зерно, соняшнику, насінників трав, ріпаку, люпину, сорго та сої [1]. Установка на комбайн і експлуатація спеціальних пристосувань здійснюється за інструкціями з їх експлуатації. Комбайн працює на рівнинних полях з ухилом рельєфу поля не більше 14% при температурі навколишнього середовища від мінус 5 до плюс 40ºС.

Комбайн (рис.1) виконано за традиційною (класичною) схемою з більним молотильним пристроєм і клавішним соломотрясом. У конструкцію комбайна закладена прогресивна компоновка з центрально розташованою кабіною і послідовним розташуванням за нею бункера та двигуна. Ця компоновка дозволяє поліпшити огляд, створити більш комфортні умови роботи комбайнера, захистити його від теплових, шумових і вібраційних впливів двигуна.

Але наявність робочих органів з великою частотою обертання і зворотно-поступальним рухом, панелей із значною площею, механізмів, що висуваються при роботі, сприяє виникненню додаткових вібрацій.

Метою дослідження є визначення вібрації агрегатів зернозбирального комбайна та розробки методів її зниження [2].

Об'єктом дослідження є зернозбиральний комбайн «Скиф-250Р».

Загальна технічна характеристика комбайна наведена у табл.1.

Таблиця 1. Загальна технічна характеристика комбайна

Параметр	Значення
Робоча швидкість руху на основних операціях, км/год, не більше	10
Транспортна швидкість, км/год, не більше	20
Дорожній просвіт, мм, не менше	320
Колія коліс, мм: - провідних; - керованих	 2890 2900
База коліс, мм	3775
Габаритні розміри в робочому положенні, мм: - довжина; - ширина; - висота	11200 ±300 8000 ±250 4000 ±100

На першому етапі роботи визначалась горизонтальна та вертикальна вібрація бокових панелей комбайна.

Вібрація панелей визначалась вібровимірювачем ЕДМ-БП-2.

На середніх обертах двигуна (1300 хв$^{-1}$) горизонтальна складова дорівнює 55 мкм, на робочих обертах (200 хв$^{-1}$) – 45 мкм.

На другому етапі роботи проводились порівняльні випробування та визначалась вібрація на кінцевих точках вигрузного шнека (елеватор у робочому стані) на середніх обертах шнека (361 хв$^{-1}$) та максимальних обертах (585 хв$^{-1}$).

Результати вимірювання вібрації при роботі з різними хрестовинами наведено у табл.2.

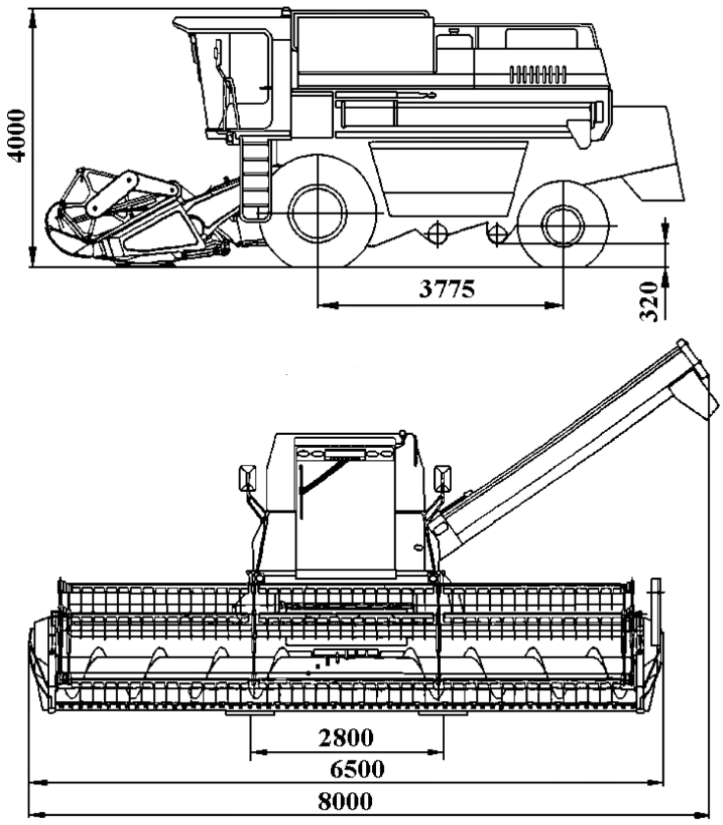


Рисунок 1. Зернозбиральний комбайн «Скиф-250Р»

Таблиця 2. Результати вимірювання вібрації при роботі з різними хрестовинами

Параметри	Частота обертання шнека, хв-^{1}		Розрахункові значення		Шарнірна передача
	361	585	V швидкість, м/с	W прискорення, м/с^{2}	
Амплітуда коливань, мм	10,5	2	0,219	3,78	Пряма
	10,4	3,25	0,238	6,15	Серійна з кутом між осями 60^{0}

Аналіз таблиці показує, що амплітуда вібрації кінцевої точки ви грузного елеватора, що працює при частоті обертання 361 хв-^{1} складає 10,5-11,5 мм, а на частоті обертання 585 хв-^{1} амплітуда зменшується до 2-3,25 мм.

Амплітуда вібрації верхньої точки ви грузного елеватора при роботі з прямим шарніром на середніх обертах нижче на 9,5% ніж при роботі з повернутим на 60^{0} шарніром. На робочих обертах 2000 хв-^{1} амплітуда знижується на 16,25% у порівняння з повернутим шарніром.

З метою зменшення вібрації рекомендовано у виробництві перейти на пряму передачу крутного моменту, а на панелях ввести ребра жорсткості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-9-2 «Скиф-230А». Руководство по эксплуатации КЗС-9-2 РЭ. ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод». 2013 – 285с.

2. Протокол проверки вибрации комбайна «Скиф-250Р». Лаборатория испытаний ГСКБ ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод». 2012 – 1с.

К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ БАЛАНСИРОВКИ ЛИТИЕВОЙ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

[1]Смотров Е.А., [2]Акшинцев Д.И., [2]Сусленко А.Ю.
[1]ГП «Научно-технический центр «Станкосерт» (Украина)
[2]Одесский национальный политехнический университет (Украина)

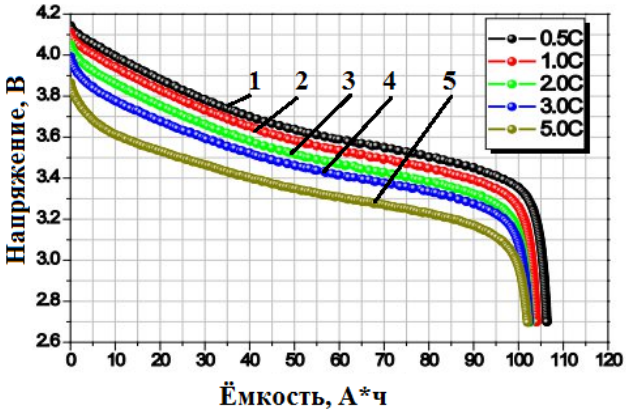
Введение. К одному из нескольких важных вопросов предъявляемых к системе активной балансировки литиевых батарей можно отнести вопрос, какой вид выравнивания лучше закладывать в систему балансировки при её проектировании. В данной статье кратко рассматриваются два наиболее распространенных метода активной балансировки батарей, которые могут быть реализованы абсолютно на любой топологии применяемой для передачи заряда между ячейками батареи [3, 5, 6] (трансформаторной, дроссельной, ёмкостной и других топологиях). Рассматриваемые методы балансировки отличаются по сложности реализации, алгоритмам управления и точности уравнивания заряда между ячейками. Первый метод балансировки основан на выравнивании ЭДС между всеми ячейками батареи, наиболее прост как в управлении, так и в реализации, не требователен к ресурсам управляющего микроконтроллера, благодаря чему имеет широкую распространенность. Однако у этого метода имеются некоторые ограничения, связанные с недостаточной точностью оценки SOC по уровню ЭДС для некоторых типов аккумуляторных батарей (например, для $LiFePO_4$), что в свою очередь может повлиять на выбор этого метода балансирования. Второй метод основан на оценке уровня заряда (SOC – от англ. State of Charge) ячеек батареи [7, 8]. Этот метод подходит для работы с любыми типами литиевых батарей, достаточно сложен в реализации и имеет достаточно высокую точность балансировки, что в свою очередь позволяет использовать ёмкость батареи по максимуму.

Актуальность исследований. Автономные системы, имеющие в своём составе мощные литиевые батареи (с номинальной ёмкостью C > 40А·ч), снабжаются активными системами балансировки аккумуляторных батарей. Активная балансировка литиевых батарей не представляется возможной без использования правильного алгоритма распределения и учёта заряда. Использование в системе балансировки неправильного метода балансирования может пагубно сказаться на сроке службы батареи и номинальной ёмкости.

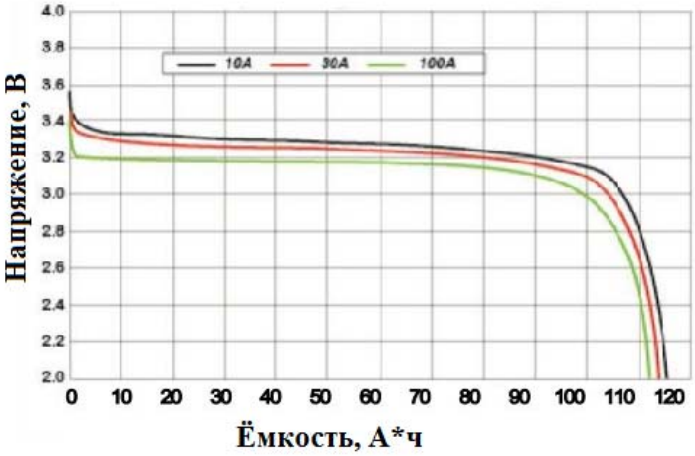
Постановка задачи. Анализ методов оценки и распределения уровня заряда, применяемых в системах контроля аккумуляторных батарей [1, 3, 5, 6] (далее СКАБ) с активной балансировкой.

Результаты исследований. Рассмотрим самый простой метод балансировки – балансирование батареи по уровню ЭДС [8]. Суть метода заключается в уравнивании ЭДС всех ячеек, при этом считают, что равенство всех ЭДС соответствует равенству уровней заряда(SOC от англ. State of Charge) всех ячеек батареи. Важным фактором для оценки уровней ЭДС ячеек во время рабочего цикла заряд-разряд играет величина внутреннего сопротивления, которая в свою очередь является функцией нелинейной, и зависит от ряда внешних и внутренних факторов таких как: уровень заряда, температура ячейки, срок эксплуатации и другие. Из выше сказанного ясно, чем точнее СКАБ определит величину внутреннего сопротивления, тем точнее удастся рассчитать и сбалансировать ЭДС отдельных ячеек с учётом введённой IR компенсации [8]. Для учёта IR компенсации или определения внутреннего сопротивления пользуются самой простой моделью, которая состоит из активного сопротивления, включенного последовательно с источником ЭДС. Величина внутреннего сопротивления определяется системой из выражения $R_{внутр} = \Delta U / \Delta I$, где ΔU – приращение напряжения на клеммах ячейки, ΔI – приращение тока протекающего через батарею. Достаточную точность балансировки этим методом на

любой части характеристики $U = f(C, I)$ можно получить лишь для некоторых типов литиевых аккумуляторов, с характеристиками, представленными на рис. 1, *а*: литий-полимер LiPo, литий-кобальт $LiCoO_2$, литий-марганец $LiMn_2O_4$, литий-мараганец-кобальт $LiNiMnCoO_2$. Из характеристик (рис. 1, *а*) можно сделать вывод, что неточность при балансировке ячеек $\Delta E = \pm 10$ мВ даёт не существенную погрешность между уровнями зарядов ±1,2 А·ч (±1,2 %) всех ячеек в пределах одной батареи. Но если посмотреть на характеристику для литий-железо-фосфатной ($LiFePO_4$) аккумуляторной батареи (рис. 1, *б*), то имеется участок характеристики на которой ЭДС при разряде меняется в малом диапазоне от 3,3 В до 3,18 В (ΔE = 0,12 мВ), в то время как ёмкость изменяется в широком диапазоне от 10 А·ч до 80А·ч. Отсюда можно сделать вывод, что погрешность балансирования ЭДС в ±10 мВ при работе батареи на данном участке и токе I = 10 А будет соответствовать разбросу между емкостями сбалансированных ячеек в пределах одной батареи ±5,83 А·ч (±5,83 %). Однако при токе разряда I = 100 А (ΔE = 0,04 мВ) разброс составит уже ±20 А·ч (±20 %). Таким образом, можно сделать вывод: что рассматриваемый метод балансирования оказывается недостаточно точным для балансирования батарей состоящих из литий-железо-фосфатных аккумуляторов, из-за существенной погрешности вносимой прямолинейным участком разрядной кривой. Можно также отметить, что использование данного метода не предполагает хранение данных о количестве заряда в предыдущих циклах заряда/разряда батареи, система может предварительно оценивать его количество, но с определённой точностью в зависимости от того на каком участке идёт определение заряда по кривой.



а)



б)

Рисунок 1. Графики разрядных кривых:
а) литий-полимерный аккумулятор производства фирмы KOKAM, модели SLPB80460330H, номинальной ёмкостью 100А·ч; *б*) литий-железо-фосфатный аккумулятор производства фирмы GWL, модели SP-LFP100AHA, номинальной ёмкостью 100А·ч.

Система балансирования - построенная по второму методу предполагает, определение количества заряда непосредственно в каждой ячейке батареи с достаточной точностью для любого из рассмотренных выше типов литиевых батарей. Это достигается одним из множества алгоритмов, при помощи которых можно непосредственно оценить количество заряда в каждой ячейке. По уровням заряда в ячейках можно легко определить время необходимое для балансирования, как отдельных ячеек, так и батареи в целом. Рассмотрим один из них – это комбинированный метод оценки уровня заряда батареи. Идея комбинированного метода заключается в том, что любую разрядную (зарядную) характеристику литиевого аккумулятора можно поделить три участка (рис. 2) и на каждом из них использовать наилучший метод определения заряда. На участках 1 и 3 (рис. 2) разрядной характеристики (рис. 2) используется метод, о котором говорилось в первой части статьи – определение уровня заряда по ЭДС, так как он показал наилучший результат. На втором участке используется метод интегрирования тока, так как оценка уровня заряда, используемая в первом методе, не обеспечивает необходимой точности на этом участке характеристики. Однако использование метода интегрирования тока возможно только при знании СКАБ номинальной ёмкости литиевых аккумуляторов и правильном значении уровней зарядов всех ячеек батареи, которые должны быть известны из предыдущего цикла работы (т.е. начальных условий). Так как данный метод измерения большую часть времени работает на 2 участке характеристики (рис. 2), то в зависимости от ошибки измерения тока и ЭДС накапливается ошибка интегрирования с течением времени. Для устранения ошибки интегрирования заряда, система может осуществлять калибровку считая уровень заряда максимальным (SOC = 100 %) при ЭДС равной максимальному уровню напряжению для используемого типа батарей, и уровень заряда минимальным (SOC = 0 %) нижнему допустимому порогу для используемого типа батарей.

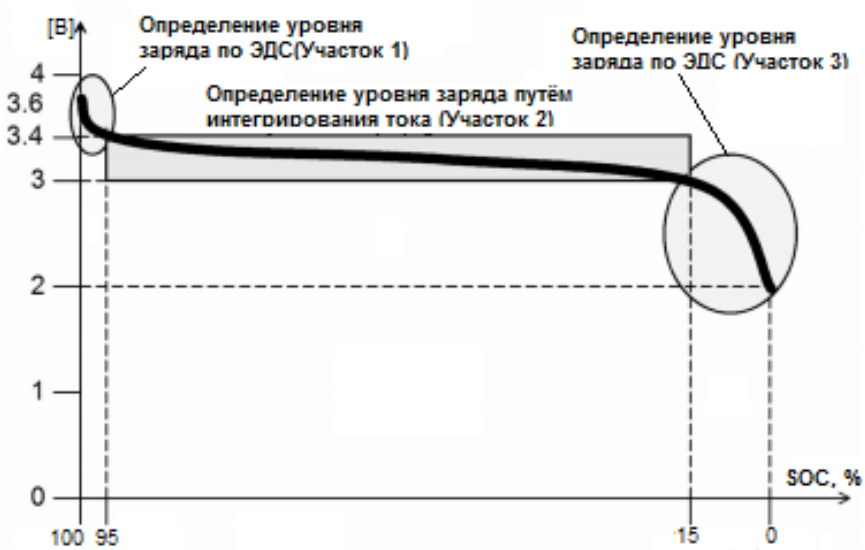


Рисунок 2. Разрядная характеристика литиевого аккумулятора

Вывод. Описанные методы активной балансировки литиевых аккумуляторных батарей успешно применяются в СКАБ. Для аккумуляторов с мягкой (рис. 1, *а*) разрядной характеристикой применимы оба метода уравнивания заряда, а для аккумуляторов с жёсткой разрядной (рис. 2) характеристикой применение первого метода не допустимо. Преимущественно к системе активной балансировки на основе обратноходового преобразователя [1] могут быть применимы оба описанных алгоритма, однако предпочтительным с точки зрения точности, надёжности и ряда других факторов остаётся второй метод балансировки заряда. Предложенные методы являются базовыми, в случае необходимости могут быть усовершенствованы для более эффективного балансирования батареи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смотров Е. А., Акшинцев Д. И., Субботин В. В., Сусленко А. Ю. Системы балансировки аккумуляторных батарей // Электротехнические и компьютерные системы. – 2013. – №11(87). – С. 38-48.

2. Danilov, D. and P.H.L. Notten, 2009. Adaptive battery management systems for the new generation of electrical vehicles. 5th IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Department of Chemical Engineering and Chemistry, Energy Materials and Devices Group, Eindhoven University of Technology Date 10.08.2013. – URL: www.scopus.com/inward/ record.url?eid=2-s2.0-72149112733&partnerID=40&md5=bb6b065afbf9b670eaa6712e41365a50.

3. Jong-Won S., S. Gab-Su, C. Chang-Yoon, and C. Bo-Hyung, 2010. Selective Flyback Balancing Circuit with Improved Balancing Speed for Series Connected Lithium-ion Batteries. The 2010 International Power Electronics Conference. PP. 1180-1184/

4. Kim, H. and K.G. Shin, 2009. Scheduling of battery charge, discharge, and rest. (2009) Proceedings - Real-Time Systems Symposium, Real-Time Computing Laboratory, Department of Electrical Engineering and Computer Science Date 05.08.2013. – URL: www.scopus.com/ inward/ record.url?eid=2-s2.0-77649287762&partnerID=40&md5=4d37fbf2f354422785b55b8aa6ec9394.

5. Mohamed, D., A. Mailier, O. Noshin, P. Bosshe and J. Mierlo, 2013. Single Switched Capacitor Battery Balancing System Enhancements. Energies 2013, 6: 2149-2174.

6. Sang-Hyun P., K. Tae-Sung, P. Jin-Sik, M. Gun-Woo and Y. Myung-Joong, 2007. A new Battery Equalizer Based on Buck-boost Topology. 7-th International Conference on Power Electronics. PP. 962-965.

7. Xu J., S. Li, C. Mi, Z. Chen and Binggang Cao, 2013. SOC Based Battery Cell Balancing with a Novel Topology and Reduced Component Count. Energies, 6: 2726-2740.

8. Davide Andrea. Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ БЫТОВЫМ ТВЕТДОТОПЛИВНЫМ КОТЛОМ

Тищенко А.Ю.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Данный блок управления предназначен для котлов обслуживающий одновременно системы отопления и горячего водоснабжения и разработан по заказу ЧСМНП «Газкотлоспецмонтажналадка». Актуальность темы определяется значительным повышением интереса к твёрдотопливным котлам в связи с подорожанием газа и ожидаемыми трудностями с его поставкой.

Управление твёрдотопливным котлом значительно сложнее чем газовым. Загрузка котла топливом может осуществляться вручную через значительные промежутки времени. Необходимо поддерживать непрерывное горение, поскольку розжиг производится вручную. Интенсивность горения должна автоматически регулироваться для достижения заданных температур путём управления мощностью наддува.

Разработанный блок позволил решить следующие задачи:

– автоматическое поддержание заданной температуры в системе отопления;

– автоматическое поддержание заданной температуры в накопителе горячей воды;

– автоматическое поддержание заданной температуры в обратном трубопроводе котла (рециркуляция);

– автоматический переход из режима розжига в рабочий режим (также и для котлов с пиролизным сжиганием топлива);

– автоматический переход в режим поддержания горения (и обратно), что позволяет экономить топливо;

– управление то комнатного термостата, что помогает удерживать комфортную температуру в обогреваемых помещениях;

– формирование сигнала о недостатке топлива;

– плавный старт вентилятора, что обеспечивает безопасность;

– доступное и интуитивное управление устройством в следующих режимах:

– основной режим с контролем температур отопления, горячего водоснабжения и рециркуляции;

– режим установки заданных температур;

– режим ручного управления исполнительными устройствами системы, а именно насосами, шнеком подачи топлива, вентилятором (с регулировкой мощности);

– режимы изменения сервисных установок и параметров задаваемых производителем.

Блок реализован на восьмиразрядном микроконтроллере C8051F350 фирмы “Silicon Laboratories”, который обладает высокоточным (до 24 бит) дельта-сигма АЦП и встроенным токовым ЦАП. В качестве экрана применён графический жидкокристаллический индикатор TIC149 (128x64 точки), связанный с микроконтроллером по интерфейсу I^2C, на который подключена так же FLASH память AT24C64 хранящая мнемонические изображения и параметры настройки.

Разработанная автоматика приближает по комфортности использования твёрдотопливную систему к газовым.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО ДВС 2Ч 7,2/6 ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОБАВОК СИНТЕЗ-ГАЗА К БЕНЗИНУ

Ткач М.Р., Тимошевский Б.Г., Проскурин А.Ю., Митрофанов А.С., Познанский А.С.
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова (Украина)

Под синтез-газом понимается смесь горючих газов, основными компонентами которой являются водород и монооксид углерода [1]. Однако в зависимости от сырья и способа получения в его состав в различном процентом соотношении могут входить диоксид углерода CO_2, метан (CH_4), этан и др. [2]. В промышленности синтез-газ нашел широкое применение и, в основном, служит исходным сырьем для производства многих химических и нефтехимических продуктов, а также используется для восстановления железной руды.

В двигателестроении синтез-газ может быть успешно использован в качестве топлива благодаря своим уникальным свойствам, а именно:

1) он обладает широкой сырьевой базой и различными способами получения, синтез-газ возможно получить практически из любого углеводородного сырья;

2) благодаря наличию в синтез-газе водорода значительно улучшаются экологические показатели работы двигателя;

3) при применении термохимической утилизации отходящих газов двигателя для получения синтез-газа возможно значительно повысить экономичность и эффективность двигателя в целом [3].

Однако есть и существенный недостаток, который тормозит широкое использование синтез-газа в качестве самостоятельного топлива в ДВС. Это пониженная удельная теплота сгорания синтез-газа по сравнению с традиционными топливами, что приводит к снижению мощности двигателя. Она составляет около 25…30 МДж/кг.

Одним из возможных решений этой проблемы является использование синтез-газа в качестве добавок к основному топливу. В результате изучения отечественной и зарубежной литературы не удалось обнаружить достаточно надежных экспериментальных и теоретических данных об особенностях организации рабочего цикла двигателей, работающих с добавками синтез-газа.

Для проведения экспериментальных исследований особенностей работы ДВС с искровым зажиганием, работающего с добавками синтез-газе, был модернизирован стенд на базе двигателя УД-25 (2Ч 7,2/6) с внешним смесеобразованием, работающий на трехфазный генератор переменного тока [4]. Используемый для работы двигателя синтез-газ был получен на установке ТХР-2.0 путем термохимической паровой конверсии биоэтанола [5].

Исследованы основные параметры работы двигателя, а также получены индикаторные диаграммы (рис. 1) при работе по нагрузочной характеристике при 3 различных добавках синтез-газа к бензину (масс.): 28 %, 38 %, 64 %. В состав синтез-газа входил метан (23 % об.), водород (43 % об.) и монооксид углерода (34 % об.). Расчетная удельная теплота сгорания синтез-газа составила 28790 кДж/кг.

На начальном этапе исследований были получены следующие результаты:

- влияние количества добавки синтез-газа на максимальную мощность двигателя (рис. 2, *а*). Под максимальной мощностью подразумевается предельное значение мощности, которое было достигнуто при устойчивой работе двигателя (без детонации и т.д). Максимум – 5,6 кВт был достигнут при работе двигателя на бензине без добавок синтез-газа, минимальное значение – 2,7 кВт при работе только на синтез-газе;

- зависимость часового (рис. 2, *б*) и удельного эффективного расхода (рис. 2, *в*) бензина от мощности двигателя при различных добавках синтез-газа. Зависимость

позволяет определить рациональный диапазон применения добавок синтез-газа для поршневого двигателя при различных режимах его работы.

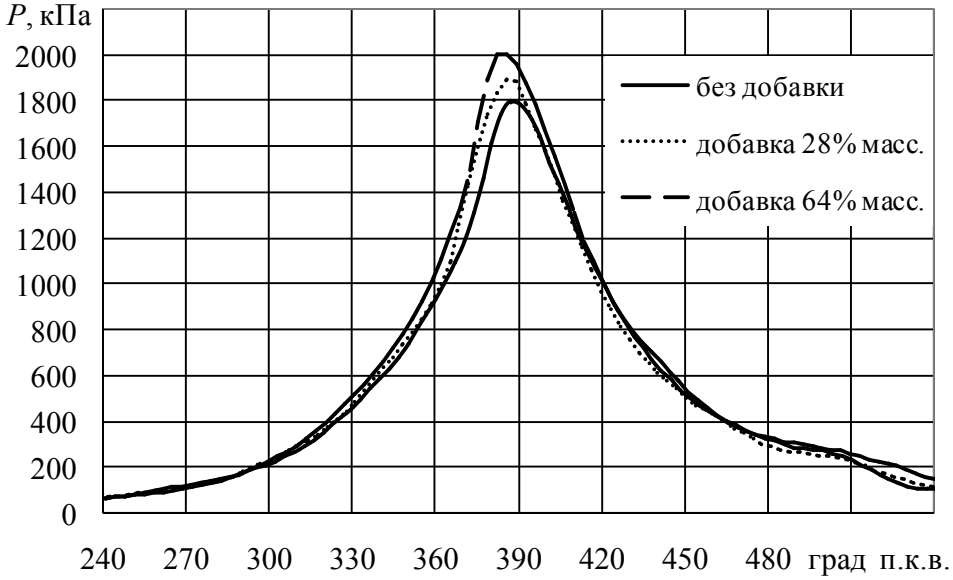


Рисунок 1. Индикаторные диаграммы работы двигателя 2Ч 7,2/6 по нагрузочной характеристике при мощности 3 кВт и частоте вращения коленчатого вала 3000 мин$^{-1}$

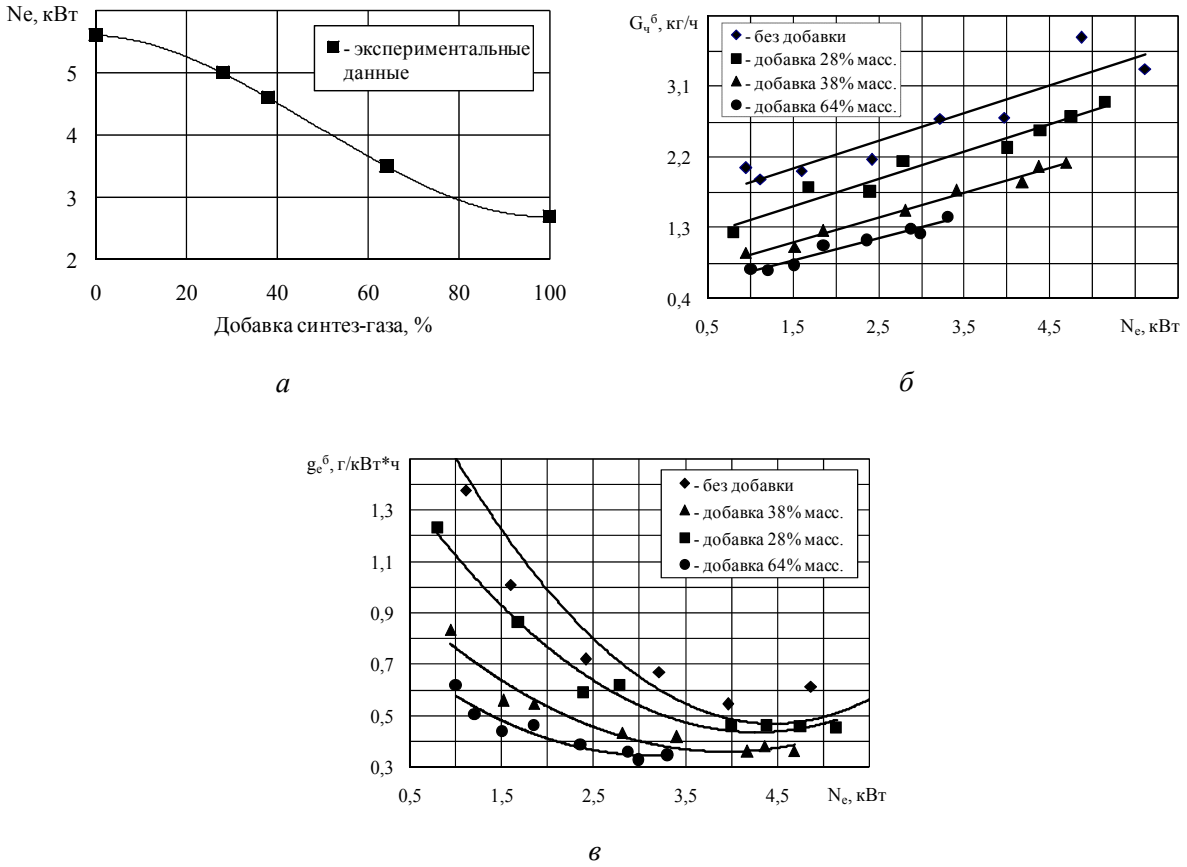


Рисунок 2. Параметры работы двигателя с добавками синтез-газа к бензину:
а – влияние величины добавки синтез-газа на мощность двигателя; *б* – зависимость часового расхода бензина от мощности двигателя при различных добавках синтез-газа; *в* – зависимость удельного эффективного расхода бензина от мощности двигателя при различных добавках синтез-газа

Выводы. При использовании добавок синтез-газа к бензину (28 %, 38 % и 64 %), в двигателе наблюдалось стабильное бездетонационное сгорание, с незначительным увеличением максимального давления сгорания при мощности двигателя 3 кВт и частоте вращения коленчатого вала 3000 об/мин. При величине добавки синтез-газа 28…64 % наблюдается снижение часового расхода бензина на 0,48…1,14 кг/ч и 0,5…1,3 кг/ч при мощности двигателя 1 и 3,3 кВт соответственно. Снижение удельного эффективного расхода бензина на 0,37…0,92 г/(кВт·ч) и 0,09…0,24 г/(кВт·ч) достигнуто при тех же условиях. Для ДВС 2Ч 7,2/6 снижение мощности достигает 48 % при работе на синтез-газе по сравнению с использованием бензина без добавки синтез-газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бризицкий, О.Ф. Разработка компактных устройств для получения синтез-газа из углеводородного топлива на борту автомобиля в целях повышения топливной экономичности и улучшения экологических характеристик автомобилей [Текст] / О.Ф. Бризицкий, В.Я. Терентьев, А.П. Христолюбов [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2004. – №11(19) – С. 17–23.

2. Steam reforming of hydrocarbon fuels [Text] / Q. Ming, et al. // Catalysis Today. – 2002. – P. 51–64.

3. Хрипач, Н.А. Термодинамический анализ рабочего цикла двигателя с термохимическим генерированием водородного топлива [Текст] / Н.А. Хрипач, В.Ф. Каменев, В.М. Фомин [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – №4(36) – С. 45–50.

4. Експериментальне дослідження параметрів поршневого ДВЗ із системою термохімічної конверсії біоетанолу [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, О. С. Митрофанов, А. С. Познанський, А. Ю. Проскурін // Двигатели внутреннего сгорания : Всеукраинский научно-технический журнал. – 2011. – № 2. – С. 3–8.

5. Характеристики экспериментальной системы конверсии биоэтанола ДВС 2Ч 7,2/6 [Текст] / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевский, А. С. Митрофанов, А. С. Познанский, А. Ю. Проскурин // Двигатели внутреннего сгорания : Всеукраинский научно-технический журнал. – 2013. – № 1. – С. 28–32.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ВОЗДУШНО-АККУМУЛИРУЮЩИХ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Чередниченко А.К.
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова (Украина)

Введение. Потребности человечества в энергии для обеспечения самых разнообразных потребностей постоянно возрастают и будут возрастать [1]. Основная часть энергии добывается из невозобновляемого источника – углеводородного органического топлива, добыча которого все усложняется и, в свою очередь, требует все возрастающих энергозатрат. Цены ископаемых углеводородных топлив постоянно растут, что приводит к снижению эффективности энергетических установок вследствие высокой топливной составляющей общих затрат. Потребителями ископаемого углеводородного топлива являются в той или иной мере все страны мира. В современном мире цены на углеводородные топлива определяются на биржах из соотношения спроса и предложения, при учете влияния других факторов (политических, финансовых, технологических, состояния запасов и пр.).

Актуальность исследования. Для снижения зависимости экономики от постоянно растущих цен на ископаемое углеводородное топливо, развитые страны мира развивают альтернативную энергетику, основанную на возобновляемых источниках энергии. Стоимость выработки 1 кВт/ч электрической энергии с применением таких технологий уже сейчас сопоставима с традиционными электростанциями, работающими на угле или газопаротурбинными электростанциями [2].

Энерготехнология CAES (Compressed Air Energy Storage) [3] предусматривает преобразование избыточной электроэнергии (например, выработанной АЭС или ветроэлектростанцией в ночное время) компрессором с электрическим приводом в энергию воздуха, сжатого до 7,0…7,5 МПа и закачиваемого в подземную или подводную емкости с дальнейшим преобразованием накопленной энергии в турбогенераторах в электрическую энергию (в пиковом режиме потребления) [4].

Реализованные проекты воздушно-аккумулирующих станций в г. Хюнторф (290 МВт) и Макинтош (110 МВт) не предусматривают утилизацию тепла, выделяющегося при сжатии воздуха. В них предусматривается сжигание природного газа для повышения потенциала рабочего тела в турбинах и, главным образом, для предотвращения обледенения проточных частей.

Более эффективны адиабатические схемы воздушно-аккумулирующих газотурбинных электростанций, в которых осуществляется аккумулирование тепла сжатого воздуха. Это позволяет обеспечить кпд такой установки свыше 70 % [5]. Кроме того, одной из перспективных энергосберегающих технологий является термохимическая регенерация тепла.

В таких установках возможно применение комплекса из нескольких теплообменников трубчатого типа (с возможностью оребрения), передача энергии между которыми осуществляется промежуточным теплоносителем, что позволяет минимизировать габариты теплообменников и снизить потери полного давления.

Постановка задачи. Представляет интерес выявление диапазонов применения рабочих сред и влияния параметров промежуточного теплоносителя на массогабаритные показатели и коэффициенты восстановления полного давления теплообменных аппаратов комплекса утилизации тепла CAES.

Результаты исследования. В результате анализа характеристик различных теплоносителей выявлено, что перспективным видом промежуточного теплоносителя могут быть термостойкие (диатермические) масла, допускающие достаточно высокие рабочие температуры (до 400 □С для синтетических масел). Температура сжатого воздуха

после компрессора в установке CAES может достигать 470 □С, что ограничивает возможность использования диатермических масел. Альтернативой может быть применение жидкометаллических теплоносителей [6]. Высокий коэффициент теплопроводности теплоносителей класса Pb-Bi, Pb и др. позволяет обеспечить достаточно малую величину площади проходных сечений каналов.

Подходы сформулированные в работе [7] и основанные на анализе относительного температурного напора в контуре промежуточного теплоносителя позволили выявить, что для обеспечения заданных постоянных значений коэффициентов восстановления полного давления в теплообменниках по «горячей» и «холодной» стороне при условии минимизации габаритов теплообменников относительный температурный напор выбирается из диапазона 0,35…0,5. Варьирование относительным температурным напором в диапазоне 0,35…0,5 позволяет при практически постоянной суммарной площади изменять отношение площадей теплообменников в диапазоне 1,0…3,0.

Применение контура промежуточного теплоносителя позволяет использовать тепло сжатого воздуха после компрессора в установке CAES в термохимическом реакторе для конверсии базового органического топлива в синтез газ. Перспективность использования того или иного типа углеводородного топлива при термохимической регенерации может быть проанализирована по зависимости разницы теплотворной способности продуктов конверсии и исходного топлива от температуры реакции. Расчет выполненный с использованием констант равновесия основных реакций при давлении 0,1 МПа показал, что для располагаемого температурного диапазона эффективна конверсия этанола, бутана, пропана и этана. Биоэтанол, является возобновляемым ресурсом, поэтому паровой риформинг этанола является перспективным выбором базового сырья.

Выводы.

В качестве промежуточных теплоносителей в установках CAES с утилизацией и регенерацией тепла могут использоваться диатермические масла и «тяжелые» жидкометаллические теплоносители.

При применении промежуточного теплоносителя минимизация габаритов теплообменников может быть достигнута выбором диапазона относительного температурного напора.

Утилизация «сбросного» тепла в установке CAES может осуществляться путем паровой конверсии биоэтанола с подводом тепла промежуточным теплоносителем.

ЛИТЕРАТУРА

1. INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK 2013 (код доступа http://www.eia.gov/forecasts/ieo/world.cfm)

2. Levelized cost of electricity renewable energy technologies. Fraunhofer institute for solar energy systems ISE, 2013.

3. Dr. R. Schainker, Dr. M. Nakhamkin, Pramod Kulkarni “New Utility Scale CAES Technology” EESAT, 2007.

4. New solutions for energy storage and smart grid load management / Gas Turbine World : March–April 2009, No. 2, pp. 22–26.

5. Fundamental analyses to optimize adiabatic CAES plant efficiencies / Gas Turbine World : September–October 2009, No. 5, pp. 21–24.

6. Чередниченко А. К. К выбору параметров промежуточного теплоносителя регенеративного газотурбинного цикла [Текст] / А.К. Чередниченко, М.Р. Ткач // Вестник двигателестроения. – 2011. – № 2. – С. 101–105.

7. Чередниченко А. К. Энергетические и массогабаритные показатели газотурбинных установок с промежуточным жидкометаллическим теплоносителем [Текст] / А.К. Чередниченко // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2011. - № 5, С. 76–83.

Секція 3

РОБОЧІ ПРОЦЕСИ, ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ

Андрейцев А.Ю., Высоцкая Г.С.
Государственный экономико-технологический университет транспорта (Украина)

Введение. Своевременная доставка грузов в пункты назначения составляет одну из основных обязанностей перевозчика, за нарушение которой он несет имущественную ответственность. От времени транспортировки груза зависят эффективность работы транспорта, ускорение оборота транспортных средств и в значительной мере сохранность перевозимых грузов.

Актуальность исследований. Растущие стандарты транспортных услуг диктуют необходимость соблюдения логистического принципа доставки «точно в срок». Тенденции в организации доставки грузов железнодорожным транспортом на основе разработки технологии конкретной перевозки и составления графиков доставки грузов, учитывающие потребности клиентов и имеющиеся возможности железной дороги, требуют разработки соответствующих методик и методов.

В [1] была построена стохастическая модель для определения наиболее вероятных потерь перевозочной платы железной дорогой, связанных с просрочкой доставки грузов, в предположении, что время просрочки распределено по экспоненциальному закону.

В [2, 3] учтены затраты, связанные с преждевременной доставкой грузов. Для этого была использована модель, в которой отклонение фактического времени доставки от графика $t_{\tilde{a}\partial}$ подчинялось нормальному закону распределения. Недостатком этой модели является то, что нормально распределённая случайная величина определена на всей числовой оси, а фактическое время доставки грузов не может быть меньше некоторого минимального (технологического) $t_{\min} > 0$ и соответствующее отклонение $\Delta t > t_{\min} - t_{гр}$.

Постановка задачи. В данном докладе предлагается стохастическая модель оценки отклонения фактического времени доставки от минимального ($\Delta t^* = t - t_{\min}$), в которой данная случайная величина распределена по закону Вейбулла с плотностью распределения:

$$f(\Delta t^*) = \begin{cases} 0, & \Delta t^* < 0 \\ \alpha\beta(\Delta t^*)^{\beta-1} e^{-\alpha(\Delta t^*)^\beta}, & \Delta t^* \geq 0, \quad \alpha > 0, \beta > 1 \end{cases}.$$

Целью данного исследования является оценка параметров α, β и анализ их влияния на изменение доли своевременно доставляемых грузов, что впоследствии может быть использовано для оценки потерь, связанных с несвоевременностью доставки.

Результаты исследований. Пусть нам известны: t_c – среднее время доставки грузов на определенном участке и t_m – время, за которое доставляется половина всех грузов на этом участке (медиана). Поскольку $\Delta t_c^* = t_c - t_{\min}$ – математическое ожидание отклонения фактического времени доставки от минимального, то (см. например [4]):

$$\Delta t_c^* = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right), \tag{1}$$

где $\Gamma(\gamma) = \int_0^{+\infty} x^{\gamma-1} e^{-x} dx$ – гамма-функция Эйлера.

Решив уравнение

$$\int_0^{\Delta t_m^*} \alpha\beta(\Delta t)^{\beta-1} e^{-\alpha(\Delta t^*)^\beta} d\Delta t^* = \frac{1}{2}$$

получим

$$\Delta t_m^* = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} (\ln 2)^{\frac{1}{\beta}}. \qquad (2)$$

Для определения параметров α, β необходимо иметь эмпирические данные для оценки Δt_c^* та Δt_m^*. После статистической обработки данных относительно t_c и t_m находим точечные оценки этих сроков и отклонения $\overline{\Delta t_c^*}$ и $\overline{\Delta t_m^*}$.

Решим систему (1), (2). β определяется из уравнения: $P = \dfrac{\overline{\Delta t_m^*}}{\overline{\Delta t_c^*}} = \dfrac{(\ln 2)^{\frac{1}{\beta}}}{\Gamma\left(\dfrac{1}{\beta}+1\right)}$

При $P < 1$ ($\Delta t_m < \Delta t_c$) это уравнение имеет один корень: $\beta < 3{,}44$.

β можно найти приближенными методами с необходимой точностью. Тогда:

$$\alpha = \frac{\ln 2}{(\Delta t_m)^\beta} = \left(\frac{\Gamma\left(\dfrac{1}{\beta}+1\right)}{\Delta t_c^*} \right)^\beta.$$

Данная модель достаточно точно описывает фактические отклонения, но она не является универсальной. Для каждого участка $t_{\min}$ различно, следовательно каждый раз необходимо проводить оценку эмпирических данных. Если же вместо абсолютных взять относительные отклонения, то все выкладки при замене Δt^* на $\tau^* = \dfrac{\Delta t^*}{t_{\min}}$ не изменятся.

При этом для функции $f(\tau^*)$ β останется прежним, а $\alpha = \dfrac{\ln 2}{\tau_m^{*\beta}} = \left(\dfrac{\Gamma\left(\dfrac{1}{\beta}+1\right)}{\tau_c^*} \right)^\beta$.

На рисунках 1, 2 приведены графики $f(\tau^*)$ и $F(\tau^*)$ для $\alpha = 0{,}5; 1; 2$ при $\beta = 3{,}4$.

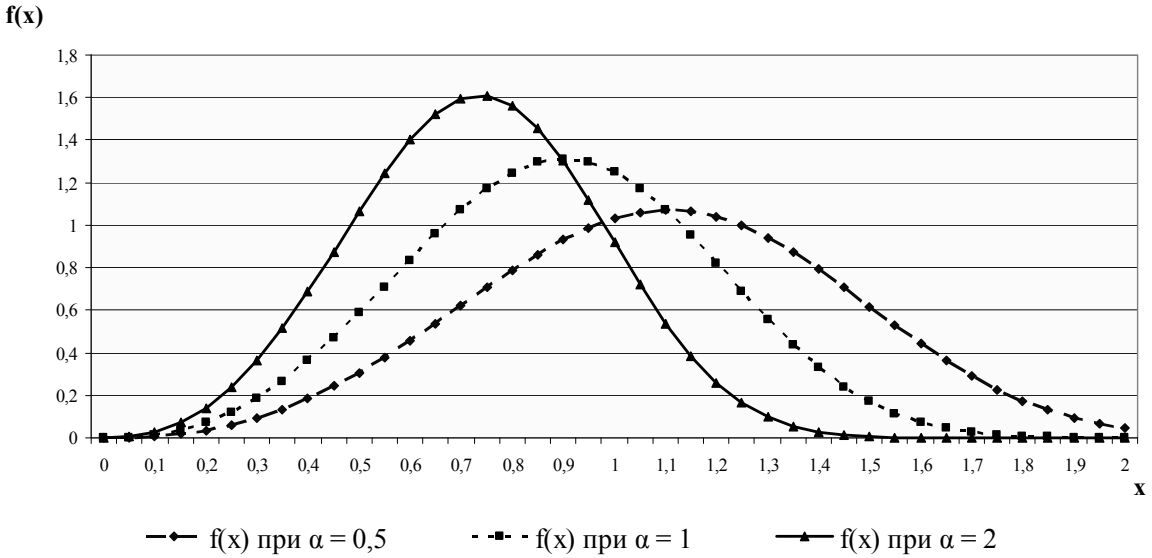


Рисунок 1. Плотность распределения Вейбулла при $\beta = 3{,}4$, $\alpha = 0{,}5; 1; 2$

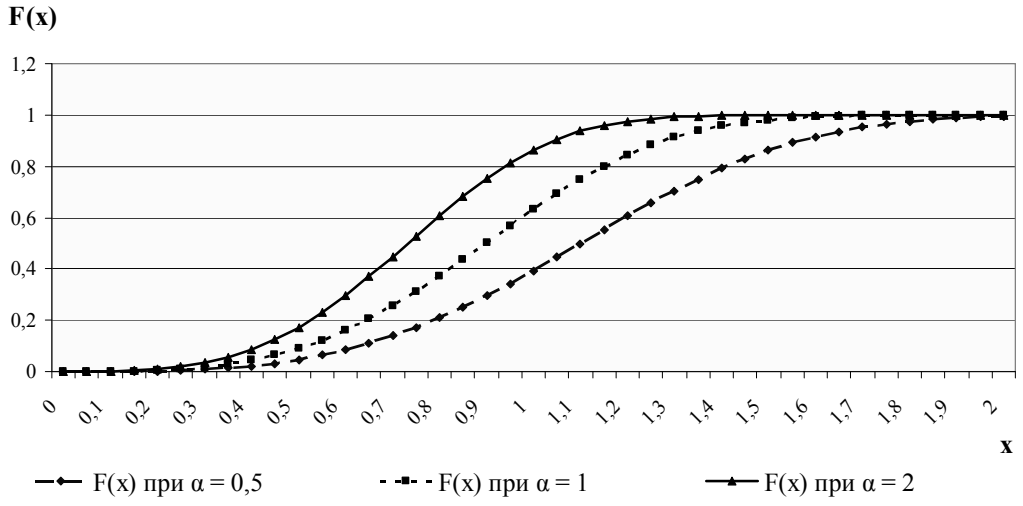


Рисунок 2. Интегральная функция распределения Вейбулла при $\beta = 3{,}4$, $\alpha = 0{,}5; 1; 2$

Анализ графиков показывает, что при увеличении α (при уменьшении τ_m^*) количество грузов с существенным отклонением от среднего времени доставки уменьшается. Это дает возможность сократить издержки, связанные с несвоевременной доставкой.

Выводы. Для применения предложенной модели необходимо провести выборочное определение t_c и t_m на разных участках, после чего найти точечные оценки $\overline{\tau_c^*}$ и $\overline{\tau_m^*}$. Далее необходимо проверить гипотезу о распределении Вейбулла отклонений от минимального времени доставки. При подтверждении этой гипотезы необходима коррекция графиков доставки для увеличения коэффициента α, что существенно повышает эффективность.

Данная модель учитывает асимметрию фактического времени доставки относительно графика, что дает основания считать ее более реалистичной, чем базирующуюся на предположении нормального закона распределения отклонений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Висоцька Г.С. Визначення імовірнісних характеристик процесу доставки вантажів [Текст] / Г.С. Висоцька // Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Київ, 2012. – № 20. – С. 240–245

2. Андрейцев А.Ю. Стохастична модель оцінки витрат, пов’язаних із відхиленням від графіка доставки вантажів [Текст] / Андрейцев А.Ю., Висоцька Г.С. // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. – Сер. «Техніка, технологія». – К.: ДЕТУТ, 2013. – с. 210-211

3. Андрейцев А.Ю. Математична модель точності доставки вантажів [Текст] / Андрейцев А.Ю., Висоцька Г.С. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: четверта міжнар. наук.-практ. конф., 29-31 травня 2012 р.: тези доп. – Херсон: ХДМА, т.1 «Системний аналіз та математичне моделювання складних об’єктів», 2012. – С. 66–67

4. Теорія вероятностей: Учеб. для вузов / А. В. Печинкин, О. И. Тескин, Г. М. Цвєткова и др.; Под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 456 с.

5. Статут залізниць України [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/457-98-%D0%BF

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Варбанец Р.А., Кучеренко Ю.Н., Кырнац В.И., Шумило А.Н.
Одесский национальный морской университет (Украина)

Введение и постановка задачи. В состав судового дизеля входят разные по своему принципу действия механизмы и агрегаты:

- возвратно-поступательно движущиеся механизмы (кривошипно-шатунный механизм, поршни);
- механизмы роторного типа (зубчатые, ременные и цепные приводы, масляные и водяные насосы, газотурбонагнетатель, коленчатый и распределительный валы);
- топливная аппаратура высокого давления (топливные насосы, клапана и форсунки);
- механизм газораспределения (группы впускных и выпускных клапанов с приводами);
- подшипники качения, скольжения и соединительные муфты;
- другие различные узлы (генераторы в составе дизель-генераторов и.т.д).

Множество одновременно работающих механизмов разного принципа действия, обеспечивающих нормальное функционирование судового дизеля и генерирующих собственные вибросигналы, значительно усложняют задачу вибродиагностики судового дизеля по сравнению с механизмами роторного типа. В связи с этим методы вибродиагностирования судового дизеля сводятся к диагностике его отдельных узлов и механизмов.

Спектральный анализ вибросигналов узлов судовых дизелей. Для каждого узла рассчитываются собственные частоты контрольных гармоник, но базовыми во всех случаях являются:

- гармоника основной частоты вращения коленчатого вала *fn:*

$$fn = n_{RPM} / 60$$

- и цилиндровая гармоника *fcyl*:

$$fcyl = fn \times icyl \times Coef.stroke,$$

где *icyl* - количество цилндров;
Coef.stroke = 0,5 для четырехтактных и 1,0 для двухтактных дизелей.

Для шестицилиндрового четырехтактного дизеля Volvo Penta TAMD165a (L-type) [1] с частотой вращения коленчатого вала 1800 RPM

$$fn = 1800 / 60 = 30\ Hz,$$

$$fcyl = 30 \times 6 \times 0{,}5 = 90\ Hz$$

Существует общий подход к оценке технического состояния механизмов по результатам вибрации на не вращающихся частях (ISO 10816[2]). По требованиям [2] диагностика технического состояния производится в зависимости от класса механизма по общему уровню вибрации. Для анализа берется среднеквадратичное значение (RMS) виброскорости механизма в частотном диапазоне 10 - 1000 Гц.

Для непрерывного сигнала *V(t)* среднеквадратичное значение определяется как

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V^2(t)dt},$$

где T - период выборки, который должен быть много больше периода любого из основных анализируемых частотных сигналов, содержащихся в *V(t)* (минимум в 20 раз).

Если сигнал вибрации записан дискретно и имеются *N* значений виброскорости *Vi*, то среднеквадратичное значение определяется как

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} V_i^2}.$$

При вычислении СКЗ по временному сигналу мы вынуждены применять какие-либо фильтры для выделения нужного частотного диапазона 10 - 1000 Гц. Проще вычислить V_{RMS} по амплитуде спектра сигнала s_j

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{2}\sum_{j=k1}^{k2} s_j^2},$$

где k1 и k2 индексы гармоник на 10Гц и 1000 Гц, соответственно.

Рассчитав V_{RMS} можно оценить общее техническое состояние механизма по Таблице 1, где указаны пределы виброскорости для нормального (A) и ненормального (B, C, D) состояний механизмов разных классов. Дизель TAMD165a соответствует классу III в случае установки его на жесткое основание и классу IV при установке на гибкие опоры.

Таблица 1. ISO 10816 Границы зон* RMS виброскорости для машин различных классов

R.m.s. vibration velocity mm/sec	up to 15 kW Class I	15 to 75 kW Class II	> 75 kW (rigid) Class III	> 75 kW (soft) Class IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B			
1,8		B		
2,8	C		B	
4,5		C		B
7,1	D		C	
11,2		D		C
18			D	
28				D
45				

* A - хорошее состояние; B - удовлетворительное; C - неудовлетворительное; D - аварийное состояние, эксплуатация опасна.

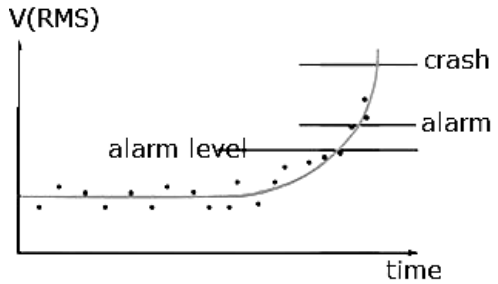


Рисунок 1. Временной тренд уровня вибрации механизма

Уровень вибрации выше нормального означает, что в механизме имеются проблемы (дисбаланс мощностей цилиндров, расцентровка или излом муфт, ослабление механических креплений, проблемы с фундаментом и т.д).

В связи с тем, что каждый узел дизеля уникален в смысле вибрационного поведения, наиболее эффективным методом диагностирования является сравнение результатов измерений во времени. Такое сравнение целесообразно производить с помощью построения трендов, (графиков изменения среднеквадратичного значения виброскорости по времени), Рис. 1. При отсутствии проблем общий уровень вибрации механизма будет оставаться стабильным на протяжении некоторого времени. Последующие периодические результаты измерений сравниваются с этим базовым уровнем. Периодичность измерений зависит от типа механизма и от критичности его состояния. На графике тренда могут быть установлены предупредительный и аварийный уровни. Предупредительный уровень устанавливает границу, в пределах которой повышение уровня сигнала может иметь случайный характер. Устойчивый рост амплитуды выше предупредительного уровня является сигналом к тому, что периодичность измерений необходимо сделать более частой. При приближении

амплитуды к аварийному уровню необходимо провести более детальный спектрального анализ вибрации механизма и с целью выявления дефекта и, затем, принять меры к его устранению.

Спектральный анализ может дать более детальную информацию о характере дефекта. В Таблице 2 приведены и собраны основные дефекты различных узлов судового дизеля и показаны частоты гармоник, на которых эти дефекты проявляются. Данные Таблицы 2. получены путем анализа источников [3 - 6].

По данным [4] В результате нарушений в подаче топлива по цилиндрам (дисбалансе мощностей) возникает "...устойчивый рост глубины модуляции (на 15%) вибрации на частоте рабочего цикла (fcyl - прим.), а также присутствует рост глубины модуляции (на 7%) на оборотной частоте машины (fn - прим.)".

К сожалению, авторами из Коломны [4] не проводились глубокие исследования возможностей вибродиагностики топливной аппаратуры высокого давления (ТА) и механизма газораспределения (МГР).

Таблица 2. Неисправности узлов дизелей и частоты характерных гармоник [3-6]

Неисправность	Частота вибрации	Описание
Дефекты крепления дизеля	fn, $2\times fn$	Непропорционально большой рост первых двух гармоник основной частоты
Дефекты центровки дизеля с генератором	fn, $2\times fn$, $3\times fn$	Возникают при несоосности коленчатого вала и ротора генератора. В спектре появляются первые три кратные гармоники основной частоты
Дефекты крепления генератора	fn, $2\times fn$	Непропорционально большой рост первых двух гармоник основной частоты. Максимально проявляется в одном из направлений.
Повышенная вибрация приводов масляного и водяного насосов, а также привода распределительного вала	$Fz = fz \times z$ f_Z - частота ротора z - кол-во зубцов	Преобладает частота зацепления зубчатой пары Fz . Признаки: рост амплитуды гармоники Fz и появлние гармоник с частотами валов шестерен f_Z
Вибрация соединительных муфт	fn в осевом направлении	При параллельном сдвиге или изломе в муфте возникает небаланс масс вращающегося ротора за счет смещения осей центров масс. Появляется осевая вибрация с частотой fn
Повышенная вибрация подшипников коленчатого вала	$F_{CR} =(0,42\times 0,48) \times fn$	Зависит от состояния рабочих поверхностей вкладышей, зазоров между шейками вала и вкладышами и свойств смазочного масла. При определенных условиях могут возникнуть автоколебания вала в радиальном направлении. Появление в спектре гармоник с частотой F_{CR} может характеризовать дефект вкладышей или шейки вала

Продолжения табл. 2.

Вибрация подшипников качения (генератора или др. узлов)	- дефект наружного кольца **BPFO**: $f_o = \frac{z}{2} f_n \left(1 - \frac{d}{D} cos\beta\right)$ - дефект внутреннего кольца **BPFI**: $f_i = \frac{z}{2} f_n \left(1 + \frac{d}{D} cos\beta\right)$ - дефект сепаратора **FTF**: $f_c = \frac{f_n}{2} \left(1 - \frac{d}{D} cos\beta\right)$ - дефект тел качения **BSF**: $f_r = \frac{D}{d} f_n \left(1 - \left(\frac{d}{D} cos\beta\right)^2\right)$	Дефекты или повреждения контактных поверхностей качения (наружного/внутреннего колец, сепаратора или тел качения). Чаще анализируется виброускорение, может анализироваться виброскорость. *z* - число тел качения; *D* - диаметр окружности, проходящей через центр тел качения (средний диаметр сепаратора); *d* - диаметр тел качения; *β* - угол контакта тела качения.
Вибрация подшипников качения (упрощенные формулы, через RPM)	- дефект наружного кольца **BPFO**: $f_o = 0.45 \times z \times RPM$ - дефект внутреннего кольца **BPFI**: $f_i = 0.55 + 0.6 \times z \times RPM$ - дефект тел качения **BSF**: $f_r = 3.5 \times RPM$	Дефекты или повреждения контактных поверхностей качения (наружного/внутреннего колец и тел качения). Чаще анализируется виброускорение, может анализироваться виброскорость. *z* - число тел качения; *RPM* - частота вращения мин$^{-1}$.
Дисбаланс ротора турбонагнетателя	f_{TUR}	Отклонения от осевой симметрии ротора и неоднородности материала. Возникающие при вращении неуравновешенные центробежные силы создают вынужденные колебания с частотой вращения турбокомпрессора.
Вибрация рабочих лопаток воздушного компрессора ГТН	$f_{TUR} \times nb.comp$ *nb.comp* - количество лопаток компрес-сорного колеса	Лопастная компрессорная вибрация всегда присутствует в спектре вибрации и признаком дефекта на является*. Дефект диагностируется по росту уровня лопастной гармоники со временем.
Дефект крепления турбокомпрессора	*fn* в вертикальном и поперечном направлениях	Образуется во время монтажа (чаще) или в процессе эксплуатации. Повышается общий уровень вибрации и в спектре повышается гармоника на частоте вращения коленчатого вала в вертикальном и поперечном направлениях.

* Присутствие в спектре гармоники лопастной компрессорной вибрация позволяет авторам настоящей статьи уже несколько лет производить экспресс-анализ ГТН [7].

Выводы. Из таблицы 1. видно, что уровень вибрации, определяемый RMS виброскорости характеризует общее состояние механизма. Конкретный дефект можно определить, анализируя спектр вибрации как показано в таблице 2. Для механизмов роторного типа дефект определяется с большой долей вероятности. Однако, как видно из таблицы 2, многие дефекты характеризуются гармониками основной частоты вращения *fn,*

2×fn, и признаки дефектов часто пересекаются, накладываются и возникает неопределенность. Например, для дизеля Volvo Penta TAMD165a цилиндровая гармоника *fcyl* является третьей кратной гармоникой основной частоты *fn*, или *fn* является субгармоникой цилиндровой частоты. Если такая картина для роторных машин еще может устраивать, то для поршневых машин (дизелей в данном случае) неопределенностей слишком много.

В любом случае, информация о дисбалансе мощностей цилиндров, в случае ее выявления, не является надежной диагностической информацией, определяющей конкретный дефект и указывающей путь к его исправлению. При диагностике ЦПГ, ТА и МГР необходимо выявлять не только дисбалансы мощностей, но и возможные изменения компрессии, а также нарушения фаз топливоподачи и газораспределения конкретных цилиндров. Чуть ли не единственным методом в данном случае является метод параметрической диагностики рабочего процесса, предполагающий запись и анализ индикаторных диаграмм рабочих цилиндров. Параллельно с развернутыми индикаторными диаграммами могут быть записаны диаграммы работы ТА высокого давления и механизма газораспределения [9]. Такая информация поможет выявить неисправности ТНВД, форсунок или клапаннов конкретного цилиндра, т.е. действительно решить задачу пост- или предремонтной диагностики дизеля. В процессе эксплуатации эта информация поможет осуществить оптимальную настройку жизненно важных узлов, равномерно распределить механические и тепловые нагрузки между цилиндрами, снизить общий уровень теплонапряженности дизеля, увеличить резерв мощности и снизить удельный расход топлива. Понятно, что равномерное распределение тепловых и механических напряженностей способствует безаварийной работе дизеля и продлению его моторесурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.volvopenta.com/volvopenta/global. New Volvo Penta TAMD165 - a versatile marine diesel with low emission levels.

2. ISO 10816 Series. Mechanical vibration -- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts.

3. Zigelman E.B., Skvortzov D.F., Loshinin I.A. Study of Possibility for vibrodiagnostics of medium diesel generators. Izvestiya vuzov, 2013, N6, pp.-42-48

4. http://www.pruftechnik.com/. Vibrodiagnostics equipment example.

5. Solomatin S.J. Foundations of technical diagnostics. Odessa, ONMU, 2007, 80 p.

6. Suri Ganeriwala, Phd. Review of Techniques for Bearings & Gearbox Diagnostics. IMAC Conference - Feb. 3, 2010, Jacksonville FL

7. Варбанец Р.А. Анализ метода устранения "утечки" спектра при диагностике систем турбонаддува судовых дизелей / Р.А. Варбанец, Ю.Н. Кучеренко, А.И. Головань, Н.И. Александровская // Искусственный интеллект. – 2013. – № 4(62). – С. 289-295.

8. Варбанец Р.А. Мониторинг частотных параметров судового дизеля с турбонаддувом / Р.А. Варбанец, Ю.М. Кучеренко, А.І. Головань // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология". Астрахань. − 2013. − № 1.− С. 103-110.

9. Varbanets R., Karianskiy A. Analyze of marine diesel engine performance // Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects. Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology,2012, vol. 7, no. 1, pp. 269–275.

СУДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ И РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Голиков В.А., Голубев М.В.
Одесская национальная морская академия (Украина)

При проведении анализа существующих судовых схем регенерации тепла уходящих дымовых газов была составлена общая структурная технологическая схема. Она включает в себя все известные базовые элементы судовой энергетической установки - котельную установку, дизельную установку, турбину, систему топливоподготовки, систему генерации электроэнергии и т.д. В схему также вошли все возможные технологические способы выработки и регенерации тепловой, механической и электрической энергии при работе судна. Ее общий вид показан на рисунке 1. При разработке структурной технологической схемы был использован принцип функционирования всех возможных связей при использовании шести технологических контуров. Пять, из описанных контуров являются взаимосвязанными и при некоторых режимах эксплуатации судна могут рассматриваться как взаимозаменяемые.

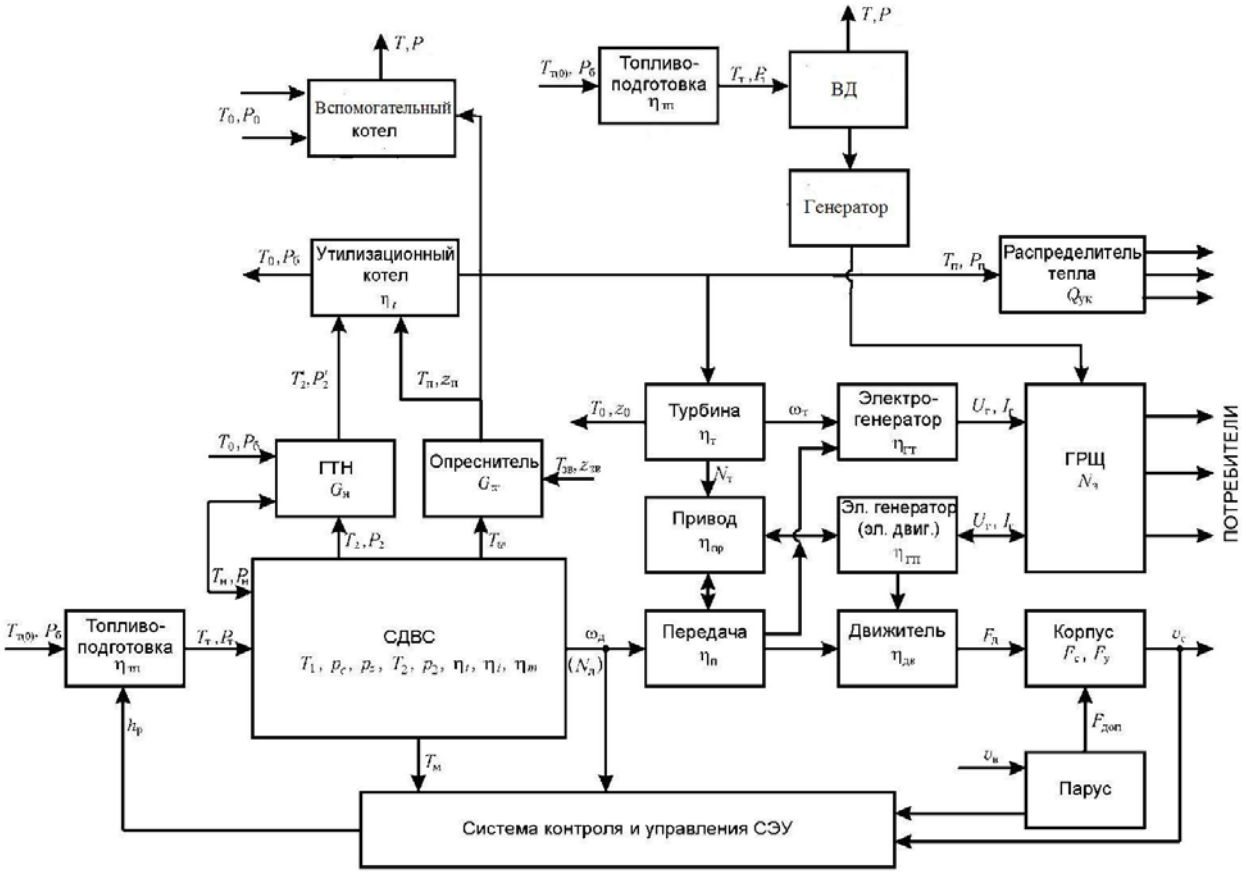


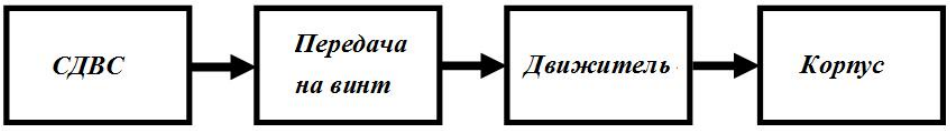
Рисунок 1. Типовая схема судовой технологии регенерации тепла уходящих дымовых газов: ГТН – газотурбонагнетатель; СДВС – судовой двигатель внутреннего сгорания; ГРШ – главный распределительный щит; ДГ – дизель-генератор; ВД – вспомогательный дизель

Первый технологический контур на рис. 1 предназначен для выработки в судовых условиях механической энергии за счет процесса сгорания топлива. В этом случае, как видно на схеме топливо, прошедшее процесс подготовки подается на судовой двигатель внутреннего сгорания или на судовой дизель-генератор. Предварительный процесс подготовки топлива подразумевает его разогрев до технологически установленного

диапазона рабочих температур и увеличение давления до величины, соответствующей давлению подачи на главный двигатель или главную энергетическую установку.

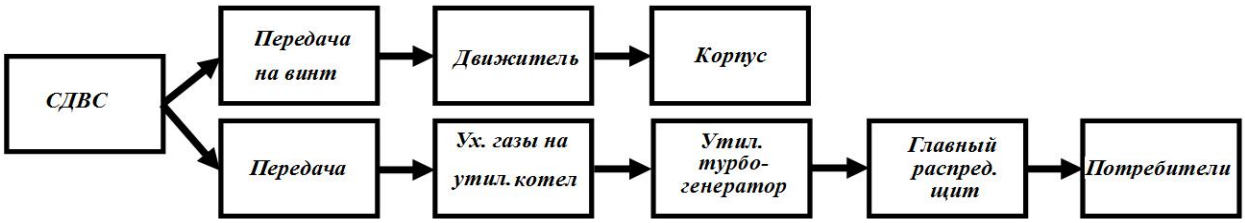
В первом технологическом контуре при работе главной энергетической установки осуществляется преобразование энергии сгорания топлива в механическую энергию, которая передается на движитель судна. Движитель посредством валопровода приводит корпус судна в движение.

Общая структурная связь первого технологического контура имеет вид:



Второй технологический контур на рис. 1 подразумевает использование в условиях работы судна тепла уходящих дымовых газов. Продукты сгорания поступают от главного двигателя в утилизационной котел в котором вырабатывается водяной насыщенный пар. С утилизационного котла пар направляется на утилизационный турбогенератор в котором турбина за счет энергии пара вращает генератор, вырабатывающий электрическую энергию. Получаемая электроэнергия распределяется в последующем между всеми судовыми потребителями через главный распределительный щит.

Две независимые друг от друга структурные связи второго технологического контура имеют вид:



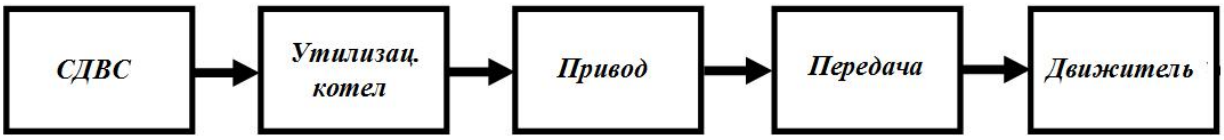
Третий технологический контур на рис. 1 предназначен для производства электрической энергии для судовых потребителей. При его введении в рабочий процесс используется вращение вала главного двигателя.

За счет использования редукторной связи крутящий момент от вала двигателя передается на валогенератор электродвигателя. При вращении ротора электродвигатель начинает вырабатывать электроэнергию с ее последующей передачей на главный распределительный щит, после которого она поступает к потребителям.

Структурная связь третьего контура имеет вид:

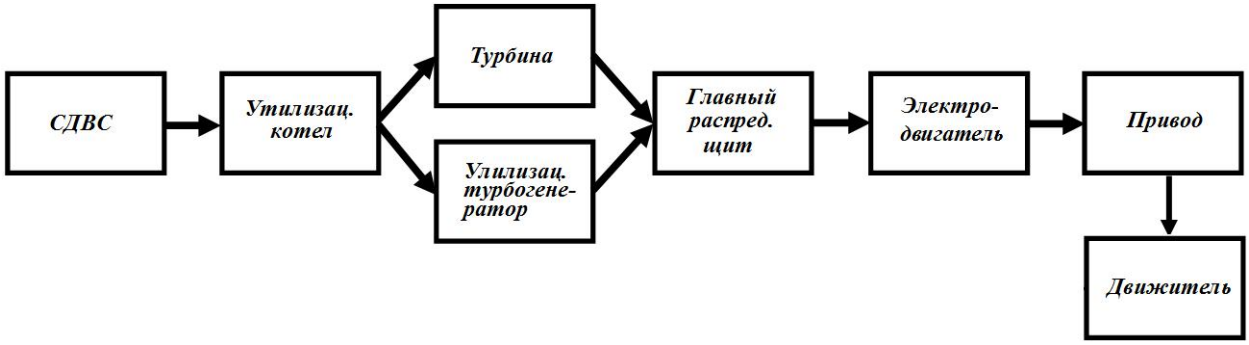
Четвертый контур на рис. 1 используется как контур регенерации тепла уходящих дымовых газов. Вся тепловая энергия уходящих дымовых газов из двигателя внутреннего сгорания используется в утилизационном котле, где за счет теплообменных процессов вырабатывается водяной насыщенный пар. Перегретый водяной пар в последующем подается на вспомогательную турбину. За счет вращения отдельного привода турбины вся вырабатываемая энергия в виде крутящего момента через систему редукторов передается на движители судна - его винты.

Структурная связь, отражающая работу четвертого контура, имеет вид:



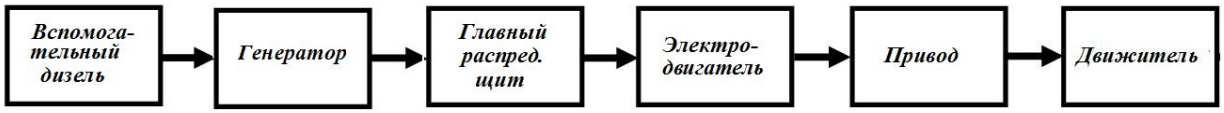
Пятый технологический контур на рис. 1 также работает в режиме регенерации тепла уходящих дымовых газов. В этом контуре вся тепловая энергия, которая вырабатывается судовым двигателем внутреннего сгорания, с дымовыми газами передается на утилизационный котел. В утилизационном котле происходит ее преобразование в энергию водяного насыщенного пара. Пар под давлением в зависимости от конструктивного исполнения судовой энергетической установки судна может в последующем подаваться или на турбину или, в случае его наличия на судне на утилизационный турбогенератор. При своем вращении турбина и/или турбогенератор вырабатывают электрическую энергию, которая передается через главный распределительный щит на электродвигатель. Электродвигатель после начала своей работы начинает передавать энергию на вращение вала движителя судна посредством привода и редукторной передачи.

Структурная схема, отражающая работу пятого технологического контура, имеет вид:



Последний, показанный на рис. 1, шестой технологический контур, может рассматриваться, как независимый от общей системы пропульсивного комплекса судна. При этом этот технологический контур предназначен для непосредственной работы в составе судовой энергетической установки. Он работает следующим образом: судовая вспомогательная дизельная установка при сжигании топлива вращает генератор электрической энергии. Вся вырабатываемая энергия передается на главный распределительный щит. Со щита в последующем по мере необходимости электроэнергия подается к конечным потребителям. Также энергия может подаваться на электродвигатель, который при своей работе через муфтовый привод приводит во вращение редукторную передачу, связанную с винтовым движителем судна.

Структурная схема, отражающая работу шестого технологического контура, имеет вид:



Следует отметить, что общим для всех шести рассмотренных технологических контуров является правило выполнения энергетического баланса между судовым двигателем внутреннего сгорания, газотурбонагнетателем и утилизационным котлом. При их эксплуатации всегда должно выполняться равенство между затрачиваемой и потребляемой энергией во всех элементах судовой энергетической установки с учетом возможных суммарных механических и гидравлических потерь. Невыполнение этого равенства всегда свидетельствует о наличии:

- утечек дымовых газов, приводящих к необратимым потерям энергии в контуре регенерации тепла;
- резкого изменения условий плавания судна (климатических условий, повышенной кратковременной ветровой нагрузки, волнения, течений и т.п.);
- обрастания корпуса;

- непостоянства частоты вращения вала двигателя при использовании комбинированной системы генерирования электрической энергии;
- паразитной обратной связи между исполнительными механизмами (неравномерность вращения винта, одновременное включение большого числа мощных потребителей энергии и т.п.) и двигателем внутреннего сгорания;
- тепловых потерь в контурах масляной и водяной системы охлаждения и смазки судового двигателя внутреннего сгорания.

Регенерация дымовых газов на судне также подразумевает и их очистку. При анализе методов, которые используются для очистки дымовых газов была составлена их общая классификация. Она показана на рисунке 2. Как видно из схемы существует три независимых метода. Первые два отличаются между собой наличием жидкой фазы, как одной из составляющих процесса очистки дымовых газов, а третий основан на использовании специфических особенностей электрического поля.

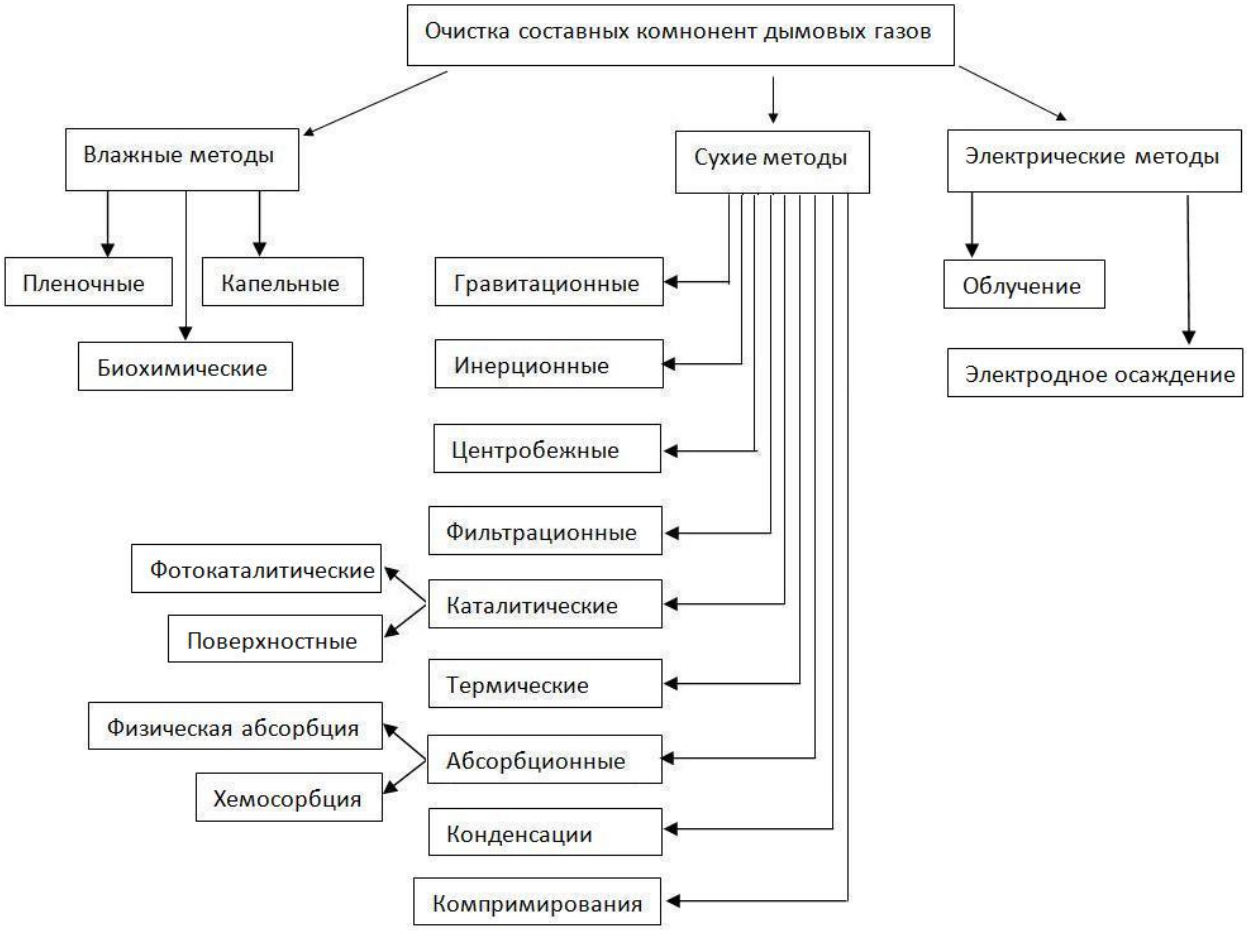


Рисунок 2. Классификация методов очистки дымовых газов

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНУСНОЇ ФРЕЗИ

Горбатюк Є.В., Міщук Д.О., Тетерятник О.А.
Київський національний університет будівництва і архітектури (Україна)

Вступ. Високошвидкісні робочі органи знаходять все більше застосування в сучасному будівництві. Основним напрямком застосування динамічних робочих органів є руйнування міцних будівельних матеріалів, але особливості взаємодії робочого середовища з породоруйнуючим елементом при високих швидкостях дозволяють проектувати робочі органи ґрунторозробних машин. Теорія динамічного руйнування ґрунтів професора Баладінського В.Л. дає змогу створювати нові зразки високошвидкісних робочих органів землерийних машин, які мають значно нижчу енергоємність, ніж сучасні робочі органи, якими агрегатуються основна маса землерийної техніки, що представлена на ринку.

Актуальність досліджень. Із аналізу досліджень, що викладені в роботах [1-3] можна зробити висновок, що динамічні робочі органи мають значно меншу енергоємність та вищу питому продуктивність по відношенню до звичайного статичного робочого обладнання; при цьому вони не мають тенденції до ускладнення конструкції робочого органа. Крім того, за рахунок застосування прямого приводу, значно спрощується його конструкція, що призводить до зниження металоємності машини.

Розроблені на кафедрі будівельних машин ім. Ю.О. Вєтрова конструкції динамічних робочих органів (дискового, кільцевого, роторного, конусної фрези тощо) дозволяють використовувати в роботі позитивні ефекти динамічного руйнування ґрунтів, що зменшує енергоємність розробки ґрунтового масиву. Наприклад роторний робочий орган поєднує в своїй конструкції функцій руйнування ґрунту і його транспортування; кільцевий робочий орган використовує принцип вирізання елемента масиву без його повного руйнування. Дисковий робочий орган має можливість повороту у вертикальній площині на деякий кут до поверхні ґрунту, що формує забій робочою поверхнею ґрунторуйнівного диска, завдяки чому відбувається ослаблення ґрунтового масиву внаслідок дії сил тяжіння; при цьому ґрунт над робочим органом постійно знаходиться під дією хвиль напружень, що створюються внаслідок високої швидкості обертання диска, тому в масиві формуються втомні деформації, які додатково знижують міцність ґрунту. Конструкція конусної фрези поєднує позитивні ефекти вищенаведених робочих органів в одному, що, відповідно, дозволяє зменшити енергоємність різання та збільшити питому продуктивність.

Невирішеною проблемою в динамічному руйнуванні ґрунтів є визначення закономірності поєднання різних способів навантаження робочого середовища, таких як удари і вібрація, з високими швидкостями взаємодії ґрунторуйнуючих елементів з масивом ґрунту.

Метою роботи є моделювання робочого процесу взаємодії моделі конусної фрези з моделлю робочого середовища.

Задачею даного дослідження є розробка експериментального обладнання для дослідження силових та енергетичних параметрів конусної фрези.

Постановка задачі. Для проведення експериментальних досліджень силових параметрів моделі конусної фрези було розроблено і виготовлено спеціальний стенд [4]. Стенд (рис. 1) складається з рами 1, на якій розташовуються напрямні швелери 2, вздовж яких переміщується тензометричний візок 3. Робоче пересування тензометричного візка здійснюється двигуном постійного струму 4 (тип П-ІІ, N=4кВт, nоб=4200об/ ві), через клинопасову 5 та гвинтову 6 передачі.

Тензометричний візок виконано у вигляді контурної рами, що жорстко закріплена на осях котків 7. З осями котків шарнірно з’єднана навіска 8, яка зв’язана через важіль 9 з

вимірювальним вузлом 10. На навісці 8 закріплено модель конусної фрези 12. Обертання робочого органу здійснюється завдяки двигуну 11 (тип ГСМ-3000, N=3кВт, $n_{об}$=0…1800об/ ві) через ланцюгову передачу 13. Передаточне відношення ланцюгової передачі може змінюватися підбором зірочок (ланцюгова передача може мати наступні передаточні відношення: u1=1,33; u2=1,47; u3=1,67; u4=2,26).

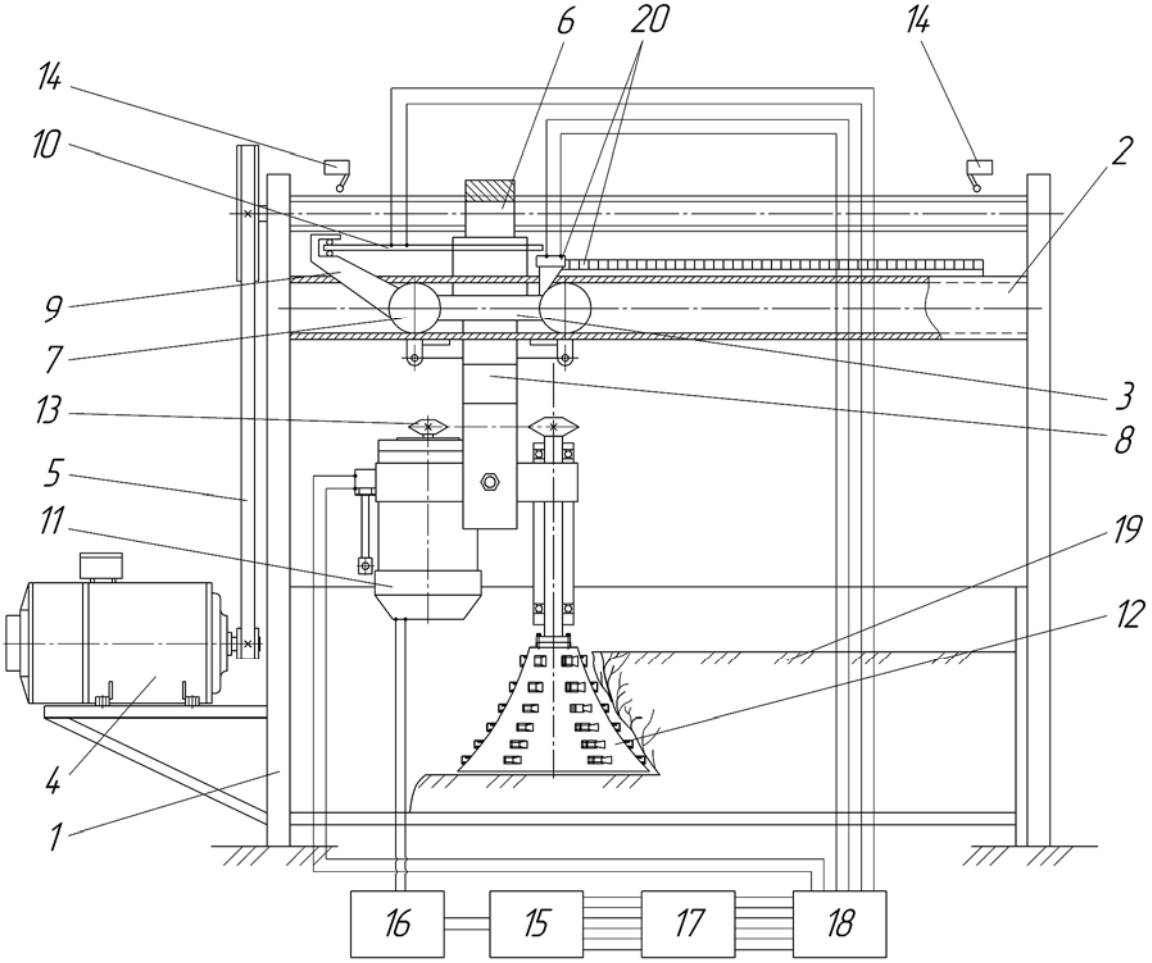


Рисунок 1. Схема лабораторної установки для експериментального дослідження моделі конусної фрези.

Вимірювальний вузол призначено для визначення опору робочому пересуванню конусної фрези; він являє собою тензометричну балку з датчиками, що з'єднані за перехресною схемою. Відмінністю з'єднання датчиків за цією схемою є те, що різнойменні датчики, розташовані з двох боків балки, з'єднані перехресно та підключені у плечі тензометричного напівмосту (рис. 2 *а, б, в*). Таке з'єднання дозволяє вимірювати різницю моментів сил в перерізах I та II, яка залежить від величини сили та не залежить від точки її прикладання.

Частота обертів електродвигунів може регулюватися як плавно, так і ступінчасто, у межах від 100 об/ ві до максимального значення. Хід тензометричного візка обмежується положенням кінцевих вимикачів 14. Для реєстрації зусилля подачі використовується осцилограф 15. Реєстрація відбувається шляхом запису відхилень променя шлейфу, що формуються під дією деформацій тензобалки, на якій жорстко розташовані тензодатчики.

Устаткування укомплектоване електронною вимірювальною та реєструючою апаратурою, яка дозволяє вимірювати швидкість переміщення тензометричного візка, кут повороту та частоту обертання робочого органа, зусилля подачі та потужність, що витрачається на різання та викидання ґрунту.

Для реєстрації та вимірювання швидкості переміщення тензометричного візка розроблено та виготовлено спеціальні оптичні датчики 20, виконані у вигляді випромінювача (випромінювач світла) та приймача (світлодіоду), між якими розміщувалися відповідно лінійка або диск з отворами.

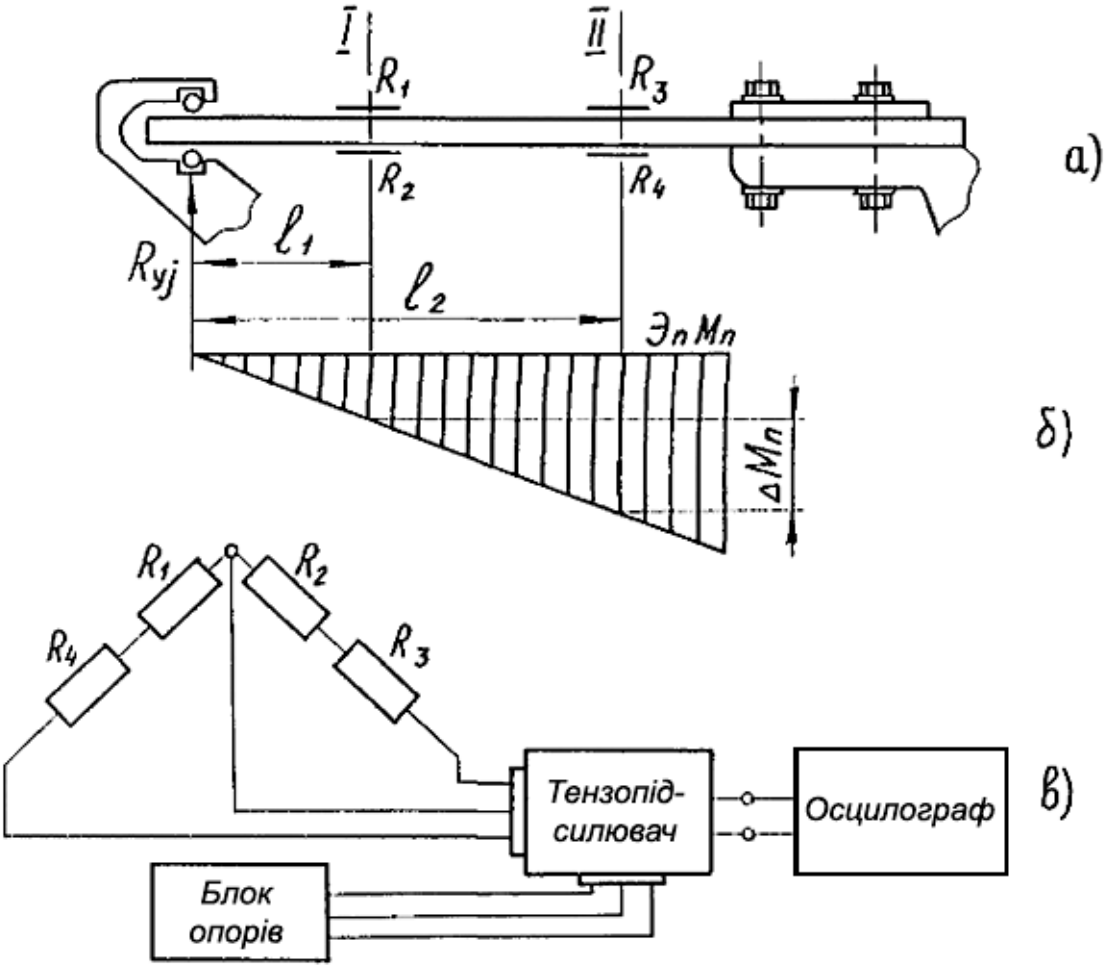


Рисунок 2. Вузол вимірювання зусилля подачі робочого органу:
а) розміщення датчиків на тензобалочці; *б*) епюра моментів; *в*) схема підключення датчиків у напівміст.

Момент проходження отвору між випромінювачем та приймальником відмічається імпульсною зміною струму у електричному ланцюгу, наслідком якої було відхилення відповідного шлейфу осцилографа. За кількістю відміток часу між аналогічними імпульсами, записаними на фотопапері, визначається швидкість пересування. Потужність, яка споживається електродвигуном 11 приводу робочого органу, записується синхронно за допомогою самореєструючого ватметра 16 та осцилографа.

Для підсилення сигналів від датчиків у ланцюг підключається підсилювач 17 з блоком потенціометрів 18. Живлення підсилювача та осцилографа здійснюється від джерела постійного струму напругою 27 В.

Дослідження взаємодії моделі конусної фрези з робочим середовищем можна проводити на природних або штучних ґрунтах. Останні характеризуються достатньо постійними властивостями, бо визначення окремих закономірностей і, особливо, фізичних явищ, що супроводжують робочий процес, вимагає багатократне повторення дослідів за умови сталості властивостей зразків. Для забезпечення цієї умови ґрунтовий матеріал 19 необхідно приготувати за методикою професора В.І.Баловнєва змішуванням помеленої спондилової глини (30%) та піску (58%) з наступним додаванням води (12%). Отримана ґрунтова суміш достатньо точно моделює найбільш розповсюджений ґрунт – “середній суглинок”.

Щільність отриманої моделі ґрунту визначається за ГОСТ 22733-77 із застосуванням прибору ДОРНІІ для стандартного ущільненого ґрунту, а волога – за ГОСТ 5180-75. Зчеплення та кут внутрішнього тертя ґрунту встановлюється за результатами лабораторного визначення опору зрізу, виконаного за ГОСТ 12248-78. Контроль фізико-механічних властивостей натурної моделі ґрунту необхідно проводити систематично в ході постановки дослідів. Випробування ґрунту на зріз та визначення вологості необхідно виконувати перед кожною новою серією дослідів.

Перед початком та після завершення досліджень виконується тарування тензометричної балки, яка полягає у ступінчастому навантаженні балочки силою, що прикладається у горизонтальній площині до робочого органу. Зусилля, що прикладаються, вимірюються за шкалою пружинного динамометра, при декількох ступенях навантаження. Навантаження тензометричної балки та зняття показників динамометра необхідно проводити як при збільшенні навантаження, так і при його зниженні; причому крок зміни навантаження повинен залишатися сталим, а значення контрольних точок повинні бути іншими. Це дозволяє збільшити точність обрахунку тарувального масштабу.

При проведенні експериментальних випробувань модель конусної фрези можна порівнювати із робочими органами, в роботі яких використовується «статичне» різання (тобто швидкість взаємодії різального елемента робочого органа з ґрунтом менше ніж 2м/с). До цих робочих органів відносяться роторні та ланцюгові екскаватори безперервної дії, ґрунтові фрези та деякі спецмашини (наприклад МДК-3). Але найбільш доцільно проводити порівняння з високошвидкісним обладнанням, до якого відносяться вже названі раніше дисковий, кільцевий та роторний робочі органи.

Висновки. Розроблене експериментальне обладнання для дослідження силових та енергетичних параметрів конусної фрези дозволяє визначити зусилля подачі та потужність різання, що дозволяє, в подальшому, визначати та корегувати робочі параметри базової машини та проводити керування робочим процесом. Крім того розроблене обладнання допоможе в проведенні аналізу та синтезу ґрунторуйнуючих елементів, їх форми та взаєморозташування на конусній фрезі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Машины для специальных земляных работ. Учебное пособие / Ю.А. Ветров, В.Л. Баладинский, – К.: Вища школа, 1980, 192 с.

2. Огляд та аналіз існуючих конструкцій робочих органів землерийних машин динамічної дії / Горбатюк Є.В. – Зб. «Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. - К.: 2003. - С. 48-52.

3. Горбатюк Є.В., Тетерятник О.А. / Високоефективні малогабаритні машини для земляних робіт з високошвидкісними робочими органами. К.: ГБДММ № 69. 2007.– С. 71-75.

4. Горбатюк Е.В. Экспериментальные исследования новых рабочих органов разрушающе-транспортирующих машин с ориентаций потоков грунта // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: Сборник научных трудов. - Харьков: ХНАДУ, 2005. - Вып. 29. - С. 33-36.

СПЕЦИФИКА ГОРЕНИЯ ЛЕГКОГО И ТЯЖЕЛОГО ТОПЛИВ В СМЕСИ С ВОДОЙ

Гудилко Р.Г.
Одесская национальная морская академия (Украина)

В настоящее время на судах водного транспорта при работе судовых энергетических установок используется не чистое топливо, а топливные эмульсии с присутствием водной компоненты. Наличие воды в топливе в большинстве случаев избежать не возможно. Естественные процессы конденсации влаги из окружающей среды, технические неисправности в узлах герметизации и уплотнениях топливных и балластных танков и т.д., приводят к попаданию водной компоненты в топливо.

Анализ известных результатов теоретических и экспериментальных исследований не позволяет сделать вывод о однозначно негативном влиянии воды в топливе на качественные и количественные показатели процесса горения. Известно, что в ходе сгорания (химического окисления) топлива за счет появления таких промежуточных химических соединений как спирты небольшие добавки воды приводят к улучшению качества процесса горения. В частности, в этом случае возрастает диспергирование факела и могут снижаться степень концентрации вредных компонент (сажа, токсичные оксиды азота и серы и т.п.) в уходящих газах, температура дымовых газов и т.д.

С научной точки зрения многие вопросы, связанные с теорией горения обводненных топлив, требуют своего последующего всестороннего исследования. В применении к смеси судового легкого и тяжелого топлив они практически не рассматривались.

При рассмотрении специфики горения легкого и тяжелого топлива в смеси с водой уравнение сохранения количества движения в струе факела для продольной составляющей скорости было записано в виде:

$$\frac{\partial V_x^2}{\partial x} + \frac{\partial V_x V_y}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

В уравнении (1) первое слагаемое соответствует изменению количества движения в продольном направлении движения струи, а второе в поперечном направлении. Величина поперечной составляющей скорости V_y в струе может быть найдена по величине продольной составляющей V_x как

$$V_y = -\int \frac{\partial V_x}{\partial x} dy \ . \quad (2)$$

Уравнение теплообмена в струе факела имеет вид:

$$V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} = -l^2 \frac{\partial V_x}{\partial y} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} , \quad (3)$$

а двумерное уравнение теплового баланса струи факела записывается как:

$$\Delta T V_y + \frac{\partial}{\partial x} \int_0^y \Delta T V_x dy + c^2 x^2 \frac{\partial V_x}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} , \quad (4)$$

где c – коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2·К).

В уравнении (4) первое слагаемое соответствует изменению избыточной температуры вдоль оси струи факела, второе переносу тепловой энергии через поверхность струи, а третье изменению теплового содержания внутри струи.

Значение плотности потоков легкого и тяжелого топлива подаваемых на горение с точки зрения гидромеханических особенностей их транспортирования является очень важным. Так, согласно исследованиям работы [1] воздух, подаваемый на горение должен всегда отбираться из окружающей среды, а не браться из помещения машинного отделения. В качестве характерного примера, можно привести следующие стандартные

данные: при разности температуры воздуха снаружи (20 ^{0}C) и внутри машинного отделения (50 ^{0}C) равном 30 ^{0}C изменение плотности воздуха происходит на 7,89 %.

Водную компоненту в топливе можно рассматривать как дополнительную примесь. По этой причине ее диффузию при движении струи распыляемого топлива внутри факела сгорания можно рассматривать полностью идентичной распространению тепла в струйном потоке. В работе [2] приведен сводный анализ экспериментальных данных относительно диффузии различных примесей в плоской струе, которые при этом находились во взвешенном состоянии. Эти результаты отображены на рисунках 1-2, где хорошо видно, что на профиль температуры вдоль струи ложатся практически все экспериментальные точки изменения концентрации примеси в струе. Профиль концентрации на этом графике можно рассматривать в качестве аналога профиля скорости смеси легкого и тяжелого топлива.

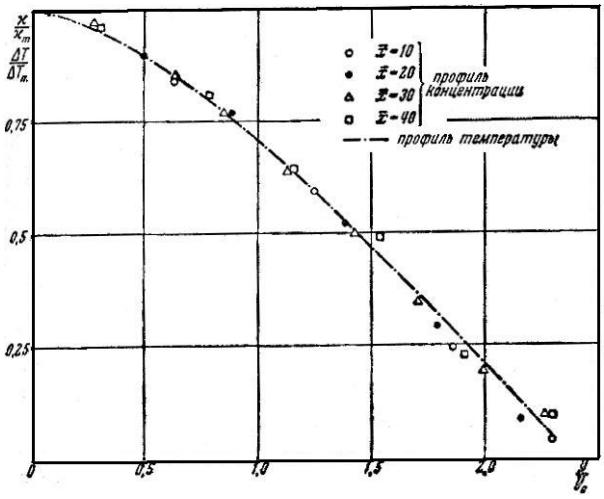


Рисунок 1. Безразмерные профили температуры и избыточной концентрации примеси в основном участке плоской струи. ($\bar{x} = \frac{x}{b}$) [2]

χ - весовая концентрация (отношение единицы массы примеси к единице массе вещества струи), χ_m - весовая концентрация примеси на оси струи.

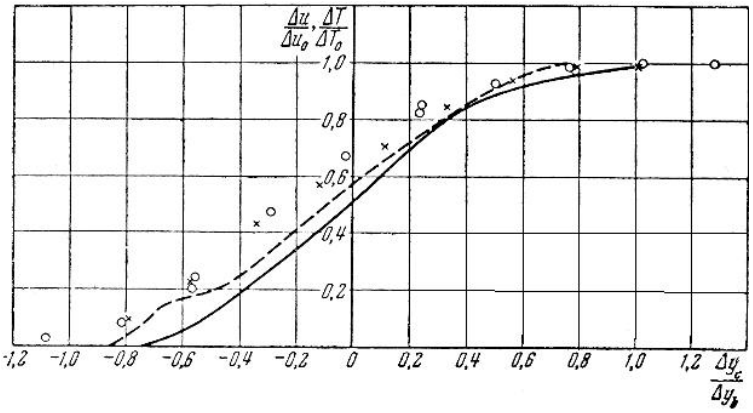


Рисунок 2. Безразмерные профили избыточной температуры [2]
--- - в затопленной струе; — - профиль скорости;
o, × - опытные данные Жесткова [2]

При расчете процесса горения очень важно знать каким образом распределяется скорость и температура в поперечном сечении струи факела на произвольно взятом расстоянии от ее источника. Для такой оценки наиболее простым в использовании является метод интегрального расчета, впервые предложенный в работе [2]. На основании этого метода может быть установлен закон распределения температуры в поперечных сечениях струи факела вдоль оси ее основного участка. Этот метод является полностью

идентичным методу нахождения закона распределения скоростей. Единственное отличие между ними заключается в том, что вместо условия постоянства количества движения при нахождении температуры необходимо использовать условие постоянства теплосодержания струи.

При определении величины теплосодержания струи факела необходимо использовать избыточные значения температуры. В этом случае принимается, что газ (в рассматриваемом случае воздух), затягиваемый в струю из окружающего пространства не являются теплоносителем, поскольку его избыточная температура является нулевой. В этом случае избыточное содержание топливной смеси, протекающей через любое поперечное сечение факела струи принимается равным избыточному теплосодержанию первоначальной массы топливной смеси на срезе сопла, т.е. в ее начальном, самом первом сечении. Такое постоянство теплосодержания факела топливной струи внутри рабочей камеры сгорания может быть найдено из равенства:

$$\int_0^m \Delta T dm = \int_0^S \rho V \Delta T dS = const \quad , \tag{5}$$

где ΔT – отличие температур в данной точке струи и в окружающем пространстве, ^{0}C; dm – масса струи топлива, протекающая через элемент поперечного сечения струи в единицу времени, кг; V – скорость в произвольной точке струи, м/с; dS – площадь элемента сечения струи, $м^2$.

В том случае, когда струя в поперечном сечении имеет:

- форму круга, уравнение (5) можно записать как:

$$x^2 V_m \Delta T_m \int_0^{\frac{r}{x}} \frac{\Delta T}{\Delta T_m} \frac{V}{V_m} \frac{y}{x} \frac{dy}{x} = const \quad . \tag{6}$$

- плоско-параллельную форму уравнение (5) можно записать как:

$$x V_m \Delta T_m \int_0^{\frac{b}{x}} \frac{\Delta T}{\Delta T_m} \frac{V}{V_m} \frac{y}{x} \frac{dy}{x} = const \quad , \tag{7}$$

где V_m – скорость на оси симметрии струи, м/с; x – текущая продольная координата точки, соответствующей расстоянию от полюса струи до рассматриваемого сечения, м; y – текущая поперечная координата, соответствующая расстоянию от рассматриваемой точки до оси симметрии струи, м; b – ширина струи, м.

В соответствии с экспериментальными данными, приведенными на рис. 1 безразмерные профили скорости и температуры являются самоподобными во всех поперечных сечениях струи факела. По этой причине все линии безразмерных изотах и изотерм должны иметь вид прямых линий. Эти изолинии пересекаются в полюсе струи и описываются уравнениями:

изотахи: $$\frac{V}{V_m} = f\left(\frac{y}{x}\right) \tag{8}$$

изотермы: $$\frac{\Delta T}{\Delta T_m} = f\left(\frac{y}{x}\right) \tag{9}$$

Сравнительный анализ выражений (9) и (6) позволяет сделать вывод, что величина интеграла в уравнении (6) является постоянной.

С учетом того, что из выражения (8) следует, что

$$V_m = \frac{const}{x}, \tag{10}$$

т.е. скорость на оси струи убывает обратно пропорционально расстоянию рассматриваемого сечения от полюса струи, можно записать, что и температура на оси факела струи будет изменяться аналогичным образом:

$$\Delta T_m = \frac{const}{x} \quad . \tag{11}$$

В случае плоско-параллельной струи из выражения (7) может быть получено, что

$$\Delta T_m = \frac{const}{\sqrt{x}} \quad . \tag{12}$$

Из-за несовпадения полей скорости и температуры численное значение величины константы в уравнении (12) отличается от константы в уравнении (11).

В общем случае изменение концентрации водной составляющей вдоль оси струи по аналогии с уравнением (5) может быть записано в виде:

$$\int_0^m \Delta\chi dm = \int_0^S \rho V \Delta\chi dS = const \quad . \tag{13}$$

Для осесимметричной и плоско-параллельной струй конечная форма записи равенства (13) имеет вид:

- форма круга:

$$x^2 V_m \Delta\chi_m \int_0^{\frac{r}{x}} \frac{\Delta\chi}{\Delta\chi_m} \frac{V}{V_m} \frac{y}{x} \frac{dy}{x} = const \quad . \tag{14}$$

- плоско-параллельная форма:

$$V_m^2 x \int_0^{\frac{b}{x}} \frac{\Delta\chi}{\Delta\chi_m} \frac{V}{V_m} \frac{dy}{x} = const \quad . \tag{15}$$

Уравнения изолиний концентрации вдоль струи описываются уравнениями:

- форма круга: $$\Delta\chi_m = \frac{const}{x} \quad . \tag{16}$$

- плоско-параллельная форма: $$\Delta\chi_m = \frac{const}{\sqrt{x}} \quad . \tag{17}$$

Как видно из (16)-(17) по аналогии со скоростью на оси струи концентрация водной компоненты в факеле топливной струи убывает обратно пропорционально расстоянию рассматриваемого сечения от полюса струи в случае струи круглой формы и обратно пропорционально квадратному корню расстояния в случае плоской струи.

Для моделирования теплообмена между струей обводненного топлива и окружающим пространством рабочей камеры может быть использовано уравнение, которое базируется на гипотезе турбулентности, предложенной Тейлором [2]. Это уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_0^y tV dy + l_m^2 \frac{\partial V_x}{\partial y} \frac{\partial^2 t}{\partial y} = 0 \quad , \tag{18}$$

где t – избыточная температура в любой точке произвольно взятого поперечного сечения струи, ^{0}C; l_m – длина пути перемешивания по Тейлору (связана с длиной пути перемешивания по Прандтлю как $l_m = \sqrt{2}l$), м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tomas M.Turner. Fundamentals of hydraulic dredging. ASCE Press. / Thomas M. Turner. – 2nd ed. Reston. Virginia. 258. p.

2. Г.М.Абрамович. Теория турбулентных струй. М. Гос. Изд-во физ.-мат. Лит-ры. 1960., 715 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ НАХОЖДЕНИЯ КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ В ОРИЕНТИРОВАННОМ ГРАФЕ

Кругляков А.С., Тищенко Е.А.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники (Украина)

С развитием нашего общества, все больше увеличивается спектр задач, которые необходимо решить, и все больше решений с каждым годом появляется. Различные алгоритмы, методы и подходы изложены на сотнях и тысячах листов. И с каждым годом к ним добавляются все новые и новые, еще более эффективные. Как правило, это усовершенствования старых забытых алгоритмов и методов.

Благодаря методичному изучению литературы по теме методов нахождения кратчайшего пути обхода вершин ориентированного графа были получены сведения о существующих алгоритмах, а также об их эффективности.

Используя математическую статистику были получены данные по эффективности каждого из методов. Используя индуктивный анализ были рассмотрены алгоритмы и выделены списки оптимальных и быстрых, простых и понятных алгоритмов.

Появилась идея нахождения наиболее оптимальных, одновременно простых и понятных алгоритмов нахождения кратчайшего пути в ориентированном графе.

Объектом исследования являются методы, которые нацелены на нахождение кратчайшего пути.

Предметом исследования будут выбраны простота, оптимальность и доступность для понимания.

С помощью дедуктивного метода мы обобщим все имеющиеся методы нахождения кратчайшего пути в ориентированных графах и представим их в виде классов, которые имеют между собой общие черты и не являются предметом исследования. После этого синтезируем список классов методов нахождения кратчайшего пути и проведем анализ их общей простоты и эффективности (оптимальности). Благодаря имеющимся теоретическим сведениям по каждому из методов, можно определить, что у каждого из методов есть свои особенности, а также они являются взаимозаменяемыми.

Нахождение кратчайшего пути обхода вершин ориентированного графа является частным случаем задачи коммивояжера. Этот класс задач решается с помощью муравьиных алгоритмов.

В частности, нахождения кратчайшего пути обхода вершин ориентированного графа является формальным определением задачи, представленной в виде графов. Есть симметричная и асимметричная задача.

В общем случае, асимметричная задача коммивояжера отличается тем, что она моделируется ориентированным графом. Таким образом, следует также учитывать, в каком направлении находятся ребра.

Существует необходимость формализации подхода к процессу нахождения наиболее простого и оптимального метода нахождения кратчайшего пути в ориентированном графе.

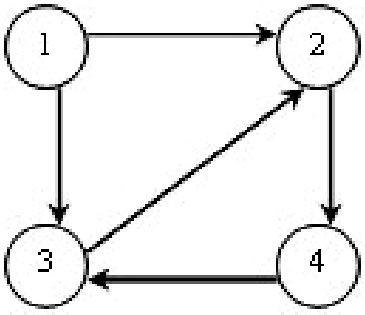


Рисунок 1. Пример ориентированного графа с четырьмя вершинами

В любой момент времени самого анализа методов существует как минимум один метод, являющийся наиболее простым среди остальных методов, рассматриваемых вместе с ним. И в этот же момент времени существует как минимум один алгоритм, являющийся наиболее оптимальным среди остальных методов, рассматриваемых вместе с ним. В каждый момент времени есть вероятность, что алгоритм является наиболее простым и оптимальным одновременно, которая зависит от количества рассматриваемых методов в данный момент и растет обратно пропорционально квадрату количества рассматриваемых методов.

Составим список-план проведения эксперимента:

- сбор списка существующих методов нахождения кратчайшего пути;
- группировка существующего списка по классам методов (обобщение);
- выделение классов наиболее понятных методов;
- выделение классов наиболее оптимальных методов;
- рассмотрение класса наиболее понятных методов и выделение среди них методов, которые являются наиболее простыми;
- рассмотрение класса наиболее оптимальных методов и выделение среди них методов, которые являются наиболее оптимальными;
- нахождение методов, которые включены в первый список и во второй, а также являются наиболее оптимальными и простыми для понимания;
- выбираем метод, который при подсчете средней позиции в двух списках занимает наивысшее место;
- после этого наиболее оптимальный метод считается найденным.

Благодаря вышеописанному методу экспериментатор имеет возможность найти наиболее простой и оптимальный метод нахождения кратчайшего пути в ориентированном графе между двумя точками среди рассматриваемого списка методов или классов методов. Такая методика дает возможность определить необходимый метод для решения стоящей задачи и рассчитать время необходимое для ознакомления с методом, а также для его работы.

В последние годы актуальность данного метода нахождения пути выросла в разы. С усложнением логистических нюансов транспортные компании активнее анализируют возможность сокращения издержек и стараются максимально оптимизировать построенный маршрут. С дальнейшим развитием технологий и изобретением новых вариантов транспортировки, необходимость в правильном и максимально эффективном методе обхода вершин графа будет лишь увеличиваться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харари, Ф. Теория графов (2-е издание) [Текст] : пер. с англ. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 297 с.

2. Дистель, Р. Теория графов [Текст] : пер. с англ. – Новосибирск: Издательство института математики, 2002. – 336 с.

3. Татт, У. Теория графов [Текст] : пер. с англ. – М. : Мир, 1988. – 424 с.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ ҐРУНТУ ВІДВАЛОМ ДИНАМІЧНОЇ ДІЇ

Лаврик С.В., Пелевін Л.Є.
Київський національний університет будівництва і архітектури (Україна)

Бульдозер добре зарекомендував себе у земляних роботах - розробці і переміщенні грунтів, ритті та засипанні траншей, зведення насипів, переміщення щебеню, розчищення доріг від снігу, а також для виконання планувальних робіт. Бульдозер включає в себе базову машину та навісне бульдозерне обладнання, розташоване зпереду. Бульдозерне обладнання складається з робочого органу (відвалу), який штовхають пристрої та системи управління відвалом. Передня частина штовхаючого пристрою шарнірно з'єднана з відвалом бульдозера, а задня - також шарнірно з опорами, розташованими на базовій машині. Машініст управляє відвалом бульдозера з кабіни за допомогою гідравлічної або канатної системи керування.

Відвал бульдозера – це жорстка зварна металоконструкція з лобовим листом криволінійного профілю. Щоб уникнути пересипання грунту при роботі на незв'язних і пухких грунтах, до середньої частини відвала приварюється козирок. Уздовж нижньої кромки відвала болтами прикріплюють ріжучі ножі.

При гідравлічному управлінні підйом і опускання відвалу і фіксування його в заданому положенні, а іноді і його перекіс у вертикальній (поперечної) площині проводиться за допомогою гідроциліндрів системи управління, встановлених на базовій машині. Цими гідроциліндрами керують за допомогою важелів гідророзподільника, що знаходиться в кабіні машиніста.

Бульдозери поділяють з установки робочого органу, типу базової машини (гусеничні або пневмоколісні) і по тяговому класу базової машини. За установкою робочого органу бульдозери ділять на бульдозери з неповоротним і з поворотним відвалом. У перших відвал розташований під кутом 90 ° до осі базової машини. У бульдозерів з поворотним відвалом положення відвала можна міняти щодо поздовжньої осі базової машини в горизонтальній площині, тобто відвал бульдозера може бути повернутий у той чи інший бік щодо свого середнього положення (коли кут між відвалом і поздовжньою віссю базової машини становить 90 °) на будь-який кут.

Відомо [1], що підчас розробки грунту на робочий орган машини діють великі навантаження, тому виникає потреба зменшення цих навантажень. Такого ефекту можна досягнути встановивши на робоче обладнання динамічний елемент з віброзбудником, який дасть змогу завдавати шару грунту додаткових руйнувань.

Для досягнення вказаного технічного результату, відвал динамічної дії виконано у вигляді несучої рами, у передній частині якої встановлено декілька динамічних елементів, з можливістю пересування у рамі по направляючих пазах (рис. 1). При чому, на передній частині динамічних елементів еквідестантно до передньої частини несучої рами, до динамічних елементів прикріплено лобові пластини. До нижньої частини динамічних елементів прикріплено ріжучі ножі. До верхньої частини динамічних елементів, прикріплено ударник, віброзбудника (заявка на корисну модель № U 2014 05809 від 29.05.2014р.), при чому, корпус віброзбудника жорстко встановлено у несучій рамі, а ударник виконано у вигляді сферичного шарніру з можливістю вільного обертання у динамічному елеменеті.

Відвал динамічної дії закріплено на навіску базової машини. Під час руху базової машини відвал динамічної дії знімає деякий шар ґрунту. При чому, динамічний елемент 2, за допомогою ударника 6, віброзбудника 7 (заявка на корисну модель № U 2014 05809 від 29.05.2014р.), виконує постійні зворотньо-поступальні рухи по пазах 3 в рамі 1. Коли динамічний елемент 2 по пазах 3 рухається вниз, він завдає ріжучими ножами 5 додаткове динамічне навантаження на шар грунту і на тверді включення, руйнуючи їх. Після того, як

динамічний елемент 2 досягне своєї нижньої мертвої точки, віброзбудник 7 повертає його у верхнє початкове положення, при чому, рухаючись вгору, залишковий грунт зтрушується з лобової пластини 4, динамічного елементу 2. Потім цикл повторюється.

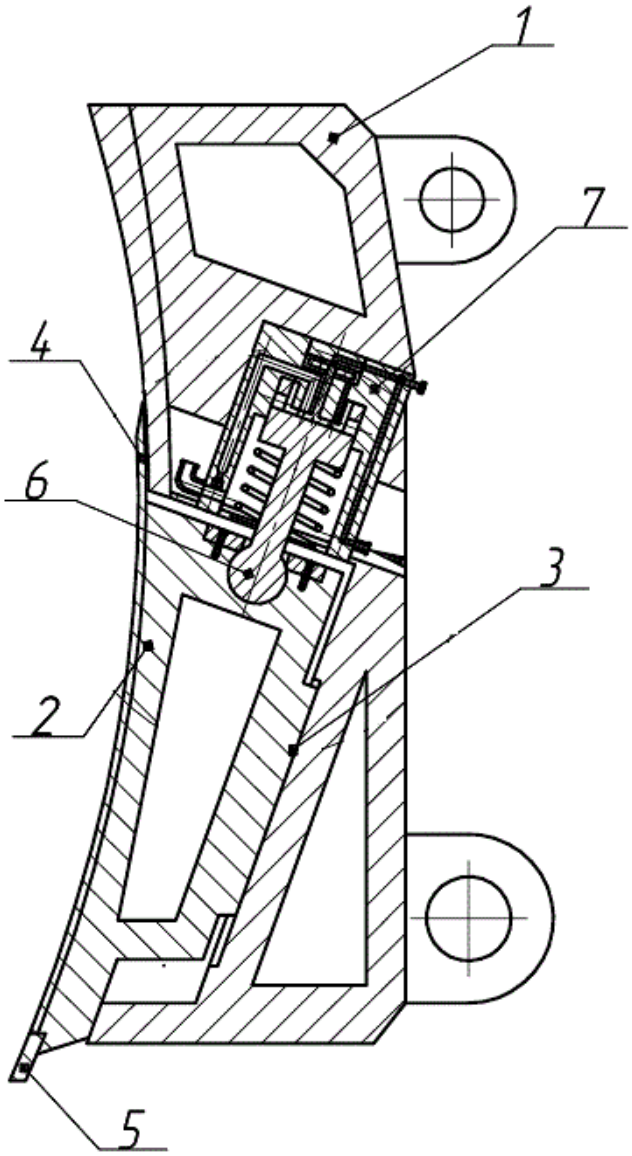


Рисунок 1. Відвал динамічної дії

Отже, під час руху базової машини відвал динамічної дії знімає деякий шар ґрунту. При цьому на ріжучих ножах виникає зусилля. Використавши дану конструкцію відвала динамічної дії, ми зменшимо зусилля яке потрібно прикласти до шару ґрунту за рахунок додаткового динамічного навантаження, яке спричинене роботою динамічних елементів, а також, це дасть змогу дроблення твердих включень.

ЛІТЕРАТУРА

Бульдозеры и рыхлители / Б.З. Захарчук, В.Д. Телушкин, Г.А. Шлойдо, А.А. Яркин. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.: ил.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ 6ЧН25/34

Литвин С.Н., Манзюк В.Н.
Первомайский политехнический институт НУК имени адмирала Макарова (Украина)

Одним из важных вопросов при доводке двигателя является доводка проточных частей турбокомпрессора. Однако, наряду с доводкой проточных частей турбокомпрессора большое внимание необходимо обратить и на совершенствование системы воздухоснабжения в целом.

На серийных дизелях 6ЧН25/34 принята традиционная для рядных шестицилиндровых дизелей схема расположения турбокомпрессора – на торце двигателя перпендикулярно оси вращения коленчатого вала. Воздух, поступая от компрессора в цилиндры двигателя 6ЧН25/34, выполняет пять поворотов под углом 90°, а отработавшие газы, прежде чем попасть на лопатки турбины, выполняют три поворота.

Несмотря на то, что число Маха из-за малых скоростей движения воздуха во впускном тракте небольшое, гидравлические потери составляют значительную величину. Для серийного двигателя 6ЧН25/34 со средним эффективным давлением 0,8 МПа гидравлические потери давления воздуха на участке от компрессора до цилиндра составляют 200-250 Па. С ростом форсирования количество потребляемого двигателем воздуха возрастает, растет его скорость а, следовательно, число Маха, т.е. гидравлические потери. При форсировании двигателя до 1,3 МПа гидравлические потери возрастают до 600-700 Па. В выпускном коллекторе гидравлические потери значительно больше, что обусловлено высокими температурами и скоростью движения выпускных газов. Все это говорит о несовершенстве системы впуска-выпуска дизелей 6ЧН25/34 и необходимости ее совершенствования при форсировании дизелей по среднему эффективному давлению.

При совершенствовании системы впуска-выпуска необходимо так расположить турбокомпрессор и остальные элементы системы, чтобы количество поворотов воздуха и газов было минимальным, чтобы воздух на вход компрессора поступал равномерно и как можно меньше подогревался излучаемым двигателем и другими источниками теплом. Уменьшение количества поворотов уменьшает гидравлическое сопротивление системы, а уменьшение температуры воздуха на входе в компрессор – адиабатическую работу компрессора, необходимую для сжатия воздуха.

Поставленной цели наиболее полно соответствует расположение турбокомпрессора на переднем торце двигателя так, чтобы его ось вращения совпадала с осью вращения коленчатого вала. При таком расположении турбокомпрессора количество поворотов воздуха, так же как и газов, может быть уменьшено до двух (рис. 1). Располагать турбокомпрессор со стороны генератора на двигателях, входящих в состав двигатель - генераторов, нежелательно, так как в этом случае воздух на входе в компрессор подогревается воздухом, охлаждающим обмотки генератора, и его температура становится на 5-8° выше по сравнению с вариантом расположения турбокомпрессора на переднем торце.

Данные конструктивные предложения были реализованы на модификации двигателя 6ЧН25/34, форсированного до среднего эффективного давления 1,3 МПа, входящего в состав дизель - генераторов ДГР500/500 и ДГА 500-1 а, также ряда газовых модификаций. Для достижения этой цели на базе турбокомпрессора ТК 18-02 была создана новая модификация турбокомпрессора ТК18С23.

Сравнительные испытания двух вариантов воздухоснабжения были проведены на дизельном топливе и показали в новом варианте снижение температуры отработавших газов выходящих с цилиндров двигателя до 380°С – то есть на 20…30°С. Одновременно понизилось и давление наддува, свидетельствующее об уменьшении сопротивления газовоздушного тракта, что и было подтверждено в дальнейшем. Из-за большого

количества переборок двигателя во время эксперимента, в том числе и цилиндро-поршневой группы достоверно зафиксировать факт снижения удельного расхода топлива не представилось возможным, но среднестатистический удельный расход топлива после модернизации составил 158…159 г/кВт/ч. что на 3…4 г/кВт.ч. меньше чем в серийном исполнении.

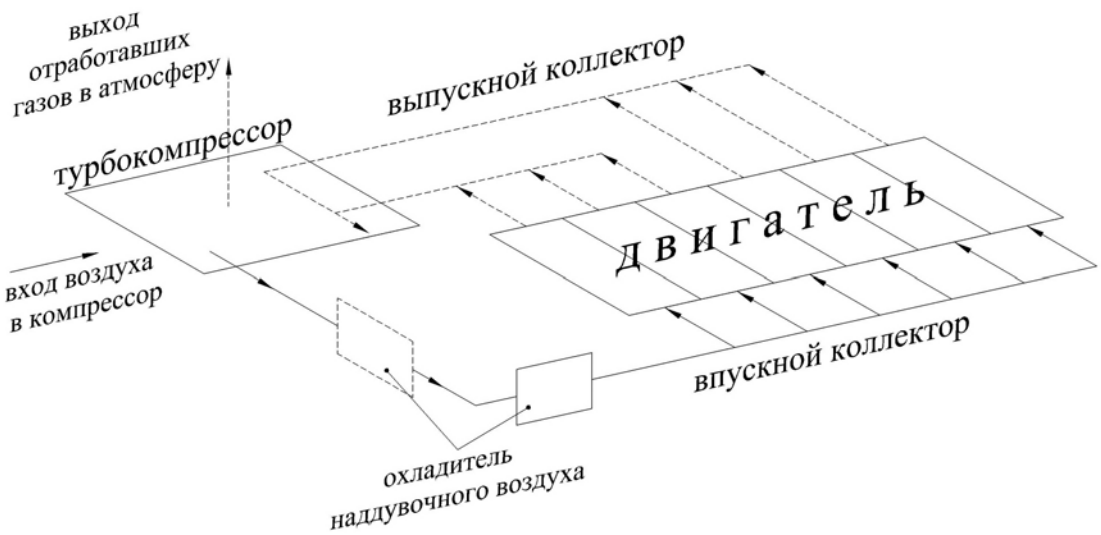


Рисунок 1. Схема впускной и выпускной систем дизеля 6ЧН 25/34
форсированного до среднего эффективного давления 1,3 МПа

Для увеличения расхода воздуха и повышения давления наддува проходное сечение соплового аппарата турбины было уменьшено с 45 см^2 до 42см^2. Расход воздуха при этом увеличился на 11%.

Из анализа рабочего процесса двигателя, а также по данным зарубежных аналогов видно, что при выбранной комплектации двигателя дефицит воздуха составляет 5…7%, а оптимальная величина удельного расхода воздуха будет около 8 кг/кВт.ч. Увеличивать запас по расходу воздуха необходимо еще и потому что при фазах газораспределения заимствованных с серийных двигателей ЧН25/34 значительная часть воздуха (более 11 %) расходуется на продувку и не участвует в процессе горения. Т.е. требуется и оптимизация фаз газораспределения.

Выводы.

1. Совершенствование системы воздухоснабжения является важным вопросом при доводке двигателя.

2. Реализация конструктивных предложений по совершенствованию системы воздухоснабжения на двигателе 6ЧН25/34, форсированном до среднего эффективного давления 1,3 МПа, позволила снизить температуру отработавших газов выходящих с цилиндров двигателя на 20…30°С и удельный расход топлива после модернизации на 3…4 г/кВт.ч.

3. Дальнейшие работы по совершенствованию системы воздухоснабжения целесообразно направить на оптимизацию давления наддува и фаз газораспределения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Циннер К. Наддув двигателей внутреннего сгорания : Перевод с немецкого/ Под редакцией Н.Н. Иванченко. – Л. – Машиностроение: Ленинградское отделение, 1978 – С. 264.

2. Новые дизели Vasa 46 фирмы Wartsila. Поршневые и газотурбинные двигатели, 1988, №5. - С.1-4.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУДОВЫХ ТРОСОВ И ГИБКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Малахов А.В., Леонов В.В, Бендеберя Ф.А.
Одесский национальный морской университет (Украина)

В условиях работы судна тросы и гибкие трубопроводы находят свое широкое практическое применение. С точки зрения механики трубопроводов жесткий трубопровод отличается от гибкого трубопровода или троса только наличием изгибной и крутильной жесткости. На некоторых типах судов возможно использовать только определенные виды тросов. Так на судах дноуглубительного флота допускается использование только тех тросов, которые изготовлены их тонкой проволоки на основе низкоуглеродистой стали [1]. Маркировка троса должна быть 6х19 (6 волокон из 19 стальных ниток). Особое внимание также на этих судах уделяется способу укладки троса на барабан несоблюдение которой приводит к преждевременному износу троса вследствие процессов заклинивания, перекручивания или спутывания.

На рис. 1, *а* показаны подводные конструкции, использующие тросы. В обоих случаях на тросах закреплены сосредоточенные массы, которые обычно характеризуются плохообтекаемыми формами. За счет излома контура их поверхности, начиная с определенных значений скоростей, будет иметь место процесс образования и срыва вихрей и, как следствие, возникновение автоколебаний.

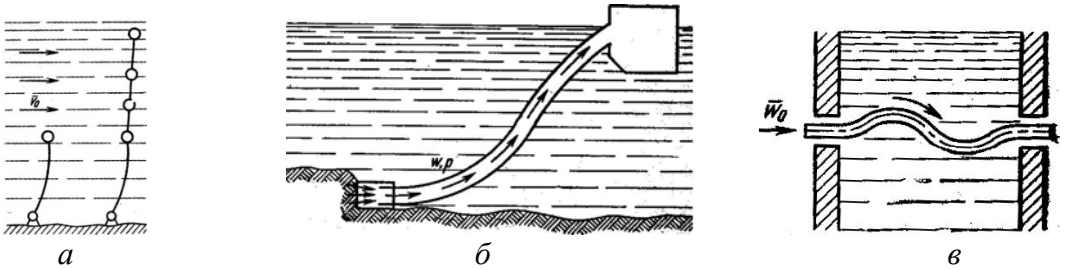


Рисунок 1. Примеры гибких трубопроводов и тросов:
а – тросы на подводных конструкциях; *б* – грунтозаборная труба;
в – колебание трубы с присоединенной массой.

Основной задачей при использовании тросов и гибких труб является определение их равновесной пространственной формы в потоке. При набегании внешнего потока форма осевой линии стержня в большинстве случаев является пространственной кривой, которая при больших скоростях набегающего потока в сильной степени отличается от равновесной формы в неподвижном потоке [1].

Форма стержня также имеет особое значение. На рис. 2 показаны наиболее часто используемые четыре характерных сечения – эллипс, круг, квадрат и треугольник. Как видно на рисунке только в случае цилиндрического стержня не возникает гидродинамический момент. Во всех остальных случаях при произвольной ориентации одной из главной оси инерции поперечного сечения стержня относительно направления вектора скорости набегающего потока возникают гидродинамические моменты. Вектор гидродинамического момента может быть представлен в виде:

$$\vec{M} = \vec{M}_{вр}\vec{e}_1 = \frac{1}{2}C_m \rho d v_n^2 \vec{e}_1 , \qquad (1)$$

где $\vec{M}_{вр}$ – крутящий момент; C_m – гидродинамический коэффициент, определяемый углом атаки потока.

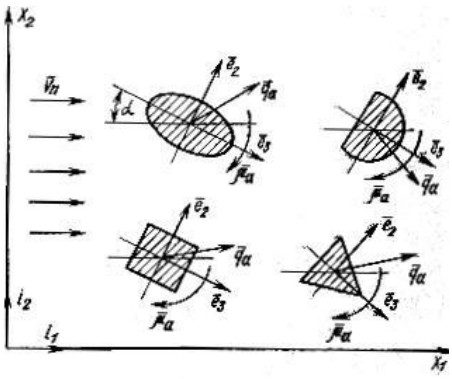


Рисунок 2. Влияние формы стержня на характер взаимодействия с потоком

Отдельным классом задач являются случаи, когда рассчитывается гибкий трубопровод, используемый при бункеровке судна в открытом море или при перевалке жидкого груза с одного судна на другое. В этом случае помимо статической нагрузки, которую испытывает гибкий трубопровод со стороны внешних потоков - воздуха и морской воды также присутствует динамическая нагрузка и со стороны движущегося внутреннего потока топлива или жидкого груза. Скорость потока внутри трубопровода неизменно продуцирует дополнительные распределенные силы вдоль всего трубопровода. Они нагружают гибкий трубопровод, изменяя при этом его частоты колебаний. Такое изменение частоты в конкретных инженерных приложениях необходимо обязательно учитывать с целью избежания возможных резонансных режимов.

Источником резонанса может быть частота пульсации насоса, дающая транспортируемому потоку переменные (периодические) составляющие скорости и давления, которые при определенных сочетаниях параметров гибкого трубопровода и потока приведут к возникновению параметрических колебаний. Такие колебания особенно опасны для гибких трубопроводов, характеризующихся малыми изгибными и крутильными жесткостями.

Параметрические колебания провисающих гибких трубопроводов всегда являются вынужденными если они вызываются пульсирующими составляющими набегающего внешнего потока [2]. Аналогичным образом это выполняется и в случае взаимодействия с потоком криволинейных трубопроводов или тросов.

В настоящее время при расчетах механических нагрузок трубопроводов не учитываются галлопирующие колебания [2, 3]. Они определяются критической скоростью потока, зависящей от геометрии трубы и возникают при больших растягивающих усилиях, у которых постоянная и периодическая составляющая зависят от аэродинамических сил.

Отдельным видом гибкого трубопровода является всасывающая грунтозаборная труба на судах дноуглубительного флота. Она показана на схематическом рис. 1, *б*. Специфической особенностью ее эксплуатации является переменность состава жидкой пульпы. Жидкость, движущаяся с частицами грунта имеет случайную и переменную массу, приходящуюся на единицу длины трубы. В этом случае состояние равновесия в таком гибком трубопроводе при эксплуатации никогда не достигается. Аналогичная проблема характерна для всех как надводных, так и подводных рефулерных грунтопроводов.

Большое практическое значение имеют задачи о колебании троса или гидкого трубопровода внутри пространства, заполненного жидкостью. В этом случае необходимо производить расчеты с учетом присоединенной массы жидкости. Пример такой задачи показан на рис. 1, *в*.

Рассматривая эксплуатацию гибких трубопроводов и шлангов следует к числу основных причин, вызывающих их колебания отнести следующие:

- переменные составляющие потока, двигающегося внутри шланга, т.е. пульсирующее давление и локальные изменения эпюры скорости потока по длине шланга;

- вибрации концевых и промежуточных элементов закрепления гибкого трубопровода;

- гидро- или аэродинамические процессы вихреобразования, приводящие к отрыву вихрей с поверхности трубы.

В связи с этим давление в потоке жидкости внутри гибкого трубопровода необходимо рассматривать в виде суммы трех составляющих:

$$P=P_0+P_1+P_2 \ , \qquad (1)$$

где P_0 – давление в неподвижном трубопроводе при движении жидкости на стационарном режиме; P_1 – дополнительное давление в жидкости при неподвижном трубопроводе, которое вызывается работой нагнетательного оборудования (насоса, компрессора и т.д.); P_2 – давление, которое возникает в потоке из-за переносных сил инерции, т.е. от колебания трубопровода.

При рассмотрении физических принципов работы гибких трубопроводов, подвергаемых внешним воздействиям со стороны окружающей жидкости следует учитывать возможность перехода при определенной комбинации критических параметров системы к неустойчивым колебаниям. Обычно такая система характеризуется наличием нескольких степеней свободы с периодически изменяющимися коэффициентами в линейных уравнениях колебательного движения.

Положительный эффект при колебаниях трубопроводов оказываются диссипативные процессы. В силу потерь энергии области неустойчивой работы трубопроводов и тросов при параметрических колебаниях значительно уменьшаются. Опасные колебания реализуются только при высоких значениях амплитуд переменных составляющих набегающего потока. Пример подобного сужения области неустойчивости показан на рисунке 3, где двойная штриховка соответствует расчетным данным с учетом сил вязкого трения, а одинарная - расчету без учета диссипативных слагаемых.

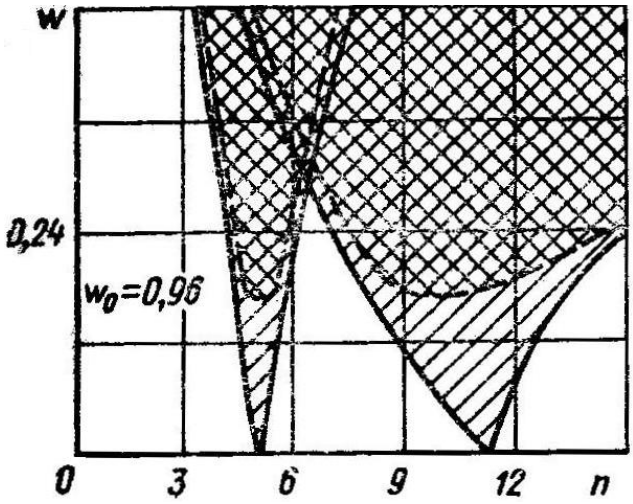


Рисунок 3. Расчетная зависимость частоты колебаний *n* гибкого трубопровода от вектора скорости набегающего потока

ЛИТЕРАТУРА

1. Tomas M.Turner. Fundamentals of hydraulic dredging. ASCE Press./ Thomas M. Turner. – 2nd ed. Reston. Virginia. 258. p.

2. В.А. Светлицкий. Механика трубопроводов и шлангов. М., Машиностроение. 1982. 280 с.

3. Цай Н. Анализ нелинейного неустановившегося движения тросов с использованием метода диаграмм связи. – Труды Американского общества инженеров-механиков. Прикладная механика, 1972, т.94, сер. В, № 2, с. 1-8.

АНАЛІЗ ПРИЧИН ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В ОПОРНО-ПОВОРОТНИХ ПРИСТРОЯХ КРАНІВ

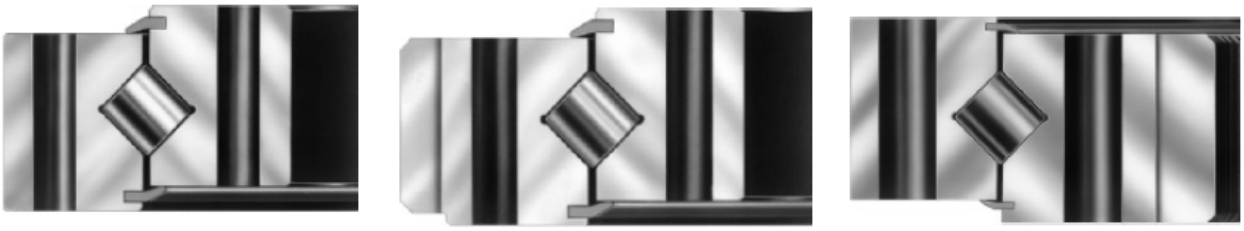
Малащенко В.О., Федик В.В.
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

Вступ. У підйомно-транспортному машинобудуванні великий обсяг мають крани різноманітних типів, екскаватори тощо. До складу таких машин входять достатньо відповідальні опорно-поворотні пристрої, які часто є визначальними їх довговічності. Наприклад, сучасні автокрани часто комплектуються однорядними опорно-поворотними пристроями з перехресною установкою роликів. Традиційно рахується так, що частина роликів, яка котяться по нижних доріжках, сприймають спрямовані вниз навантаження, а частина роликів, що котяться по верхніх бігових доріжках, утримують поворотну платформу від перекидання. Окрім того, роликові кільця сприймають також горизонтальні зусилля, що зрушують поворотну платформу щодо ходової частини, тому немає потреби в застосуванні центральній цапфі для сприймання цих навантажень.

Наприклад, у конструкціях автомобільних кранів згідно з існуючими стандартами здебільшого застосовуються роликові опорно-поворотні пристрої, твірна бігової доріжки яких утворює кути 35, 55 і 65° з геометричною віссю обертання поворотної платформи. Такі значення цих кутів нахилу ускладнюють технологію виготовлення бігових доріжок кілець і вінця опорно-поворотного пристрою. Більше того вимагають виготовлення півобойм різної форми і окремих розмірів. Це спонукало до того, що на ВАТ “Дрогобицький завод автомобільних кранів” розроблено конструкцію роликового однорядного опорно-поворотного пристрою з кутом нахилу 45° твірної бігової доріжки до геометричної осі обертання поворотної платформи кранів, що і викликало необхідність їх досліджень. Покращення експлуатаційних показників опорно-поворотного пристрою кранів зі спрощенням технології їх виготовлення та зменшення робочої швидкості ковзання є актуальною задачею підйомно-транспортного машинобудування.

Розв’язування поставленої задачі проведено аналіз причин втрат енергії внаслідок геометричного тертя між поверхнями бігових доріжок і роликами опорно-поворотного пристрою (ОПП) традиційних і модифікованих конструкцій.

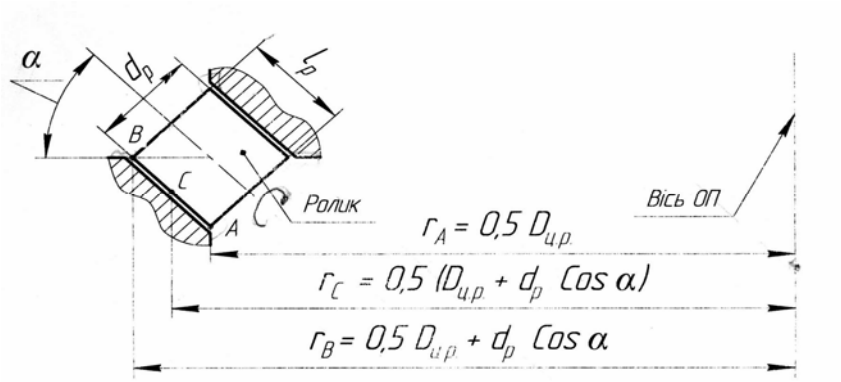
Роликові ОПП, що широко застосовуються в автомобільних кранах, наведено на рис. 1.



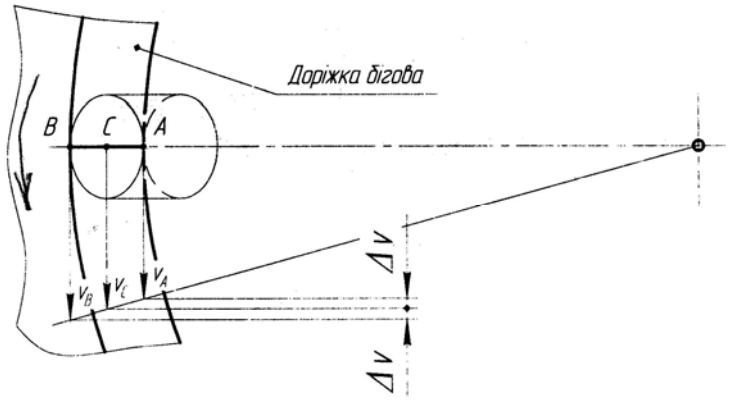
а ***б*** ***в***

Рисунок 1. Фрагменти стандартних опорно-поворотних пристроїв:
а - без зубчатого вінця; *б* - з зовнішнішнім зубчастим вінцем; *в* - з внутрішнім зубчастим вінцем.

У конструкціях ОПП (рис. 1) ролики установлюються так, що їхні геометричні осі є перпендикулярними у проекції на площину з базовими параметрами, що наведені на рис. 2.



а



б

Рисунок 2. Основні параметри верхнього ряду роликів ОПП:
а – геометричні; *б* - кінематичні

Із рис. 2, *а* видна така геометрична залежність:

$$D_{цр} = \frac{d_p}{tg\beta}\sqrt{1+\left(\frac{tg\beta}{\sin\alpha}\right)^2}, \qquad (1)$$

де $D_{цр}$ – діаметр кола центрів тіл кочення; $d_р$ – діаметр роликів; $\beta = \frac{\pi}{n}$ (n – кількість тіл кочення) – кутовий крок роликів; α - кут нахилу твірної поверхні бігової доріжки до геометричної осі повороту опоно-поворотного пристрою. Після позначення безрозмірних величин одним коефіцієнтом $k_p = \sqrt{\frac{1}{tg^2\beta}+\frac{1}{\sin^2\alpha}}$, що залежить від кількості тіл кочення і кута нахилу опорно-поворотного пристрою, рівняння (1) набуває спрощеного вигляду:

$$D_{цр} = k_p \ d_p. \qquad (2)$$

Із рис. 2,*б* визначено величину швидкості ковзання в точці *B* як різницю між швидкостями цієї точки, яка миттєво належить поверхні бігової доріжки та ролику

$$v_s = \left(\frac{r_B}{r_C} - 1\right)v_c, \qquad (3)$$

а максимальна величина відносно ковзання дорівнює:

$$\delta_p = \frac{v_B - v_c}{v_c} = \frac{d_p\cos\alpha}{Dцц + d_p\cos\alpha}. \qquad (4)$$

Кількісний аналіз кінематичних параметрів опорно-поворотних пристроїв зведено в табл. 1 і 2.

Таблиця 1.Величини коефіцієнтів пропорційності

Кут нахилу α	$\sin^2\alpha$	d_p	n	Кутовий крок β	Коефіцієнт k_p
35^0	0,329	30	133	0,00056	43,5132
55^0	0,671	30	133	0,00055	42,6632
60^0	0,750	36	134	0,00056	51,2499
45^0	0,500	30	134	0,00055	42,6690

Таблиця 2. Характеристики відносного геометричного ковзання опорно-поворотних пристроїв для таких автомобільних кранів, які виготовляються на Дрогобицькому заводі

Марка крана	Диаметр роликів, мм.	Кут нахилу, град	Диаметр кола центрів, мм.	Відсоток ковзання, %
КС-3575А.17.100	30	35	1280,44	1,88
КС-4574.17.100		45	1280,075	1,63
КТА-16.17.100			1280,075	1,63
КТА-28.01.17.100	36		1444,918	1,73

Із таблиці видно, що зі зменшенням кута нахилу опорно-поворотного пристрою дещо збільшується геометричне ковзання роликів. Окрім того, на величину геометричного ковзання роликів впливає також їхній діаметр.

Наведені в табл. 2 величини відносного геометричного ковзання є дещо меншими від дійсних тому, що не враховується торцеві тертя роликів. Для його врахування розглянуто частину опорно-поворотного пристрою, що наведено на рис. 3, доповнену точками: *A,B,C,D,E,O* і O_1. У точці O_1 торцевого доторкання ролика до поверхні бігової доріжки сусіднього ролика немає. Внаслідок угнутості поверхні бігових доріжок сусідніх роликів здійснюється торцеве доторкання на поверхні, що має форму кільця, яке наближено до периферії, до точок *D* і *E*. Це якраз важливий факт, внаслідок якого мають місце додаткові швидкості ковзання, які пришвидшують спрацювання роликів і зменшують термін роботи всього опорно-поворотного пристрою.

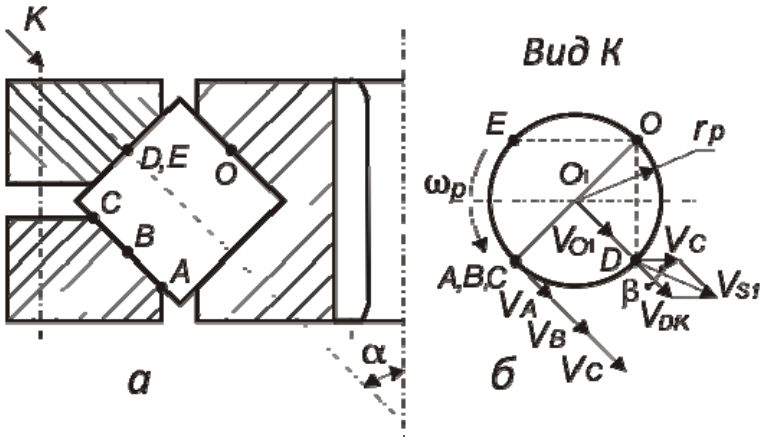


Рисунок 3. Частина конструкції опорно-поворотного пристрою:
а – загальний вигляд; *б* – вид К на зовнішній торець ролика

У разі, коли кут $\alpha = 45^0$, із рис. 3,*а* видно, що $V_{DK} = V_B$, а кутова швидкість руху ролика дорівнює $\omega_p = V_B / r_p$,

де V_{DK} - швидкість точки *D*, що належить рухомому кільцю; r_p - радіус ролика.

Знаючи кутову швидкість руху ролика, можна визначити величину абсолютної швидкості точки *D*, яка належить ролику:

$$V_{Dp} = \omega_p \, D\,O = (V_B / r_p)(r_p \sqrt{2}) = \sqrt{2}\, V_B, \qquad (5)$$

де віддаль $D\,O = r_p\sqrt{2}$ та решта параметрів видно із рис. 3, *б*.

Сумарна миттєва швидкість точки *D*, що належить ролику, визначається за відомою формулою косинусів та дорівнює:

$$V_{s1} = 2{,}24\ V_{\text{В}}. \qquad (6)$$

Отриманий вираз (6) переконливо підтверджує попередню констатацію того, що у разі торців роликів плоскої суцільної форми в місцях їхніх доторкань до рухомих бігових доріжок сусідній роликів виникають суттєві швидкості тертя, які збільшують втрати енергії на тертя ковзання.

Загальну швидкість ковзання ролика відносно власної та сусідньої бігових доріжок можна визначити, порівнюючи рис. 2,*б* і 3,*б*, за формулою:

$$V_з = \sqrt{V_{s1}^{\ 2} + V_s^{\ 2} + 2V_{s1}V_s\cos 45^0}\ . \qquad (7)$$

Пошук можливостей зменшення впливу цього недоліку підштовхнув авторів до зміни форми торцевих поверхонь роликів.

На основі результатів патентного пошуку розроблено і запропоновано нову конструкцію роликового опорно-поворотного пристрою з модифікованою формою торцевих поверхонь роликів.

Розроблена конструкція опорно-поворотного пристрою признана новою та видано патент на винахід (патент №79333 України на корисну модель).

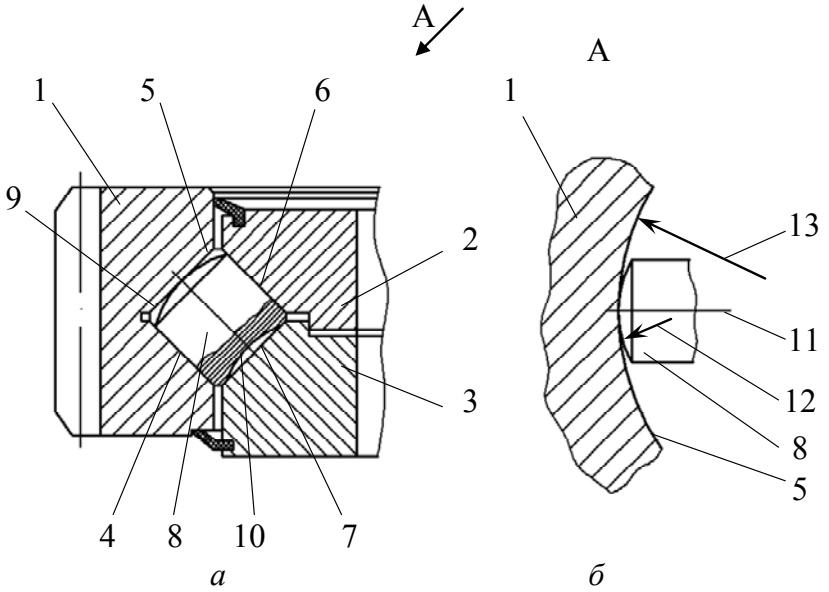


Рисунок 4. Принципова конструкція опорно-поворотного пристрою з модифікованими роликами: *а* – загальний вигляд лівої частини в перерізі; *б* - вид по напряму *А* (стрілка *А*) на внутрішню поверхню бігової доріжки у місці дотику ролика

Конструктивні особливості запропонованого опорно-поворотного пристрою наведено на рис. 4, де показано: нерухоме кільце 1 з зубчастим вінцем і рухомих півобойм 2 і 3. Ці деталі мають ретельно оброблені поверхні робочих доріжок 4, 5, 6 і 7 прямолінійного профілю як у традиційних пристроях. У пустотах між біговими доріжками встановлено циліндричні тіла кочення 8. Ролики відрізняються від традиційних тим, що мають торцеву зовнішню опуклу сферичну поверхню 9, а торцеву внутрішню угнуту сферичну поверхню 10. Під час роботи ролики, обертаючись навколо власної геометричної осі 11, біжать по відповідних бігових доріжках.

Важливою особливістю форми тіл кочення є також і те, що радіус їхніх угнутих 10 і опуклих 12 сферичних поверхонь рівні між собою та мають бути меншими за радіус угнутої зовнішньої поверхні 13 робочих бігових доріжок нерухомого кільця 1.

За розробленою конструкцією нового опорно-поворотного пристрою та попереднього його аналізу можна зробити такі основні **висновки**:

1. Принцип роботи цього опорно-поворотного пристрою абсолютно подібний до традиційного, що не вимагає додаткового пояснення;

2. Слід наголосити на тому, що виготовленням внутрішніх торців роликів з заглибленням, можна також отримати зменшення величини геометричного ковзання тіл кочення по внутрішнім біговим доріжкам, які мають опуклі форми;

3. Проведені теоретичні дослідження причин втрат передаваємої енергії є відповідним підґрунтям для подальших удосконалень конструктивних виконань опорно-поворотних пристроїв підйомно-транспортної техніки.

Напрямки подальших досліджень розроблених опорно-поворотних пристроїв:

1. Розробка нових конструкцій опорно-поворотного пристрою з покращеними експлуатаційними характеристиками;

2. Методи аналізу процесів тертя в опорно-поворотних пристроях автокранів;

3. Напружено-деформований стан основних елементів опорно-поворотного пристрою в робочій зоні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Александров М.П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов.– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана– Высшая школа, 2000. – 552 с.

2. Иванченко Ф.К. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин. – К.: Вища школа, 1978. – 576 с.

3. НПАОП 0.00–1.01–07 Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. - К.: Основа, П68 2007, – 312 с.

4. НПАОП 0.00–1.01–072 Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.– К.: Основа, П68 2007, – 312 с.Гохберг М.М. Справочник по кранам: В 2 т. Т.2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов. /В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин и др.; Под общ. ред. М.М. Гохберга.– Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. –559 с.

7. Вайнсон А.А. Крановые грузозахватные устройства: Справочник / А.А. Вайсон, А.Ф. Андреев:– М.: Машиностроение, 1982.-304 с.

8. Маковский А.М. Расчеты крановых механизмов с применением электронных таблиц EXCEL / А.М. Маковский, П.Ф. Лях, И.А. Лукьянов – Краматорск: Изд-во ДГМА, 2003. – 176 с.

9. Патент України № 79333. Опорно-поворотний пристрій /Малащенко В.О., Гелетій В.М., Федик В.В. 2012, 6 с.

10. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины/ А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков.–М.: Машиностроение, 1983. –487 с.

11. Стандартна серія RD 800.

12. Шахмейстер Л.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров/ Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г.– М.: Машиностроение, 1987. - 336 с.

13. Кузьмин А.В. Справочник по расчётам механизмов подъемно-транспортних машин/ Кузьмин А.В., Марон Ф.Л.– 2-е изд.; переаб. и доп. —Минск: Высшая школа, 1983. - 350с.

14. Зенков Р.Л. Машины непрерывного транспорта/ Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.

СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ НАСОСІВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ОСВІТЛЕНОЇ ПУЛЬПИ

Маслов В.О.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. В сучасних умовах експлуатації суднових земснарядів особливого значення набуває питання про те, яка технологія обробки ґрунту використовується при проведенні днопоглиблювальних робіт. Визначальними питаннями є використовувана конструкція судна, технологія виїмки та оброблення ґрунту, а також засоби транспортування пульпи до місця її складування. Якість їх вирішення безпосередньо впливає на макроекономічні показники регіонів, розташованих уздовж водного басейну, де проводяться роботи по збільшенню фарватеру і на рентабельність виробництва днопоглиблювальних компаній або судів, що беруть участь в виїмки ґрунту.

Розробка нового методу для зневоднення ґрунтовій пульпи в умовах роботи судна призведе до значного скорочення ходів земснарядів, підвищенню продуктивності і здешевленню його роботи. Також у цьому випадку скорочуються площі для складування ґрунту і зменшуються енергетичні витрати на його вивалку.

Метою дослідження є перевірка надійності роботи пересувної установки оседіагонального насоса УОДН 120-100-65 при перекачуванні ґрунтової пульпи.

Об'єктом дослідження є серійна пересувна установка оседіагонального насоса УОДН 120-100-65 виробництва «Усть-Катавский вагоностроительный завод им.С.М.Кирова» (Росія).

Конструкція насосної установки відповідно до рис. 1. Насосна установка складається з оседіагональнгог (шнекового) насоса (1) і асинхронного електродвигуна (2), змонтованих на рамі (3). Привід насоса від електродвигуна здійснюється за допомогою пружною втулочно-пальцевої муфти (4), яка закривається захисним кожухом (5).

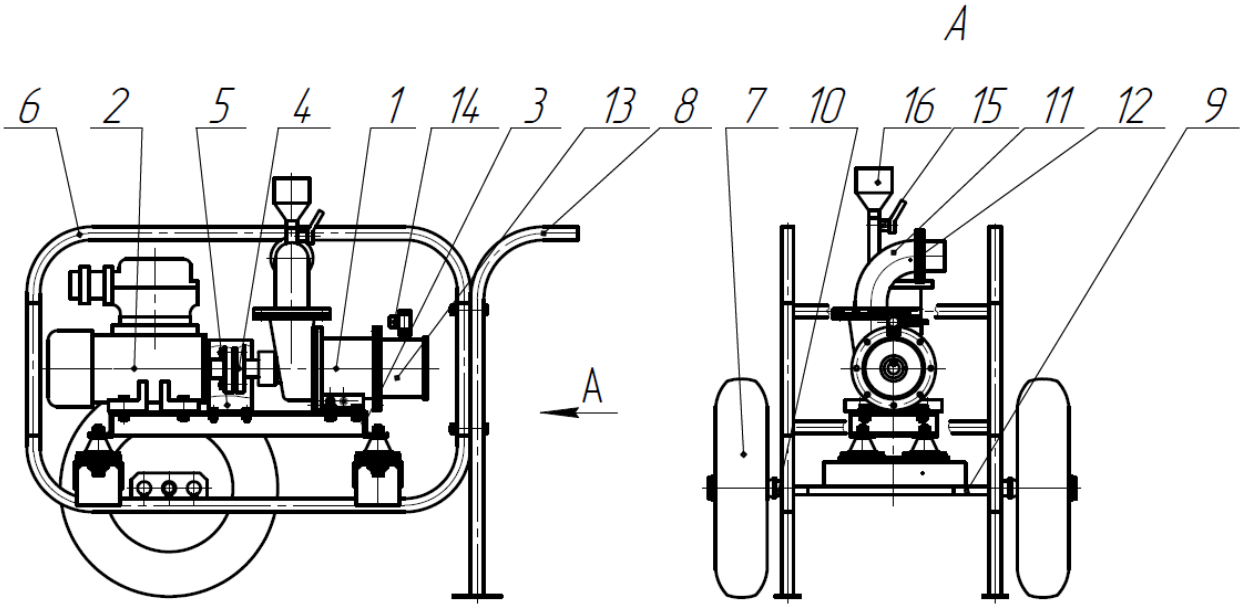


Рисунок 1. Серійна пересувна установка оседіагонального насоса УОДН 120-100-65

Конструкція насосної установки огороджена каркасом (6). Переміщення насосної установки здійснюється на колесах (7) з допомогою рукояток (8), які мають два положення: верхнє-транспортне, нижнє - робоче. Колеса з віссю (9) з'єднуються через піввісь (10). До входу в насос за допомогою штуцера (13) приєднується всмоктуючий рукав з зворотним клапаном на кінці. До виходу з насоса приєднується відвід вихідний (11), до якого за допомогою фланця (12) приєднується рукав напірний. заповнення насоса

і всмоктуючого рукава проводиться через лійку (16). Кран Ду 15 (14) призначений для дренажу повітря при заповненні, а кран Ду 20 (15) - для відкриття прохідного перерізу за воронкою. Перед пуском насос повинен бути заповнений перекачується рідиною. Напрямок обертання вала насоса - проти годинникової стрілки, якщо дивитися на насос з боку двигуна.

Технічні характеристики пересувної установки оседіагонального насоса УОДН 120-100-65 наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Технічні характеристики пересувної установки оседіагонального насоса УОДН 120-100-65

Найменування показників	Значення
Подача, $м^3$/год	27...54
Напір, м	8...13
Максимальна об’ємна конценрація твердих частинок, %, не більш	10
Максимальний розмір твердих частинок, мм, не більш	5
Щільність рідини, що перекачується, кг/$м^3$, не більш	1000
Потужність насоса, кВт	3
Частота обертання вала насоса, $хв^{-1}$	3000

При проведенні днопоглиблювальних робіт, для обробки добутої пульпи можна використовувати циклону установку. З метою, вдосконалення технології зневоднення здобутої ґрунтовій пульпи, при проведенні днопоглиблювальних робіт, для видалення з циклонної установки освітленої пульпи було прийнято рішення застосувати пересувну установку оседіагональних насоса.

При проведенні стендових випробувань була використана ґрунтова пульпа, взята в акваторії дельти річки Дніпро. Вміст ґрунту в пульпі було взято з максимальними допустимими показниками для оседіагонального насоса, 10%.

У зв'язку з тим, що конструкція насоса не передбачає установку фільтра на вхідний трубі, малася можливість додати у пульпу деяку кількість дрібного щебеню, діаметром не більше 5 мм.

Конструкція насоса (рис. 2) передбачає, що рідина приводиться в рух за допомогою шнека, який за рахунок свого обертання штовхає робоче середовище.

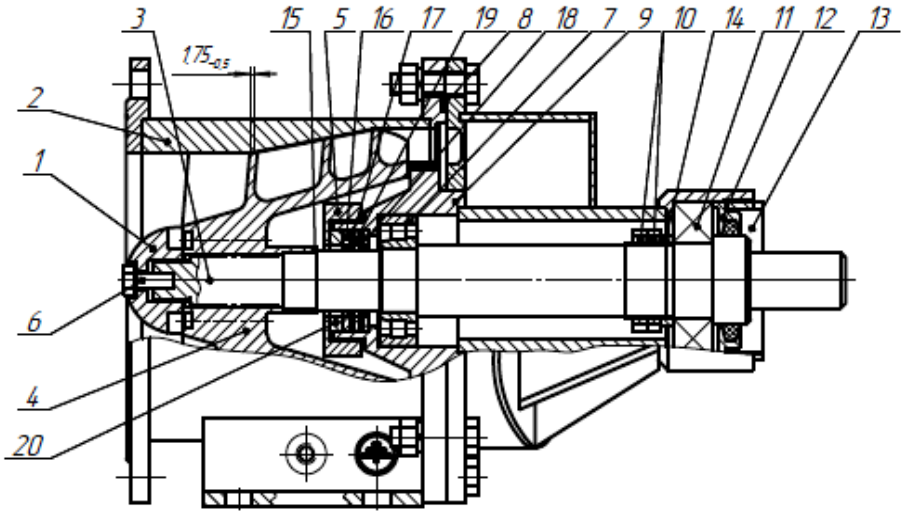


Рисунок 2. Насос оседіагональний:
1—імпеллер; 2—кожух; 3—вал; 4—шнек; 5—гайка; 6—болт М6; 7—підшипник 42205; 8—кільце регулююче; 9—корпус; 10, 13—гайка; 11—підшипник 206; 12—кришка; 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20—кільце

У зв'язку з тим, що в даному випадку перекачується пульпа, тобто вода, в якій присутні тверді вкраплення ґрунту, піску і органічних елементів, при роботі насоса необхідно звернути увагу на знос складових частин. Найбільшому зносу піддаватиметься імпеллер, корпус насоса і вал з сальниковим ущільненням.

Також може збільшуватися зазор між імпеллером і корпусом насоса, що неминуче призведе до зменшення його продуктивності. Перед початком випробувань імпеллер був відмаркований для визначення проблемних зон, з точки зору прояви образівного ефекта.

Після роботи насоса у продовж восьми годин було виявлено, що проблемними зонами насоса є ділянки імпеллера, які знаходяться на переферії. Зазор між імпеллером і корпусом насоса не змінився і залишився 1,75 мм.

Результати випробувань.

Випробування проводилися, взагалі, 24 години. За цей час роботи на імпелері насоса, а також на його крпусі, з внутрішньої сторони були виявлені сліди зносу від аброзивного ефекту. Також дещо збільшився зазор між імпеллером і корпусом з 1,75 мм до 2 мм. На даному етапі можна стверджувати, що оседіагональних насос є придатним для перекачування освітленої ґрунтовій пульпи. Однак для більш точних показників необхідно повторити випробування насоса при різних швидкостях обертання вала.

ЛІТЕРАТУРА

1. Передвижная установка оседиагонального насоса УОДН 120-100-60. Паспорт 5Н.33.00.00.ПС, «Усть-Катавский вагоностроительный завод им.С.М.Кирова», г. Усть-Катав, 2008 г. – 30 с.

2. Протокол испытания оседиагонального насоса УОДН 120-100-60 17.06.2013 г., лаборатория судостроительный завод «Океан», г. Николаев. – 2 с.

АНАЛИЗ ТЕОРИИ СТРУЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ РАЗРЫХЛЕНИЯ ГРУНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Маслов И.З.
Одесская национальная морская академия (Украина)

В практике эксплуатации судов дноуглубительного флота используется два вида транспортирования грунта – в трюме судна на дальние расстояния и по рефулерному грунтопроводу при выгрузке грунта на берег или карту намыва. Во втором случае, при использовании грунтопроводов, повышение консистенции грунта в пульпе, а следовательно уменьшение объема бесполезно транспортируемой воды, приводит к однозначному сокращению судовых затрат топлива на его транспортирование. По этой причине повышение консистенции грунта в пульпе является одним из основных направлений модернизации технологии грунтодобычи. Одним из вариантов такого повышения является применение устройств, разрыхляющих грунт непосредственно в области всасывающего отверстия грунтозаборного устройства.

С технической точки зрения одним из наиболее удобных устройств для разрыхления грунта может являться техника, использующая струи высокого давления. Под струей в соответствии с работой [1] понимается движение жидкости или газа, ограниченное поверхностью тангенциального разрыва. На этой поверхности разрыв терпят такие характеристики потока, как скорость, температура и концентрация примеси. За счет тангенциального разрыва происходит поперечная передача количества движения от струи к окружающему ее пространству [2]. Одним из источников струй высокого давления может выступать гидравлический удар – направленная ударная волна в воде.

При рассмотрении гидравлического размыва особое значение имеет физический механизм ударного взаимодействия водяной струи с поверхностью разрабатываемого грунта. В зависимости от степени ее уплотненности разрушение грунта может существенно отличаться. В соответствии с работой [3] плотный и пористый грунт разрушаются по разному – более пористый грунт будет испытывать менее мощные ударные нагрузки.

Согласно теории струй во время гидравлического удара при движении ударной волны внутри трубопровода с абсолютно жесткими стенками ее параметры связаны между собой законами сохранения массы, импульса и энергии, т.е.:

$$\rho_0\left(\vec{C}-\vec{V}_0\right)=\rho\left(\vec{C}-\vec{V}\right), \tag{1}$$

$$P-P_0=\rho_0\left(\vec{V}-\vec{V}_0\right)\left(\vec{C}-\vec{V}_0\right), \tag{2}$$

$$E-E_0=\frac{P+P_0}{2}\left(\frac{1}{\rho_0}-\frac{1}{\rho}\right), \tag{3}$$

где ρ_0, P_0, V_0, E_0 – соответственно плотность, давление, массовая скорость и внутренняя энергия единицы массы рабочей среды перед фронтом ударной волны, а ρ, P, V, E – аналогичные величины за фронтом волны; C – скорость движения ударной волны.

При задании уравнения состояния среды и связи внутренней энергии с параметрами, определяющими состояние вещества, можно построить адиабату Гюгонио, связывающую ударное давление с плотностью вещества. Для конденсированных веществ такая связь имеет вид [3]:

$$P=\frac{\rho_0 C_a^2}{n}\,\frac{\sigma^n\left(h-\dfrac{n+1}{n-1}\right)+\sigma\dfrac{2n}{n-1}-(h+1)}{h-K\sigma} \tag{4}$$

где $\sigma=\dfrac{\rho}{\rho_0}$ - величина сжатия (для воды $\sigma = 1$); h – показатель политропы; K – коэффициент пористости вещества; C_a – коэффициент, учитывающий вид вещества (для

железа C_a = 4650 м/с). В качестве примера использования теории струй на рис. 1 показано решение задачи о взаимодействии ударной волны, возникшей при гидравлическом ударе с плотным и пористым грунтом.

Из приведенного рис. 1 видно, что с учетом соотношения:

$$(\rho C)_{плот.грунт} > (\rho C)_{порист.грунт} > (\rho C)_{вода} \quad (5)$$

при отражении ударной волны от плотного грунта возникает давление P_a, а от пористого грунта P_b. Исходя из соотношения акустической жесткости плотного и пористого грунтов получается $P_b > P_a$, т.е. наличие пор в грунте приводит к увеличению давления отражения, т.е. разрабатываемый слой грунта будет воспринимать меньшую ударную нагрузку. Если размер пор в грунте является большим, то ударная волна будет приводить к их более полному схлопыванию, что на графике выразится в более крутом наклоне адиабаты 2–b и следовательно в еще большем значении величины P_b.

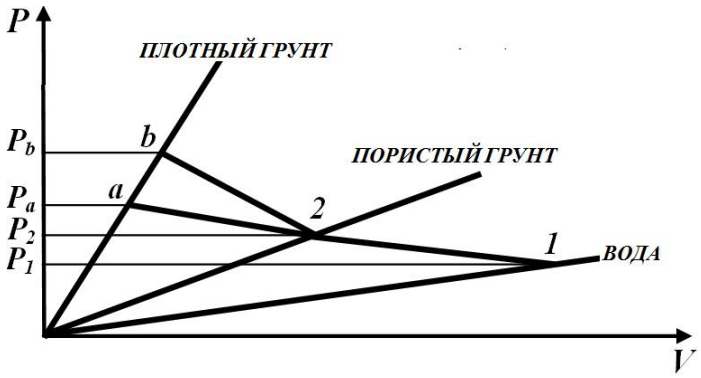


Рисунок 1. Взаимодействие ударной волны с грунтом

В силовом взаимодействии струи с грунтом особое значение имеет форма струи. Из-за конструктивных особенностей систем гидравлического размыва при гидродинамическом разрушении поверхностного слоя грунта угол атаки струи в большинстве случаев будет составлять 90 ^{0}, а скорости движения рабочей жидкости будут соответствовать турбулентному режиму. По этой причине ударную струю можно рассматривать, как осесимметричную.

Характерным примером осесимметричных профилей скорости являются данные Трюппеля [1], показанные в графическом виде на рис. 2. На графиках видно, что профиль скорости струи зависит от степени удаленности от источника струи. Чем это расстояние больше, тем профиль становится более широким и пологим. Таким образом, расстояние от сопла до грунта является определяющим параметром в передаче энергии от струи к грунту.

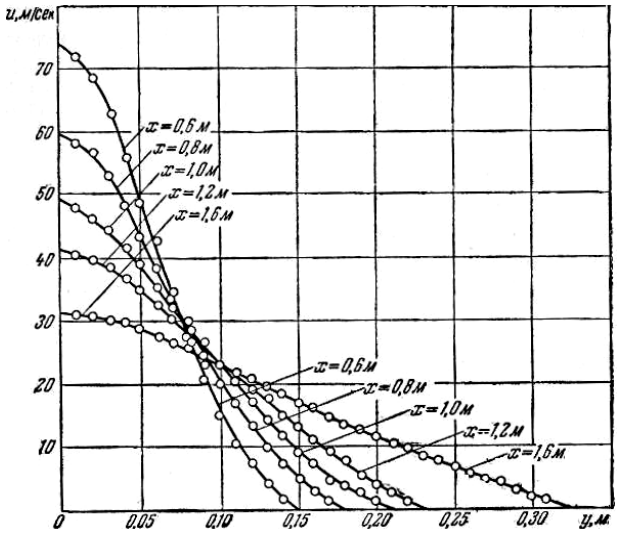


Рисунок 2. Профиль скорости осесимметричной затопленной струи [22]

В работе [4] на основании большого набора теоретических и экспериментальных исследований выполненных на судах дноуглубительного флота указывается, что производительность судна по добываемому грунту всегда зависит от трех факторов: скорости движения пульпы во всасывающей трубе, физических характеристик добываемого грунта и величины диаметра всасывающей трубы. Если первые два параметра являются постоянными, то третий фактор показывает, что при взаимодействии системы струй с поверхностью грунта необходимо учитывать диаметр используемой линии грунтозабора. Транспортирование пульпы необходимо обеспечивать в диапазоне скоростей поддерживающих тот уровень турбулизации потока при котором будет обеспечиваться необходимая степень перемешивания грунта с водой. За счет уменьшения диаметра, а соответственно и площади поперечного сечения всасывающего трубопровода, возможно повысить скорость, поскольку расход потока при неизменных условиях (частоте вращения насоса, плотности пульпы и т.п.) должен быть неизменным:

$$Q = VS = const \quad (6)$$

Также при уменьшении диаметра всасывающей линии может быть получено повышение концентрации грунта в добываемой пульпе.

За счет геометрии используемых сопловых насадок и угла атаки струи необходимо вблизи поверхности грунта создавать сферу размыва с диаметром удовлетворяющим неравенству вида:

$$D_{c.p} > kd_c, \quad (7)$$

где $D_{c.p.}$ – диаметр сферы размыва, *м*; d_c – диаметр сопловой насадки, *м*; k –коэффициент учета конструкции насадки (лежит в диапазоне от 1 до 1,1).

Анализ неравенства (6) показывает, что наибольшую эффективность разрыхления грунта возможно получить в случае, когда диаметр сферы размыва равен или до 10 % превышает диаметр всасывающей линии.

Скорость всасывания грунта должна изменяться в зависимости от располагаемого гидростатического напора. Она определяется как [18]:

$$V_{вс} = \sqrt{h} = \sqrt{\frac{P_{атм}}{\rho g}}. \quad (2.3)$$

Согласно рекомендациям работы [5] расчет потерь во всасывающем грунтопроводе должен всегда осуществляться с использованием максимального, а не усредненного значения удельного веса транспортируемой пульпы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.М.Абрамович. Теория турбулентных струй. М. Гос. Изд-во физ.-мат. Лит-ры. 1960., 715 с.
2. Колегаев М.А., Зуев С.В., Малахов А.В., Маслов И.З., Бендеберя Ф.А. Конструктивные особенности судовой системы, использующей импульсные скачки давления. Судовые энергетические установки: Научно-технический сборник. Вып.30. – Одесса: ОНМА, 2012 – С. 28-37.
3. Сборник задач по взрыву. Снежинск.
4. Herbich John B. Coastal and deep ocean dredging. Gulf Publishing Co. Houston, Tex. 1975.
5. Tomas M.Turner. Fundamentals of hydraulic dredging. ASCE Press. / Thomas M. Turner. – 2nd ed. Reston. Virginia. 258. p.

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ГІПЕРБОЛОЇДНИХ ЧЕРВ'ЯКІВ, СФОРМОВАНИХ ПЛАСКОЮ РЕЙКОЮ ПО НОРМАЛІ ДО ГВИНТОВОЇ ЛІНІЇ ОСНОВНОГО ЧЕРВ'ЯКА

Настасенко В.О.
Херсонська державна морськая академія (Україна)

Вступ, зв'язок роботи з основними науковими напрямками. Робота відноситься до всіх галузей машинобудування, верстатобудування та ін., де застосовуються черв'ячні передачі, та до галузі інструментального виробництва, а саме – до черв'ячних зуборізних інструментів, створених для обробки циліндричних зубчастих коліс та усіх видів черв'ячних зубчастих пар.

В роботах [1-3] показано, що гіперболоїдні черв'ячні передачі та інструменти є найбільш перспективними для майбутнього удосконалення зубчастих зачеплень, що пояснюється їх високою точністю.

Відомі 2 види гіперболоїдів, отриманих обертанням утворюючої гіперболи навколо осей її симетрії: 1) двопорожнинні, 2) однопорожнинні [1]. На їх базі спочатку розробляли гіперболоїдні черв'яки 1-го виду [2], проте 2-й вид – більш доцільний [3], оскільки близький до циліндрових черв'яків.

Основною перевагою гіперболоїдних черв'яків 2-го виду і створених на їх базі черв'ячних передач і зуборізних інструментів, є повне поєднання профілю їх витків з профілем початкової інструментальної рейки на всій її довжині при будь-якій кількості заходів черв'яка, що забезпечується збільшенням його діаметру від середнього поперечного перетину (горловини) до торця [4]. Така форма забезпечує підвищення здатності до навантаження за рахунок збільшення кількості зубців, що входять в контакт при зачепленні, а підвищення точності поліпшує умови розподілу масляного клину у черв'ячних передач, а також забезпечує підвищення точності і продуктивності у створених на їх базі черв'ячних зуборізних інструментів.

Аналіз стану проблеми і постановка задач досліджень. Не зважаючи на вказані вище переваги гіперболоїдних черв'яків і виконаних на їх базі черв'ячних зуборізних інструментів, широкого впровадження вони не набули [4], що пояснюється складністю їх виробництва при традиційній технології обробки з подачею інструменту в осьовій площині. Тому їх вдосконалення є важливою і актуальною задачею. Частково вона вирішена в патенті на винахід Російської Федерації [5], в якому запропонований спосіб обробки з нахилом подачі інструменту по нормалі до гвинтової лінії основного черв'яка (рис. 1), а також в заявці на патент на винахід Російської Федерації [6], в якій запропонований спосіб їх обробки зі зсувом заднього центру верстата на висоту $\pm h_ц$ (рис. 2), що робить технології їх виробництва аналогічними технологіям виробництва циліндричних основних черв'яків.

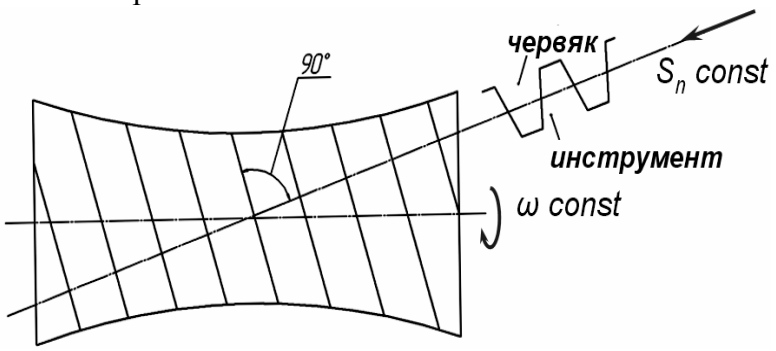


Рисунок 1. Схема формування гіперболоїдного черв'яка за патентом на винахід Російської Федерації № 2200262, при нахилу напрямку подачі інструменту по нормалі до гвинтової лінії основного черв'яка

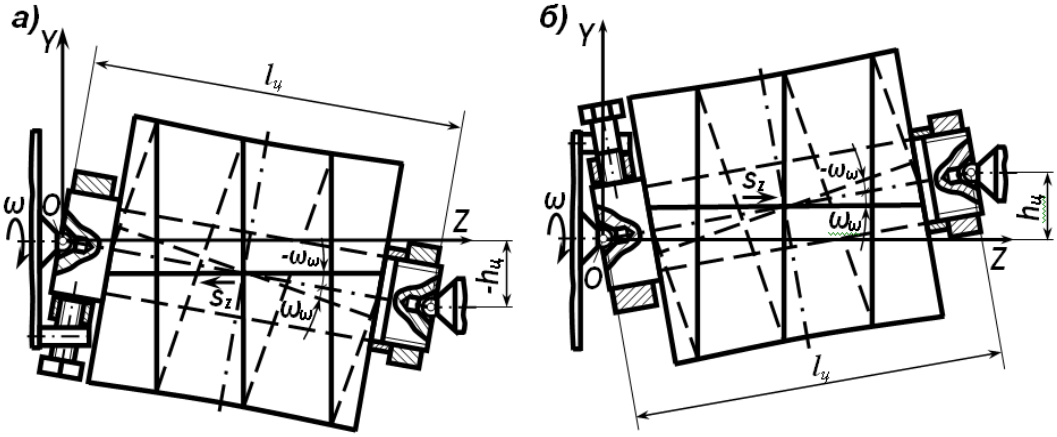


Рисунок 2. Схеми чистової обробки гіперболоїдних черв'яків по заявці на патент на винахід Російської Федерації № 2012138947, при передньому розміщенні супорта токарного верстата і змішенні його заднього центру та ріжучого інструменту відносно осі шпинделя: а) правозаходні черв'яки, б) лівозаходні черв'яки

Враховуючи, що в спрощених способах виробництва гіперболоїдних черв’яків [5, 6] формується пласка рейка, потрібен аналіз точності їх виробництва, що є *головною метою* виконуваної роботи. Її *науковою новизною* є аналіз умов формоутворення гіперболоїдних черв’яків пласкою рейкою і дослідження похибок їх профілю, що при цьому виникають.

Пошук шляхів реалізації поставленої мети. Схема, що пояснює утворення похибок профілю зубців у гіперболоїдних черв’яків, сформованих пласкою рейкою, та їх трансформація у гвинтову рейку, показана на рисунку 3.

Плаский зубчатий рейковий контур (далі пласка рейка) з зубцями 1 висотою A_pB_p, та правим $A_{pП}B_{pП}$ і лівим $A_{pЛ}B_{pЛ}$ боковим профілем його зубців, пов’язаний з системою координат $O_pX_pY_pZ_p$, центр O_p якої пов’язаний з перехрестям 3 осей: O_pZ_p, яка суміщена з початковою прямою ***п.п.*** рейки, O_pY_p, яка суміщена з віссю симетрії її зуба, O_pX_p, яка перпендикулярна площині рейки. Рейка контактує крапкою O_p з початковим колом ***п.к.*** радусу $r_{ωчг}$ гіперболоїдного основного червяка 2, що адекватний радіусу $r_{ωчц}$ початкового кола циліндричного основного черв’яка. Центр $O_ч$ поперечного перетину цих черв’яків з мінімальним діаметром (далі горловина однопорожнинного гіперболоїду) пов’язаний з системою координат $O_чX_чY_чZ_ч$, вісь $O_чZ_ч$ суміщена з віссю обертання цього черв’яка, а вісь $O_чY_ч$ суміщена з віссю O_pY_p рейки.

За рахунок нахилу ***п.п.*** пласкої рейки до вісі черв’яка $O_ч Z_ч$ на кут $ω_ω$, напрям осей сіметрії усіх її зубців паралельний осі $O_чY_ч$, а у гвинтової рейки – осі зубців розвернуті радіально, з утворенням кутів $φ_p$ їх повороту між проміжними положеннями центрів координат O_p'. При цьому спільними є крапки $i_{pч}$ профілю пласкої і гвинтової рейок з радіус-вектором r_{pi} і кутом його повороту $φ_{pi}$, а поточна крапка $i_{чг}$ займає положення на гвинтовій рейці з радіус-вектором $r_{чгi}$ і кутом його повороту $φ_{чгi}$.

Наслідком такого повороту є зміщення профілю витків черв’яка вздовж осі $O_чZ_ч$ – на величину $ΔZ_{чгi}$, вздовж осі $O_чY_ч$ – на величину $ΔY_{чгi}$, вздовж осі $O_чX_ч$ – на величину $ΔX_{чгi}$, які залежать від величини кута повороту $±φ_{чгi}$ і нормального кроку t_p зубців рейки, що має нахил під кутом $ω_ω$ до осі черв’яка, з урахуванням порядкового номеру зубців рейки n_z та кількості заходів k_z черв’яка. Основною формоутворюючою похибкою є зміна ширини профілю $±ΔS_{чгi}$ у поперечному напрямку до витків черв’яка.

Ці похибки зростають від зуба в перетині горловини – до сусідніх зубців рейки і найбільші на торцях черв’яка, а в поперечному напрямку зубців – від ***п.п.*** до їх вершини (*a*) і до ніжки (*f*) на правій (*П*) та лівій (*Л*) сторонах їх профілю, тому на даному етапі досліджень розрахунки можна обмежити лише цими крапками, їх характер показаний на рис. 4.

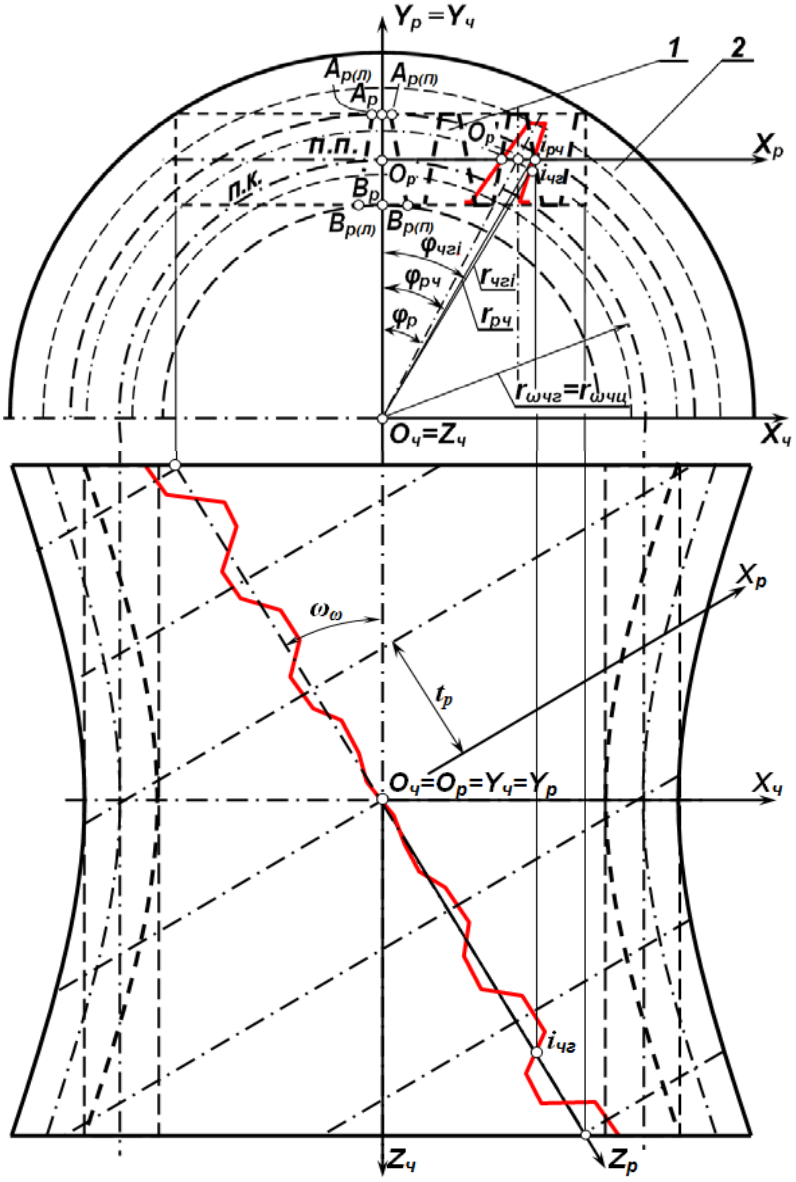


Рисунок 3. Схема утворення похибок профілю зубців плаского зубчастої рейки 1 при її трансформації у гвинтову рейку на гіперболоїдному черв'яку 2

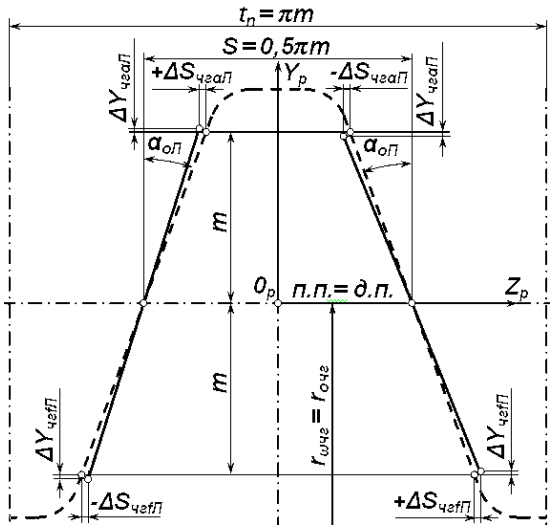


Рисунок 4. Характер трансформації профілю зуба при переході від плаского рейки до гвинтової рейки гіперболоїдного основного черв'яка

Для зубців рейки модульного профілю з висотою у долях k від модуля m, для головки зуба k =(0…+1), для ніжки k =(0…–1) і кутом профілю α_o, при суміщенні *п.п.* з ділильною прямою зубців, відповідні розрахункові залежності становлять величини (1)…(12), в яких верхні знаки призначені для правої сторони профілю, нижні – лівої:

$$r_{\omega чг} = r_{\omega чц} = (8...12)m \text{ (мм)}, \tag{1}$$

$$\omega_\omega = arctg\frac{mk_z}{2r_{\omega чг}} \text{ (рад)} \tag{2}$$

$$\varphi_{рП(Л)} = \pm arctg\frac{\pi m(n_z - 1)\sin\omega_\omega}{r_{\omega чг}} \text{ (рад)} \tag{3}$$

$$\varphi_{рчП(Л)} = \pm arctg\frac{\pi m(n_z - 1 \mp 025)\sin\omega_\omega}{r_{\omega чг}} \text{ (рад)}, \tag{4}$$

$$\varphi_{чгіП(Л)} = \pm arctg\frac{m(\pi(n_z - 1 \mp 0{,}25) - ktg\alpha_o)\sin\omega_\omega}{r_{\omega чг} + km\cos(\varphi_p)} \text{ (рад)} \tag{5}$$

$$r_{чгіП(Л)} = \frac{r_{\omega чг} + km\cos(\varphi_p)}{\cos\varphi_{рчП(Л)}} \text{ (мм)}, \tag{6}$$

$$\Delta\varphi_{чгіП(Л)} = \varphi_{чгіП(Л)} - \varphi_{ргП(Л)} \text{ (рад)}, \tag{7}$$

$$\varphi_{чгіП(Л)} = \varphi_{рП(Л)} + \Delta\varphi_{чгіП(Л)} \text{ (рад)}, \tag{8}$$

$$X_{чгіП(Л)} = r_{чгіП(Л)}\sin\varphi_{чгіП(Л)} \text{ (мм)}, \tag{9}$$

$$Y_{чгіП(Л)} = r_{чгіП(Л)}\cos\varphi_{чгіП(Л)} \text{ (мм)}, \tag{10}$$

$$Z_{чгіП(Л)} = k_z\pi m\frac{\varphi_{чгіП(Л)}}{2\pi} \text{ (мм)}, \tag{11}$$

$$\Delta X_{чгіП(Л)} = \left(\pi(n_z - 0{,}75) \mp ktg\alpha_o\right)m\sin\omega_\omega - r_{чгіП(Л)}\sin\varphi_{чгіП(Л)} \text{ (мм)}, \tag{12}$$

$$\Delta Y_{чгіП(Л)} = r_{\omega чг} \pm km - r_{чгіП(Л)}\cos\varphi_{чгіП(Л)} \text{ (мм)}, \tag{13}$$

$$\Delta S_{чгіП(Л)} = k_z\pi m\frac{\Delta\varphi_{чгіП(Л)}}{2\pi} \text{ (мм)}. \tag{14}$$

Розрахункові залежності отримані на базі спрощеної методики гвинтового руху твірних поверхонь, якими є різальні кромки інструменту, запропонованої в роботі [7], тому потребують подальшого уточнення. Результати розрахунку для черв'ячної фрези модуля m = 5 мм наведені в таблиці.

Таблиця. Основні параметри відхилень товщини витків черв'яка при різній кількості його заходів

Початковий, зовнішній та внутрішній радіуси кіл на горловині, мм	Кут підйому витків 1-4х західних черв'яків γ_ω, град.	Ліве/праве відхилення товщини витків (перетин по нормалі)				
		головки і ніжки витка №1, $\Delta S_{чга}$, мкм	головки витків №2 $\Delta S_{чга}$, мкм.	ніжки витків №2 $\Delta S_{чгf}$, мкм	головки витків №3 $\Delta S_{чга}$, мкм	ніжки витків №3 $\Delta S_{чгf}$, мкм
1	2	3	4	5	6	7
m = 5 мм, кількість заходів черв'яка $i_ч$ = 1, 2, 3, 4						
$i_ч$ = 1	3°34'35"	±7,3/∓25,6	+53,9/–68,5	+35,6/–86,7	+115/–130	+96,8/–148
$r_{огчн}$, =40;	7°07'30"	±14,5/∓50,9	+107/–136	+70,8/–173	+228/–257	+192/–294
$r_{агчн}$, =45;	10°37'11"	±21,6/∓75,6	+159/–202	+105/–256	+338/–381	+284/–435
$r_{fгчн}$, =35.	14°02'10"	±28,4/∓99,5	+209/–266	+138/–337	+442/–499	+371/–570

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6	7
$i_ч = 2$	3°10'47"	±5,8/∓ 19,9	+42,6/–54,2	+28,5/–68,3	+90,9/–102	+76,8/–117
$r_{огчн}$, =45;	6°20'24"	±11,6/∓ 39,5	+84,4/–108	+56,5/–135	+180/–203	+152,3/–231
$r_{агчн}$, =50;	9°27'24"	±17,3/∓ 59,0	+126/–161	+84,3/–202	+268/–303	+227/–345
$r_{fгчн}$, =40.	12°31'44"	±22,8/∓ 77,9	+166/–211,7	+111/–267	+353/–399	+298/–453,7
$i_ч = 3$	2°51'45"	±4,8/∓ 15,9	+34.4/–44,0	+23,3/–55,1	+73,6/–83,2	+62,5/–94,3
$r_{огчн}$, =50;	5°42'38"	±9,5/∓ 31,8	+68,6/–87,6	+46,3/–110	+147/–166	+124/–187
$r_{агчн}$, =55;	8°31'51"	±14,2/∓ 47,3	+102/–130,6	+69,1/–164	+218/–247	+185/–280
$r_{fгчн}$, =45.	11°18'36"	±18,8/∓ 62,6	+135/–173	+91,2/–216	+288/–325	+244/–369
$i_ч = 4$	2°23′09"	±3,4/∓ 10,9	+23,8/–30,6	+16,1/–38,1	+51,1/–57,9	+43,6/–65,4
$r_{огчн}$, =60;	4°45′49"	±6,7/∓ 21,7	+47,6/–61,0	+32,6/–76,0	+102/–115	+87,6/–130
$r_{агчн}$, =65;	7°07′30"	±10,1/∓ 32,4	+71,0/–81,2	+48,7/–113	+152/–172	+129/–195
$r_{fгчн}$, =55.	9°27′24″	±13,3/∓ 42,9	+94,2/–121	+64,6/–150	+201/–228	+172/–258

Отримані розрахункові результати підтверджують розбіжності у профілях витків від середнього до крайнього.

Загальні висновки по роботі

Відхилення профілю витків значні, тому інструмент для їх нарізання потребує корекції в рамках цих відхилень, а технологія обробки – доопрацювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Политехнический словарь /Ред. кол.: А.Ю.Ишлинский (гл. ред.) и др. –3-е изд., перераб. и доп. –М.: Сов. энциклопедия, 1989. -с.124

2. Витренко А.Н., Витренко В.А., Зуй Б.С., Кириченко И.А. Повышение качества изготовления зубьев при обработке многозаходным инструментом. / Современные проблемы машиностроения и технический прогресс. Тез. докл. междунар. научно-техн. конф. –Донецк: ДонГТУ, 1996. -с. 41-42.

3. Настасенко В.О. Удосконалення виробництва гіперболоїдних зубчастих передач та черв'ячних зуборізних інструментів //Надійність інструменту і оптимізація технічних систем. Збірка наукових праць – Краматорськ: ДДМА, Випуск 30, 2012. - с.226-232.

4. Настасенко В.А. Гиперболоидные червячные передачи, оборудование и инструмент для их изготовления // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XIV Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк, ДонГТУ, 2007, Т3. –с 91-96.

5. Патент Российской Федерации на изобретение № 2200262, МПК B23 F 21/16. Червячная передача, способ ее изготовления, оборудование и инструмент для его осуществления. Автор изобретения В,А. Настасенко. Заявка № 98116838/28 от 08.09.98. //БИ 2003. № 7 от 10.03.03.

6. Заявка на патент на изобретение Российской Федерации № 2012138947 от 11.09.2012. Способы обработки гиперболоидных червяков и червячных зуборезных инструментов и устройства для их реализации. Авт. Настасенко В.А.

7. Иноземцев Г.Г. Червячные фрезы с рациональными геометрическими и конструктивными параметрами. –Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1961.-224 с.

ЕФЕКТИВНИЙ КРУТНИЙ МОМЕНТ У ЧОТИРЬОХТАКТНОМУ ДВИГУНІ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Овдій В.М.
Херсонський державний університет (Україна)

У найбільш поширених поршневих двигунах крутний момент виникає завдяки згорянню робочої суміші, яка розширюючись із великим тиском, штовхає поршень вниз. Поршень у свою чергу через шатун тисне на «коліно» колінчастого валу. Хоча в описі характеристик двигунів довжину плеча не вказують, про це дозволяє судити величина ходу поршня, яка є подвоєним значенням радіусу кривошипа.

Приблизний розрахунок крутного моменту поршневого двигуна внутрішнього згоряння відбувається так: робочі гази від горіння повітряно-паливної суміші тиснуть на поршень, який передає тиск на шатун, а шатун свій рух передає на кривошипний механізм. Коли поршень штовхає шатун із зусиллям F на плече L виникає крутний момент $M = F\cdot L$ [Н·м]. Сила F, діюча на поршень, є добутком тиску робочих газів p на площу поршня $S = \pi d^2/4$, тобто $F = p\cdot\pi d^2/4$. Максимальний тиск $p_{макс}$ робочих газів, а відповідно і максимальна сила $F_{макс}$, спостерігається коли поршень знаходиться у верхній мертвій точці. А мінімальний тиск $p_{мін}$, і відповідно мінімальна сила $F_{мін}$ – коли поршень знаходится у нижній мертвій точці. В першому наближенні можна допустити лінійне зменшення сили F_i, діючої на поршень при його переміщенні з верхньої в нижню мертву точку. Але, сила F_i за правилом паралелограма розкладається на силу, що діє вздовж шатуна $F_{ш.i}$ і силу від тиску поршня на стінки циліндра. Сила $F_{ш.i}$, діюча вздовж шатуна, буде залежити від кута β нахилу шатуна до осі циліндра і дорівнює $F_{ш.i} = F_i\cdot\cos\beta$.

При відхиленні кривошипа колінчастого вала під час робочого ходу на кут α від осі циліндра до моменту, коли кут між шатуном і кривошипом стане 90°, сила $F_{ш.i}$, діюча вздовж шатуна, може бути виражена наступним чином:

$$F_{ш.i} = F_i\cdot\cos\beta = F_i\cdot(1 - \sin^2\beta)^{0,5} = F_i\cdot[1 - \sin^2(\alpha\cdot r^2/l^2)]^{0,5},$$

де r – радіус кривошипа, l – довжина шатуна.

При цьому сила $F_{ш.i}$, діюча вздовж шатуна теж розкладається на крутну силу $F_{кр}$ і силу, що стискує кривошип. Крутна сила $F_{кр.i}$, що забезпечує крутний момент на валу двигуна буде дорівнювати $F_{кр.i} = F_{ш.i}\cdot\cos(90^o - \alpha - \beta)$. Після проходженням кута між кривошипом і шатуном значення 90°, величина крутної сили визначається з співвідношення $F_{кр.i} = F_{ш.i}\cdot\cos(\alpha + \beta - 90^o)$. З урахуванням вище зазначеного, кінетика величини крутного моменту при згорянні робочої суміші під час робочого ходу поршня для двигуна ВАЗ 21083 зображена на рис. 1.

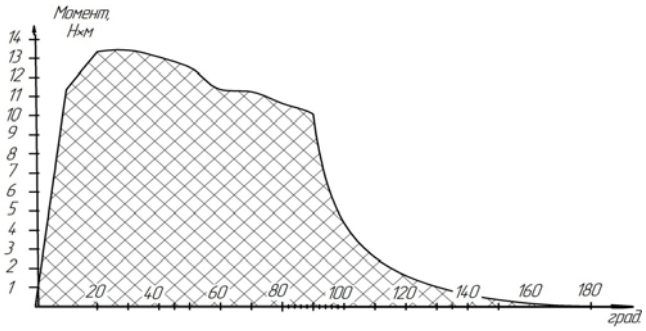


Рисунок 1. Кінетика крутного моменту за робочий хід поршня

При цьому кінематика кривошипно–шатунного механізму (КШМ) чотирьохтактного поршневого двигуна внутрішнього згоряння здійснюється наступним чином. Коли тиск газів на першому етапі горіння палива максимальний, оскільки в цей час об'єм камери згорання мінімальний, і робота здійснювана газами теж найбільш велика, то в цю мить крутний момент на валу двигуна від роботи таких газів дорівнює нулю. Бо поршень в цій фазі роботи КШМ знаходиться у верхній мертвій точці і плече важеля кривошипа дорівнює нулю. Вся кінематика мотора (якщо це одноциліндровий двигун)

рухається лише під впливом сил інерції маси рухомих частин поршневої і кривошипно-шатунної групи двигуна. Саме для цього на поршневі мотори і ставлять маховики, аби підсилити інерційність цієї частини деталей двигуна. Тобто на цьому етапі роботи поршневого двигуна довгі осьові лінії плеча кривошипа і шатуна вистроїлися в одну пряму лінію, яка паралельна вектору сили газів, що розширюються. Тому вся сила цих газів в даний момент витрачається на деформацію конструктивних елементів поршневої і кривошипно-шатунної групи і корисна робота газів розширення в цю мить повністю відсутня. Далі – під дією інерції обертання вал двигуна обертається, і рух кривошипа приводить до поступового збільшення плеча, яке сприймає крутний момент, тобто величина корисної сили газів, що розширюються, зростає. Величина наростання значення плеча кривошипа поступово збільшується до значення кутової відстані в 90° між кривошипом і шатуном. Саме у цій позиції можлива максимально ефективна робота КШМ, але час здобуття максимально можливого крутного зусилля вже загублений, бо у міру кутового руху вниз верхньої точки плеча кривошипа, вниз рухається і поршень і тиск робочих газів в камері згорання значно падає. Тобто сила розширення газів у момент найбільш високого ККД вже не так велика, як у верхній мертвій точці. Далі, вал двигуна із кривошипом продовжує обертання і проекція плеча кривошипа по відношенню до вектора сили газів, що розширюються, знову починає зменшуватися. При цьому у міру руху поршня вниз і подальшого збільшення об'єму розширення камери згорання, тиск газів в ній падає, а значить падає і зусилля тиску цих газів на поршень. Отже, на лінії розширення газів і кутовому шляху плеча кривошипа після досягнення між ним і шатуном положення в 90°, величина крутного моменту різко падає, оскільки до цього приводить складання двох процесів – падіння рушійного тиску робочих газів на поршень і різке зменшення плеча кривошипа, що сприймає силу цього тиску. У нижній мертвій точці подовжні осі шатуна і плеча кривошипа знову вишиковуються в одну лінію, і тиск робочих газів знову витрачає свою вже невелику силу лише на деформацію елементів двигуна, а рухомі деталі двигуна продовжують обертатися лише під дією інерції своїх мас. Тобто КШМ видає силу крутного моменту на вал двигуна лише дробовими, послідовними пульсаціями – серією багаточисельних, та короткочасних поштовхів.

В чотирьохциліндровому чотирьохтактному двигуні внутрішнього згоряння під час робочого ходу в одному з циліндрів в інших циліндрах двигуна відбуваються стиснення робочої суміші, витиснення відпрацьованих газів та всмоктування горючої суміші. На ці процеси витрачається енергія палива, що забезпечує виникнення зворотнього крутного моменту на колінчатому валу двигуна, кінетика виникнення якого аналогічна вище описаним процесам і наведена на рис. 2. Отже, кінетика результуючого крутного моменту на колінчатому валу чотирьохтактного чотирьохциліндрового двигуна внутрішнього згоряння кожні наступні 180° буде мати наступний вигляд, зображений на рис. 3.

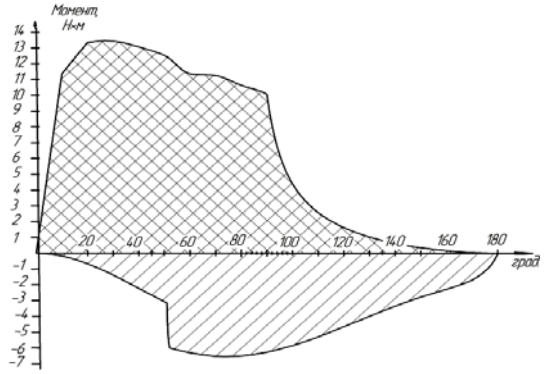


Рисунок 2. Наложення зворотнього крутного моменту на обертальний момент робочого ходу в циліндрі

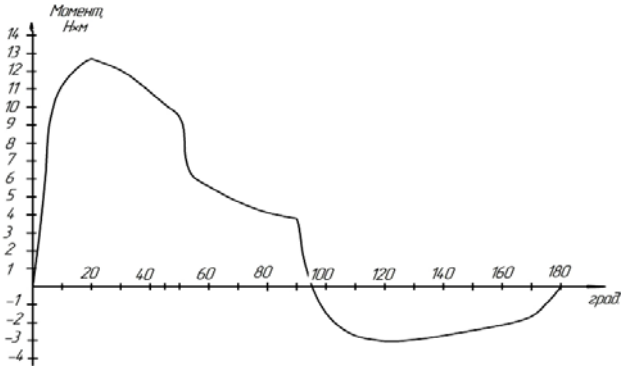


Рисунок 3. Кінетика резельтуючого крутного моменту на колінчатому валу чотирьохтактного чотирьох циліндрового ДВЗ

THE HYDRAULIC QUENCER DYNAMIC OSCILLATIONS

Pelevin Leonid, Karpenko Mykola
Kyiv national university of construction and architecture (Ukraine)

In engineering is often necessary to damp the vibration transmitted to the machine from its working equipment. Basically - it is machines with dynamic (active) working tools. As a result of work, the vibrations can be transmitted to the machine and cause destruction. For impossibility transmit the vibrations from the working body to the base machine used so-called springy elements that are trying to put out vibrations transmitted to the base machine. The main method of vibration damping is called - a method of dynamic vibration damping [1].

The method of dynamic vibration damping is based on the accession to the object's vibration protection additional devices to change its vibration's condition. A work of the dynamic quencher is based on putting out the force transmitted to the object.

Changing the base machine a vibrating condition when joining a dynamic quencher can be achieved by the redistribution of vibrational energy from the object to the quencher and in the direction of the increasing energy dissipation fluctuations. The first from mentioned is implemented by changing the system's settings of the object-quencher over the frequencies of the vibration excitation by correcting the elastic-inertial properties of the system. In this case, attachable to the object devices are called the inertial dynamic quenchers. The inertial quencher is used to suppress harmonic mono or narrowband random fluctuations.

During a vibration's load of the wider frequency range the second method is preferred. It is based on increasing dissipative properties of the system by attaching to the object additional specific damping elements. Dynamic quencher dissipative types are called absorbers vibrations [1]. The combined ways of the dynamic quenching using both correction elastic-inertial and dissipative properties of the system are also possible. In such cases we talk about the dynamic quencher of friction.

When implementing dynamic quencher counteraction fluctuations the object carried by reactions that are passed to it attached bodies. For this reason, considerable efforts with limited amplitudes masses adjusted, can be achieved only by large mass (moment of inertia) connected bodies, typically ≈ 5 ... 20% of the reduced mass (moment of inertia) primary system appropriate form of vibrations within the frequency quenching which is performed respectively [1].

Dynamic quencher can be constructively implemented based on the passive elements (masses, springs, shock absorbers, dampers) and the active ones, which have their own power sources.

In the last case, we are talking about the use of the automatic control systems that use electric, hydraulic and pneumatic driven elements. Successful is their combination of passive devices, an example of which is the shock absorber.

Hydraulic shock absorbers became the most commonly used. In hydraulic shock absorber the resistance force depends on the speed of movement of rod. Working medium - oil. The principle of operation of the shock absorber is based on the reciprocating movement of the piston shock absorber, which through a small hole puts an oil from one chamber to another, converting mechanical energy in the heat energy.

Today, the generally used solutions for vibration damping devices are those which utilize the hydraulic elements. Hydraulic dampers as opposed to friction ones, have the longer duration of work and can dempfering a small oscillation amplitude.

Nowadays, the most promising is the hydraulic vibration damping system, which is designed based on hydraulic shock absorbers and dampers.

In the design of hydraulic systems blanking dynamic fluctuations must be considered dynamic characteristics of systems, which, in particular, the transfer speed signals and the total system performance, pressure fluctuations in various points of the system (including hydraulic shocks), sustainability and quality of system transients.

Movement of actuating mechanism always comes with some delay in relation to the input signal. The identification of the delay's amount allows to perform the dynamic system's, the total response time and the need to introduce appropriate units to compensate for the delay calculation, depending on the frequency control signal and set when the corresponding pulses.

To perform the system's calculations it is necessary to know the basic system parameters, including the size of pipelines, hydraulic and mechanical resistance properties of the working fluid and hydraulic machines, hydraulic power source characteristics [2].

Total delay time of the system's response can be defined as a first approximation by the formula:

$$t_з = \frac{\Delta V + V_1}{Q_Н + 0{,}5 Q_В}, \tag{1}$$

where ΔV – reduces the volume of liquid in the system by increasing the pressure on the value of Δp (m^3); V_1 – volume of fluid required to filled-tion of additional volumes in the system (m^3); $Q_В$ – leak in the system for working pressure $\left(m^3/s\right)$; $Q_Н$ – the nominal flow rate in the system. $\left(m^3/s\right)$.

In this case $Q_Н$ and V_1 determined from the formula:

$$Q_Н = \frac{17{,}1 \cdot N_Н}{P_Н}, \tag{2}$$

where $N_Н$ - hydraulic drive power (kW); $P_Н$ - nominal pressure hydraulic system (MPa).

The volume of the fluid required to fill the additional volume in the system (V_1), is 5 ... 10% of the total volume of fluid in the hydraulic system (V(m^3)). The total volume of fluid in the hydraulic system is calculated as follows:

$$V = V_{con.} + V_{\text{equip.}}, \tag{3}$$

where $V_{equip.}$ - the amount of hydraulic fluid that is equipped in hydraulic system (m^3); $V_{con.}$ - The amount of hydraulic fluid that is in the pipeline hydraulic system (3), which is calculated by the equation:

$$V_{\text{con.}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L, \tag{4}$$

where L - total length of pipelines (m); D - internal diameter hydraulic of the pipeline (m^2), calculated by the formula:

$$D = 4{,}5 \cdot \sqrt{Q_Н / W}, \tag{5}$$

where W - speed liquid is in the hydraulic system at a prescribed pressure (m/s).

$$V_1 = (0{,}05...0{,}1) \cdot V. \tag{6}$$

At first approaching the delay operation of the system (1) we obtain the equation:

$$t_d = \frac{\Delta V + V_1}{Q_Н} \cdot \frac{1}{1 - \dfrac{Q_В}{2Q_Н}}. \tag{7}$$

In the view of that:

$$Q_В = K_В \cdot P, \tag{8}$$

where P - operating pressure in the system (MPa); $K_В$ - the coefficient of leakage of liquid, received from the equation:

$$K_В = j \cdot \frac{61{,}2 \cdot N_Н}{P^2}, \tag{9}$$

where j - coefficient of that changes the units of measurement of l/min. in m^3/s and 0.278 matter.

In this case, reduce the volume of liquid in the system while increasing pressure on the value of Δp is calculated as follows:

$$\Delta V = \delta \cdot S_1 \cdot L, \tag{10}$$

where δ - coefficient of decrease of the liquid, which depends on the operating pressure; S_1 - cross-section inner diameter hydraulic of the pipeline (m^2).

Moreover, S_1 is calculated as follows:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}. \tag{11}$$

In the final order determining equations will get simplified the delay triggering, performance, which will look like:

$$t_{\text{d}} = \frac{\delta S_1 L + V_1}{Q_{\text{H}} - 0{,}5 K_{\text{B}} P}. \tag{12}$$

From dependence is obvious that to reduce the delay's time triggering it is necessary:

1) working channels and pipelines should be as short and rigid;
2) volume losses should lowered to a minimum;
3) pump capacity should be significant.

In general, the performance of the quencher dynamic oscillations is determined for each a particular system, provided that the signal can be transmitted with a specific delay, but performance must be such as not to violate the stability of the all circuit.

To achieve the stated conditions, we need to know period the cleavage of soil that need to find the time at which the dynamic working organ ripper makes one complete cycle of the movement (T_{c}) [3], and is inversely to the average oscillation frequency maxima of cutting the soil, and is given by:

$$T_{\text{c}} = \frac{1}{\overline{n}_M};\ \text{(s)} \tag{13}$$

$$\overline{n}_M = \frac{\overline{n}_0}{0{,}63 \ldots 0{,}87};\ \left(\frac{1}{s}\right), \tag{14}$$

where $\overline{n}_0 = (2{,}0 \ldots 2{,}8)\dfrac{V_{\text{work equi.}}}{H}\left(\dfrac{1}{s}\right)$ – the average oscillation frequency of cutting soil H - loosening depth (m), $V_{\text{work equip.}}$ - speed of the working body.

Determine the dependence of time the delay triggering quencher dynamic fluctuations of hydraulic parameters.

Suppose that a dynamic body of work in rocky soil at a depth of H = 0.3 (m), in which case the rate of dynamic body is V = 3 (m/s).

First of all determine the period shearing soil:

$$T_{\text{c}} = \frac{1}{\overline{n}_M} = \frac{1}{15{,}3} = 0{,}09\ \text{s}.$$

Determine a relationship (14) middle frequency oscillation cutting forces:

$$\overline{n}_M = \frac{\overline{n}_0}{0{,}63 \ldots 0{,}87} = \frac{13{,}3}{0{,}87} = 15{,}3\left(\frac{1}{s}\right).\ \overline{n}_0 = (2{,}0 \ldots 2{,}8)\frac{V_{\text{work equi/.}}}{H} = 2 \cdot \frac{2}{0{,}3} = 13{,}3\left(\frac{1}{s}\right).$$

Initial data hydraulic system blanking dynamic oscillations:

N_{H} = 100 kW; P_{H} = 25 MPa; P = 30 MPa; L = 20 m; W = 4.25 m/s.

Carry out a calculation:

$$Q_{\text{H}} = \frac{17{,}1 \cdot 100}{25} = 68{,}1\ \text{m}^3/\text{s};\ D = 4{,}5 \cdot \sqrt{68{,}1/4{,}25} = 18\ \text{mm};$$

$$V_{\text{con.}} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}018^2}{4} \cdot 20 = 0{,}0051\ \text{m}^2;\ V_1 = (0{,}0051 + 0{,}0549) \cdot 0{,}1 = 0{,}006\ \text{m}^3;$$

$$S_1 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}018^2}{4} = 0{,}00026\ \text{m}^2;\ K_{\text{B}} = 0{,}278 \cdot \frac{61{,}2 \cdot 100}{30^2} = 1{,}89\ \text{kW/MPa}^2;$$

$$t_{\text{d}} = \frac{30 \cdot 0{,}00026 \cdot 20 + 0{,}006}{68{,}1 - 0{,}5 \cdot 1{,}89 \cdot 30} = 0{,}004 \text{ s.}$$

From the resulting example we can conclude that the system performance satisfies oscillation quenching specified condition of this dynamic organ as triggering delay is less than 15% of the period shearing soil.

By changing parameters of the hydraulic system dynamic quenching fluctuations - namely the supply hydraulic fluid in the system and reduce fluid volume ratio, and substituting in the present calculation, we plot the dependence of the delay in operation of the hydraulic system dynamic quenching oscillation (speed) of hydraulic fluid supply system (Fig. 1*a*) and from coefficient reduction of fluid (Fig. 1*b*).

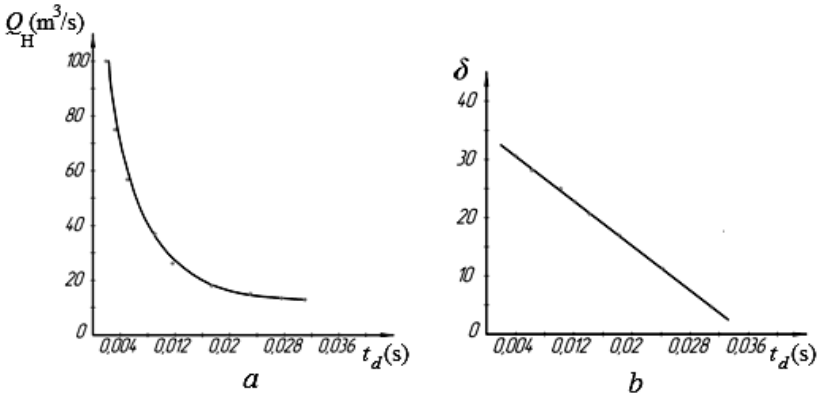


Figure 1. *a* - graph of the time delay operation hydraulic blanking dynamic fluctuations of supply of hydraulic fluid. *b* - graph of the time delay operation hydraulic blanking dynamic fluctuations of coefficient reduce the amount of fluid

The hydraulic quencher dynamic fluctuations was developed to improve the efficiency of dynamic quenching of oscillations, it is based on the use of the system mentioned above.

Quencher dynamic oscillations (Fig.2,3) works as follows.

Vibrations that are transmitted from the working body to the base machine blanked with the help dynamic fluctuations quencher 1. At active work oscillatory body rod 3 tries to reproduce vibrational motion in the housing 2. However, when the direction of the vibrational motion is reproduced, for example, left by movement of fluid through the the holes throttled 6 plunger 4, 8 rods blocking valve and plunger valve 11 moving blocking right. Thus blocking rods 8 pressed to valve rods washer 7. Meanwhile blocking plunger valve 11 pressed to plunger 4, blocking throttling holes 6, so that the liquid begins to flow through passage the holes 12, which extinguished the movement of the rod 3 left. Once the plunger 4 reaches the reed switch 14, the magnetic field of the magnet constant step 5 shut reed contacts 14 (Fig. 3, *b*). The signal will go to detention relay 22, which shut normally open contact 23. He, in turn, turned on the delay relay exclusion 24. After that delay relay exclusion shut 24 contact 25, which starts the electromagnetic control 21. The electromagnetic control 21 toggles the distributor 18 in the left position. Hydraulic pump 15 through a variable orifice with check valve 26, which regulates the supply of hydraulic fluid distributor 18 and pressure line 19 takes an additional portion of the fluid in the plunger cavity quencher dynamic fluctuations 1. Excess fluid flows out of rods quencher dynamic cavity oscillations 1 through the drain line 20 and distributor 18 to a tank of hydraulic fluid 16. When plunger 3 moves to the right by moving the working fluid through the throttling holes 6, 8 rods blocking valve and plunger valve 11 blocking move left. Plunger blocking valve plunger 11 pressed to washer 10 and rods blocking valve 8 pressed to plunger 4 blocking throttling holes 6. As a result, the liquid begins to flow through passage 9 the holes, putting the movement of the rod 3 right. Once the plunger 4 moves away from the reed switch 14 and the magnetic field of the magnet constant step 5 stops to influence the reed switch 14 (reed switch contacts open up 14), the signal ceases to be submitted normally open contact 23. He, in turn, relay switching delay open up exclusion 24. It will work for a while, allowing the hydraulic

pump 15 to submit several additional portions of the liquid in the plunger cavity oscillations quencher 1-for-4 plunger removal of reed switch 14. After exclusion of 24 delay relay contact will turn off 25, 21 control the electromagnetic switch distributor 18 in the far right position, then feed additional portion of the liquid to the quencher dynamic fluctuations 1 end.

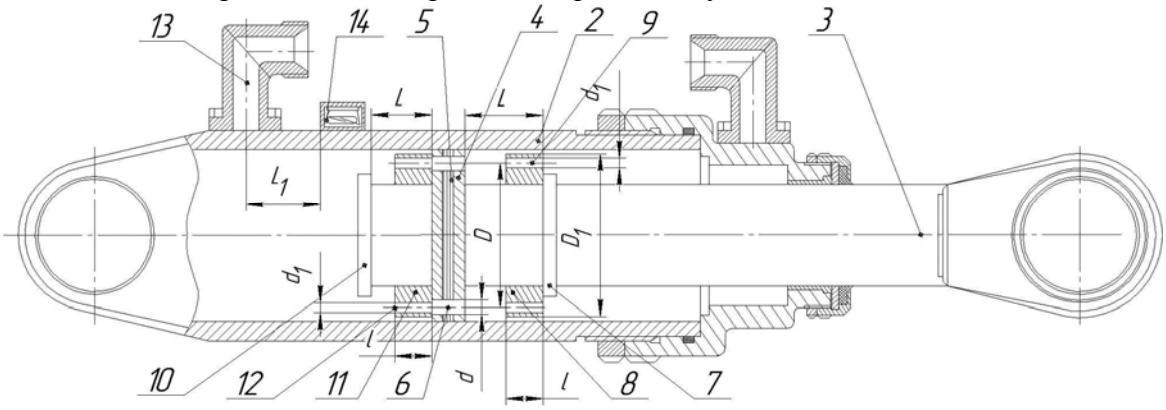


Figure 2. Quencher dynamic fluctuations

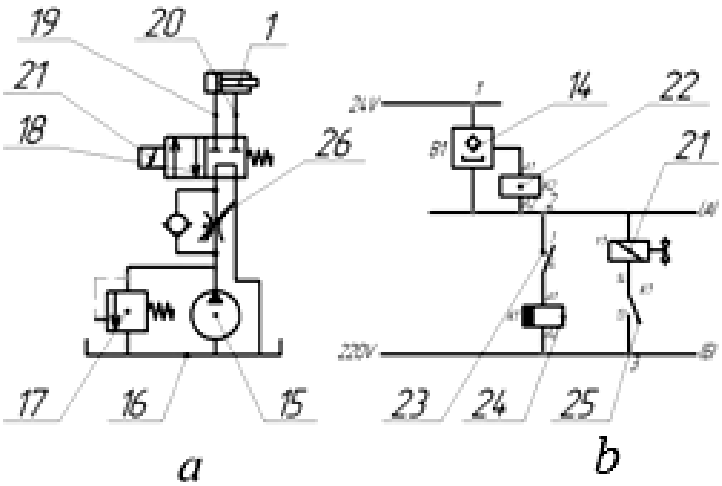


Figure 3. The hydraulic circuit control quencher dynamic oscillations *a* and electrical circuit control distributor *b*

Because of the dynamic fluctuations quencher 1 reduced dynamic fluctuations in the base machine, during the working bodies active action.

Based on the analysis of dynamic cushioning devices for vibration in the hydraulic system, the mathematical model of the process of determining the delay's time of their operation, which allows you to design these systems.

A new design of hydraulic blanking dynamic fluctuations with the ability to change the parameters of the filing.

The design provides adjustable vibro base machine from vibrations attachments.

REFERENCES

1. Chelomej V.N., 1981. Vibracii v tehnike: Spravochnik: V 6 t. / Red. Sovet: (pred.).-M.: Mashinostroenie, T. 6. - 456.
2. M. Gijom. 1964. Issledovanie i raschet gidravlicheskih sistem.-M.: Mashinostroenie,– 387.
3. Vetrov Ju.A. Vlasov V.V. 1995. Mashini dlja zemljanih robit. Prikladi rozrahunku: Navch. posibnik. – K.:ISDO, 304.

КЕРУВАННЯ ЗВЕДЕНОЮ ЖОРСТКІСТЮ СТАЛЕВОГО КАНАТА ЯК СПОСІБ СИНТЕЗУ ЕФЕКТИВНИХ ПРУЖНО-ДЕМПФУЮЧИХ ЛАНОК МАШИН

Проценко В.О., Клементьєва О.Ю.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Задача створення пружних ланок, що мають змінну жорсткість привела дослідників до розробки ряду оригінальних пристроїв: муфт, пружних елементів, вантажних підвісок. Відомі на сьогодні способи забезпечення перемінної жорсткості пружних ланок створених на основі пружних елементів універсальної конструкції із власною лінійною характеристикою, для прикладу застосування їх у муфтах, в [1] узагальнено до таких:

а) послідовне навантаження пружних елементів;

б) «нетрадиційний» спосіб навантаження пружних елементів;

в) забезпечення змінного положення точки (лінії) прикладення навантаження до пружного елемента.

Проведені в [1] приклади конструктивних рішень, що відповідають наведеній класифікації підтверджують її недостатню чіткість та формалізованість, що ускладнює реалізацію системного підходу у синтезі нових технічних рішень. Так наведені приклади конструкцій для випадків б) і в) фактично можуть бути обидва віднесені до випадку в), оскільки конструкції по типу [2], які в наведеній класифікації віднесено до випадку б) як раз реалізують зміну лінії прикладення навантаження до пружних елементів (в даному випадку гвинтових пружин).

Ці обставини вимагають уточнення класифікації способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок з метою формалізації опису та організації системного синтезу цих технічних рішень.

Для досягнення поставленої мети на початковому етапі запишемо узагальнену формулу [3] для визначення деформації січення *ДС*:

$$ДС = \frac{ВСФ}{ЖС}, \tag{1}$$

де *ВСФ* – внутрішній силовий фактор (сила *F*, згинальний момент *M*, крутний момент *T*);

ЖС – жорсткість січення стрижня.

В той же час:

$$ЖС = M \times ГХС, \tag{2}$$

де *M* – модуль пружності матеріалу;

ГХС – геометрична характеристика січення.

Або

$$ДС = \frac{ВСФ}{M \times ГХС}. \tag{3}$$

Оскільки деформація *ДС* базового пружного елемента визначає жорсткість пружної ланки у якій впроваджено цей пружний елемент, формула (3) дозволяє уточнити запропоновану в [1] класифікацію та намітити напрямки створення нових прогресивних пружних ланок. Отже класифікація способів забезпечення перемінної жорсткості пружних ланок на основі пружних елементів універсальної конструкції із власною лінійною характеристикою, з урахуванням [4] може бути удосконалена до наступної:

а) послідовне навантаження пружних елементів;

б) попереднє навантаження (деформація) пружних елементів

в) забезпечення змінного положення точки (лінії) прикладення навантаження до пружного елемента (зміна навантаження на пружний елемент, а отже і *ВСФ*);

г) зміна геометричної характеристики січення *ГХС* пружного елементу (а відтак і *ЖС*).

За варіантом г) розроблено та досліджено пружні ланки (муфти) зі зворотнім механічним зв'язком [4].

Наведена уточнена класифікація допускає розширення за рахунок зміни *ЖС* (формула (1)) без зміни *ГХС*, або за її незначної зміни. Однак для класичних суцільних пружних елементів, що виготовлені з матеріалів, для яких модуль пружності *M* незмінний цей варіант не є можливим. Очевидне виключення становлять еластомірні елементи, які характеризуються рядом відомих недоліків.

Серед суцільнометалевих елементів можливістю зміни *ЖС* без зміни *ГХС* характеризуються тільки сталеві канати, це доведено роботами професорів П.П. Нестерова, М.Ф. Глушко, Б.С. Ковальського, С.Т. Сергеєва, В.А. Малиновського, І.М. Чаюна [7-10] та ін. Перспективність застосування сталевих канатів у якості пружних елементів різноманітних машин доведена багатьма дослідниками.

Дослідженнями проф. В.А. Малиновського [9] встановлено, що зведена згинальна жорсткість каната $\overline{B}$ складається з жорсткості *B*, обумовленої пружною деформацією дротин та трибожорсткості *b* від тертя дротів і сталок між собою:

$$\overline{B} = B \pm b. \tag{4}$$

Питання міцності та конструювання сталевих канатів були детально розроблені завдяки роботам проф. М.Ф. Глушко, яким були отримані диференційні рівняння статики каната [8]. На основі цих рівнянь, М.Ф. Глушко, розглянувши аналогію згину каната і щільно звитої пружини, отримав формули для визначення пружної згинальної жорсткості канатів одинарної та подвійної звивки ТК, загального вигляду:

$$B = n^{/} g^{/} + 10^{-3}(a_1 + a_2\sigma_p)\Delta^4, \tag{5}$$

де $n^{/}$ - кількість сталок у канаті;

$g^{/}$ - згинальна жорсткість окремої сталки;

$a_{1,2,3}$ – коефіцієнти, що залежать від конструкції канатів;

Δ – діаметр сталки;

σ_p – середнє напруження розтягу.

З наведеного матеріалу можна виділити два напрямки керування згинальною жорсткістю сталевих канатів та пружних ланок на їх базі: зміна пружної жорсткості каната *B* та зміна трибожорсткості *b*. Зміна пружної жорсткості *B*, з аналізу формули (5), можлива за рахунок зміни натягу канатів (при цьому зміниться σ_p), а також (суто теоретично) включенням в роботу лише частини сталок та зміною згинальної жорсткості сталок. Зміна трибожорсткості *b* можлива за рахунок зміни радіусу кривизна та напрямку згину, а також примусовим закручуванням чи розкручуванням каната.

Аналогічні висновки можна дістати з розгляду моделі розтягувальної $\overline{A}$ (6) та крутильної $\overline{G}$ (7) жорсткості у квазіпружній постановці також розроблених проф. В.А. Малиновським [11]:

$$\overline{A} = A \pm a, \tag{6}$$

$$\overline{G} = G \pm g, \tag{7}$$

де *A* – пружна розтягувальна жорсткість;

a – трибожорсткість при розтягу;

G – пружна крутильна жорсткість;

g – трибожорсткість при крученні.

Аналізуючи формули [8] для визначення пружних жорсткостей *A* та *G* можна зробити висновок, що вони залежать головним чином від конструкції та геометрії каната, яку змінювати в процесі роботи не можливо – єдиним резервом зміни жорсткості

залишається керування трибожорсткостями a та g за рахунок закручування чи розкручування каната.

Наведеними моделями не охоплено такий вид опору каната як стиск. Оскільки робота канатів на стиск у поширених випадках їх використання є нетиповою, однак для створення пружних елементів, що працюють на стиск сталеві канати є дуже перспективними, оскільки мають при стискуванні власну нелінійну характеристику [12], що формує умови для їх застосування у пружних ланках із змінною жорсткістю.

Для зведеної стискальної жорсткості (**c**ompression rigidity) $\overline{C}$ каната по аналогії з формулами проф. В.А. Малиновського можна записати:

$$\overline{C} = C \pm c, \tag{8}$$

де C – пружна стискальна жорсткість;

c – трибожорсткість при стиску.

Очевидно, що найбільш простим засобом зміни зведеної стискальної жорсткості $\overline{C}$ є закручування чи розкручування каната.

З огляду на викладене, практичні перспективи створення пружних ланок із керованою жорсткістю можуть бути проілюстрована наступною блок-схемою (рис. 1).

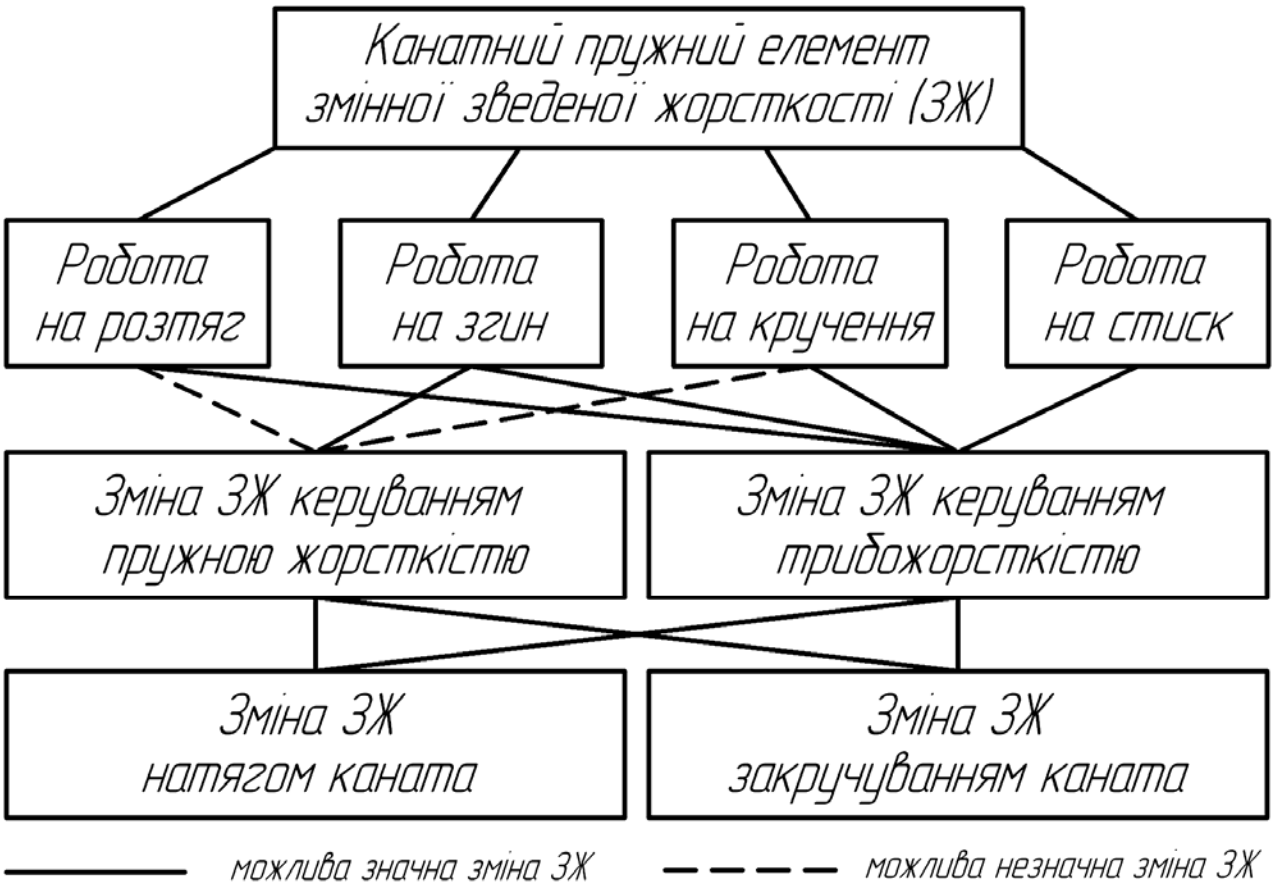


Рисунок 1. Блок-схема синтезу пружних ланок змінної жорсткості на основі сталевих канатів

Виконання в даній роботі аналізу дозволило уточнити існуючу класифікацію способів забезпечення перемінної жорсткості пружних ланок на основі пружних елементів універсальної конструкції із власною лінійною характеристикою, що дозволяє формалізувати їх опис та спростити організацію системного синтезу цих технічних рішень.

Розроблена блок-схема синтезу пружних ланок змінної жорсткості на основі сталевих канатів також дозволяє застосувати системний підхід у синтезі таких технічних рішень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сидоренко І.І. Пружна муфта з нелінійним механічним зворотним зв'язком / І.І. Сидоренко, В.О. Курган // Праці Одеського політехнічного університету. - 2011. - Вип. 2. - С. 38-45.

2. Панов С.Л. Исследование упругих муфт квазинулевой жесткости: автореферат дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.02 – машиноведение и детали машин / С.Л. Панов. – Харьков, 1979. – 24 с.

3. Чаюн И.М. Сопротивление материалов / И.М. Чаюн. – Одесса: Изд-во «Optimum», 2013. - 376 с.

4. Ніколайчук В.В. Обґрунтування кінематично-силових параметрів з’єднань змінної жорсткості: автореферат дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.02 – машинознавство / В.В. Ніколайчук. – Львів, 2014. – 18 с.

5. Яхин С.М. Совершенствование методов расчета и повышение надежности пружинних элементов сельскохозяйственной техники: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.20.03 – технологи и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве / С.М. Яхин. – М., 2013. – 32 с.

6. Сидоренко І.І. Розроблення пружних муфт з механічним зворотнім звязком крутильної жорсткості за крутильним моментом, що передається: автореферат дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.02 – машинознавство та деталі машин / І.І. Сидоренко. – Одеса, 1994. – 18 с.

7. Нестеров П.П. Проходческие канаты / П.П. Нестеров, С.Т. Сергеев. – Харьков: Металлургиздат, 1953. – 188 с.

8. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты / М.Ф. Глушко. – К.: Техніка, 1966. – 327 с.

9. Малиновский В.А. Особенности механики подъемных и тягових канатов с учетом нелинейных и квазиупругих свойств: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.05.05 – подъемно-транспортные машины; 05.15.16 – горные машины / В.А. Малиновский. – Днепропетровск, 1996. – 36 с.

10. Чаюн И.М. Статическая несущая способность подъемных канатов: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.02.02 – машиноведение; 05.05.05 – подъемно-транспортные машины / И.М. Чаюн. – Одесса, 1993. – 36 с.

11. Малиновский В.А. Влияние внутреннего конструкционного трения на кручение шахтних канатов / В.А. Малиновский, А.А. Пригода // Бюллетень МАИСК. – 2012. – № 9 – С. 22-38.

12. Проценко В.О. Обґрунтування можливості застосування стиснутих сталевих канатів як пружних елементів сучасних машин / В.О. Проценко // Стальные канаты. – Одесса: Астропринт, – 2013. – № 9. – С. 232-238.

СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ РЕДУКТОРІВ РІЗАЛЬНО-ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО АПАРАТУ

Самарін О.Є.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Різально-подрібнювальний апарат, що встановлюється на кукурудзозбиральних машинах КМС-6 та КМС-8, призначено для зрізання, часткового подрібнення та розкидання стебел кукурудзи по полю [1].

Апарат працює в умовах високих ударних навантажень, що викликано значною масою стебел та листя, яке попадає в зону різання. Крім того, стебла у комлевій частині у період повної стиглості кукурудзи стають одерев'янілими і дають значний опір при зрізанні.

Згідно з агротехнічними вимогами, висота зрізання стебла має бути 100мм. Тому ножі працюють у безпосередній близькості до поверхні ґрунту. При цьому вони піднімають частки грунту і дрібне каміння. Така повітряно-пилова маса діє як абразивний матеріал, виводить з ладу ножі, а при недостатньому ущільненні редуктора може попасти у середину та вивести його з ладу.

Метою дослідження є перевірка надійності роботи різально-подрібнювального апарату з редукторами різних виробників.

Об'єктами дослідження є серійний різально-подрібнювальний апарату КМС-19.000В та апарат з редуктором S2041125000 виробництва «Бандіолі Павезі» (Італія).

Різально-подрібнювальний апарат представляє собою вертикальний редуктор (рис.1), у якому розташована закрита конічна передача, що включає зубчасте колесо 7 та вал-шестерню17, встановлені у підшипниках. На маточині 12 вала-шестерні 17 шарнірно закріплено два ножа 1.

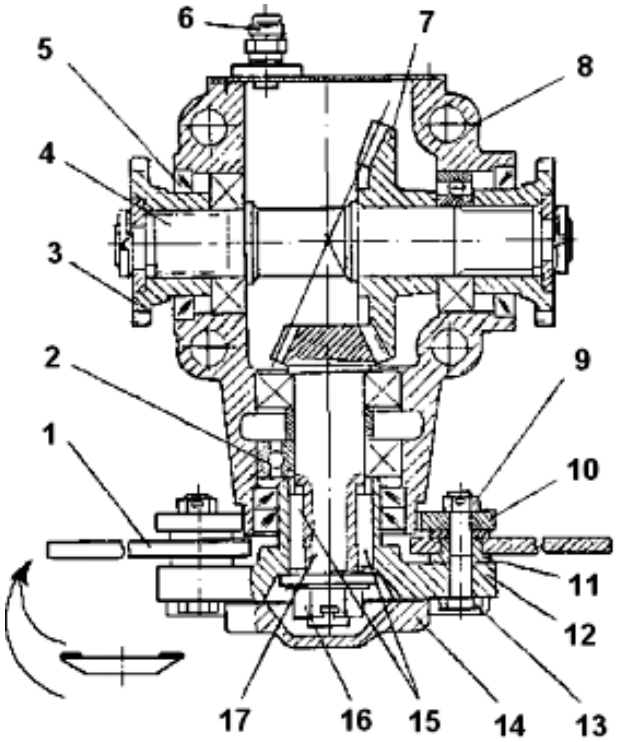


Рисунок 1. Серійний різально-подрібнювальний апарат КМС-19.000В
1 – ніж; 2 – підшипник; 3 – напівмуфта; 4 – вал; 5 – манжета; 6 – сапун; 7 – колесо зубчасте; 8 – корпус; 9, 16 – гайка; 10 – колесо; 11 – вкладиш; 12 – маточина; 13 – болт 2М12х55; 14 – кришка; 15 – шпонка; 17 – вал-шестерня

Технічні характеристики різально-подрібнювального апарату наведено у табл.1

Таблиця 1. Технічні характеристики різально-подрібнювального апарату

Найменування показників	Значення
Тип	редукторний с шарнирно закрепленными ножами
Тип ножа	плоский с двома різальними кромками
Кількість ножів в апараті	2
Діаметр по кінцях ножів, мм	550
Частота обертання, $хв^{-1}$	1980

З метою розширення виробництва, а також отримання надійного постачальника комплектуючих виробів, було прийнято рішення разом з редукторами власного виробництва застосувати імпортні.

В лабораторії конструкторського бюро проведено стендові випробування редуктора S2041125000 (рис.2), що був поставлений ТОВ «Бандіолі Павезі в Україні» [2].

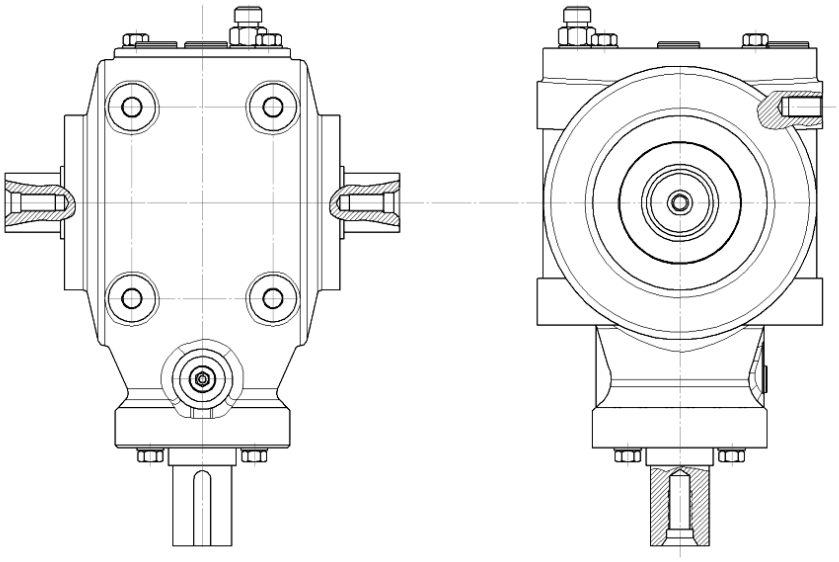


Рисунок 2. Редуктор S2041125000 виробництва «Бандіолі Павезі» (Італія)

Перед початком випробувань редуктор було заправлено трансмісійним маслом ТАп-15В по верхній відмітці штатного щупа. Кінематична в'язкість указаного масла становить 15 $мм^2$/мм при 100^0С.

При прокручуванні редуктора з встановленими ножами у режимі холостого ходу на стенді з частотою обертання вхідного вала 880 $хв^{-1}$ корпус редуктора нагрівся до $+64^0$С при температурі навколишнього повітря $+10^0$С. При цьому спостерігалось підтікання масла з-під металевої кришки вихідного вала, на якому закріплено ножі. Після 28 годин роботи на стенді витікло 80мл масла.

Конструкція редукторів S2041125000 передбачає фіксацію вала-шестерні, на якій встановлено маточина кріплення ножів. Від торцевих переміщень маточина стопориться болтом, що через шайбу вкручений в торець вала. При цьому довжина маточини має бути більше, ніж відстань від торця вала-шестерні до торця упорної втулки підшипника для забезпечення гарантованого затягування пакета.

Відстань від торця вала-шестерні до торця упорної втулки підшипника по кресленню редуктора S2041125000 становить 48мм. Фактично на редукторі, що проходив випробування, ця відстань дорівнює 48,5мм. Крім того, замість маточини кріплення ножів довжиною 50мм, яка передбачена по конструкторській документації, була встановлена маточина довжиною 48,3мм.

У результаті цього, при роботі вал-шестерня могла переміщатись в осьовому напрямку у межах 0,2мм, тобто ущільнювальна кромка манжети могла переміщатись по полірованій поверхні упорної втулки підшипника у межах 0,2мм.

Такі переміщення не могли викликати пошкодження манжети, тим більше всього за 28 годин роботи.

Причиною підтікання масла є те, що в редукторі S2041125000, що працює в умовах підвищеної запиленості, застосована одна однокромочна манжета без пильника.

Рекомендовано замість однієї однокромочної манжети застосувати одну манжету з пильником або дві однокромочні манжети, крайня з яких має бути з пильником.

Повторні випробування редуктора S2041125000 були проведені після його модернізації. При цьому на вихідний вал-шестерню серійного редуктора S2041125000 було встановлено манжету з пильником [3].

Для більшої об'єктивності випробування проводились і для серійного редуктора КМС-19.000В (рис.1), на якому стоять дві манжети, крайня з яких з пильником.

Редуктори по черзі встановлювались на стенд і прокручувались в режимі холостого ходу. Пилова камера, в які обертались ножі, була заповнена піском. Ножі не торкались піску, але потоком повітря створювався вихор, що піднімав частки піску, які потрапляли на ущільнення вихідних валів. У результаті цього проходила абразивна обробка вертикального вала та манжети.

Аналогічний процес відбувається і в реальних умовах експлуатації.

Результати випробувань.

Редуктор S2041125000 пропрацював 52 години і був знятий. Підтікання масла не виявлено. Температура нагрівання редуктора становила 64^0С, а рівень шуму 82 dBA, що є допустимим.

Редуктор КМС-19.000В було знято з випробувань після 80 годин роботи. Підтікання масла також не виявлено. Температура нагрівання редуктора становила 48^0С, а рівень шуму 80 dBA.

Таким чином, запропоновані рекомендації є вірними і виробнику «Бандіолі Павезі» рекомендовано провести вказані зміни у редукторі S2041125000.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кукурузоуборочные машины КМС. Руководство по эксплуатации. КМС РЭ. – Херсон.: ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод», 2013. – 80 с.

2. Протокол испытания редуктора S 2041125000 фирмы «Бандиоли Павези» от 17.12.2012, лаборатория ГСКБ ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод», Херсон - 1с.

3. Протокол сравнительных испытаний приводов ножей приставки КМС от 12.02.2013, лаборатория ГСКБ ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод», Херсон - 1 с.

К ВОПРОСУ ОБРАБОТКИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ В МАГНИТНЫХ И В МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫХ ПОЛЯХ

Скирденко О.И.
Херсонский государственный университет (Украина)

Одним из весьма простых методов повышения износостойкости режущих и других видов инструментов является их обработка в магнитных и магнитно-импульсных полях. Такая технология не требует больших материальных затрат, мало энергоемкая (т. к. обработка проводится в течение малого промежутка времени), но позволит повысить его стойкость в 1,3 ... 1,5 раза.

Несмотря на многолетние исследования влияния магнитных полей на физико-механические свойства инструментальных материалов (с 1929 года), технологические характеристики магнитнообработанных инструментов еще исследованы недостаточно, в особенности это относится к специальным видам режущих и других видов инструментов.

Анализируя современное состояние магнитно - импульсной обработки инструментальных материалов следует отметить, что Гербертом еще в 1924 году отмечалось о влиянии магнитного поля на физико-механические свойства сталей типа Р18. В исследованиях образец быстрорежущей стали подвергался воздействию магнитного поля напряженностью 120 кА/м (1500 э), при этом отмечалось повышение твердости исследуемого материала. Измерение твердости проверялось по маятниковому способу.

Продолжая исследования Герберта, А. В. Алексеев [1,2] установил влияние магнитной обработки быстрорежущих сталей на их коррозионную стойкость. Он также определил, что полученный прирост твердости до HRC 67 сохраняется и после размагничивания образцов, однако стабилизация твердости происходит только после нескольких часов после обработки.

Целый ряд опытов по термомеханико-магнитной и термомагнитной обработки стали, с целью ее упрочнения, были проведены в институте стали и сплавов, в ГДР, Болгарии, Японии.

В 1958 году во Всесоюзном научно-исследовательском инструментальном институте Л.А.Чудновской [3] исследовано влияние магнитного поля на повышение качества инструментов из различных сталей РІ8, Х12Ф1, ХВГ и других. При этом изучалось влияние переменного и постоянного магнитных полей на распад остаточного аустенита, прочность при изгибе. Установлено, что постоянное магнитное поле улучшает механические свойства сталей ХВГ и Р18 при изгибе, соответственно, на 65% и на 25%. Магнитный отпуск ускорял распад остаточного аустенита в стали Р18. Целая серия различных испытаний инструментальных материалов позволила найти оптимальные режимы их магнитной обработки и выполнить стойкостные испытания режущих инструментов. В результате испытаний установлено, что стойкость * инструментов (сверл) повышается в 1,9 раза (рис.1).

Кроме отмеченного выше анализа ранее выполненных работ по магнитной обработке режущих инструментов, представляют интерес работы, выполненные на Украине и за рубежом в последние 10-15 лет.

Многие исследователи отмечают, что в результате взаимодействия инструмента и заготовки в процессе резания под влиянием термо ЭДС возникает электромагнитная индукция, характеризующаяся напряженностью магнитного поля. Магнитное поле при этом имеет постоянную полярность, так как термо ЭДС обладает постоянной направленностью.

Магнитная и электрическая полярность определяются в каждом конкретном случае сочетанием свойств материалов инструмента и заготовки, влиянием внешних магнитных, электрических и тепловых полей, действием ряда других факторов.

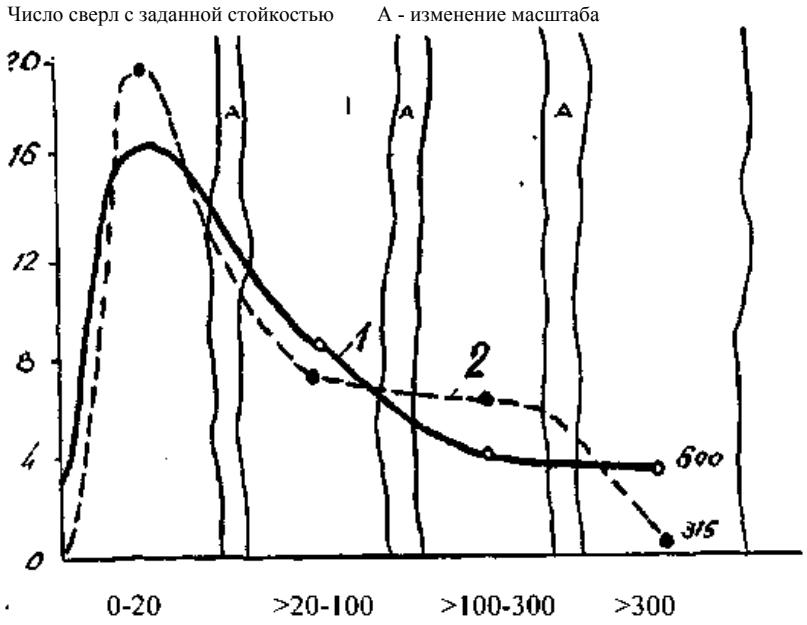


Рисунок 1. Кривые распределения стойкости сверл, подвергнутых магнитному отпуску: в течении 30 мин. (кривая 1) и стандартному трехкратному отпуску при 560°С (кривая 2).

Однако при любой полярности влияние магнитного поля приводит к накапливанию пылевидных микрочастиц металла в зоне резания, их намагничиванию и поляризации. Поляризованные частицы металла налипают на поверхности инструмента и заготовки, заряженные обратной полярностью, и действуют как абразивные микропорошки. Они создают в зоне резания эффект абразивного изнашивания и разрушения. Влияние этого эффекта распространяется на металл заготовки и инструмента. Его проявление на поверхности заготовки совпадает с целью процесса резания. Напротив эффект налипания микрочастиц на лезвие инструмента приводит к увеличению силы трения и к абразивному изнашиванию его поверхности. В результате стойкость инструмента снижается.

Таким образом, явления, возникающие в зоне резания в результате влияния магнитного поля, вызывают рост напряженности этого поля, что, в свою очередь, усиливает разрушительную силу описанных выше процессов. Следовательно, эффект разрушения лезвия инструмента под действием индуцированного магнитного поля постоянно усиливается. Развиваясь по восходящей кривой, он достигает максимального значения, характеризующегося точкой катастрофического разрушения, т.е. моментом выхода инструмента из строя.

Явления, подобные описанным выше, в той или иной степени возникают не только в паре инструмент - заготовка, но и в любой трущейся паре металлических деталей. Нельзя утверждать, что эти явления служат единственной или преобладающей причиной разрушения поверхностей инструментов или детали при резании металла или при работе трущейся пары. Однако они оказывают существенное влияние на скорость и характер протекания таких процессов.

При обработке углеродистой стали намагниченными резцами из быстрорежущей стали лучшие результаты достигаются инструментами, режущая кромка которых является северным полюсом магнита. Увеличение тока намагничивания, а следовательно, степени намагниченности до предела магнитного насыщения, приводит к возрастанию стойкости резцов. Влияние намагничивания на изнашивание резцов особенно заметно при работе с малыми значениями подачи (до 0,14 мм/об) и скорости резания до 15 м/мин. Намагничивающей обработке подвергают стальные режущие инструменты: резцы, сверла, развертки, метчики, плашки и др., а также ножи, матрицы и пуансоны разделительных штампов для холодной штамповки.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ҐРУНТОРУЙНУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА ЇХ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ

Фомін А.В., Тетерятник О.А., Костенюк О.О.
Київський національний університет будівництва і архітектури (Україна)

Вступ. Робочі процеси ґрунторуйнуючої техніки за комплексного і системного підходу досліджуються як системи, що складаються з таких значимих елементів підсистеми комплексу, як робоче середовище, ґрунторуйнуюча техніка, власне процеси взаємодії ґрунторуйнуючої техніки з робочим середовищем і зовнішні впливи. Крім того цій системі притаманний синергетичний характер взаємодії між складовими підсистемами.

Актуальність досліджень. Із аналізу досліджень, що викладені в роботах [1, 2] можна зробити висновок, що подальший розвиток ґрунторуйнуючої техніки та їх робочих процесів полягає в застосуванні мехатронного принципу для розробки конструкцій ґрунторуйнуючих машин і формуванні їх робочих процесів. Мехатронний принцип полягає в синергетичному об’єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними і комп’ютерними компонентами та програмного забезпечення з метою керування функціональними рухами машин.

Невирішеною проблемою є зменшення енерговитрат та матеріалоємності техніки, підвищення точності рухів робочих органів ґрунторуйнуючих машин.

Метою роботи є максимальне зменшення енергоємності розробки ґрунтів за рахунок удосконалення конструкції ґрунторозроблювальної техніки на основі мехатронного принципу і синергетичного аналізу взаємодії всіх складових систем робочих процесів ґрунторуйнуючих машин.

Задачею даного дослідження є розробка механічних складових мехатронного комплексу ґрунторуйнуючих машин.

Постановка задачі. Особливістю розробки механічних компонентів мехатронних систем є вимоги максимального зменшення розмірів устаткування, компактність його компонування та врахування самоорганізації геометричних форм складових конструкцій.

Значне зменшення розмірів ґрунторуйнуючого устаткування можна досягти за рахунок перерозподілу енергетичних потоків (встановлення індивідуального двигуна безпосередньо на робочому органі) та особливості орієнтації робочого органа відносно забою ґрунту. Принципи формування ґрунтового забою базуються на залученні існуючих природних фізичних полів до процесу руйнування робочих середовищ. Відомо, що всі реальні матеріальні процеси в природі в загальному результаті протікають в бік збільшення ентропії, тому процеси руйнування робочих середовищ повинні бути співнапрямлені в напрямку самодовільного протікання природних процесів.

Зазначені принципи закладено в дисковому робочому органі траншеєкопача [3], що являє собою диск з різальними і транспортуючими елементами, що розташовані на його робочій поверхні. Нахил диску під деяким кутом α в вертикальній площині у напрямку, протилежному швидкості подачі, формує забій таким чином, що ґрунт знаходиться над робочим органом (рис. 1). Завдяки цьому сила тяжіння, яка створюється гравітаційним полем землі, діє на частки ґрунту і напрямлена на відрив цих часток від забою. Це призводить до зменшення необхідної сили руйнування робочого середовища.

Крім того, ґрунт над робочим органом постійно знаходиться під дією хвиль напружень (деформацій), які виникають під час одиничних сколів ґрунту внаслідок високої швидкості різання. В об’ємі ґрунту, що знаходиться над диском, формується коливально-хвильовий напружено деформований стан, що є суперпозицією прямих хвиль, які виникають від швидкісної дії різальних елементів на ґрунт під час одиничного сколу, відбитих від денної поверхні масиву ґрунту та неоднорідностей в ґрунті і переломлених

хвиль, що формуються в зонах неоднорідностей ґрунту. Внаслідок такого напружено-деформованого стану в масиві накопичуються втомні деформації.

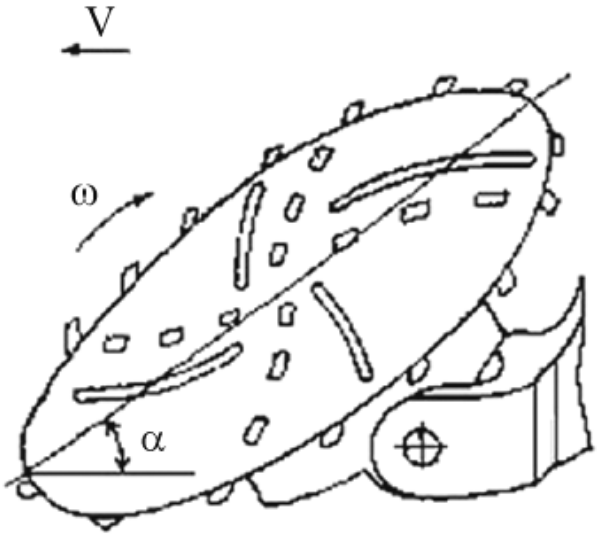


Рисунок 1. Загальний вигляд дискового робочого органа

Робочий рух різальних і транспортуючих елементів складається з обертання робочого органа відносно своєї осі та поступального переміщення базової машини і внаслідок цього відбувається руйнування ґрунту різальними елементами. При цьому міцність ґрунту значно зменшується через накопичення в ньому втомних деформацій, що призводить до зниження енергоємності різання. Додаткове зменшення енергоємності розробки ґрунту відбувається за рахунок того, що сила тяжіння сприяє відокремленню часток ґрунту від масиву. Відокремлений від масиву ґрунт самодовільно потрапляє на робочу частину диска і, за рахунок обертання диска, транспортуючими елементами виноситься із забою. Для зміни ширини траншеї в даному робочому органі передбачена можливість повороту його в горизонтальній площині. На зменшення енергоємності процесу розробки ґрунту впливає також відсутність призми волочіння.

Можливість розробки ґрунту майже на повний діаметр робочого органа, відсутність ковшів, поєднання в одному органі функцій руйнування і транспортування (відсутність метальників ґрунту), а також значне зменшення (в рази) енергоємності різання призводить до значного зменшення розмірів і маси робочого органа, що відповідає вимогам до механічних компонентів мехатронних систем.

В процесі руйнування різальні робочі органи піддаються зносу. При цьому виникає площадка зносу з від'ємним кутом, що збільшує енергоємність різання. В процесі зношування різальних елементів ґрунторуйнуючих машин можна виділити два періоди – приробки і сталого зношування. Перший період характеризується інтенсивним зношуванням різальної кромки. В цей час на задній грані починається утворення площадки зносу, профіль передньої грані поблизу різальної кромки змінюється в бік збільшення кута між поверхнею передньої грані і віссю симетрії різального елемента [4]. За межами площадки зносу задня грань практично не зношується, знос передньої грані відбувається по всій її поверхні, але його інтенсивність помітно зменшується по мірі віддалення від різальної кромки. Знос передньої грані в плані в цей період виявляється в незначному округленні кутів. Укорочення різального елемента починається після перетинання його осі симетрії зі слідами площадки зносу в вертикальній площині.

Період приробки закінчується, коли в результаті спільного зносу наконечника з боку передньої і задньої граней різальна кромка загострюється. Після цього площадка зносу набуває сталого нахилу до траєкторії різання, а обриси передньої грані в плані зберігаються приблизно подібними впродовж наступних стадій зносу.

За середніх значень кутів різання $\delta = 60\ldots30^{o}$ величина зносу має стабільну стаціонарну величину приблизно для всіх типів різальних елементів ґрунторуйнуючих машин. Експериментальні дані підтверджують наведені викладки. Так, кут нахилу площадки зносу для зубів одноківшевих екскаваторів дорівнює 7...10°, розкривних роторних екскаваторів – 8°. Досліди з визначення кута при струганні і фрезеруванні на стендах для буріння в польових умовах показали, що кут δ_1 лежить в межах від 3 до 13°. Спостереження за зносом наконечників різних конструкцій встановлена величина δ_1, що дорівнює 13...16°. Зношування моделей наконечників при куті різання супроводжувалось утворенням площадки зносу з кутом нахилу 7...8°.

Утворений кут нахилу площадки зносу до траєкторії різання є природнім для даного ґрунту і умов роботи. За такого значення δ_1 тиск у всіх точках площадки зносу має однакову величину, що підтверджується рівномірним зносом площадки зносу.

При синергетичному зв'язку між системами механічних компонентів складові підсистеми мають властивість змінювати свою структуру (тобто самоорганізовуватися) в залежності від умов функціонування та від накопленого досвіду. Самоорганізація може звязуватися з процесами тертя, через які відбувається знос контактуючих поверхонь. В цьому випадку мова йде про самоорганізацію геометричних форм [5].

Треба відмітити, що процес еволюції геометричних форм відбувається поблизу термодинамічної рівноваги. Таким чином в компонентах, де відбувається тертя, необхідно надавати поверхням тертя форм, що відповідають їх природному зносу. Цей принцип покладено в основу конструкції зуба землерийної машини [6].

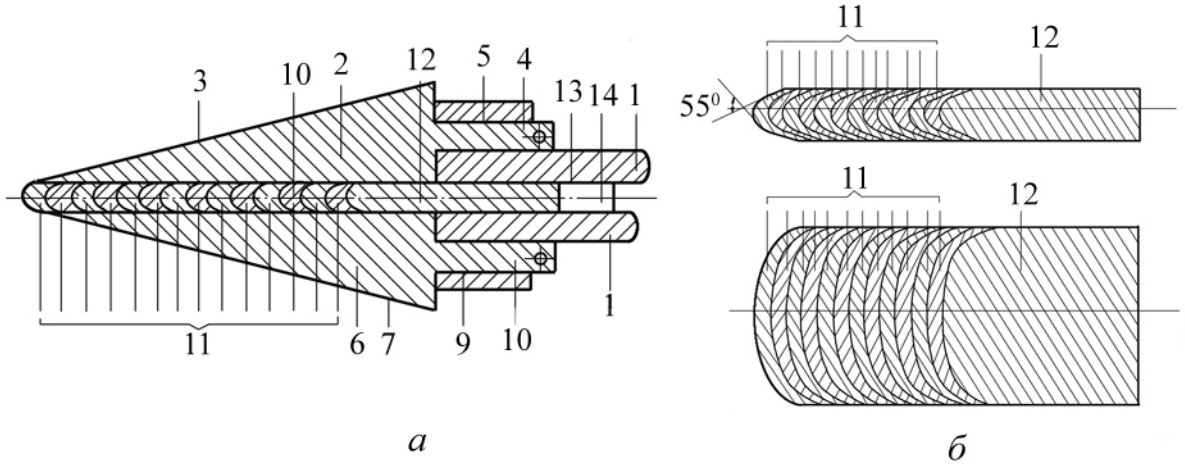


Рисунок 2. Зуб землерийної машини (*а*) та головна частина зуба з кінцевиком (*б*)

Зуб 1 землерийної машини (рис. 2) складається з верхньої частини 2 з передньою гранню 3, хвостовика 4, встановленого в паз 5 зуба, нижньої частини 6 з задньою гранню 7 і хвостовиком 8, який встановлений в паз 9 зуба і головної робочої частини 10, яку виконано з набору об'ємних елементів, що являють собою тіла зносу 11, виконані так, що внутрішня поверхня першого тіла зносу є точною копією зовнішньої поверхні другого тіла зносу, а внутрішня поверхня другого тіла зносу є копією зовнішньої поверхні третього тіла зносу і т.д. Об'ємний елемент 11 (або тіло зносу) являє собою тіло, що розташовується між зовнішньою і внутрішньою поверхнями. Зовнішня поверхня конгруентна внутрішній, тобто об'ємні елементи (тіла зносу) є повторенням один одного і таким чином заклеєні, запаяні один в другий, складаючи головну робочу частину з кінцевиком 12, яка знаходиться між верхньою і нижньою частинами. Кінцевик вставлений в карман 13 зуба і впирається в механізм подачі 14 головної робочої частини [9].

Таким чином послідовно зношуючись тіла зносу будуть замінювати один одного і протягом всього часу роботи різальна частина зуба буде мати оптимальну форму, яка і утворюється в реальних умовах процесу зносу.

Висновки. Розроблені технічні рішення дозволяють скомпонувати механічний комплекс на основі мехатронного принципу, що дозволить значно зменшити енергоємність розробки ґрунтів, покращити масові і об'ємні параметри машини та підвищити ефективність їх робочих процесів. Крім того, врахування природних зв'язків між елементами, які мають синергетичний характер в різних аспектах взаємодії між знаковими складовими мехатронного комплексу, що утворюють систему для розробки робочих середовищ, дозволяє значно знизити енергоємність руйнування ґрунтів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Параметри робочого процесу ґрунторуйнуючих технічних систем з урахуванням розподілення потоків енергії / Фомін А.В., Костенюк О.О., Тетерятник О.А., Боковня Г.І. – Зб. "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини", вип.76. Респ. межвід. науково-технічн. Збірник. Київ, 2010.

2. Синергетичний характер взаємодії адаптаційних технічних систем з робочим середовищем / Фомін А.В., Костенюк О.О., Тетерятник О.А., Боковня Г.І. – Зб. "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини", вип.82. Респ. межвід. науково-технічн. Збірник. Київ, 2013.

3. Баладинский В.Л.; Пелевин Л.Є; Фомин А.В.; Костенюк, О.О. Рабочий орган землеройной машины. Авторское свидетельство на изобретение. № 1362792, 30.12.1987, Бюл.№ 48.

4. Фомин А.В. Повышение эффективности гусеничних рыхлителей путем ограничения износа наконечников. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. Киев. 1986. 217с.

5. Шульц В.В. Форма естественного износа деталей машин и инструмента. Л.: «Машиностроение», 1990, 208с.

6. Костенюк, О.О., Пелерин Л.Е., Власов В.В., Витрив В.В. Зуб землеройной машины. Авторское свидетельство на изобретение. № 1740575, 15.06.1992, Бюл.№ 22.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАТЯЖКИ МЕМБРАНЫ ОПТОВОЛОКОННОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ НА ЕЕ ГЕОМЕТРИЮ

Худяков И.В., Алексеев А.В.

Херсонское морское училище рыбной промышленности (Украина)
Херсонская государственная морская академия (Украина)

В амплитудных оптоволоконных датчиках давления (ОВДД) отражательного типа в качестве упругого чувствительного элемента (ЧЭ) применяются мембраны. К упругим ЧЭ предъявляются высокие требования по комплексу физических параметров: при сохранении стабильности упругих характеристик – малый гистерезис, малые остаточные деформации, малые температурные погрешности, циклическая прочность, геометрическая и коррозионная стойкости. Физические параметры упругих ЧЭ в основном определяются их материалами [1; 2].

Однако, даже удачный выбор материалов не всегда позволяет получить требуемые характеристики ЧЭ ОВДД, т.к. в значительной степени эти характеристики определяются технологическим процессом изготовления данного прибора.

Цель работы определить влияние силы затяжки на геометрию деформации мембраны, изготовленной из прецизионного сплава 36НХТЮ, амплитудного оптоволоконного датчика давления отражательного типа, и их влияние на величину оптического зазора.

В рамках данного исследования был рассмотрен амплитудный ОВДД отражательного типа, предел намерений которого составляет от 0 до 30 МПа. Моделирование осуществлялось методом конечных элементов в среде SolidWorks. Метод конечных элементов является одним из основных инструментов, применяемых для моделирования датчиков и их элементов [4-6].

Оценка геометрии прогиба мембраны при условии изменения силы затяжки и постоянного давления. С использованием полученной модели ОВДД, максимально приближенного к реальной конструкции, были проведены расчеты в программном комплексе SolidWorks. В результате были оценены величины прогиба мембраны для различных величин затяжки 4, 5, 6, 7, 8 кН при дискретно изменяющимся давлении измеряемой среды в пределах 0…30 МПа с шагом 5 МПа. Результаты исследования для каждого значения давления идентичные, на рис. 1 представлены результаты для давления 5 МПа.

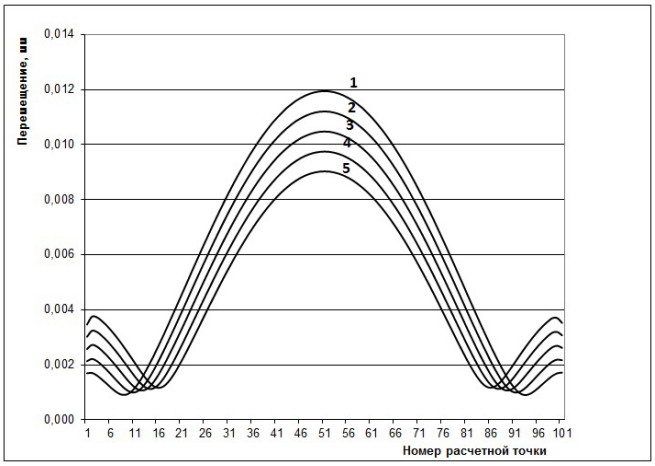


Рисунок 1. Эпюры напряженно деформированного состояния мембраны при различных силах затяжки, при постоянном давлении 5 МПа
1 – 4кН; 2 – 5кН; 3 – 6кН; 4 – 7кН; 5 – 8кН

Для расчетных точек 5, 25, 51, что соответствует численному значению 0,495мм, 2,475мм, 5,049мм от края защемленной части мембраны, оценена линейность функции изменения прогиба мембраны различной затяжки при условии постоянного давления. Результаты исследования также идентичны, на рис. 2 представлены для расчетной точки расположенной в центре мембраны.

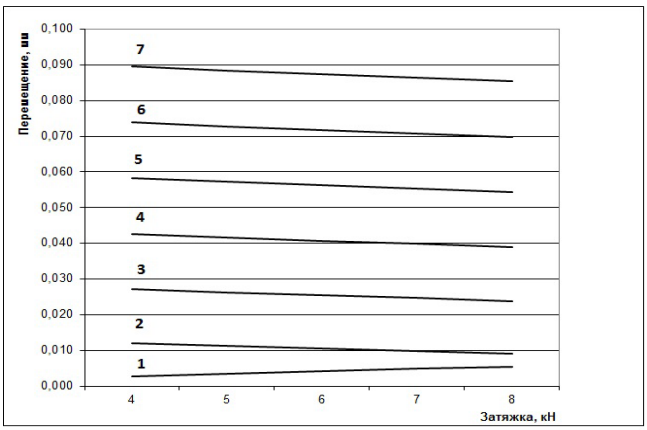


Рисунок 2. Прогиб мембраны для различных величин ее затяжки при постоянном давлении: 1 – 0МПа; 2 – 5МПа; 3 – 10МПа; 4 – 15МПа; 5 – 20МПа; 6 – 25МПа; 7 – 30МПа

При отсутствии давления увеличение силы затяжки привод к увеличению оптического зазора. Однако уже при давлении 5 МПа и выше изменение оптического зазора приобретает линейный характер, что можно объяснить ликвидацией прогиба по краям мембраны. Возникающего вследствие напряженного состояния материала. В результате затяжка приводит к нелинейности изменения оптического зазора в начале диапазона измерения давления. Чем больше затяжка, тем больше диапазон нелинейности.

Оценка геометрии прогиба мембраны при условии изменения давления и постоянной силы затяжки. Кроме исследования влияния затяжки в программном комплексе SolidWorks, производилась оценка прогиба мембраны для различных величин давления 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 МПа при дискретно изменяющейся силе затяжки 4…8 кН с шагом 1 кН. Результаты исследования для каждого значения затяжки идентичные, на рис. 3 представлены результаты для затяжки 4 кН.

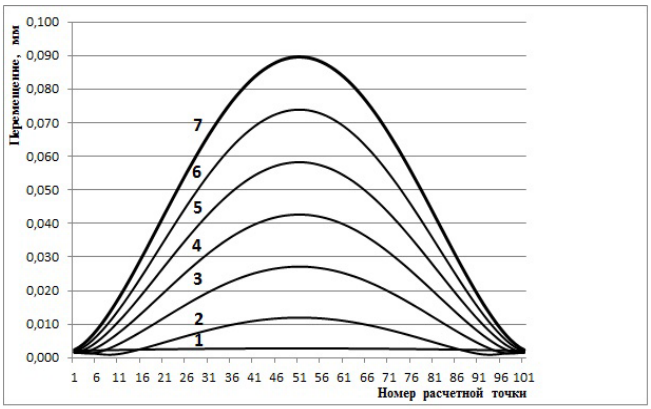


Рисунок 3. Эпюры напряженно деформированного состояния мембраны различного давления 0;5;10;15;20;25;30 МПа, при постоянной затяжке 4 кН: 1 – 0МПа; 2 – 5МПа; 3 – 10МПа; 4 – 15МПа; 5 – 20МПа; 6 – 25Мпа; 7 – 30МПа

По аналогии с первым расчетом строим график изменения оптического зазора от величины затяжки для расчетных точек 5;25;51. Данный график представлен на рис. 4, где верхние линии семейств соответствуют затяжке 4 кН.

Из графика на рис. 4 видно, что изменение оптического зазора в окрестностях расчетной точки 5 (0,495мм) носит нелинейный характер, что можно объяснить наличием

в этой зоне (по периферии мембраны) напряженного состояния возникающего вследствие затяжки мембраны.

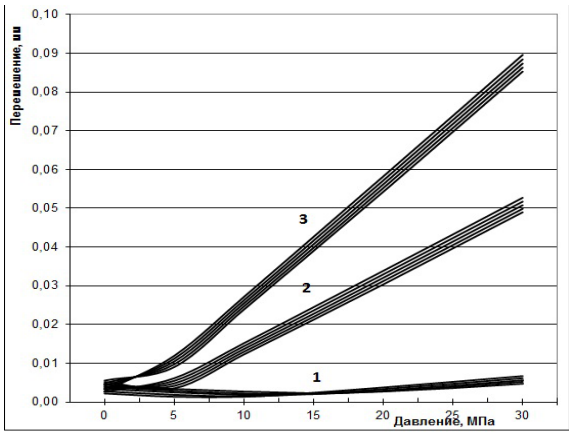


Рисунок 4. График изменения оптического зазора от величины затяжки для расчетных точек 5;25;51: 1 – семейство кривых для расчетной точки 1; 2 – семейство кривых для расчетной точки 25; 3 – семейство кривых для расчетной точки 51

В окрестностях точек 25 (2,475мм) и 51 (5,049мм) наличие деформированного состоянии приводит к тому, что в диапазоне измерения давления от 0 МПа до 5 МПа для точки 51 и от 0 МПа до 8 МПа для точки 25 изменение оптического зазора носит нелинейный характер. Причем величина нелинейности усиливается с увеличением силы затяжки мембраны.

Выводы:

- увеличение силы затяжки приводит к появлению нелинейности характеристик датчика в начальном диапазоне измерения, при этом с увеличением затяжки нелинейность усиливается;
- установлен характер нелинейности изменения оптического зазора в зависимости от затяжки, что позволяет производить корректировку характеристик датчика;
- наиболее целесообразным, с точки зрения получения линейной характеристики, для снятия сигнала – есть область, прилегающая к центру мембраны;
- затяжку необходимо изменять в сторону уменьшения, однако не нарушая герметичности датчика;
- при нулевом давлении величина прогиба мембраны в диапазоне затяжки от 4кН до 8 кН, для расчетной точки 51, меняется от 0,0028 мм до 0,0057 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тайманов, Р.Е. Метрологический самоконтроль датчиков / Р.Е. Тайманов, К.В. Сапожникова // Датчики и системы. – 2011. – № 2. – С. 58–66.

2. ГОСТ Р 8.673-2009 ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения.

3. Henry, M.P. The Self-Validating Sensor: Rationale, Definitions and Examples / M.P. Henry, D.W. Clarke // Control Engineering Practice. – 1993. – Vol. 1, no. 4. – P. 585–610.

4. Богуш, М.В. Анализ функции преобразования пьезоэлектрических датчиков давления методом конечных элементов / М.В. Богуш, Э.М. Пикалев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 2. – С. 74–84.

5. Козлов, А.И. Моделирование тензопреобразователей давления на основе структур КНС. Одномембранные преобразователи / А.И. Козлов, А.В. Пирогов, В.М. Стучебников // Датчики и системы. – 2008. – № 1. – С. 6–11.

6. Козлов, А.И. Моделирование тензопреобразователей давления на основе структур КНС. Двухмембранные преобразователи / А.И. Козлов, А.В. Пирогов, В.М. Стучебников // Датчики и системы. – 2009. – № 8. – С. 50–53.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОНЯТЕЛЬНОГО СИГНАЛЬНОГО СТИМУЛА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

[1]Чаусовский Г.А., [2]Колебанов А.К.
[1]Запорожский национальный университет (Украина)
[2]Херсонская государственная морская академия (Украина)

Известно, что появление посторонних шумов при эксплуатации судовых механизмов и оборудования является диагностическим признаком зарождающихся дефектов. Однако, ввиду адаптации человека к шумовым эффектам, этот диагностический признак, при отсутствии на судне специальных инструментальных электронных средств акустического мониторинга, не всегда своевременно регистрируется.

Новизной разработанного метода является наделение акустического мониторинга функцией генерирования обонятельного сигнального стимула при появлении ненормированных (посторонних) шумов в процессе эксплуатации судовых механизмов и оборудования.

Конструктивное оформление разработанного метода реализовано в виде снабженного частотными фильтрами электронного акустического реле с регулируемым порогом срабатывания. При появлении посторонних шумов акустическое реле включает ультразвуковой распылитель эфирного масла мяты или лимона, которые характеризуются низким порогом восприятия запаха и эффектом активации внимания. Техническим решением разработки предусмотрена также возможность ультразвукового распыления летучих соединений аллилизотиоциана, который характеризуется отсутствием побочных эффектов и обеспечивает пробуждение спящего человека в среднем за две минуты. Это способствует расширению возможностей недопущения несвоевременной регистрации акустических диагностических признаков зарождающихся дефектов или импульсного развития аварийной ситуации при эксплуатации судового оборудования.

Следует отметить, что аудиальный канал экипажа морских суден перегружен различными шумовыми эффектами и именно использование сигнального обонятельного стимула позволяет малозатратным способом повысить эффективность шумовой диагностики развития начальных стадий предаварийных процессов при эксплуатации судовых механизмов и оборудования.

Конструктивной схемой разработки предусмотрена также непрерывная регистрация появления импульсных посторонних шумовых эффектов с помощью электрохимического интегратора, что позволяет регистрировать динамику процесса зарождения дефектов. Получаемая при этом информация позволяет оптимизировать организационные и технические мероприятия, направленные на своевременное предотвращение развития предаварийных процессов.

Таким образом, разработанный метод расширяет возможности своевременного реагирования экипажа морских суден на развитие начальных стадий предаварийных процессов судовых механизмов и оборудования, что имеет существенное практическое значение для обеспечения их безаварийной эксплуатации и прогнозирования изменения состояния.

Секція 4

ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ І ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ, ЙОГО ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ РАБОТЫ КОТЛОВ С УМЕНЬШЕНИЕМ ЭМИССИИ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ

Акимов А.В., Скрипка Г.Л.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Наиболее эффективным и экологически чистым видом топлива, сжигаемым в современных котельных установках, является природный газ, который состоит из молекул метана CH_4 (около 95…98 %) и небольшого количества тяжелых углеводородов (пропан, бутан и др.). При сжигании природного газа происходят сложные процессы, в которых учувствуют непосредственно топливо (природный газ), окислитель (кислород воздуха, подаваемого на горение), балласт топлива и металл самой топливосжигающей установки (котла). Кислород в топку подается не в чистом виде, а в смеси с азотом N_2, гелием He, аргоном Ar и другими компонентами воздуха, который состоит из 21 % O_2, 78 % N_2, 0,04 % CO_2 и 0,96 % остальных газов.

Азот, попадая в топку в качестве балласта, при высокой температуре и наличии атомарного кислорода начинает участвовать в эндотермических реакциях образования оксидов азота. Первичным способом подавления образования оксидов азота при наличии свободных атомов атомарного кислорода в продуктах сгорания является рециркуляция дымовых газов котла в результате которой происходит снижение температуры в топке. Для образования одного моля молекул оксидов азота (1 моль содержит $6{,}02\cdot10^{23}$ молекул и имеет объем 22,4 дм^3/моль) необходимо затратить теплоту в следующих количествах: N_2O – 113 кДж/моль; N_2O_3 – 93 кДж/моль; NO – 90,5 кДж/моль; NO_2 – 34,1 кДж/моль; N_2O_5 – 5,04 кДж/моль.

Без присутствия катализаторов в топках котлов происходит в основном образование монооксида азота NO (95…97 %) и диоксида азота NO_2 (3…5 %). Монооксид азота незначительно растворим в воде и не участвует в образовании кислот, но неблагоприятно воздействует на растения и живые организмы. Диоксид азота взаимодействует с водой с образованием азотной кислоты HNO_3, которая может выпадать вместе с кислотными дождями, разрушая здания и сооружения и негативно воздействуя на окружающую среду.

Основное горячий компонент природного газа – метан окисляется (горит) по следующей цепочке реакций:

$$CH_4 + 2O_2 + Q = C + 4H + 4O = CO + 2H_2O + O + Q = CO_2 + H_2O + Q\,.$$

На первой стадии горения происходит разложение молекул метана на атомы углерода и водорода и окисление их кислородом до монооксида углерода CO (угарный газ) и воды H_2O с выделением теплоты. На второй стадии горения при наличии свободного атомарного кислорода CO окисляется до углекислого газа CO_2. Однако при недостатке кислорода недоокисленные молекулы CO уносятся с дымовыми газами, загрязняя атмосферу угарным газом у унося часть недоокисленного топлива. На рис. 1. приведены процессы горения избытка кислорода в дымовых газах.

Как видно из представленных графиков зависимостей (рис. 1), чем меньше кислорода в дымовых газах, тем ниже полнота сгорания топлива и интенсивнее выделение угарного газа, но при этом образования молекул монооксида азота проходит менее интенсивно.

При удельном объеме воздуха 12 м^3 на 1 м^3 природного газа в 1 м^3 дымовых газов в результате процесса горения выделится теплота

$$Q = q / (V_в + V_г) = 34000 / (12 + 1) = 2615 \text{ кДж/м}^3,$$

где q =34000 кДж/м^3 – средняя теплотворная способность 1 м^3 природного газа; $V_в$=12 м^3 – объем воздуха для сжигания 1 м^3 природного газа; $V_г$=1 м^3 – объем природного газа.

Химическое количество NO в 1 м^3 дымовых газов при концентрации m=0,4 мг/м^3 в молярных единицах составит $n_{NO} = m / M(NO) = m / \left[M(N) + M(\mathrm{O})\right] = 0,4 / (7+8) = 0,0267$ моль, где $M(NO)$ – молярная масса молекул NO, равная сумме молярных масс молекул азота $M(N)$=7 и кислорода $M(O)$=8.

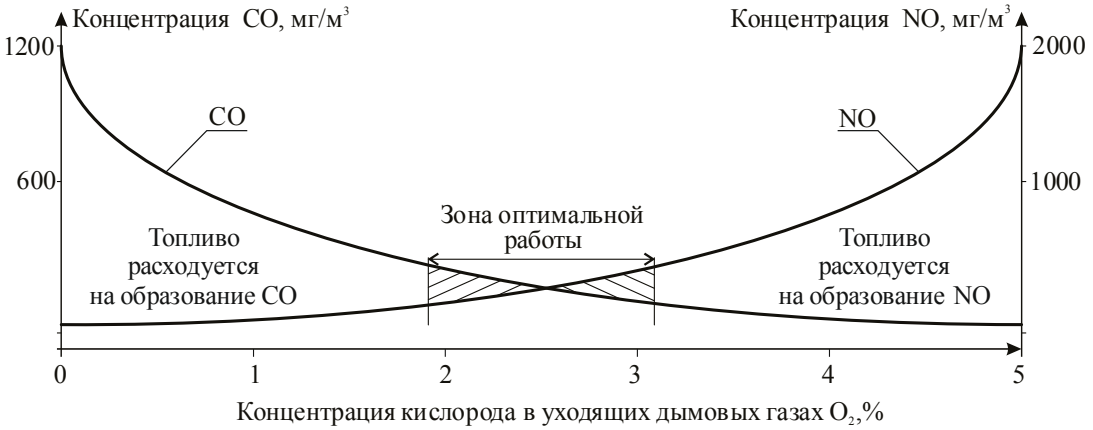


Рисунок 1. Графики зависимости концентрации CO и NO от избытка воздуха в уходящих дымовых газах

На образование 1 моля монооксида азота требуется затратить Q_{NO}=90,5 кДж тепловой энергии. В 1 м^3 дымовых газов потреблении тепловой энергии для окисления азота до NO с химическим количеством 0,0267 молей составит

$$Q^{NO}_{потерь} = n_{NO} \cdot Q_{NO} = 0,0267 \cdot 90,5 = 2,41 \text{ кДж/м}^3.$$

Процент потерь тепловой энергии на образование монооксида азота будет равным:

$$K_{n_{NO}} = \left(Q^{NO}_{потерь} / Q_T\right) \cdot 100\% = \left(2,41/2610\right) \cdot 100\% = 0,1\%.$$

При избытке воздуха $\alpha = 1,4$ в топку в качестве балласта дополнительно подается большее количество азота (около 31 %), который должен быть нагрет от температуры уходящих дымовых газов. В связи с этим наблюдаются потери части тепловой энергии сгоревшего топлива, которая определяется исходя из выражения:

$$Q^{N}_{потерь} = C_N m_N \left(T_{дг} - T_{хв}\right) = 10^3 \cdot 0,39 \cdot \left(160 - 10\right) = 58,5 \text{ кДж/м}^3,$$

где $C_N = 10^3$ кДж/(кг·^{o}C) – удельная теплоемкость азота; $m_N = 0,39$ кг – масса избыточного азота плотностью 1,25 кг/м^3 в 1 м^3 дымовых газов; $T_{дг}$=160 ^{o}C – температура уходящих дымовых газов; $T_{хв}$=10 ^{o}C – температура холодного воздуха (средняя).

Процент потерь тепловой энергии на нагрев дополнительного балластного азота N_2 будет составлять $K_{n_{N_2}} = \left(Q^{N}_{потерь} / Q_T\right) \cdot 100\% = \left(58,5/2610\right) \cdot 100\% = 2,2\%$.

Общий коэффициент потерь тепловой энергии ввиду ее расходования на образование монооксида азота и нагрев балластного азота из-за избытка дутьевого воздуха будет составлять $K^{\Sigma}_{потерь} = K_{n_{NO}} + K_{n_{N_2}} = 0,1 + 2,2 = 2,3\%$.

На данном этапе оптимизация процесса горения природного газа по критерию минимума эмиссии загрязняющих веществ, а именно NO и CO, не проводится. Наладка регуляторов соотношения воздух/топливо проводится по критерию минимума эмиссии CO. При этом возможно достижение максимальной полноты сгорания топлива, но перерасход его на образования монооксида азота NO и нагрев балластного азота в дымовых газах не учитывается, а эти потери, как показали проведенные расчеты, составляют 2,3 % от количества сжигаемого топлива. Кроме того, плата за выбросы монооксида азота NO в окружающую среду составляет значительную часть эксплуатационных расходов топливосжигающих установок.

Таким образом, своевременный одновременный мониторинг концентраций NO и CO позволит обеспечить оптимальную работу котлов с уменьшением эмиссии вредных выбросов.

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗБІРНИХ ВІДРІЗНИХ РІЗЦІВ З МЕХАНІЧНИМ КРІПЛЕННЯМ БАГАТОГРАННИХ НЕПЕРЕТОЧУВАНИХ ПЛАСТИН

Бабій М.В., Настасенко В.О.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Робота відноситься до області сучасних технологій в ремонтному та промисловому виробництві продукції суднобудування, зокрема – до збірних відрізних і канавкових різців з механічним кріпленням змінних непереточуваних пластин і різальних пластин для їх оснащення.

На сьогоднішній день до найбільш прогресивних інструментів для відрізки деталей і формування різного виду канавок при виконанні ремонтних робіт в судноремонтних цехах і, особливо, у промисловому виробництві продукції суднобудування, відносять види відрізних різців, що оснащені змінними непереточуваними пластинами (ЗНП) з механічним кріпленням їх до корпусу різця (рис. 1) [1]. Дані види різців забезпечують можливість швидкої заміни ЗНП без зняття інструменту з верстата і не вимагають виконання переточувань, що особливо важливо при їх використанні на суднах.

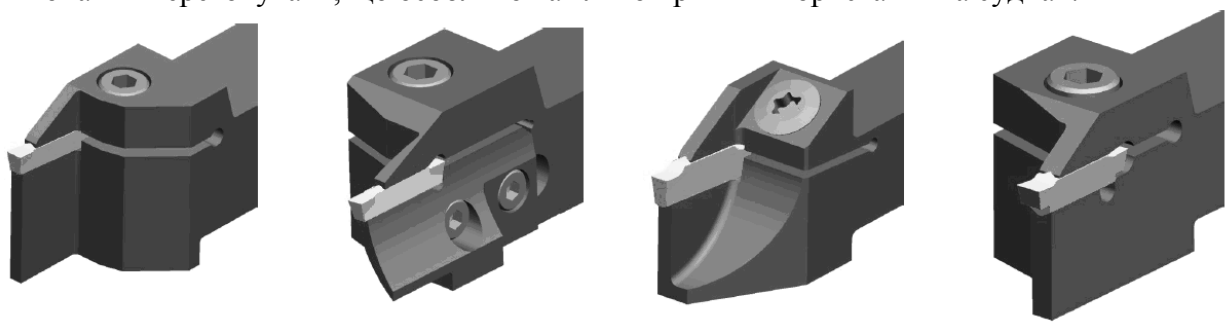


Рисунок 1. Відрізні різці зі змінними непереточуваними пластинами

Аналіз відомих конструкцій відрізних та канавкових різців показав, що подальший розвиток канавкових та відрізних різців відбувається за рахунок збільшення кількості різальних кромок інструменту, що сприяє підвищенню економічного ефекту від їх використання внаслідок зменшення нераціонально великих витрат твердого сплаву (рис.2), і тим самим зменшенню відносної вартості даних пластин з розрахунку на одне різальне лезо [2].

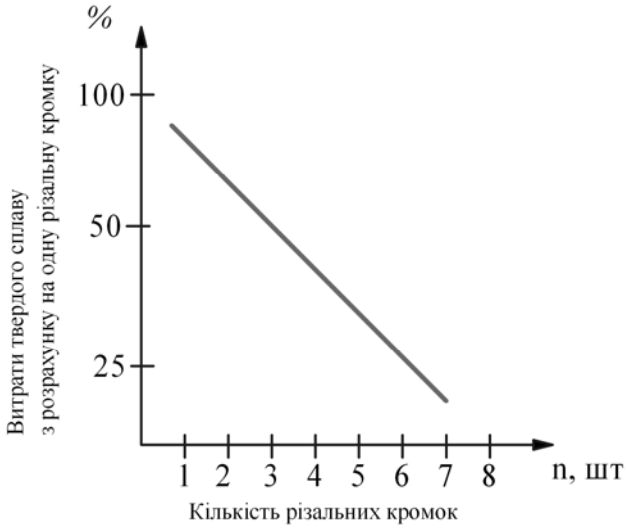


Рисунок 2. Залежність витрат твердого сплаву від кількості різальних кромок

Так, наприклад, є відомими конструкції відрізних різців (рис. 3), які складаються із державки, різальної чотирьохлезової вставки, притискної планки та кріпильних гвинтів [3]. Різальна вставка виконана у вигляді плоскої прямокутної стальної пластини, оснащеної чотирма напаяними твердосплавними пластинами.

Застосування багатогранного різального елемента дозволяє після зношення одного леза переставляти різальну вставку для роботи іншим лезом, не знімаючи різець із верстата, тим самим зменшити витрати часу на його наладку.

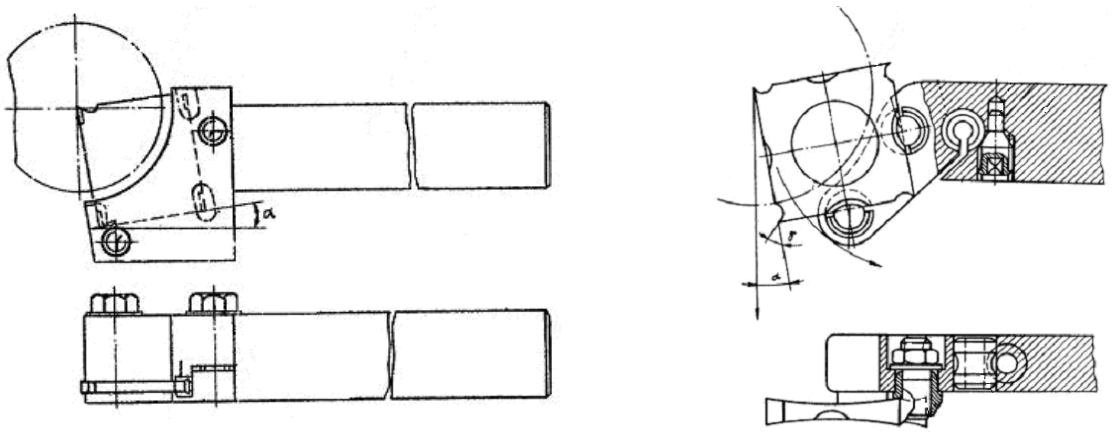


Рисунок 3. Відрізні різці з багатогранною різальною вставкою

З появою у 50-х роках XX ст. твердосплавних багатогранних непереточуваних пластин (БНП), широкого розповсюдження отримав металорізальний інструмент з їх використанням. Для канавкових різців відоме їх застосування шляхом бічного закріплення різальних пластин до державки різця, що представлено на рис. 4 [4].

Рисунок 4. Канавкові різці з бічним кріпленням БНП

Відомими інструментальними фірмами, такими як Sandvik Coromant (Швеція) [5], Kemmer (Німеччина) [6], ISCAR (Ізраїль) [1] запропоновано ряд сучасних відрізних та канавкових різців з використанням багатогранних пластин з бічним їх кріпленням до державки різця, що представлені на рис. 5.

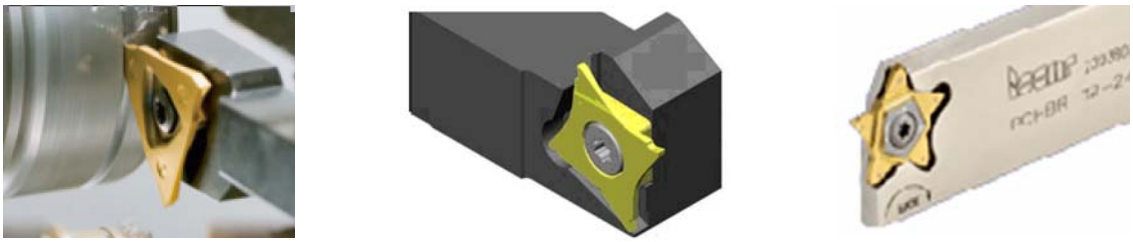


Рисунок 5. Канавкові різці з бічним кріпленням багатогранних пластин

Також відомі конструкції канавкових різців, у яких БНП має радіальну установку на державці інструменту, що забезпечує більш надійне її кріплення.

Рисунок 6. Канавковий різець з радіальною установкою БНП

Актуальність роботи. Головними недоліками відомих відрізних та канавкових різців із багатогранними непереточуваними пластинами є обмеження глибини виконуваних ними канавок – від 2 до 10 мм, складність конструкції різців та пластин, низька надійність кріплення різальної пластини у гнізді державки, що знижує їх технологічні можливості різців та обмежує коло їх застосування. Тому **метою** даної роботи є розробка прогресивних конструкцій відрізних різців з механічним кріпленням БНП, в яких будуть усунені перелічені вище недоліки.

Результати досліджень. Аналіз конструкцій відомих відрізних різців з бічною установкою БНП показав, що обмеження вильоту різальної частини БНП обумовлене тим фактором, що різальна пластина кріпиться збоку до державки різця, тобто з базуванням по задній та бічним її граням (рис. 7, а). Це веде до того, що при загальній довжині різальної пластини *l*, за прямим функціональним призначенням працює лише ділянка пластини, яка рівна (1/n) *l*.

В даній роботі запропоновано усунення даного недоліку за рахунок застосування схеми кріплення і базування БНП по бічним граням.

Дана схема передбачає (рис. 7, б): 1) бічну установку БНП в гнізді головки різця; 2) базування різальної пластини виключно по бічним гранням; 3) прикладення сили кріплення по бічним гранням.

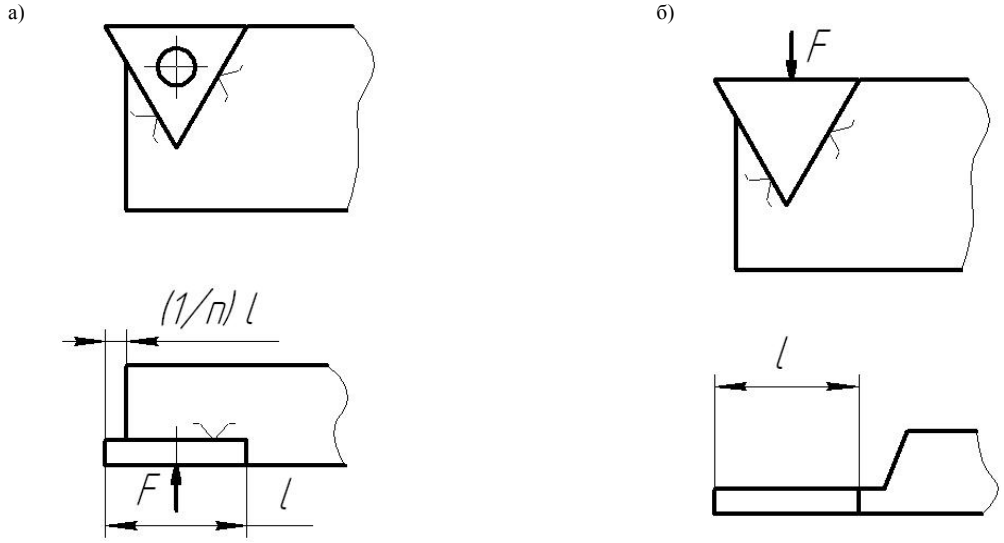


Рисунок 7. Виліт різальної частини збірних відрізних різців з БНП: а) при базуванні по основній та бічним граням (відомий варіант); б) при базуванні по бічним граням (запропонований варіант)

На основі запропонованої схеми кріплення БНП було виготовлено збірний відрізний різець (рис. 8) з трьохгранною БНП на базі ГОСТ 19043-80 [7], та піддано експериментальним дослідженням на токарно-гвинторізному верстаті 1К62 (рис. 9) із використанням токарного динамометру УДМ-600 для вимірювання складових сил різання.

Рисунок 8. Конструкція збірного відрізного різця з бічною установкою БНП

Рисунок 9. Експериментальні дослідження відрізного різця з бічною установкою БНП

Проведені експериментальні дослідження дії сил різання на запропоновані різці при різних варіантах подач, швидкості різання, та при різних величинах передніх кутів, підтвердили надійність і працездатність конструкції. При цьому було встановлено, що

недоцільно виконувати негативні передні кути, більші, ніж -6°, оскільки це веде до значного збільшення сил різання, для задніх кутів виконання 6° є доцільним, оскільки в процесі відрізання діаметр заготовки зменшується і збільшується свобода розміщення задньої поверхні. Інших принципових відмін умов різання запропонованих БНП від раніше відомих, немає, що дозволяє вважати ідентичними інші їх експлуатаційні показники, в т.ч. – теплові і стійкістні, з високим рівнем достовірності.

Також слід відзначити збільшення глибини відрізування на всю довжину бічної грані БНП до 12…24 мм у порівнянні з 2…10 мм відомих тригранних та п'ятигранних БНП.

Висновки. Сукупність проведених теоретичних і експериментальних досліджень запропонованих збірних конструкцій відрізних різців з бічною установкою і кріпленням БНП, підтвердили їх високі функціональні можливості, а також високу їх економічність, технологічність, продуктивність і ремонтоспроможність, що дозволяє рекомендувати дані розробки для широкого впровадження у вітчизняному та закордонному промисловому виробництві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Каталог фирмы ISCAR / Отрезка, 2010. – 29 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http:// www.iscar.com/

2. Бабій М.В. Проектування змінних відрізних різальних пластин системними методами / М.В. Бабій, В.О. Настасенко // Науковий вісник ХДМІ. – 2011. – № 2 (5). - С. 175 – 183.

3. А.с. 674834 СССР МПК В23В27/16. Сборный отрезной резец/ Щегольков Н.Н. (СССР). – № 2448112/25-08; заявл. 01.02.77; опубл. 25.07.79, Бюл. №27.– 2 с.: ил.

4. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты». Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л Боровой и др.; под общ. ред. Г.Н. Сахаров. – М.: Машиностроение. 1989. – 328 с.

5. Каталог продукции концерна Sandvik Coromant 2005 г.

6. Каталог продукції фірми Kemmer [Електронный ресурс]. Режим доступу: http: // www. kemmerhmw. de/en / products / praezistechen/multicut-4/

7. Патент Российской Федерации на изобретение № 2366542 Сборный отрезной резец и режущие пластины к нему. Заявка № 2007111687 от 29.03.07. Авт. изобр. Настасенко В.А., Бабий М.В. // БИ 2009. № 25 от 10.09.09.

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА МЕТОДОВ ОЧИСТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД

Горбов В.М., Митенкова В.С.
Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова (Украина)

Введение. С момента использования забортной воды в качестве балласта на судах возникла проблема загрязнения чужеродными организмами (инвазии) водной среды. «Биологическое загрязнение», возникающее вследствие перемещения балласта из одной области в другую, может привести к бесконтрольному размножению чужеродных видов (при отсутствии естественных врагов), вызвать угнетение или вытеснение местных видов, ухудшение качества воды, распространение болезней и паразитов, обрастание гидротехнических и водозаборных сооружения и другие проблемы. Балластные воды могут содержать нефтепродукты, железо, взвешенные вещества [1, 2].

Известны многочисленные случаи подобного проникновения, приведшие к серьезным негативным последствиям. Например, штамм холерного вибриона, ранее выявленный в Бангладеше, стал причиной эпидемии в Южной Америке в 1991-1994 гг., поразившей более миллиона человек. Заражение холерой началась одновременно в трех портах Перу и быстро распространилась по всему континенту. Считается, что данный штамм был завезен с балластными водами. Морская звезда *Asterias amurensis* из северной части Тихого океана, завезенная в воды Южной Австралии с забортной водой, начала бесконтрольно размножаться и поедать ценные коммерческие виды гребешков, устриц и моллюсков, причинив тем самым существенный экономический ущерб [2].

Международная морская организация в ответ на проблему приняла соответствующие законодательные ограничения, направленные на контроль и предотвращение загрязнения инвазиями. В частности, было разработано Приложение VII «Правила предотвращения загрязнения балластными водами» к конвенции MARPOL 73/78. Жёсткие ограничения в этой области были введены в ряде стран и регионов (Аргентине, Австралии, Канаде, Чили, Израиле, Украине, Норвегии, США, странах Персидского залива, Балтийском и Средиземном морях и т.д.) [3]. Для соблюдения этих требований разработаны способы, направленные на предотвращения загрязнения балластными водами. На сегодняшний день самым распространенным является замена балласта в открытом море [4, 5]. Наиболее перспективной считается обработка забортной воды непосредственно на судне. Использование такого способа одобрено на национальном или региональном уровнях в ряде стран, международные требования находятся в стадии разработки. Способы замены балласта и обработки его на борту судна включают в себя различные методы.

Актуальность. Выделение критериев, определяющих эффективность различных методов обработки балластных вод, даст возможность разработать рекомендации по выбору технологий и оборудования на стадии проектирования или модернизации судов, а также учесть их особенности при эксплуатации.

Постановка задачи. Целью данного исследования является выделение перечня требований к выбору систем очистки балластных вод на судне и разработка рекомендаций, которые необходимо учитывать перед началом проектирования или модернизации судна, на котором предусматривается установка таких систем.

Результаты исследований. В 2004 г. IMO была принята «Конвенция по контролю и управлению балластными водами и осадками». С момента принятия Конвенции было разработано 14 основных руководящих принципов, в которых расширяются и уточняются требования, представленные в основном документе [2].

Согласно требованиям IMO с 2009 г. на всех судах должны приниматься меры для предотвращения загрязнения балластными водами путем их замены (D1) или обработки (D2). Из-за ряда сложностей, связанных с внедрением и использованием, эти требования

пока не действуют повсеместно, и дата их окончательного введения будет зависеть от ряда факторов (табл. 1). [6, 7].

Таблица 1. Сроки введения в действие требований IMO к обработке балластных вод

Объем балласта, м^3	Дата постройки судна	Дата вступления требований в действие			
		2009	2012	2015	2017
до 1500	до 2009 г.	D1 или D2	–	–	D2
	с 2009 г.	D2	–	–	–
1500-5000	до 2009 г.	D1 или D2	–	–	–
	с 2009 г.	D2	–	D2	–
от 5000	до 2012 г.	D1 или D2	–	–	D2
	с 2012 г.	–	D2	–	–

Стандарт D2 определяет нормативные характеристики системы очистки балласта в виде конечного содержания водных организмов в сбрасываемой за борт воде. Так, обработанные балластные воды должны соответствовать следующим требованиям [2]:

– не более 10 жизнеспособных организмов размером свыше 50 мкм в 1 м^3 воды;

– не более 10 жизнеспособных организмов размером от 10 до 50 мкм в 1 мл воды;

– не более 1 колонии *Toxigenic Vibrio cholerae* (холерных вибрионов) на 100 мл или не более 1 колониеобразующей единицы на 1 г образцов зоопланктона;

– не более 250 колониеобразующих единиц *Escherichia coli* (кишечной палочки) на 100 мл;

– не более 100 колониеобразующих единиц *Intestinal Enterococci* (кишечных энтерококков) на 100 мл.

– Продолжительное время на судах для предотвращения загрязнения широко использовалась замена балласта. Данный способ заключается в том, что перед заходом в порт необходимо «заменить» в нейтральных водах не менее 95 % объема принятого балласта на «свежий». Выделяют следующие методы реализации [4, 5]:

– последовательная замена (включает опорожнение и наполнение цистерн несколько раз до достижения необходимой концентрации «свежего» балласта);

– при проточном методе необходимо прокачать через балластные танки 300 % объема их содержимого (одновременно можно осуществлять прокачку только через одну пару симметрично расположенных танков левого и правого бортов или цистерны форпика и ахтерпика);

– разбавление балласта используется в основном на танкерах, т.к. для его реализации на судне должны быть дополнительные трубопроводы и насосные установки (одновременно происходит прием балласта в танки с одного борта и сброс с другого).

Несмотря на простоту концепции, замена балласта является в ряде случаев энергозатратным и трудоемким способом и признана IMO недостаточно эффективной для предотвращения загрязнения инвазиями. Более предпочтительным является способ обработки забортной воды на судне, включающий механические, физические и химические методы [2, 6, 8].

В современных установках очистки балласта для достижения большей эффективности чаще всего используется сочетание этих методов. Для первой ступени обработки обычно применят механические методы, далее могут использоваться физические, химические или комбинированные.

К механическим методам относят:

– фильтрацию;

– обработку в гидроциклонах;

– электромеханическую сепарацию.

К физическим методам относят:

– обработку ультразвуком;

– ультрафиолетовую обработку;
– коагуляцию и флокуляцию;
– нагревание;
– деоксигенацию;
– кавитацию;
– электролиз;
– электрокаталитическую обработку;
– озонирование.

К химическим методам относят:

– хлорирование (обработка гипохлоритом натрия NaOCl с дальнейшей нейтрализацией бисульфатом натрия $NaHSO_3$);
– электрохлорирование;
– обработка диоксидом хлора (Cl_2O);
– обработка надуксусной кислотой (CH_3CO_3H);
– обработка пероксидом водорода (H_2O_2);
– использование расширенных окислительных процессов;
– обработка менадионом, аналогом витамина К ($C_{11}H_8O_2$);
– обработка хлорной кислотой ($HClO_4$).

Некоторые из вышеперечисленных методов можно отнести к комбинированным, например, электрохлорирование (физико-химический), электромеханическую сепарацию (физико-механический) и т.д. В установках обработки балластных вод применяются и другие технологии, хотя не столь широко, как вышеперечисленные.

Как правило, для обработки балластных вод на судах можно применять только сертифицированное оборудование. Применяемые технологии должны предварительно получить одобрение национальных администраций и/или классификационных обществ, а затем «Конвенции по контролю и управлению балластными водами и осадками» (резолюции MEPC 54-61). На сегодняшний день сертифицированы ряд систем очистки балластных вод: PureBallast производства Alfa Laval (Норвегия), AquaStar компании Aqua Engineering (Южная Корея), Blue Ocean Shield, разработання COSCO (Китай) и многие другие [2].

Учитывая многообразие доступных на рынке сертифицированных установок очистки балласта, а также регулярное расширение их номенклатуры и появление новых предложений, перед проектантами и судовладельцами возникает вопрос выбора того или иного решения при создании нового судна или модернизации уже эксплуатируемого. При этом ни одна система не является универсальной, подходящей для всех типов судов и условий эксплуатации, а вследствие непродолжительного использования не накоплено достаточно опыта по обслуживанию подобного оборудования. В связи с этим выбору того или иного решения должен предшествовать тщательный инженерный и технико-экономический анализ большого количества факторов. В данной работе был сформулирован перечень критериев выбора производителя и систем очистки балластных вод. Для удобства они были разбиты на группы.

1. Начальные параметры:
– тип и характеристики судна;
– модель получения прибыли судовладельцем для данного судна;
– объем балласта и время проведения балластных операций.

2. Технико-эксплуатационные условия и характеристики:
– время эффективной обработки балласта;
– подача балластных насосов и подача в системе обработки;
– особенности балластной системы судна;
– безопасность установки для здоровья и жизни экипажа;
– требования по эксплуатации системы;
– взрывобезопасность оборудования (актуально для танкеров и газовозов);

– мощность системы и дополнительные требования к судовому электрооборудованию;
– воздействие на покрытия балластных танков и скорость коррозии в системе (при использовании химических или физико-химических методов);
– массогабаритные параметры оборудования;
– системы автоматики установки обработки балласта.

3. Параметры процессов обработки:
– комбинирование фильтрации с другими методами;
– эффективное протекание химических процессов;
– условие протекания кавитационной обработки;
– ультрафиолетовое и ультразвуковое воздействие и др.

4. Выбор производителя и технические условия:
– опыт производителя в создании аналогичных систем;
– наличие необходимых сертификатов на оборудование;
– объем капитальных вложений и эксплуатационные затраты.

5. Условия монтажа оборудования:
– на плаву или в сухом доке для уже построенных судов;
– включение в монтажную спецификацию для строящихся судов.

С учетом этих критериев для выбора подходящей системы обработки балласта судовладелец должен разработать для потенциальных поставщиков спецификацию на закупку оборудования, где должны быть приведены технические требования, включающие следующую информацию:

– подача балластных насосов, которой должна соответствовать производительность системы обработки (для обеспечения запаса по мощности рекомендуется выбирать оборудование с несколько большей производительностью);
– рабочие чертежи балластной системы с указанием всех соединений, арматуры, включения насосов;
– план помещения для установки оборудования, обработки и хранения расходных материалов;
– наличие источников электропитания и маршрут прокладки кабелей;
– требования к сертификации оборудования;
– сведения о материалах и покрытиях балластных цистерн и трубопроводов.

В свою очередь производители или поставщики оборудования обязаны предоставить судовладельцам следующую информацию:

– подтверждение, что их система имеет достаточную производительность, чтобы обеспечить обработку всего объема балласта в течение заданного времени;
– потребляемая системой электрическая мощность и другие требования по электропитанию;
– технологии обработки, используемые в системе;
– необходимые химические вещества и нормы их расхода;
– мероприятия по обеспечению охраны труда и работе с ними и безопасности для здоровья людей и окружающей среды при хранении химических веществ;
– системы защиты при нормальном и аварийном режимах работы установки;
– требования к навыкам обслуживающего персонала (необходимость дополнительного обучения для работы с оборудованием);
– тарировка всех приборов, мониторинг соблюдения правил безопасности при эксплуатации установки;
– план по поставке оборудования, его монтажу, вводу в эксплуатацию и отладке;
– заключение о влиянии обработанных балластных вод на покрытия балластных танков и трубопроводов, включая копии результатов соответствующих исследований;

- оценка снижения скорости проведения балластных операций после установки оборудования и меры по минимизации данных последствий, содержащая информацию по дополнительным потерям напора в системе и влиянии на всасывающие характеристики и подачу балластных насосов;
- стоимость установки и обучения персонала, расходы на монтаж и ввод в эксплуатацию, оценка эксплуатационных затрат, включая расходные материалы;
- требования к техническому обслуживанию, имеющийся опыт эксплуатации;
- специализированные требования при постановке в док и модернизации судна перед установкой оборудования для обработки.
- После получения от поставщиков перечисленных выше сведений, судовладельцам следует осуществить следующие технические проверки:
- убедиться в том, что существующая судовая электростанция справится с дополнительными нагрузками, в ряде случаев потребуется замена существующих дизель-генераторов на более мощные;
- проверить возможность интеграции системы обработки в существующую балластную систему;
- проверить соответствие систем автоматического контроля, включая функции сигнализации и защиты;
- проверить возможность интеграции систем автоматики установки в уже существующие в машинном отделении;
- оценить сложность обслуживания оборудования, проведение поверки приборов и отбора проб балласта;
- оценить необходимость вентиляции или других мер для помещений, где есть риск утечки химических реагентов или других опасных веществ;
- рассмотреть требования к техническому обслуживанию оборудования, чтобы подтвердить обязательные действия обслуживающего персонала, наличие необходимых расходных материалов и запасных частей, гарантийные обязательства производителя;
- порядок действий с образующимися осадками;
- убедиться, что система обработки не будет влиять на замер уровня в балластных танках (при использовании пневматических датчиков);
- убедиться, что установка не мешает разделению балластных танков за и в пределах взрывоопасных зон (правило относится в большей степени к химическим и нефтяным танкерам), т.к. в некоторых случаях для разных зон потребуются раздельные балластные системы.

Если в установке используется химическая обработка, то на судне хранится запас реагентов, которые могут представлять опасность для команды и/или окружающей среды. Некоторые вещества образуются непосредственно на судне в качестве побочных продуктов химических или электрохимических реакций. В этом случае команда должна пройти соответствующую подготовку по использованию и хранению таких веществ в судовых условиях. На борту должны храниться соответствующие сертификаты с характеристиками химических реагентов, принимаемых на борт.

В помещениях для хранения должны соблюдаться специальные требования по вентиляции и пожарной безопасности. Персонал должен пройти специальную подготовку по отработке действий в случае пожара или утечки химических веществ, применяемых или образующихся в системе обработки балласта. В этом случае основным нормативным документом является «Руководство по обеспечению безопасного использования и хранения химических веществ и препаратов, используемых при обработке балластных вод, и разработка процедур безопасности по снижению рисков для судна и экипажа в результате процесса обработки», разработанное IMO в дополнение к «Конвенции по контролю и управлению балластными водами и осадками».

Дополнительные процедуры безопасности должны быть разработаны на случай попадания опасных газообразных веществ в балластные цистерны. Для обеспечения нормального функционирования балластной системы в случае выхода из строя очистного оборудования должны быть предусмотрены обводные трубопроводы. В случае возникновения подобной ситуации должна включаться аварийно-предупредительная сигнализация. Системы автоматического управления обработкой балласта рекомендуется интегрировать в систему управления балластом.

Выводы. Сформулированы критерии, которыми следует руководствоваться при выборе систем обработки балластных вод, технические требования от производителей оборудования, необходимые для окончательного выбора оборудования, объем проверок на судне, различные аспекты требований по безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбов В. М. Суднова енергетика та Світовий океан [Текст]: підручник /В. М. Горбов, І. О. Ратушняк, С. І. Трушляков, О. К. Чередниченко. – Миколаїв: НУК, 2007. – 596 с.

2. Ballast Water Treatment Advisory [Electronic resource]. – Houston: American Bureau of Shipping, 2011. – Mode of access: http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/References/ABS%20Advisories/BWTreatmentAdv.

3. National ballast water management requirements [Electronic resource]. – London: Lloyd's Register Marine, 2014. – Mode of access: http://www.lr.org/en/_images/213-35818_National_ballast_water_management_requirements_January_2014_V3_tcm155-175149.pdf.

4. Australian Ballast Water Management Requirements [Electronic resource]. – Canberra Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, 2013. – Mode of access: http://www.environment.gov.au/system/files/pages/b3041c7c-eecb-4d39-b4d0-a089a1d60adc/files/co51australianbwrequirements.pdf.

5. Rules for Classification and Construction Germanischer Lloyd. VI Additional Rules and Guidelines. 11 Other Operations. Guidelines on Ballast Water Management [Electronic resource]. – Hamburg: Germanischer Lloyd, 2001. – Mode of access: http://www.gl-group.com/infoServices/rules/pdfs/gl_vi-11-10_e.pdf.

6. Guide to ballast water treatment systems [Electronic resource]. – Colorado: IHS Maritime, 2013. – Mode of access: http: //www.rwo.de/rwo/ressources/documents/1/25412, Ballast-Water-Guide-2013.pdf.

7. Ballast water treatment systems. Guidance for ship operators on procurement, installation and operation [Electronic resource]. – London: Lloyd's Register, 2010. – Mode of access: http://www.cnss.com.cn/uploadfile/2014/0109/20140109093334177.pdf.

8. Guide for ballast water treatment [Electronic resource]. – Houston: American Bureau of Shipping, 2011. – Mode of access: http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/187_BWT/Guide.

ЙМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ВІДХИЛЕННЯ ВІД КРУГЛОСТІ НА ОСНОВІ ГАРМОНІЧНОГО АНАЛІЗУ І ТЕОРІЇ МАЛОЇ ВИБІРКИ

[1]Кривий П.Д., [1]Дзюра В.О., [2]Тимошенко Н.М., [1]Кривінський П.П.
[1]Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя (Україна)
[2]Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

Проаналізовано існуючі методи оцінювання відхилень від круглості [3–6] на основі обробки отриманих круглограм. Встановлено ряд недоліків характерних для цих методів. Так за [7] відхилення від круглості визначається як найбільша відстань від точок реального профілю до прилягаючого кола, а допуск круглості T – найбільше допустиме значення відхилення від круглості. При цьому величину подають як постійну для даної кругло грами, хоча в дійсності для кожної окремої деталі може бути різним, тобто Δ_i – випадкові величини (тут i – порядковий номер деталі в серії).

Суттєвим недоліком методу визначення відхилень від круглості Спрега, який передбачає побудову на круглограмі усередненого базового кола і визначення ексцентриситету зміщення цього кола від прилягаючого та величини Δ як максимальної віддалі в радіальному напрямі від усередненого кола до реального профілю є неадекватність моделі контактування двох циліндричних поверхонь, одна з яких має відхилення Δ_0 від усередненого кола.

Показано, що відомий метод використання гармонічного аналізу при оцінюванні відхилень від круглості, як випадкової періодичної функції позбавляє певних недоліків вище поданих методів, але, разом з тим, для отримання достовірних даних вимагає забезпечення великої вибірки ($N > 30$) круглограм, що значно збільшує трудомісткість контрольних операцій, затрудняє і навіть унеможливлює використання цього методу безпосередньо у виробничих цехах.

Відзначено, що використання останніх поколінь кругломірів типу «Talyrond 73» (Великобританія) дозволяє отримати координати центра та радіус усередненого базового кола круглограми, величину Δ, а також спектр гармонік.

Метою даної роботи є створення ймовірнісно-статистичного методу оцінювання відхилень від круглості з використанням гармонічного аналізу відхилень від круглості як випадкових періодичних функцій і теорії малої вибірки.

Суть запропонованого методу полягає в отриманні круглограм з циліндричних поверхонь досліджуваних деталей, встановленні стабільності технологічного процесу формування циліндричної поверхні за критерієм λ_0 [2], визначенні для кожної круглограми в заданій кількості положень відхилень Δ, представлені цих відхилень на проміжку $[0; 2\pi]$ новою періодичною функцією.

Взявши до уваги те, що відхилення від круглості Δ_i , де i=[1,2,3...36] – порядковий номер положення на круглограмі на проміжку $[0, 2\pi]$ є випадкова періодична функція $f(\Delta)$, обмежившись k_0 гармоніками k_0=[1,2,3...10], подамо $f(\Delta)$ тригонометричним рядом Фур'є.

$$f(\Delta) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{10}\left(a_{k_0} \cdot \cos k_0\Delta + b_{k_0} \cdot \sin k_0\Delta\right), \qquad (1)$$

звідки отримаємо: середнє значення відхилення від круглості, яке приблизно дорівнює математичному сподіванню $a_0 = \overline{\Delta} \approx M(\Delta)$; значення гармонік $A_{k_0} = \sqrt{a_{k_0}^2 + b_{k_0}^2}$, тут a_{k_0} і b_{k_0} – коефіцієнти ряду Фурє; дисперсію розсіювання $D(\Delta) = \sum_{k_0=1}^{10} A_{k_0}^2 / 2$.

Кожне із значень $\overline{\Delta}_n$ і $D_n(\Delta)$ подавали як випадкові величини. Використавши [1] і запропонований метод ітерацій [4] отримали залежності для визначення математичного

сподівання, що приблизно дорівнює середньому значенню $M(\Delta_в) \approx \overline{\Delta}_в$

$$M\left(\Delta_в\right) = \frac{a+b}{2}\prod_{k=1}^{n} c_k + \sum_{k=1}^{n}\prod_{k=1}^{n} c_k \left\{ a \cdot e^{-\frac{a^2}{2\sigma_{0_k}}} - b \cdot e^{-\frac{a^2}{2\sigma_{0_k}}} + \sqrt{2\pi}\sigma_{0_k}\left[\Phi\left(\frac{b}{\sigma_{0_k}}\right) - \Phi\left(\frac{a}{\sigma_{0_k}}\right)\right]\right\} \quad (2)$$

і дисперсії

$$D\left(\Delta_в\right) = \frac{a^2+ab+b^2}{3}\prod_{k=1}^{n} c_k +$$

$$+\sum_{k=1}^{n}\prod_{k=1}^{n} c_k \left[a^2 \cdot e^{-\frac{a^2}{2\sigma_{0_k}^2}} - b^2 \cdot e^{-\frac{b^2}{2\sigma_{0_k}^2}} + 2\sigma_{0_k}^2\left(e^{-\frac{a^2}{2\sigma_{0_k}^2}} - e^{-\frac{b^2}{2\sigma_{0_k}^2}}\right)\right] - \left[M\left(\Delta_в\right)\right]^2. \quad (3)$$

де a і b – відповідно проміжок значень величини Δ;

c_k – стала, що визначається з умови нормування [4];

σ_{0_k} – середнє квадратичне відхилення ексцентриситету.

Для випадку, коли відхилення від круглості за кутом повороту на проміжку [0; 2π] підкорюються нормальному закону розподілу з врахуванням рівня ризику 5% визначали максимальне значення $\Delta_{\max} = \overline{\Delta} + U_p\sqrt{D\left(\Delta\right)}$, де $U_p = \frac{\Delta_p - \overline{\Delta}}{\sqrt{D\left(\Delta\right)}}$ (тут Δ_p – квантіль випадкової величини Δ).

Рекомендовано здійснювати аналіз впливу величини кожної із 10 гармонік на загальну дисперсію розсіювання і на цій основі вносити коректування в технологічний процес формування циліндричних поверхонь.

Запропонований метод апробований при дослідженні відхилень від круглості внутрішніх поверхонь згортних втулок для приводних роликових і втулкових ланцюгів з кроками 9,525 мм; 12,7 мм; 15,875 мм Даугавпілського виробництва 19,05 мм Тульського виробництва (Росія) і 25,4 мм Бішкекського виробництва (Киргизія).

ЛІТЕРАТУРА

1. Гаскаров Д.В. Малая выборка / Д.В. Гаскаров, В.М. Шаповалов. – М.: Статистика, 1978. – 248 с.

2. Колкер Я.Д. Математический анализ точности механической обработки деталей / Я.Д. Колкер. – К.: Техника, 1976. –200 с.

3. Кривий П.Д. Гармонічний аналіз точності форми згортних втулок приводних роликових і втулкових ланцюгів / Кривий П.Д., Сеник А.А., Бондаренко О.А. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Зб. наук. праць. – Краматорськ-Київ: №19, 2006. – с. 196-202.

4. Кривий П. Статистичне оцінювання міцності пресових з'єднань приводних роликових ланцюгів закордонних фірм на основі теорії малої вибірки / П. Кривий, Н. Тимошенко, В. Коломієць, Р. Чорний // Науковий журнал. Вісник Тернопільського національного технічного університету. №2(70). – 2013, – С. 121-129.

5. Жебровская – Луцик С. Методы определения формы цилиндрических деталей // Вестник машиностроения, 1980. №12. – с.41-49.

6. Точность производства в машиностроении и приборостроении [Текст] / Н. А. Бородачев, Р.М. Абдрашитов, И.М. Веселова ; ред. А.Н. Гаврилов. - М. : Машиностроение, 1973. - 567 с.

7. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник. – 5-е изд. перераб. и доп. / А.И. Якушев – М.: Машиностроение, 1979. – 343 с.

ФОРМУВАННЯ РЕГУЛЯРНИХ СІТЧАСТИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ НА ПЛОСКИХ РОБОЧИХ ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Кривий П.Д., Кашуба Н.П.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

Відзначено, що формування на робочих поверхнях регулярних мікрорельєфів сприяє підвищенню цілого ряду показників якості як, наприклад, зносостійкості, втомної міцності, корозійної стійкості, тощо [1].

Проаналізовано існуючі відомі конструкції пристроїв для формування регулярних мікрорельєфів на плоских робочих поверхнях деталей машин [1, 2, 3].

Відзначено, що відомі технічні рішення, в яких зусилля віброобкочування створюється циліндричними пружинами стиску мають спільний недолік, як неоднаковість і нестабільність в часі характеристик пружин, що призводить до незабезпечення регулярності створюваних рельєфів. Окрім цього, при формуванні регулярних мікрорельєфів з використанням пристроїв з кривошипно-шатунним механізмом осциляційного руху віброобкатника [1] верхня і нижня границі канавки являють собою відповідні еквідестанти, що створює значні труднощі при визначенні площ проекцій канавок і відносної площі віброобкочування.

В запропонованому технічному рішенні – пристрої для обробки плоских поверхонь віброобкочуванням [4] відсутні вищезгадані недоліки, так як зусилля віброобкочування створюється штоками з'єднаних гідроциліндрів, а осциляційний рух віброобкатників забезпечується кулачковим механізмом, в якого профіль плоского кулачка виконаний за Архімедовою спіраллю.

Для таких видів сітчастих мікрорельєфів, а саме: I виду - із системою канавок, що не перетинаються; II виду - із системою канавок, що перетинаються; III виду - із системою канавок, що дотикаються; IV виду - сітчастий чотирикутний мікрорельєф, отримані залежності для визначення відносної площі віброобкочування F_{Bi}, де i – порядковий номер виду рельєфу, як основного показника ефективності такої технології. Аналіз отриманих графіків функцій $F_B^I = f(S_n)$; $F_B^{II} = f(n)$; $F_B^{III} = f(b)$ показав, що в залежності від певного елементу режиму віброобкочування (поздовжньої подачі $S_П$, частоти осциляцій n, ширини проекції канавки b) функції F_{Bi} мають екстремальні значення.

Запропоновано методику визначення елементів режиму віброобкочування, які б забезпечували високу продуктивність і максимальну площу віброобкочування при заданому виду регулярного мікрорельєфу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Шнейдер Ю.Г. – Л.: Машиностроение, 1982. – 248 с.

2. А.с. 659370 СССР, МКИ В24 В39/00. Устройство для обработки виброобкатыванием плоских поверхностей / П.Д. Кривый (СССР). - №2486606/25-27; заявл. 12.05.77; опубл. 30.04.79, Бюл. №16.

3. Пат. 18495 UA МПК (2006) B24B 39/00. Пристрій для комбінованої обробки плоских поверхонь деталей / Киричок П.О., Хмілярчук О.І., Олійник В.Г.; заявники Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". – а2012 13722; заявл. 30.11.2012; опубл. 25.06.2013, бюл. № 12/2013

4. Пат. 81025 UA МПК (2013.01) B24B 39/00. Пристрій для обробки плоских поверхонь віброобкочуванням / Кривий П.Д., Кашуба Н.П., Сеник А.А., Кривінський П.П.; заявники Кривий П.Д., Кашуба Н.П., Сеник А.А., Кривінський П.П. – а2012 13722; заявл. 30.11.2012; опубл. 25.06.2013, бюл. № 12/2013

ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОЇ ЗОНИ ПІД ВЕРШИНОЮ СВЕРДЛА ПРИ ВИХОДІ З ТІЛА ЗАГОТОВКИ

Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Продан В.І.
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя (Україна)

Показано, що в загальній трудомісткості механічної обробки свердлильні роботи складають 6…7 % в одиничному і дрібносерійному виробництвах, 10…12 % у середньосерійному і до 20 % в масовому виробництві.

Відзначено, що в даний час спостерігається тенденція, коли багато операцій, які здійснювались на розточувальних верстатах, переводять на більш дешеві і простіші вертикально-свердлильні верстати. Автотракторні заводи, наприклад, мають свердлильних верстатів в 6…10 разів більше ніж розточувальних.

На основі літературних джерел встановлено, що при свердлінні наскрізних отворів виникають пружні деформації (переміщення) деталей механізмів головного руху і подач, в результаті чого накопичується потенціальна енергія, яка при виході інструмента із тіла заготовки спричиняє різке збільшення подач (в 1,4…1,85 рази) і, як наслідок, зростання крутного моменту, що є однією із причин поломок свердл. Для недопущення такого явища при свердлінні наскрізних отворів в автоматичному режимі, подачу рекомендують зменшувати на 10…25 %, а у деяких випадках в 1,35…1,6, і навіть у 2 рази по відношенню до величини подачі, яку призначають при свердлінні глухих отворів. Таке зменшення подачі на всій глибині свердління призводить до значного збільшення основного часу і трудомісткості операції, суттєвого збільшення шляху різання та зменшення періоду стійкості свердл, і в кінцевому рахунку до зниження ефективності обробки. З метою усунення або послаблення впливу таких негативних факторів, використовують пристрої, які забезпечують зміну подачі свердла тільки при виході його із заготовки.

Здійснено аналіз конструкцій і принципів роботи відомих пристроїв для зміни (зменшення) подачі при виході свердла із тіла заготовки показує, що вони мають ряд недоліків, які з одного боку знижують технологічні можливості вертикально-свердлильних верстатів (наприклад, зменшують робочу зону верстата), а з другого – створюють додаткові зусилля на конструктивні елементи коробок швидкостей і подач верстата, що призводить до необхідності неоправданого використання вертикально-свердлильних верстатів більших типорозмірів і потужностей.

З метою практичної реалізації регулювання подачі на етапі виходу свердла з тіла заготовки необхідно знати величину пружно-пластичної зони розміщеної під вершиною свердла перед його виходом із тіла заготовки, що безперечно є актуальною задачею.

Здійснено спробу теоретичного визначення цієї пружно-пластичної зони, яка залежить від подачі S і діаметра свердла D.

При цьому прийняли наступні припущення:

1. Внаслідок обертання свердла в процесі різання під його перемичкою утворюється кругова площадка, діаметр якої дорівнює ширині перемички $\Delta_{пер}$ свердла, тобто $d_{пл} = \Delta_{пер}$.

2. Сила створювана перемичкою $P_п$ складає 60 % від загального осьового зусилля $P_о$, тобто $P_п = 0{,}6 \cdot P_о$ згідно [1].

3. Перемичка в процесі різання і проникнення в метал діє як клин з кутом при його вершині $2\varphi_п$, який дорівнює куту при вершині 2φ свердла.

Скориставшись даними згідно [2, 3] подали утворену перемичкою свердла кругову площадку, як круглу пластину защемлену по контуру, діаметром $d_{пл} = \Delta_{пер}$ та товщиною $\Delta_{п.п.}$, яка визначає величину пружно-пластичної зони, і в центрі цієї площадки розміщена

кругова зона з діаметром $2c$ на якій діє рівномірно розподілене навантаження. Розрахункова схема пластинки подана на рис. 1.

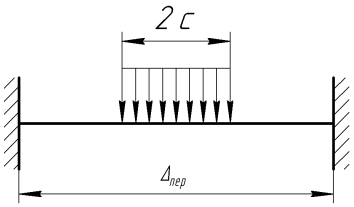


Рисунок 1. Розрахункова схема для визначення величини пружного переміщення в центрі круглої пластинки защемленої по контуру за [2, 3]

При визначені величини пружно-пластичної зони скористались рис. 2 і наступними міркуваннями.

Оскільки при проникненні в тіло заготовки під дією P_n перемички свердла, як клина, на площині ABDC (рис. 2а), що є проекцією граней клина будуть діяти нормальні рівномірно розподілені напруження. Площу прямокутника ABDC визначимо із схеми поданої на рис. 2а та залежностей [4].

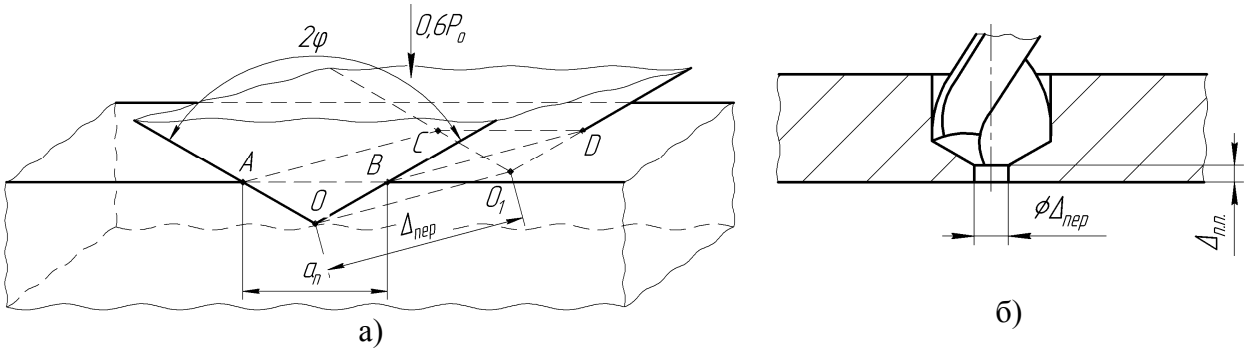


Рисунок 2. Схема взаємодії перемички свердла з оброблюваною заготовкою:
а – схема дії клина; б – параметри пружно-пластичної зони

Зусилля, яке необхідно прикласти для проникнення клина з довжиною леза $\Delta_{пер}$ та кутом при вершині 2φ в тіло заготовки, щоб отримати відпечаток $ABCD$ ($AC = BD = \Delta_{пер}$; $AB = CD = a_{пер}$) скориставшись [4] визначали із залежності

$$P_n = 0{,}6 \cdot P_o = \sigma_в \cdot \left(1 + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{3}\right) \cdot a_n \cdot \Delta_{пер}, \tag{1}$$

де $\sigma_в$ – границя міцності оброблюваного матеріалу, МПа, звідси

$$a_n = \frac{0{,}166 \cdot P_o}{\sigma_в \cdot \Delta_{пер}}. \tag{2}$$

Визначивши з (2) a_n площа S_{ABCD} прямокутника буде

$$S_{ABCD} = \frac{0{,}166 \cdot P_o}{\sigma_в}. \tag{3}$$

Прийнявши, що площі прямокутного відпечатка ABDC і площа кругової зони діаметром $2c$ рівновеликі, отримали значення

$$c = 0{,}23\sqrt{\frac{P_o}{\sigma_o}}. \tag{4}$$

Рівномірно розподілене навантаження g на круговій зоні радіусом c створене зусиллям P_n згідно [4] буде визначали із залежності

$$g = 3{,}614\sigma_в . \tag{5}$$

Скориставшись залежностями поданими в [2, 3], величина пружного переміщення центра круглої пластини защемленої по контуру визначалась із залежності

$$w_{пр} = \left(0{,}68 - 0{,}51\left(\frac{c}{\Delta_{пер}}\right)^2 + 0{,}68\left(\frac{c}{\Delta_{пер}}\right)^2 \cdot \ln\frac{c}{\Delta_{пер}}\right) \cdot \frac{g \cdot \Delta_{пер}{}^2 \cdot c^2}{E \cdot \Delta^3{}_{п.п.}} . \tag{6}$$

Взявши до відома (4) та (5) залежність (6) набула виду

$$w_{пр} = \left(0{,}68 - \frac{0{,}053 \cdot P_o}{\sigma_в \cdot \Delta^2_{пер}} \cdot \left(0{,}51 - 0{,}68 \cdot \ln\frac{\sqrt{\frac{0{,}053 \cdot P_o}{\sigma_в}}}{\Delta_{пер}}\right)\right) \cdot \frac{0{,}191 \cdot P_o \cdot \Delta_{пер}{}^2}{E \cdot \Delta^3_{п.п.}} , \tag{7}$$

прийнявши $\Delta_{пер} = 0{,}2D$ [1] і врахувавши $P_o = C_p \cdot S^{y_p} \cdot D^{x_p} \cdot HB^{n_p}$, та задавшись $w_{пр}$, як фіксованою з певною точністю величиною, отримали залежність для визначення величини пружно-пластичної зони:

$$\Delta_{п.п.} = \left(\left(0{,}68 - \frac{1{,}325 \cdot P_o}{\sigma_в \cdot D^2} \cdot \left(0{,}51 - 0{,}68 \cdot \ln\frac{1.15 \cdot \sqrt{\frac{P_o}{\sigma_в}}}{D}\right)\right) \cdot \frac{0{,}0076 \cdot P_o \cdot D^2}{E \cdot w_{пр}}\right)^{\frac{1}{3}} .$$

де E – модуль пружності оброблюваного матеріалу, МПа.

На основі теоретичних досліджень отримано аналітичну залежність для визначення величини пружно-пластичної зони під вершиною свердла перед його виходом з тіла заготовки, яка визначає величину цієї зони залежно від глибини різання (діаметра свердла), подачі та фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Проведенні експериментальні дослідження величини пружно-пластичної зони підтвердили результати отримані на основі теоретичних залежностей в межах допустимої похибки.

Визначення величини пружно-пластичної зони дозволило забезпечити налагодження допоміжних пристроїв для свердління наскрізних отворів щодо зміни подачі на виході інструменту із тіла заготовки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Филоненко С. Н. Резание металлов / Филоненко С. Н. – К. : Вища школа, 1969. – 260 с.

2. Биргер И.А. Расчет на прочность дедалей машин: Справочник / И.А. Биргер, Б.ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – 3-е изд., перераб. И доп. – М. : Машиностроение, 1979. – 702с.

3. Тимошенко С.П. Пластины и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М. : Наука, 1966. – 636 с.

4. Катаев Ю.П. Пластичность и резание металлов. / Ю.П. Катаев, А.Ф. Павлов, В.М. Белоног. – М. : Машиностроение, 1994. – 144 с.

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТЯГОВОГО ПЛАСТИНЧАСТОГО БЕЗВТУЛКОВОГО ЛАНЦЮГА В ЙМОВІРНОСНОМУ АСПЕКТІ

[1]Кривий П.Д., [1]Ляшук О.Л., [2]Тимошенко Н.М., [1]Кривінський П.П.
[1]Тернопільський національних технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
[2]Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

Відзначено широке застосування тягових пластинчастих безвтулкових ланцюгів (ТПБЛ) при легких режимах роботи в конвеєрах різних транспортних машин.

Запропонована нова конструкція [2] ТПБЛ суть якої полягає в тому, що лівий валик зовнішньої ланки запресовано у ліві отвори зовнішніх пластин, але вільно із зазорами встановлено у праві отвори внутрішніх пластин, а правий валик зовнішньої ланки вільно встановлено в праві отвори зовнішніх пластин, але запресований у ліві отвори інших внутрішніх пластин. Особливість такої конструкції полягає в тому, що в процесі експлуатації і зношування шарнірів контактні кроки внутрішніх і зовнішніх ланок збільшується приблизно на однакову величину, зберігаючи при цьому рівнорозмірність контактних кроків, що сприяє підвищенню довговічності ланцюга.

Здійснено обширний аналіз несучої здатності приводних роликових і втулкових ланцюгів та ТПБЛ, а також несучої здатності і міцності деталей машин на основі робіт Глущенка І. П., Івашкова І. І., Киреєва В. Н., Корабльова А. І., Решетова Д. Н., Серенсена С. В. та інших.

Відзначено, що при розгляді напруженого стану в шарнірах ланцюга [1] прийнято, що колові напруження по контуру на проміжку $[-\pi/2,\ \pi/2]$ розподілені рівномірно. В проаналізованих джерелах несуча здатність ТПБЛ визначалась при допущені, що їх одноімені геометричні параметри величини однакові і постійні. В дійсності такі розмірні параметри як діаметри отворів пластин, значення їх міжцентрових віддалей є величинами випадковими і тому визначення несучої здатності ТПБЛ в ймовірнісному аспекті є актуальним.

Прийнято наступні припущення: закони розподілу розмірних параметрів є нормальними; жорсткість пластин ТПБЛ величина постійна; зусилля розтягу є пропорційне величині деформації пластин; напружений стан пластин розглядаємо тільки в області пружних деформацій; математичні сподівання, що приблизно дорівнюють середнім значенням діаметрів відповідних отворів зовнішніх і внутрішніх пластин і їх міжцентрові віддалі рівні.

Відзначено, що у випадку ідеального забезпечення однакових розмірних параметрів ТПБЛ, на основі [3] допустиме корисне зусилля, що передає ланцюг, тобто його несуча здатність визначають із залежності

$$F_{i\partial.} = 2[p_0]\cdot A_n / K_e, \tag{1}$$

де $[p_0]$ – допустимий тиск в шарнірі; $\grave{A}_i$ - міжцентрова віддаль отворів пластин; K_e - коефіцієнт режиму експлуатації.

У випадку стохастичності розмірних параметрів несуча здатність ТПБЛ визначиться за формулою:

$$F_g = \frac{K_m[p_0]\cdot A_n}{K_e}, \tag{2}$$

де $K_m = 2 - \frac{|F_1 - F_2|}{F_1 + F_2}$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність навантаження пластин через розсіювання їх розмірних параметрів; F_1 і F_2 – відповідно навантаження, що передаються лівою і правою внутрішніми пластинами. Виразивши F_1 і F_2 через жорсткість пластин і їх деформації після спрощень отримали залежність:

$$K_m = 2 - \frac{|\Delta|}{2\Delta_{пл} - |\Delta|}, \tag{3}$$

де Δ – різниця між однойменними розмірними параметрами лівої і правої пластинами, та $\Delta_{пл.}$ - деформація пластини є випадкові величин, з нормальним законом розподілу.

Отримано залежність для визначення щільності розподілу величини Δ і $|\Delta|$ та їх характеристик, а саме $|\overline{\Delta}|$ середнього значення та дисперсії $D(\Delta)$, а також залежності для визначення мінімального $K_{m.\min}$ і найбільш ймовірного значення $K_{m.і.з}$.

$$K_{m\min} = 2 - \frac{0{,}5\sqrt{\delta_A^2 + \delta_d^2}}{2\Delta_{пл} - 0{,}5\sqrt{\delta_A^2 + \delta_d^2}}, \tag{4}$$

$$K_{m.н.і.} = 2 - \frac{0{,}133\sqrt{\delta_A^2 + \delta_d^2}}{2\Delta_{пл} - 0{,}133\sqrt{\delta_A^2 + \delta_d^2}}, \tag{5}$$

де δ_A, та δ_d – відповідно допуски на розміри міжцентрової віддалі отворів пластин та діаметрів їх отворів.

Такий чином, враховуючи стохастичність розмірних параметрів ТПБЛ його несучу здатність рекомендовано визначити за формулою (2), прийнявши мінімально допустиме значення $K_{m.д.}$, яке відповідає заданому рівні ризику 0,05 за нижньою межею поля розсіювання. Для цього необхідно знайти квантиль випадкової величини $|\Delta|$, тобто таке можливе значення Δ_m, для якого функція розподілу F_g буде $F_g(\Delta_m) = P\{\Delta < \Delta_m\} = p = 0{,}95$.

Висновки:

1. Розроблена методика визначення несучої здатності тягового пластичного ланцюга з врахуванням стохастичності розмірних параметрів внутрішніх і зовнішніх пластин.
2. Отримані залежності для визначення мінімальних і найбільш ймовірних значень коефіцієнта нерівномірності навантажень пластин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ивашков И. И. Пластинчастые цепи. Конструирование и расчет/ И. И. Ивашков // – М.: Госнадчтехиздат, 1960. – 264 с.
2. Патент на корисну модель UA № 77644 U Україна МПК (2013.01) B 655G33/00. Тяговий пластинчастий без втулковий ланцюг підвищеної несучої здатності; винахідники і власники Кривий П.Д., Ляшук О.Л. - № u 201208645; заяв. 12.07.2012. опубл. 25.02.2013, Бюл. №4-6с.
3. Решетов Д. Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей / Д. Н. Решетов //- 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОХИБКИ ФОРМИ ТОНКОСТІННИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРОБЦІ БАГАТОЛЕЗОВИМ САМОНАЛАГОДЖУВАЛЬНИМ ОСНАЩЕННЯМ З ОПТИМАЛЬНИМ ЗАТИСКОМ

Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

Процес багатолезової токарної обробки супроводжується пружними деформаціями та вібраціями, які чинять шкідливий вплив на точність та якість оброблюваної поверхні, стійкість інструменту і довговічність верстату. Одним з недоліків процесу токарної обробки тонкостінних заготовок є похибки форми, які виникають як при зовнішній обробці, так і при обробці отворів. Важливим компонентом, який впливає на допуск круглості тонкостінних циліндричних деталей, при точінні одно- та багатолезовим оснащенням є система затиску.

Формування відхилення від форми тонкостінних циліндричних деталей є наслідком наступних трьох ефектів: пружної деформації у зв’язку із дією сил затиску; деформації внаслідок дії сил різання; залишкових напружень, викликаних процесом обробки.

Для зменшення впливу сили затиску та досягнення необхідного допуску круглості існують стандартні шляхи вирішення цієї проблеми: розподіл затискного зусилля за рахунок збільшення числа точок його прикладання; розподіл затискного зусилля за рахунок збільшення площі контакту; регулювання затискного зусилля. Але всі ці шляхи вимагають визначення оптимального числа кулачків і сили затиску в кожному кутовому положенні кулачків для запобігання провертання деталі при забезпеченні деформації в межах допустимих значень. Окрім того, для вирівнювання навантажень на заготовку при різанні доцільно використовувати багатолезове оснащення із самоналагодженням в процесі обробки, яке б забезпечувало симетрію силового портрету технологічної обробної системи.

Виходячи із вище викладеного актуальним є розробка аналітичної моделі для прогнозування кінцевого профілю тонкостінних циліндричних деталей при точінні багатолезовим оснащенням адаптивного типу із оптимальним затиском.

У роботі запропоновано теоретичну модель прогнозування кінцевого профілю тонкостінних циліндричних деталей, яка включає вплив сил різання при обробці багатолезовим оснащенням та сил реакції в стику між заготовкою і кулачками. Основою моделі є теоретичні підходи до визначення деформації кільцевих заготовок при зовнішньому навантаженні силами затиску та внутрішніми навантаженням, викликаними силами різання, що виникають при обробці багатолезовим самоналагоджувальним оснащенням. Результатами моделювання є кінцеві профілі тонкостінних деталей при певних умовах обробки різною кількістю лез багатолезового самоналагоджувального оснащення.

По кінцевому профілю після обробки багатолезовим самоналагоджувальним оснащенням і прогнозуючій моделі сил реакції затискних елементів, можна визначити мінімальне число затискних елементів та діапазон прийнятних сил затиску, що гарантує необхідний допуск круглості тонкостінних циліндричних деталей, забезпечуючи їх надійний затиск під час обробки.

ABB POWER2 НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ ТУРБОНАГНЕТАТЕЛЕЙ ГЛАВНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Матвеев В.В.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Начиная с 2013 года компания ABB Turbocharging начала представлять клиентам Power2 800-M, второе поколение двухступенчатых турбонагнетателей. Предлагая значительные усовершенствования механической эффективности и сокращения выбросов. Превышая ожидания двухступенчатые турбонагнетатели оказались лучше аналогичных одноступенчатых систем. Power2, в его втором поколении представляет следующий шаг в двухступенчатом турбонагнетателе для больших двигателей средней скорости.

Двухступенчатый турбонагнетатель – ключевая технология, которая сокращает потребления топлива и вредных выбросов, помогает увеличить мощность двигателя. С давлениями до 12 бар и турбонагнетателем с полезным действием более чем 75 %, второе поколение Power2 усиливает полный потенциал экстремальных циклов Миллера, чтобы минимизировать NO_X и потребление топлива.

Оптимальная работа

Высокая производительность Power2 достигается в результате своего сложного дизайна, который всегда планировался как специализированные два турбонагнетателя. Его ступени компрессора и турбины выполняют основную роль в этом отношении.

Двухступенчатый турбонагнетатель подразумевает определенные требования, где термодинамические компоненты отличаются от таковых в одноступенчатых системах. Отношения давления компрессоров и турбин в низком - и турбокомпрессоров с высоким давлением в двухступенчатых системах вообще отличаются от таковых в одноступенчатых турбокомпрессорах. Рис. 1 показывает это различие, сравнивая диаграммы компрессора одноступенчатого дизайна и дизайна низкого давления Power2 для того же самого диаметра рабочего колеса. Относительно областей потока нужно рассмотреть различия в плотности, следующей из определенных температур и давлений в верхнем уровне, и стадии низкого давления. Кроме того, рабочие диаграммы компрессоров и турбин должны быть подобраны различно, чтобы позволить неограниченно изменятся по всему диапазону нагрузки.

Турбокомпрессор с высоким давлением представлен двумя разновидностями ступени компрессора, которые определяют желаемые отношения давления. Ступень компрессора, известная от первого поколения, приводит к оптимальной работе с заявленным отношением давления до π_c = 10. Для отношений давления до π_c = 12, был разработан полностью новый дизайн ступени компрессора с высоким давлением. Обе ступени были оптимизированы, сосредоточенно по ширине диаграммы компрессора и эффективности в их определенном рабочем диапазоне. Рабочие диаграммы обеих ступеней представлены на рис. 2. Обе ступени работают на уровне эффективности до 84 % в отношении давления .

Осевые турбины будут использоваться и для ступени низкого давления и для ступени высокого давления. Дизайн турбины выполнен так, что принимают во внимание отклоняющиеся потребности стороны высокого давления и стороны низкого давления. Они следуют из различных температурных уровней и требований области потока.

Осевой дизайн для турбины высокого давления - турбокомпрессор комбинирует преимущества высокого определенного объёма потока (рис. 3), превосходная эффективность даже при частичных нагрузках и хорошем ускорении из-за низких масс моментов инерции.

Требования для ступени низкого давления также отличаются значительно от одноступенчатых турбин. Необходимый диапазон определенных потоков объема в случае турбины низкого давления перемещен к более низкому уровню, чем для одноступенчатых

турбин (рис. 4). Следовательно, это более низкие требование по эксплуатированию в дизайне новой ступени низкого давления, чтобы получить более высокую эффективность ступени.

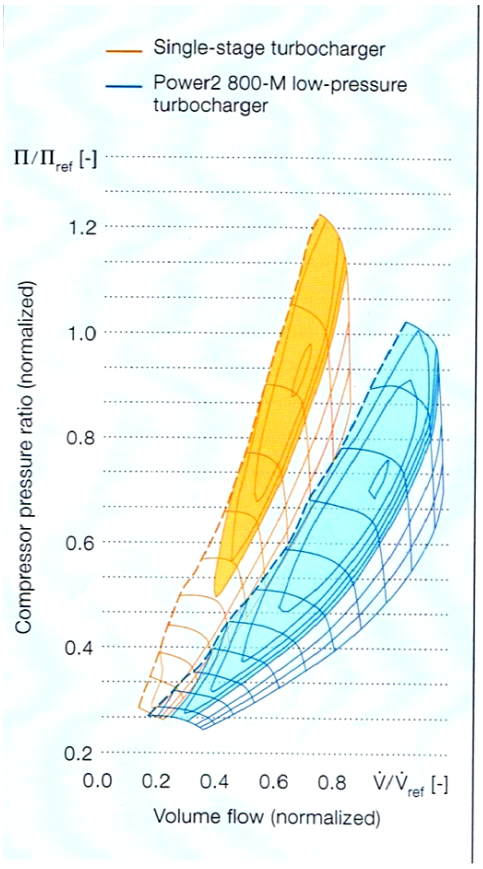


Рисунок 1. Рабочие диаграммы одноступенчатого и двухступенчатого турбокомпрессоров

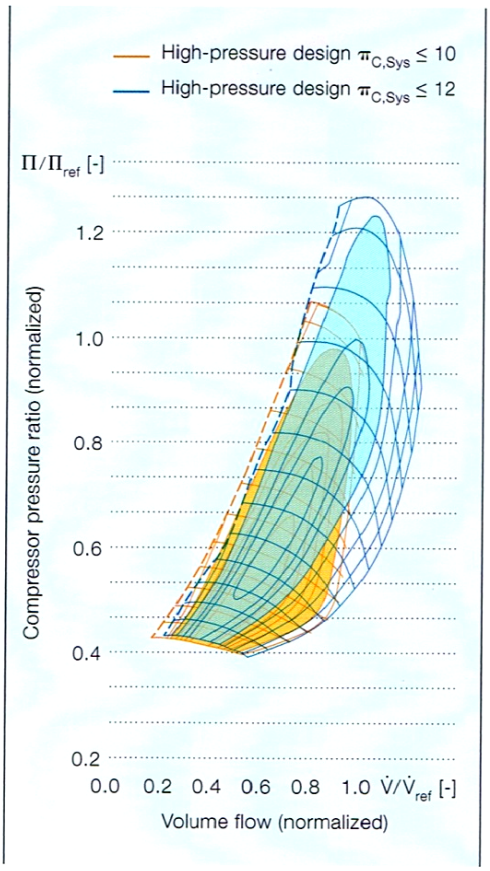


Рисунок 2. Рабочая диаграмма двухступенчатого турбокомпрессора

В дополнение к дизайну компрессора и турбины структура дизайна вокруг этих компонентов, как должны полагать, достигает оптимальной системной работы. Поэтому, дизайн каналов потока и подсистем был оптимизирован во время постройки новых турбокомпрессоров.

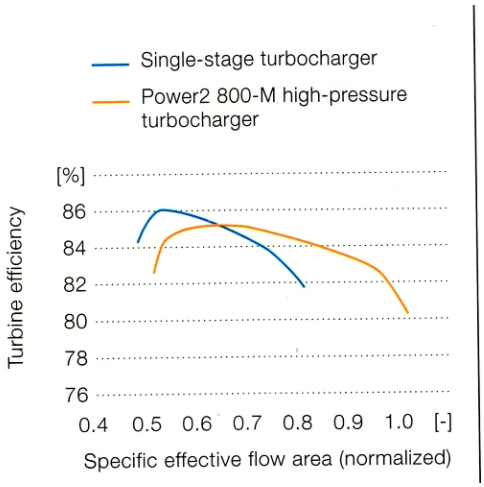


Рисунок 3. Производительность одноступенчатого и двухступенчатого турбокомпрессора в полном диапазоне работы

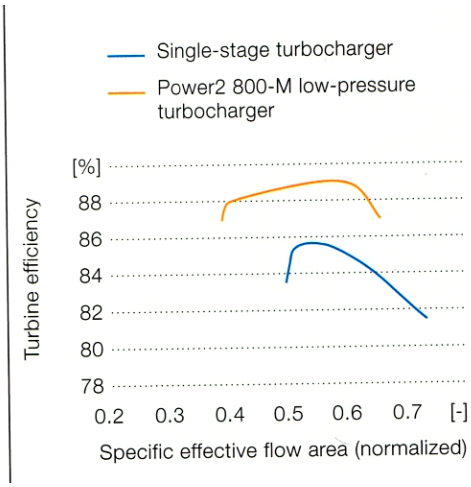


Рисунок 4. Производительность одноступенчатого и двухступенчатого турбокомпрессора на частичных нагрузках работы

Минимальное сервисное время простоя

Доступность (ремонтопригодность) – ключевой фактор для того, чтобы достигнуть оптимальных экономических показателей. Следовательно, время, требуемое для сервисной работы, должно быть уменьшено до минимума. В случае двухступенчатого турбокомпрессора этот аспект становится еще более важным, поскольку там удваивается число турбокомпрессоров, которые будут обслуживаться. Во время развития нового поколения турбокомпрессоров сервисную лояльность рассмотрели с самого начала. Определяемая цель состояла в том, чтобы уменьшить время полного обслуживания двухступенчатой системы в сравнении с текущими одноступенчатыми турбокомпрессорами.

Для турбокомпрессоров второго поколения было использовано доказанное понятие картриджа, чтобы далее уменьшить время обслуживания. Идея извлекаемого картриджа: турбокомпрессор, у которого есть внешняя оболочка, состоящая из кожуха компрессора и газоходов, и группы картриджей. Чтобы сменить картридж во время обслуживания необходимо демонтировать только всасывающую воздушную часть. Все другие интерфейсы к двигателю, такие как топливные связи, наддувочный ресивер, газовое входное отверстие и выхлопной ресивер, остаются нетронутыми. Кроме того, нет никакой потребности, больше удалять изоляцию турбокомпрессора, так как только к всасывающей воздушной части нужно получить доступ во время обслуживания (рис. 5).

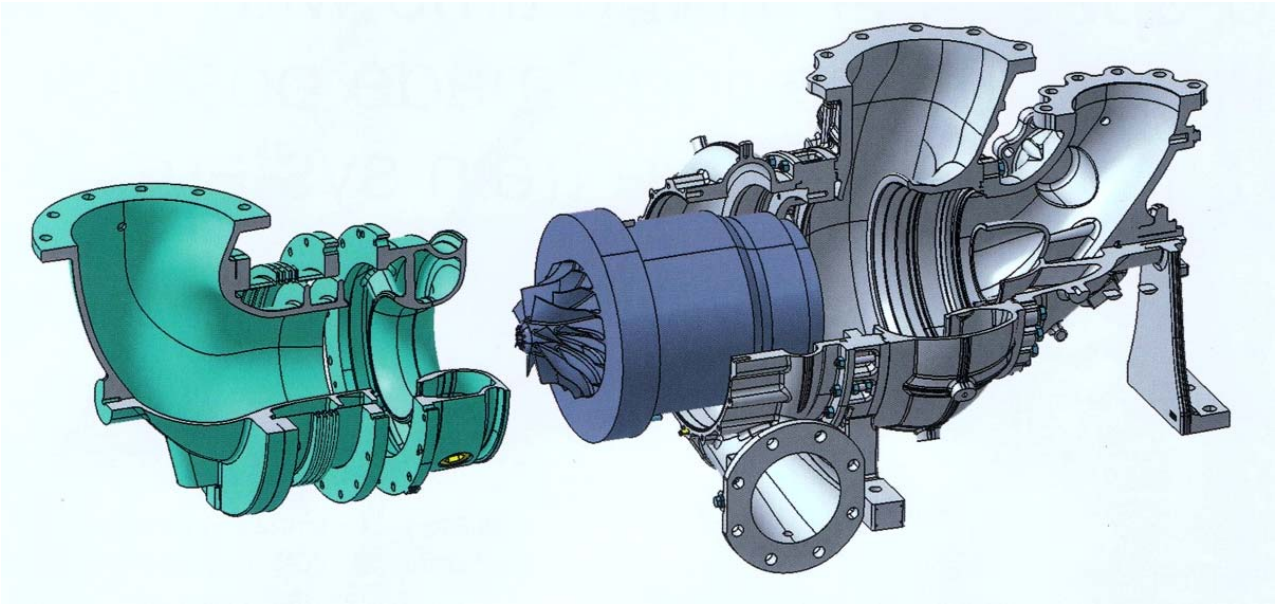


Рисунок 5. Картриджная конструкция двухступенчатого турбонагнетателя

Выводы. Новая конструкция, также соответствует сегодняшним требованиям по загрязнению вредными веществами горения. Power2 второго поколения представляет оптимизированную технологию, соответствующую проектам, которые выполняют все эти требования сразу. Вся система была разработана и оптимизирована для определенных потребностей двухступенчатого турбонагнетателя. С отношениями давления до 12 бар и полезным действием больше 75 %, Power2 показывает полное эксплуатационное преимущество двухступенчатого турбонагнетателя. Непринужденность обслуживания особенно рассмотрели в дизайне. С новым извлекаемым картриджем было минимизировано сервисное время простоя. Ряд 800-M Power2 обеспечивает решение двухступенчатых турбонагнетателей для всего диапазона больших двигателей средней скорости.

РУЛЬОВА МАШИНА З ВАЖІЛЬНИМ ПРИВОДОМ

Овчарук О.М., Проценко В.О.
Херсонська державна морська академія (Україна)

На багатьох транспортних суднах встановлена рульова машина (РМ), що містить балер із нерухомо закріпленим на ньому ротором обертового лопатевого гідродвигуна, який має можливість обертання відносно статора обертового лопатевого гідро двигуна, та станину, на якій нерухомо закріплений статор обертового лопатевого гідродвигуна.

Недоліками описаної рульової машини є недостатня надійність конструкції, обумовлена великими несиметричними навантаженнями в ній; низький об'ємний ККД, внаслідок протікання робочої рідини в довгих контурах ущільнень та їх деформацій; складність експлуатації через погану доступність зон інтенсивного тертя балера та обертового лопатевого двигуна, оскільки останній розташований безпосередньо на балері, а також складність гідросистеми. Так, при перекладанні рульового пера від середньої позиції ($\alpha = 0$) до одного з положень «на борт» ($\alpha = \pm 35°$), на рульове перо та балер діє змінний гідродинамічний момент M, що збільшується від близького до нуля мінімального ($M = M_{min}$) до максимального ($M = M_{max}$), що діє короткочасно. А кутова швидкість при описаному перекладанні рульового пера, навпаки зменшується відповідно зі ω_{max} при середньому положенні до ω_{min} в положенні «на борт». Це, для забезпечення сталої споживаної гідроприводом потужності, вимагає застосування в гідросистемі обертового двигуна насосів змінної подачі, організації слідкувального керування їхньою подачею в залежності від кута повороту рульового пера та ускладнює гідросистему рульової машини. Разом з цим, безпосереднє сполучення балера з ротором обертового гідродвигуна обумовлює побудову останнього призначеним для розвивання максимального обертального моменту $T = M_{max}$ не зважаючи на те, що гідродинамічний момент M на балері за цикл повороту змінюється від близького до нуля до максимального. Це обумовлює громіздкість рульової машини, для зниження якої в теперішній час збільшують тиск у гідросистемі (до 32 МПа і вище), що спричиняє зростання протічок, зниження об'ємного ККД та підвищення споживаної потужності, тобто зниження економічності РМ.

Задачею даної роботи є створення РМ, в якій за рахунок конструктивного виконання можливо вдосконалити її конструкцію та спростити експлуатацію, а також підвищити економічність.

Розв'язання поставленої задачі забезпечується тим, що рульова машина містить балер, сполучений з ротором обертового двигуна, та станину, на якій встановлений статор обертового двигуна, причому балер сполучений з ротором обертового двигуна важільною системою, яка містить нерухомо сполучений з ротором обертового двигуна двоплечовий кривошип, шарнірно сполучені з ними шатуни, та нерухомо закріплене на балері двоплечове коромисло, яке шарнірно сполучене з шатунами.

Виконання в пропонованій РМ важільної системи, до складу якої входять шатуни, що шарнірно поєднують кінці закріпленого на балері коромисла і коротшого за нього з'єднаного з ротором обертового двигуна двоплечовий кривошипа, дозволяє одержати раціональний редукційний ефект (між балером і ротором), при якому при сталій кутовій швидкості і сталому обертальному моменті T на роторі обертового двигуна на балері виникає змінний момент (від M_{min} до M_{max}), еквівалентний гідродинамічному моменту на рульовому пері, який зазвичай менший ніж M_{max}. При цьому, обертальний момент T на роторі обертового двигуна за рахунок наявності редукційного ефекту завжди менший моменту на балері ($T < M$). Забезпечення змінного обертального моменту на балері при сталому обертальному моменті на роторі обертового двигуна за рахунок редукції важільної системи, дозволяє застосувати компактніший обертовий двигун і вдосконалити рульову машину в цілому. У випадку застосування лопатевого гідравлічного обертового

двигуна, зменшення його обертального моменту дозволить знизити робочий тиск в гідросистемі, зменшити протічки через гідродвигун, підвищити об'ємний ККД, економічність та надійність РМ в експлуатації, а автоматичне регулювання обертального моменту на балері важільною системою дозволяє спростити гідросистему РМ за рахунок можливості ліквідації слідкувальної системи та застосування насосів постійної подачі замість насосів змінної подачі.

Конструкція пропонованої РМ показана на кресленнях.

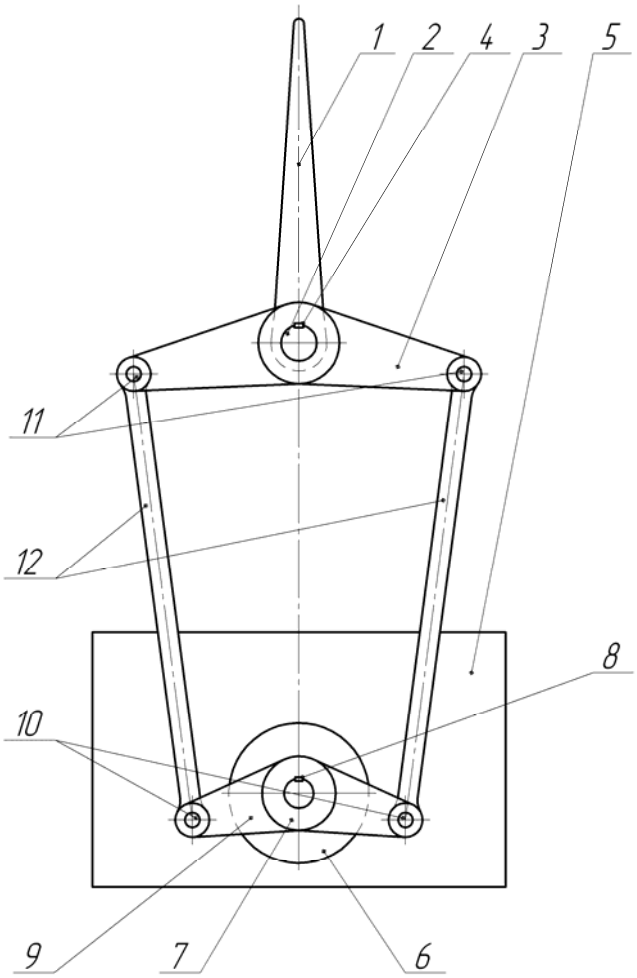


Рисунок 1. Схема важільної системи рульової машини

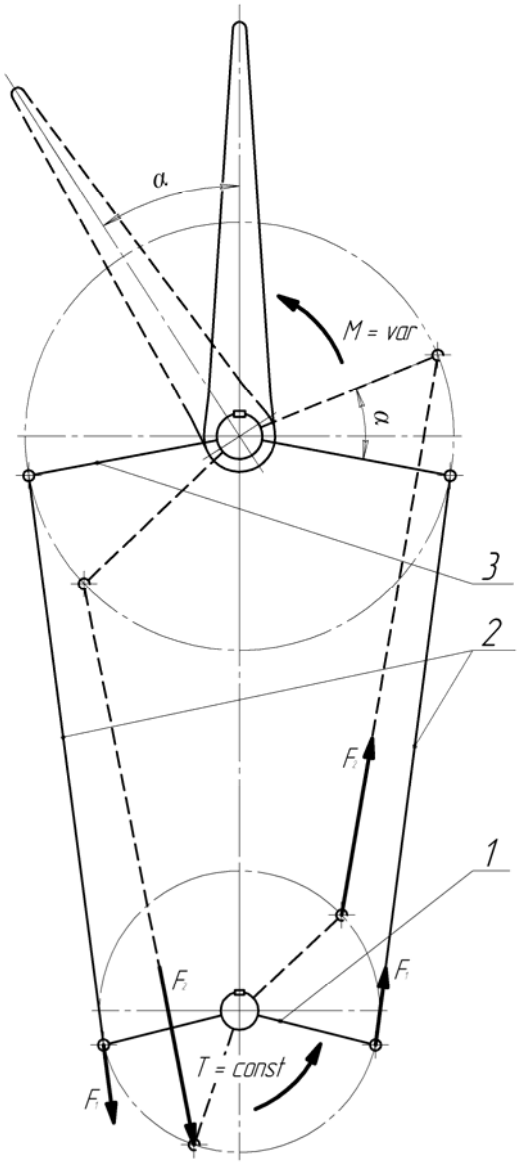


Рисунок 2. Схема роботи важільної системи рульової машини

На рис. 1 показана напівконструктивна схема пропонованої РМ. Рульова машина складається з рульового пера 1, нерухомо закріпленого на балері 2, коромисла 3, нерухомо закріпленого на балері 2 за рахунок шпонки 4. Обертовий двигун, встановлений на станині 5, містить статор 6, закріплений на станині 5, та ротор 7, що має можливість обертання відносно статора 6. На роторі 7 за рахунок шпонки 8 нерухомо закріплений двоплечовий кривошип 9. Двоплечовий кривошип 9 сполучений з двоплечовим коромислом 3 за рахунок приєднаних до них шарнірами 10 та 11 шатунів 12. Пропонована РМ працює наступним чином. При обертанні ротора обертового двигуна 7 відбувається поворот сполученого із ним двоплечовий кривошипа 9, який через шарніри 10 приводить у рух шатуни 12, які через шарніри 11 повертають двоплечове коромисло 3, жорстко сполучений із ним балер та рульове перо, в результаті чого відбувається поворот судна.

Важільна система дозволяє отримати редукційний ефект (рис. 2). На початку повороту рульового пера (ланки показані суцільними лініями) за рахунок повороту двоплечового кривошипа 1 обертальним моментом T, на шатунах 2 створюються поздовжні сила F_1, які спричиняють поворот коромисла 3. При перекладанні рульового пера на кут α (положення показане штриховими лініями) на шатунах створюються сили F_2, які перевищують початкові сили F_1 в 2…3 рази, що при зменшенні плеча дії сил F на коромислі лише на 8…12% дає збільшення моменту на балері приблизно в 2,5 рази $(M \approx 2{,}5T)$.

Виконання в пропонованій РМ важільної системи, до складу якої входять шатуни, що шарнірно поєднують кінці закріпленого на балері коромисла і коротшого за нього з'єднаного з ротором обертового двигуна двоплечовий кривошипа, дозволяє одержати раціональний редукційний ефект (між балером і ротором), при якому, при сталій кутовій швидкості і сталому обертальному моменті T на роторі обертового двигуна, на балері виникає змінний момент (від M_{min} до M_{max}), еквівалентний гідродинамічному моменту на рульовому пері, який зазвичай менший ніж M_{max}. При цьому, обертальний момент T на роторі обертового двигуна за рахунок наявності редукційного ефекту завжди менший моменту на балері ($T < M$). Забезпечення змінного обертального моменту на балері при сталому обертальному моменті на роторі обертового двигуна за рахунок редукції важільної системи, дозволяє застосувати компактніший обертовий двигун і вдосконалити рульову машину в цілому. У випадку застосування лопатевого гідравлічного обертового двигуна, зменшення його обертального моменту дозволить знизити робочий тиск в гідросистемі, зменшити протічки через гідродвигун, підвищити об'ємний ККД, економічність та надійність РМ в експлуатації, а автоматичне регулювання обертального моменту на балері важільною системою дозволяє спростити гідросистему РМ за рахунок можливості ліквідації слідкувальної системи та застосування насосів постійної подачі замість насосів змінної подачі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Завиша В.В., Декин Б.Г. Судовые вспомогательные механизмы. – М.: Транспорт, 1974. – с. 223 – 224.

2. Патент на корисну модель МПК B63H 1/02, №85449. Рульова машина. Патентовласник Херсонська державна морська академія. Авт.: Овчарук О.М., Проценко В.О.;. - №u2013 03983; заявл. 01.04.2013 ; опубл. 25.11.2013, Бюл. №22.

НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ЗГОРТНОЇ ВТУЛКИ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ ФОРМИ

Сеник А.А.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

Проаналізовано існуючі технології виготовлення згортних втулок методом послідовного деформування. Встановлено, що при проходженні карточки через формуючу матрицю на циліндричній поверхні сформованої втулки має місце плоска ділянка, утворена в наслідок згину консольної частини карточки. Подальше калібрування повністю не усуває цієї похибки форми.

Запропоновано нову технологію формування згортної втулки [1], яка забезпечує підвищену точність форми, а саме зменшення відхилення від круглості. Схематично технологічний процес поданий на рисунку.

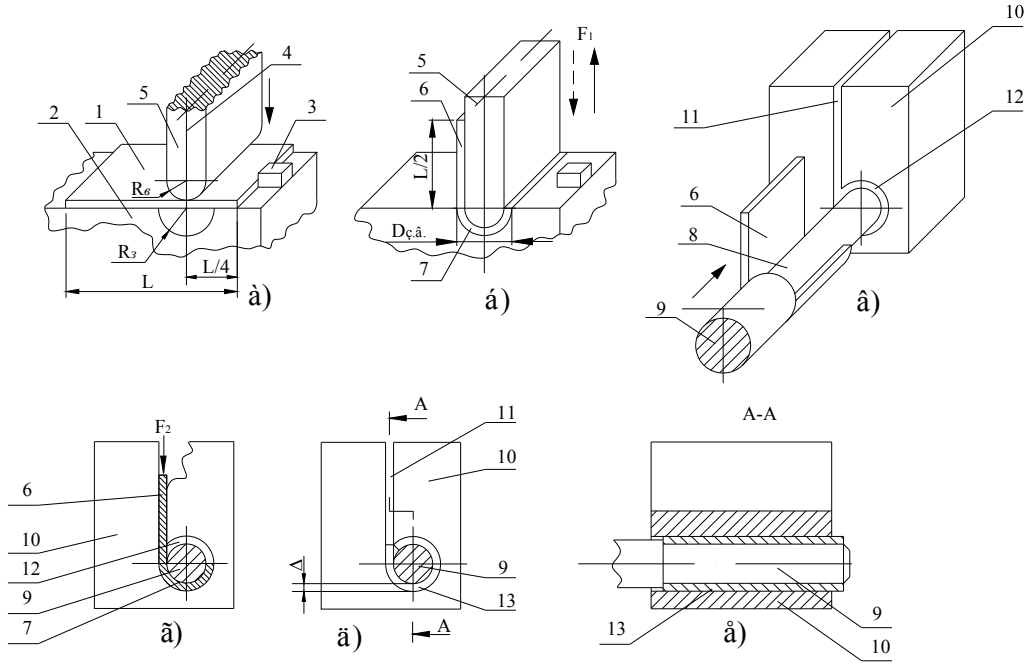


Рисунок 1. Технологічний процес формування згортної втулки: а), б) – переходи попереднього формування U- подібної заготовки; в), г), д), е) – переходи формування згортної втулки

На першому переході (рис. 1, а) карточку 1 довжиною *L* встановлюють на першу матрицю 2 до упора 3, який розміщують на віддалі яка дорівнює *L*/4 від правого торця карточки 1 до поздовжньої осі 4 пуансона 5, що знаходиться у верхньому крайньому положенні.

На другому переході (рис. 1, б) пуансон 5 переміщають вертикально вниз і під дією деформуючого зусилля F_1 карточку 1 (рис.1 а) деформують і отримують нерівносторонню *U*- подібну заготовку 6 з прямолінійною ділянкою довжиною *L*/2 та напівциліндричною ділянкою, в якої діаметр зовнішньої циліндричної поверхні дорівнює діаметру зовнішньої циліндричної поверхні втулки $D_{з.в.}$, після чого пуансон 5 переміщають у верхнє початкове положення.

На третьому переході (рис. 1, в) отриману на другому переході (рис. 1, б) нерівносторонню *U*- подібну заготовку 6 переміщають вертикально вгору до контакту внутрішньої циліндричної поверхні напівциліндричної ділянки 7 заготовки 6 з циліндричною поверхнею 8 оправки 9, після чого співвісно переміщають оправку 9 із нерівностороньою *U*- подібною заготовкою 6 у формуючу матрицю 10, в якій є прямолінійна порожнина 11, спряжена із кільцевою порожниною 12.

На четвертому переході (рис. 1, г) під дією деформуючого зусилля F_2 нерівносторонню U-подібну заготовку 6 переміщають по прямолінійній 11 і тангенціально кільцевій 12 порожнинах формуючої матриці 10 і в процесі переміщення заготовки 6 формують згортну втулку 13. На (рис. 1, д) подано кінцеве положення заготовки 6 у формуючій матриці 10 після виконання четвертого переходу.

На п'ятому переході (рис. 1 е) оправку 9 переміщають зліва направо і виштовхують втулку 13 з кільцевої порожнини 12 формуючої матриці 10 у філь'єри (на рис. не показано) для подальшого її калібрування. Після чого оправку 9 повертають у вихідне положення і процес формування повторюють.

Для визначення ефективності запропонованого технологічного процесу здійснили експериментальні дослідження. Об'єктом експериментального дослідження була згортка втулка для приводного роликового і втулкового ланцюга ПР-19,05 – 31,8 ДСТУ ГОСТ 13568: 2006 (USO 606 - 94) (ISO 606: 1994, NEQ). Матеріал згортної втулки – Сталь 65Г.

За кресленням згортна втулка має такі розміри: зовнішній діаметр D=8,6$_{-0,02}$ мм; внутрішній діаметр d=6,06$^{+0,05}$мм; висота втулки H=17,75$_{-0,15}$мм.

Спочатку визначили довжину L карточки. Врахувавши середні значення діаметрів згортної втулки, відповідно D_{cp}=8,59мм; d_{cp}=6,085мм, визначили радіус кривизни нейтрального шару $r_н$ згортної втулки як бруса великої кривизни ($\rho < 7h$), де ρ - радіус кривизни осі бруса; h - розмір поперечного перерізу у площині кривизни: ρ=3,669 мм; h=1,252 мм; $7h$=8,764 мм за формулою [2]:

$$r_н = h / \ln(R_{cp} / r_{cp}), \qquad (1)$$

де R_{cp}=4,295мм – середнє значення радіуса зовнішньої циліндричної поверхні втулки; r_{cp}=3,042мм – середнє значення радіуса внутрішньої циліндричної поверхні втулки.

Підставивши отримані значення в (1), отримали $r_н = 3{,}629$ (мм). Тоді довжина L карточки буде дорівнювати $L = 2\pi r_н = 2\pi \cdot 3{,}629 \approx 22{,}79$ (мм).

Виконавши технологічні переходи, отримали згортні втулки. Отримані втулки по торцю сканували і зображення внутрішньої циліндричної поверхні збільшували у масштабі. В проекцію внутрішньої циліндричної поверхні вписували коло так, щоб при цьому воно контактувало не менше, ніж у трьох точках з профілем втулки і визначали за [3] відхилення від круглості. Аналогічно визначали відхилення від круглості внутрішньої циліндричної поверхні згортних втулок отриманих за традиційним відомим способом. Встановили, що запропонована технологія формування згортної втулки забезпечує зменшення відхилення від круглості по відношенню до існуючого в 1,32 разів.

Таким чином реалізація запропонованої технології забезпечить в першу чергу, підвищення точності форми (відхилення від круглості) втулки після її формування з карточки і тим самим дасть можливість зменшити кількість філь'єр при калібруванні та підвищити їхню стійкість (довговічність), що безперечно, дасть певний економічний ефект.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пат. 78307 Україна МПК B21 D5/00. Спосіб виготовлення згортної втулки / Сеник А.А, Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Бондаренко О.Л., Кривінський П.П.; заявник і власник ТНТУ ім. І. Пулюя. - № u201211625; заявл.08.10.2013; опубл.11.03.2013, Бюл. №5.

2. Справочник металлиста: в 5 т./[Под ред. д-ра техн. наук Чернавского С.А. и канд. техн. наук Рещикова В.Ф.] – М.: Машиностроение. Т.1.-1976.– с. 231-233.

3. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учеб. для втузов / А. И. Якушев. – 5-е изд, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1979. – 344 с. : ил.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ БЫТОВЫМ ТВЕРДОТОПЛИВНЫМ КОТЛОМ

Тищенко А.Ю.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Вступление и актуальность темы. Актуальность темы определяется значительным повышением интереса к твёрдотопливным котлам в связи с подорожанием газа и ожидаемыми трудностями с его поставкой. Управление твёрдотопливным котлом значительно сложнее, чем газовым. Загрузка котла топливом может осуществляться вручную через значительные промежутки времени. Необходимо поддерживать непрерывное горение даже при превышении температурой котла заданного значения, поскольку розжиг производится вручную. Интенсивность горения должна автоматически регулироваться для достижения заданных температур путём управления мощностью наддува. Для котлов имеющих шнековую подачу топлива интенсивность его подачи должна меняться при изменении мощности наддува.

Данный блок управления предназначен для котлов обслуживающий одновременно системы отопления и горячего водоснабжения и разработан по заказу ЧСМНП «Газкотлоспецмонтажналадка».

Постановка задачи при проектировании блока управления. Микроконтроллерный блок управления должен решать следующие задачи:

- автоматическое поддержание заданной температуры в системе отопления;
- автоматическое поддержание заданной температуры в накопителе горячей воды;
- автоматическое поддержание заданной температуры в обратном трубопроводе котла (рециркуляция);
- автоматический переход из режима розжига в рабочий режим (также и для котлов с пиролизным сжиганием топлива);
- автоматический переход в режим поддержания горения (и обратно), что позволяет экономить топливо;
- управление то комнатного термостата, что помогает удерживать комфортную температуру в обогреваемых помещениях;
- формирование сигнала о недостатке топлива;
- плавный старт вентилятора, что обеспечивает безопасность;

Управление устройством должно быть доступным и интуитивно понятным.

Результаты работы. Разработанный блок управления (рис. 1) имеет на передней панели графический индикатор отображающий мнемосхему системы отопления (ЦО) и горячего водоснабжения (ГВС), состояние датчиков аварий, режим работы системы, а также заданную и текущую температуры. Гибкая система индикации позволяет организовать диалог с оператором с использованием лишь четырёх кнопок.

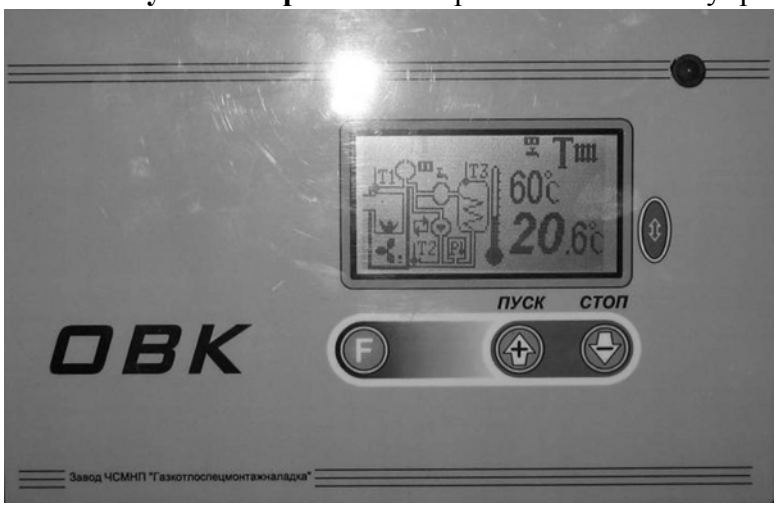


Рисунок 1. Внешний вид блока управления твёрдотопливным котлом

Блок реализован на восьмиразрядном микроконтроллере C8051F350 фирмы "Silicon Laboratories", который обладает высокоточным (до 24 бит) дельта-сигма аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и встроенным токовым цифро-аналоговым преобразователем [1, 2]. В качестве экрана применён графический жидкокристаллический индикатор RDX0077 (128x64 точки) [3], связанный с микроконтроллером по интерфейсу I^2C [4], на который подключена так же FLASH память AT24C64 [5] хранящая мнемонические изображения и параметры настройки. Аварийные контактные датчики подключаются к микроконтроллеру через гальваническую развязку на транзисторных оптронах, что обеспечивает защиту микроконтроллера от помех и случайных потенциалов на линиях связи. Исполнительные механизмы, а именно насосы и привод шнека или заслонка дымохода у безшнековых котлов, подключены через малогабаритные электромагнитные реле, что обеспечивает их гальваническую развязку от блока управления. В системе применены полупроводниковые термодатчики LM135 [6], выходной сигнал которых составляет 10 мВ/К (от 2,7 до 3,8 В в рабочем диапазоне). Для согласования с диапазоном входного сигнала АЦП микроконтроллера применён резисторный делитель, совмещённый со средствами защиты. Использован дифференциальный вход АЦП (относительно опорного напряжения) и усилитель входного сигнала в четыре раза, входящий в состав C8051F350. Все эти меры обеспечивают диапазон входного сигнала от 2,395 до 3,993 В. Конструктивно термодатчики доработаны для обеспечения удобства установки в системе и защиты соединительных линий, не имеющих гальванической развязки. Печатная плата микроконтроллерного блока управления и конструкция термодатчика показаны на рис. 2.

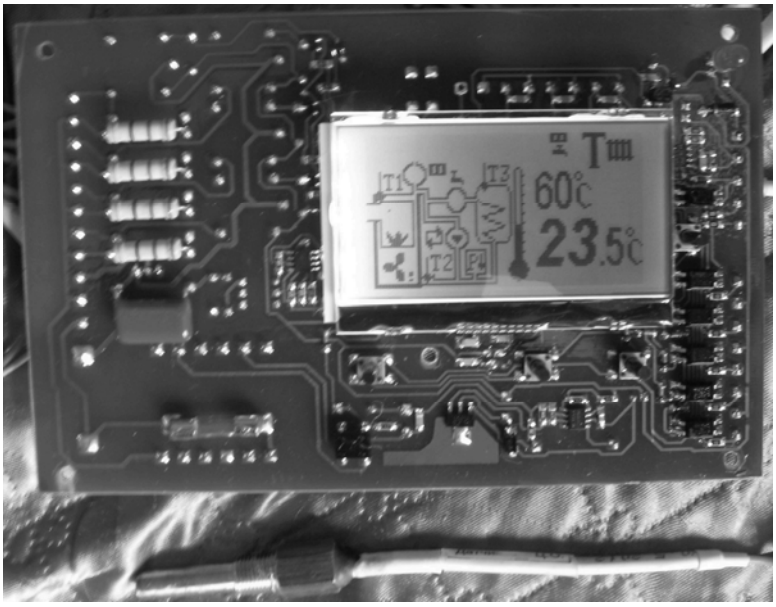


Рисунок 2. Конструктивное решение блока управления и датчика температуры

Применение микроконтроллера в составе блока управления позволяет проводить доработку алгоритма управления котлом по результатам его эксплуатации без изменения состава и структуры управляющего оборудования. Такая возможность собственно и явилась первопричиной появления первых управляющих ЭВМ, а затем и микроконтроллеров. Решаемая задача по силам большинству выпускаемых в настоящее время микроконтроллеров. Выбор прибора C8051F350 фирмы “Silicon Laboratories” в основном определялся наличием, как у разработчика, так и у заказчика опыта работы с приборами данной фирмы и специализированных средств разработки и отладки программного обеспечения. Соответствующий USB отладчик в своё время был самым дешёвым из поставлявшихся на Украину. Полученное схемное решение достаточно просто и содержит лишь две цифровые БИС и несколько аналоговых ИС в источниках питания.

Функциональные возможности микроконтроллерного блока управления.

Разработанный блок управления обеспечивает:

− автоматический переход из запускаемого вручную режима розжига к режиму регулирования;

− управление мощностью наддува и насосом ГВС с целью поддержания заданных температур ЦО и накопителя ГВС;

− переход в режим поддержания горения, если мощность котла избыточна, и автоматический возврат в режим регулирования;

− принятие мер против перегрева котла по достижению определённой температуры;

− возврат в режим поддержания горения при снижении температуры или аварийный останов котла, если снизить температуру не удалось.

Непосредственно на объекте, как конечный пользователь, так и представители сервисной службы изготовителя могут менять ряд параметров регулирования (цифровых уставок). Так обеспечивается адаптация системы регулирования к характеристикам конкретной системы индивидуального отопления и горячего водоснабжения.

Рассмотрим подробнее режимы диалога с оператором. На рис. 3 показан индикатор устройства в режиме редактирования уставок конечным пользователем.

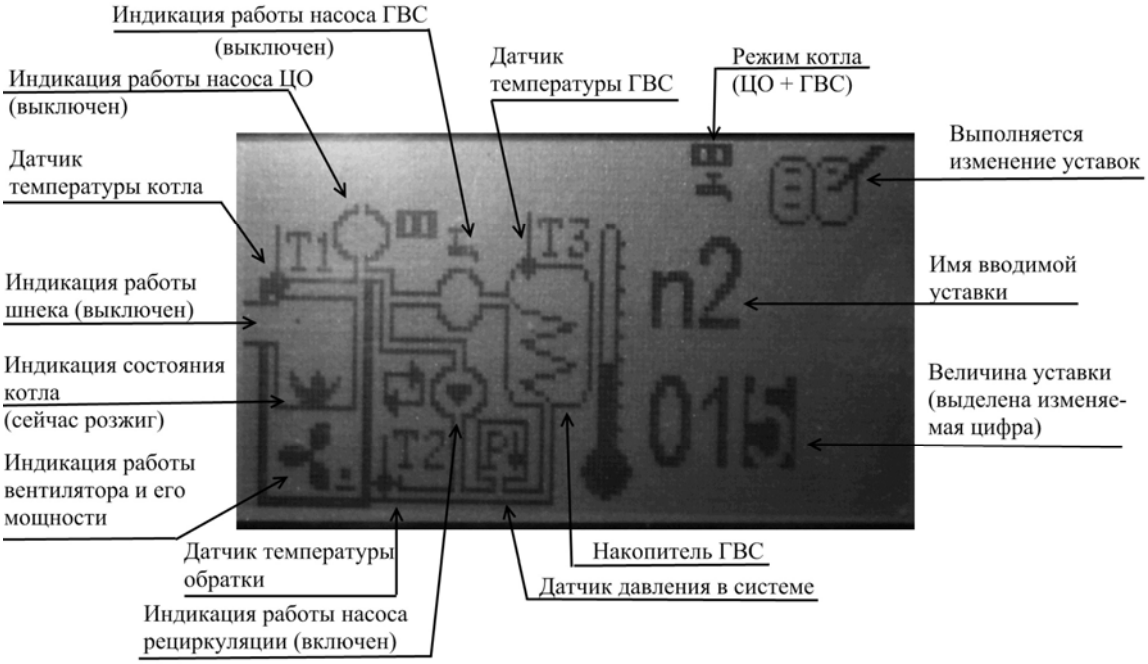


Рисунок 3. Элементы мнемонической схемы на индикаторе устройства и поддержка диалога с пользователем

Реализованы следующие режимы взаимодействия с оператором:

− основной режим с контролем температур отопления, горячего водоснабжения и рециркуляции;

− режим установки заданных температур и вида работы (только ЦО, ЦО + ГВС, ЦО с приоритетом ГВС или только ГВС);

− режим ручного управления исполнительными устройствами системы, а именно насосами, шнеком подачи топлива, вентилятором (с регулировкой мощности), при этом на мнемосхеме изображение соответствующего устройства мигает;

− режимы изменения сервисных уставок и параметров задаваемых производителем.

Реализованы следующие режимы взаимодействия с оператором:

− основной режим с контролем температур отопления, горячего водоснабжения и рециркуляции;

− режим установки заданных температур и вида работы (только ЦО, ЦО + ГВС, ЦО с приоритетом ГВС или только ГВС);

− режим ручного управления исполнительными устройствами системы, а именно насосами, шнеком подачи топлива, вентилятором (с регулировкой мощности), при этом на мнемосхеме изображение соответствующего устройства мигает;

− режимы изменения сервисных уставок и параметров задаваемых производителем.

В левой части индикатора выведена мнемосхема системы, на которой отображается состояние всех исполнительных устройств. На мнемосхеме также указано расположение термодатчиков, изображение которых мигает при обнаружении неисправности. В верхней части мнемосхемы выводятся мигающие изображения сработавших аварийных датчиков. Далее в верхней части индицируется вид работы установки (ЦО + ГВС) и признак режима диалога с оператором (в данном случае редактирование уставок пользователем). В основном режиме работы на этом месте указывается, какая именно температура (ЦО, ГВС или обратки) выведена на индикацию, а ниже её заданное и текущее значение (смотри рис. 1 и 2). В правой части индикатора указано имя редактируемой уставки, а ниже её численное значение. Редактирование этого значения выполняется следующим образом:

− цифры изменяются по очереди кнопками " + " и " – ";

− переход с цифры на цифру осуществляется кнопкой перебора;

− переход на редактирование следующей уставки кнопкой "F";

− выход из режима редактирования (с сохранением результата) длительным нажатием кнопки "F";

− вход в один из режимов редактирования или ручного управления длительным нажатием соответствующей комбинации клавиш.

Таким образом, всё управление блоком достаточно просто и наглядно.

Некоторые вопросы программного обеспечения устройства.

Программное обеспечение блока написано на языке Си, достаточно близком к варианту языка изложенному в [7]. Использовались необходимые для микроконтроллеров расширения языка, позволяющие задать для размещения каждой переменной определённый тип памяти: постоянная, оперативная, оперативная с битовой адресацией или оперативная с только косвенной адресацией. Трансляция и отладка программы проводилась с помощью интегральной системы программирования фирмы "Silicon Laboratories" [8]. Подпрограммы инициализации микроконтроллера были сформированы автоматически средством разработки "Configuration Wizard 2" [9].

Функционирование программы организовано по принципу жёсткого реального времени, когда каждому возможному действию отведен вполне определённый интервал в цикле работы устройства. Такой подход, хотя и требует избыточного быстродействия процессора, позволяет программно формировать временную диаграмму работы любого узла устройства. Например, мигание иконки на индикаторе осуществляется с заданной частотой независимо от загруженности процессора другими задачами. Для организации такого режима одного программного счётчика и одного аппаратного таймера формирующего регулярные прерывания.

Для обеспечения наглядности управления желательно наличие на индикаторе мнемосхемы управляемой системы и ряда специальных иконок. Однако заказ индикаторов с заданным рисунком, хотя и возможен (в том числе и на Украине) нерентабелен при небольших объёмах производства. Поэтому в устройстве применён универсальный графический индикатор, связанный с микроконтроллером по интерфейсу I^2C. Графическая кодировка изображения мнемосхемы системы, необходимых иконок и символов была подготовлена на ПЭВМ с помощью программы LcdIcon [10]. Скан экрана компьютера при работе этой программы с иконками аварийных датчиков и режимов, изображением мнемосхемы и панелью инструментов приведен на рис. 4.

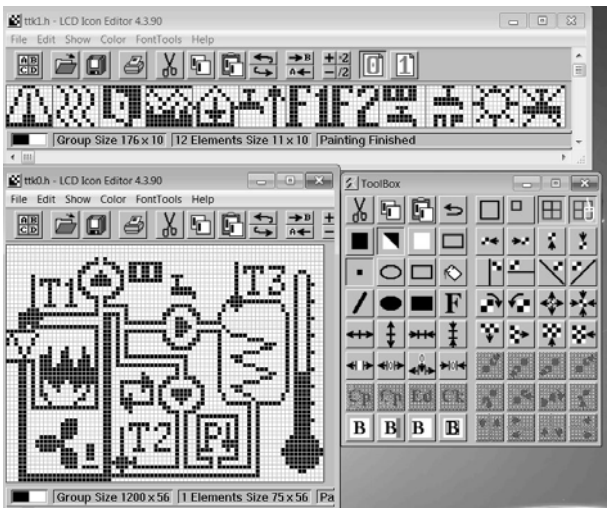


Рисунок 4. Разработка выводимых на индикатор иконок в программе LcdIcon

Эти кодировки изображений хранятся в FLASH памяти типа AT24C64. Управление индикатором осуществляется следующими специально разработанными подпрограммами:

- очистка заданного (аргументами подпрограммы) окна на экране;
- восстановление в заданном окне изображения мнемосхемы системы;
- вывод заданной (аргументом подпрограммы) иконки на предопределённое для неё место на экране;
- вывод заданной цифры и некоторых знаков на заданное место экрана в прямом или инверсном изображении;
- вывод заданной цифры и некоторых знаков на заданное место экрана увеличенным шрифтом.

Выводы. Разработанная автоматика приближает по комфортности использования твёрдотопливную систему к газовым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гладштейн М. А. Микроконтроллеры смешанного сигнала C8051Fxxx фирмы Silicon Laboralories и их применение. Руководство пользователя. – М.: Издательский дом «Додэка-XX1», 2008. – 336 с: ил. – (Серия «Мировая электроника»).
2. Николайчук О. Новое семейство микроконтроллеров фирмы Silicon Laboratories со встроенным 24-битным АЦП. – Схемотехника. – №9. – 2004. – С.17-19.
3. Чернов Г. Графический 132×64 COG индикатор RDX0154GC (RTB01025). – Днепропетровск. – 2011. – v1.0. – URL: http://svetomuzyka.narod.ru/project/UC1601s.html.
4. Семенов Б. Ю. ШИНА I2C В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ. – М.: «СОЛОН-Р», 2002. – 190 с.
5. AT24C64 2-Wire Serial EEPROM руководящий материал фирмы Atmel Rev. 0336K-SEEPR-7/03. – URL: http://www.gaw.ru/pdf/Atmel/at24/AT24C64B.pdf.
6. Precision temperature sensors LM135-LM235-LM335. Руководящий материал фирмы STMicroelectronics, 2008. – 16 с. – URL: http://www.st.com/web/en/resource/ technical/document/datasheet/CD00000459.pdf.
7. Болски М. И. Язык программирования Си. Справочник: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1988. – 96 с: ил. – ISBN 5-256-00171-X.
8. Silicon Labs IDE. – URL: http://www.silabs.com/Support%20Documents/Software/ mcu_ide.exe.
9. Configuration Wizard 2. – URL: http://www.silabs.com/Support%20Documents/ Software/ configandconfig2install.exe.
10. Celling started with LCD Icon Editor Graphic Font & Icon Designer for Windows DanMagic Bregnerodvej 61 DK 3460 Birkerod Denmark. – 91 p.

СЕКЦІЯ 5

НОВІ МАТЕРІАЛИ В СУДНОБУДУВАННІ І СУДНОРЕМОНТІ

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Алексенко В.Л., Букетов А.В., Браило Н.В., Белошицкий С.А.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Введение. Одним из базовых направлений развития материаловедения должны стать разработка и производство конструкционных материалов с заранее заданными свойствами. Эти материалы вытесняют традиционную низколегированную судостроительную сталь и стают важным элементом предстоящей на водном транспорте технологической революции. Современные разработки должны включать масштабные теоретические и экспериментальные исследования по конструированию и прогнозированию свойств перспективных композитных материалов, среди которых важное место занимают эпоксикомпозиты [1].

Состояние вопроса. Теоретическое определение механических свойств новых конструкционных материалов с приемлемой для практики точностью в большинстве случаев вызывает значительные трудности на современном этапе развития материаловедения. В частности до настоящего времени не разработан аппарат прогнозирования физико-механических свойств композитов на основе эпоксидной смолы ЭД-20. В любом случае результаты расчётов подлежат экспериментальной проверке.

Механические константы конструкционных материалов определяют наиболее важные эксплуатационные свойства и включают характеристики прочности и жёсткости. Их обычно находят при обработке результатов испытаний стандартных образцов на растяжение-сжатие или изгиб.

В рассматриваемом случае результаты испытаний могут быть зарегистрированы одним из способов:

- с помощью диаграммного аппарата, которым обычно снабжаются универсальные испытательные машины. Диаграммный аппарат позволяет в определённом масштабе записывать зависимость $P = f(\Delta l)$ между усилием P и абсолютной продольной деформацией образцов Δl;
- при испытании образцов на чистый изгиб, в том числе на машинах без диаграммного аппарата, по показаниям динамометра и механического датчика перемещений в виде таблицы $P=f(w)$.

Обе зависимости (графическая и табличная) могут быть приведены к виду

$$\sigma = f(\varepsilon), \qquad (1)$$

где σ – нормальные напряжения при растяжении или в крайних продольных волокнах образца при испытаниях на чистый изгиб; ε – относительная деформация.

Некоторые материалы, в частности малоуглеродистая конструкционная сталь, обладают выраженным начальным линейным участком, на котором он подчиняется закону Гука при растяжении-сжатии:

$$\sigma = E\varepsilon, \qquad (2)$$

где E – модуль продольной упругости (Юнга). В пределах упругости нелинейные начальные участки диаграмм заменяют на практике секущими прямыми и в расчётах используют так называемый секущий модуль E_c.

Модуль Юнга является механической константой характеризующей жёсткость материала, а его определение для новых материалов является одной из первоочередных задач.

Постановка проблемы. Поскольку результаты любых измерений содержат систематическую и случайную погрешности, последняя должна быть минимизирована путём многократных измерений, а результаты следует представить достаточно простой аналитической зависимостью. При этом желательно также выявить и компенсировать

систематическую погрешность. Одним из наиболее эффективных способом обработки результатов наблюдений является метод наименьших квадратов (МНК) [2].

Суть МНК. Пусть задана таблица $\bar{f}_j(x_j)\, j = 1,2...m$ с результатами некоторого физического эксперимента. Очевидно, что каждый результат измерений содержит погрешность $\Delta_j = f_j(x_j) - \bar{f}_j(x_j)$, величина, которой, как и точные значение $f_j(x_j)$ неизвестны. Ставится задача наилучшего, по-некоторому критерию, приближения функции $f(x)$ выражением, которое содержит неизвестные параметры a_i, подлежащие определению, например полиномом степени $n < m$:

$$f(x) = \sum_{i=0}^{i=n} a_i x^i \qquad (3)$$

Способ подбора коэффициентов, обеспечивающий минимальную сумму квадратов отклонений значений полинома (3) или иной аппроксимирующей функции от заданной (таблицей, дифференциальным уравнением и др.), называется методом наименьших квадратов. В рассматриваемом случае для определения коэффициентов a_k аппроксимирующего полинома (3) способ требует решить нормальную систему уравнений линейных относительно указанных коэффициентов:

$$\sum_{i=0}^{n} a_i \sum_{j=1}^{m} x_j^{i+k} = \sum_{j=1}^{m} \bar{f}_j x_j^k;\, i,k = 0,1...n;\, j = 1,2...m \qquad (4)$$

В интернете распространяются многочисленные программы, реализующие этот метод. Их общим недостатком является то, что предлагаются они в исполняемых кодах. Последнее не позволяет учитывать особенности конкретных задач обработки результатов наблюдений.

Цели исследования. В настоящем исследовании поставлены задачи:

- создание программного продукта в исходных кодах для математико-статистической обработки результатов испытания образцов конструкционных материалов на чистый изгиб;
- программа должна быть написана на распространённом языке программирования высокого уровня и подробно комментироваться с целью облегчения её модификаций рядовыми пользователями под конкретные задачи исследований;
- апробировать программу в задачах, решаемых в НИЛ «Полимерные композитные материалы в судостроении» Херсонской государственной морской академии (далее в тексте «Лаборатория») с получением статистических оценок ошибок наблюдений.

Основное содержание работы. Обработка результатов испытания призматических образцов на изгиб по 4-х точечной схеме.

На рис. 1 представлена расчётная схема испытания образца из композита на основе эпоксидной смолы ЭД-20 на машине МИП-100. Приспособление, состоящее из двух траверс с шарнирными опорами, позволяет создавать на среднем участке образца деформацию чистого изгиба.

Прогиб в середине пролёта балки:

$$w(x=l/2) = Pal^2/(8EI). \qquad (5)$$

Откуда:

$$E = Pal^2/(8Iw(x=l/2)), \qquad (6)$$

или с учётом, что для прямоугольного поперечного сечения $I = bh^3/12$ получим:

$$E = k\, P/w, \text{ где } k = 1,5\, a(l/h)^2/A \qquad (7)$$

Здесь $A=bh$, b и h соответственно ширина сечения образца и его высота в плоскости изгиба.

Погрешность определения модуля продольной упругости E по формуле (7) складывается из погрешностей определения коэффициента k и отношения P/w.

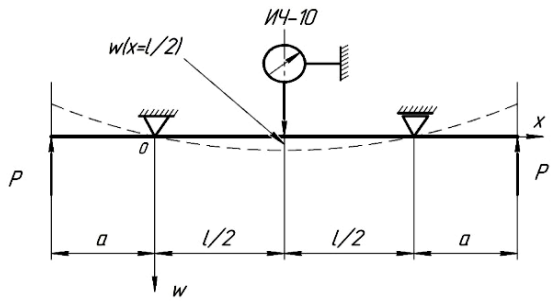


Рисунок 1 – Расчётная схема испытаний на чистый изгиб

Погрешность k включает систематическую и случайную составляющие. Случайная составляющая может быть уменьшена увеличением точности изготовления и измерения геометрических параметров образца и нагружающего устройства. Систематическая погрешность связана с принятой физической моделью деформируемого тела (однородный изотропный брус, подчиняющийся гипотезе плоских сечений и закону Гука) и некоторыми другими факторами. Для эпоксикомпозитных материалов существенная часть этой погрешности обусловлена технологической неоднородностью материала, в том числе за счёт оседания частиц наполнителя под действием сил тяжести в процессе отвердевания. Случайная погрешность $\Delta_{сл}(P/w)$ определения отношения P/w геометрически суммируется из случайных погрешностей силоизмерителя и датчика перемещений:

$$\Delta_{сл}(P/w) = (P/w)[(\Delta P/P)^2 + (\Delta w/w)^2]^{0,5} \qquad (8)$$

Поскольку относительная погрешность силоизмерителя испытательной машины, как правило, существенно превышает относительную погрешность регистрации прогибов датчиками перемещений МИГ-1 или ИЧ-10, то попытки снижения последней будут малоэффективными.

Следовательно, работу по увеличение точности экспериментов следует сосредоточить на возможно более точном градуировании силоизмерителя и отмеченной выше точностью изготовления и замеров параметров образцов.

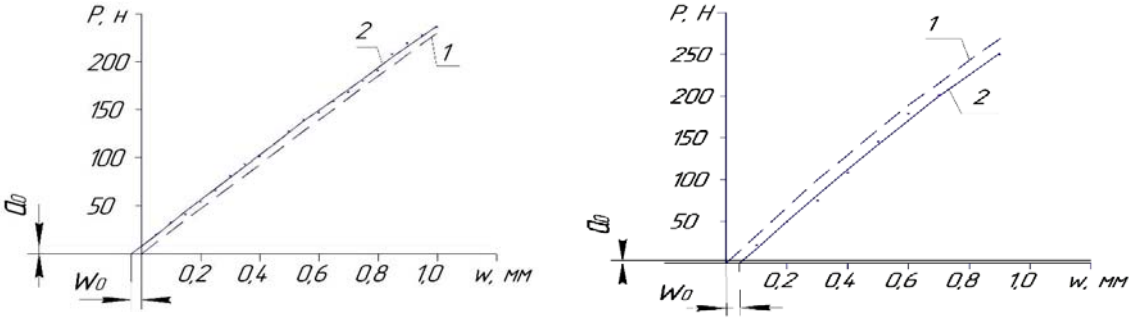
Особенности программной реализации МНК. Для устранения отмеченных выше проблем, возникающих при использовании общедоступного программного обеспечения, разработана программа МНК123Е на языке Pascal ABC для одновременного представления полиномами 1, 2, и 3 степеней результатов испытания призматических образцов на чистый изгиб. В программе реализуют алгоритм вычисления коэффициентов и свободных членов нормальной системы (4), её решение по правилу Крамера, вычисления полиномов (3), а также дисперсий, стандартного отклонения и касательного модуля Юнга в начале координат. Некоторые результаты исследовательских расчётов представлены на рис. 2, где полиномами второй степени аппроксимируются данные, полученные при испытаниях на изгиб образцов из эпоксикомпозитов.

Анализ результатов обработки экспериментов. Обработка результатов, полученных при испытаниях на чистый изгиб серии композитных образцов с матрицей на основе эпоксидной смолы ЭД 20 с помощью программы МНК123Е, показала следующее:

- устойчивость вычислительного алгоритма;
- наличие лишней степени свободы у полинома $n=3$, приводящей к несуществующему перегибу графика функции;
- определённые расхождения результатов определения начального модуля Юнга с результатами его независимого определения для тех же образцов динамическим методом [3], разработанным в «Лаборатории» (табл. 1).

Последнее обстоятельство позволило предположить наличие систематической ошибки постоянной в каждом эксперименте, обусловленной начальной настройкой нуля силоизмерителя и обжатием образца на опорах. В результате жёсткой привязки аппроксимирующего полинома (3) к началу координат и указанной погрешности, его график в окрестностях начала координат получает дополнительную кривизну, а начальный модуль Юнга соответствующую дополнительную погрешность.

С целью компенсации указанного недостатка и, следовательно, существенной части самой систематической погрешности, программа МНК123Е была модифицирована в варианте МНК012Е. Для этого в алгоритм были внесены следующие изменения:



Образец №1 *Образец №2*

Рис. 2 – Графики аппроксимирующих полиномов: 1 – в программе МНК123Е (пунктир); 2 – в программе МНК012Е.

- аппроксимирующий полином не зависит от начала координат, т.е. используют его полную форма (3) при $i=0,1,2$ и рассчитывают коэффициенты a_i, при которых график пересекает ось «$0P$» в точке $P = a_0$;

- выполняют расчёт откорректированных значений нагрузки P по формуле (3) при $a_0=0$, что означает сдвиг оси «$0w$» на ранее вычисленное значение a_0.

Таблица 1 – Результаты определения модуля Юнга.

Номер образца	В программе МНК123 E_c (ГПа)	В программе МНК012 E_c (ГПа)	Динамический метод $E_д$ (ГПа)
1	3,91	3,76	3,47
2	4,16	4,76	4,31

Как следует из табл. 1, в последнем случае наблюдают лучшее соответствие результатов определения начального модуля продольной упругости статическим и динамическим методами.

Выводы. Создано специализированное программное обеспечение для обработки методом наименьших квадратов результатов испытания образцов материалов на чистый изгиб, обладающее следующими преимуществами:

- программа, написана на распространённом языке высокого уровня Pascal ABC, предлагается в исходных кодах, снабжена исчерпывающими комментариями и позволяет рядовым пользователям производить её дальнейшие модификации;

- алгоритм обеспечивает компенсацию систематической погрешности установки нуля силоизмерителя нагружающего устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Букетов А.В., Алексенко В.Л., Знамеровская Н.П. Перспективы и проблемы разработки навах композитных материалов для нужд южного судостроительного региона Украины // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТОО-2012)», 10-12 жовтня.- Херсон: ХДМА, 2012.-С.168-170.

2. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю.В. Линник // М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1958. – 336 с.

3. Алексенко В.Л. Определение механических констант конструкционных материалов динамическим испытанием призматических образцов / В.Л. Алексенко, В.О. Скирденко, С.С. Шварц // Науковий вісник ХДМА. – 2013. – №2 (9). – С.153-160.

ЗАЛІЗОСКЛЯНІ КОМПОЗИТИ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

Баглюк Г.А., Куровський В.Я.
Інститут проблем матеріалознавства НАН України (Україна)

Вступ. Однією з найважливіших переваг порошкової металургії є можливість одержання псевдосплавів, синтез яких традиційними методами лиття та наступної обробки тиском практично неможливий.

Яскравим прикладом таких матеріалів є металоскляні композити, що представляють собою відносно пластичну металеву матрицю, у якій рівномірно розподілені включення скла, що мають високу твердість [1, 2]. Ці композити показали високу ефективність як триботехнічні матеріали при використанні їх для виготовлення деталей вузлів тертя, які працюють у найрізноманітніших і складних умовах експлуатації (у тому числі – без змащення, у вакуумі, в абразиввміщуючому середовищі, тощо). Володіючи відносно високою твердістю і зносостійкістю, скло в сполученні з пластичним металом, виступає в якості ефективної складової композита триботехнічного призначення.

Одержання таких матеріалів методами лиття неможливо через велику різницю температур плавлення металу і скла, коагуляції останнього і ліквації по щільності в процесі плавлення. У той же час, у випадку використання методів порошкової металургії, у процесі спікання металоскляного матеріалу відбувається взаємодія скляної фази з оксидами на поверхні часток залізного порошку, що підвищує міцність адгезійного зв'язку між компонентами суміші. Крім того, відбувається зміна хімічного складу скляної фази (ситалізация скла) з виділенням у ній твердих хімічних сполук, що призводять до підвищення триботехнічних характеристик матеріалу внаслідок утворення істотно гетерогенної структури композиту, в якому різниця в мікротвердості пластичної матриці і твердих включень досягає 5,0 ГПа [2, 3].

В більшості публікацій, присвячених дослідженню структури і властивостей металоскляних матеріалів, для одержання композитів використовувалися методи спікання і статичного гарячого пресування. У той же час, одним з найбільш ефективних методів одержання високощільних порошкових матеріалів з високими фізико-механічними властивостями, є гаряче штампування пористих заготовок (ГШПЗ) [4, 5], однак публікації присвячені дослідженням можливості застосування цього методу для одержання металоскляних композитів вкрай обмежені.

У зв'язку з цим **метою** даної роботи було дослідження впливу вмісту скляної фази в залізоскляних матеріалах на основні фізико-механічні і триботехнічні характеристики композитів, одержуваних гарячим штампуванням.

Методика експерименту.

Вихідну шихту для синтезу металоскляних композитів готували із суміші залізного порошку ПЖР-3.200.28 с розміром часток 80…160 мкм, 0,8 % (мас.) графіту і скляного порошку з розміром часток -40 мкм, отриманого розмелом листового скла в барабанному млині. Для оцінки впливу вмісту скла в композиті на структуру і властивості останнього кількість скла в суміші варіювали в межах 3…12 % (мас.).

Із шихти, отриманої змішуванням вихідних порошків, під тиском 700 МПа пресували пористі заготовки для наступного гарячого штампування, які потім нагрівали в середовищі проточного аргону до 1100…1150 ^{o}C и здійснювали гаряче штампування в напівзакритому штампі на гвинтовому дугостаторному пресі.

Гарячештамповані заготовки розрізали на темплети, з яких виготовляли зразки для визначення твердості, міцності на розтягання і вигин.

Триботехнічні характеристики матеріалів визначали в умовах торцового тертя без змащення при постійній швидкості ковзання (0,25 м/с) у діапазоні тисків 1…6 МПа. У

якості контртіла застосовували загартовану до твердості 52…55 HRC сталь 45. У процесі випробувань визначався коефіцієнт тертя і поточний знос зразка. Дослідження зносостійкості зразків проводили при контактному тиску 3 МПа.

Результати експериментів та їх обговорення.

На рис. 1 представлені залежності основних механічних властивостей металоскляних композитів від вмісту скла у вихідній шихті. Як випливає з приведених даних, із введенням до складу матеріалу навіть незначної кількості скла (більше 2…3 %) як міцність на вигин і розтягання (рис. 1, а), так і пластичність (рис. 1, б) гарячештампованого композиту різко знижуються, що обумовлено збільшенням в структурі матеріалу об'ємного вмісту крихкої скляної складової, частки якої є концентраторами напруг, що послабляють перетин зразка, який навантажується.

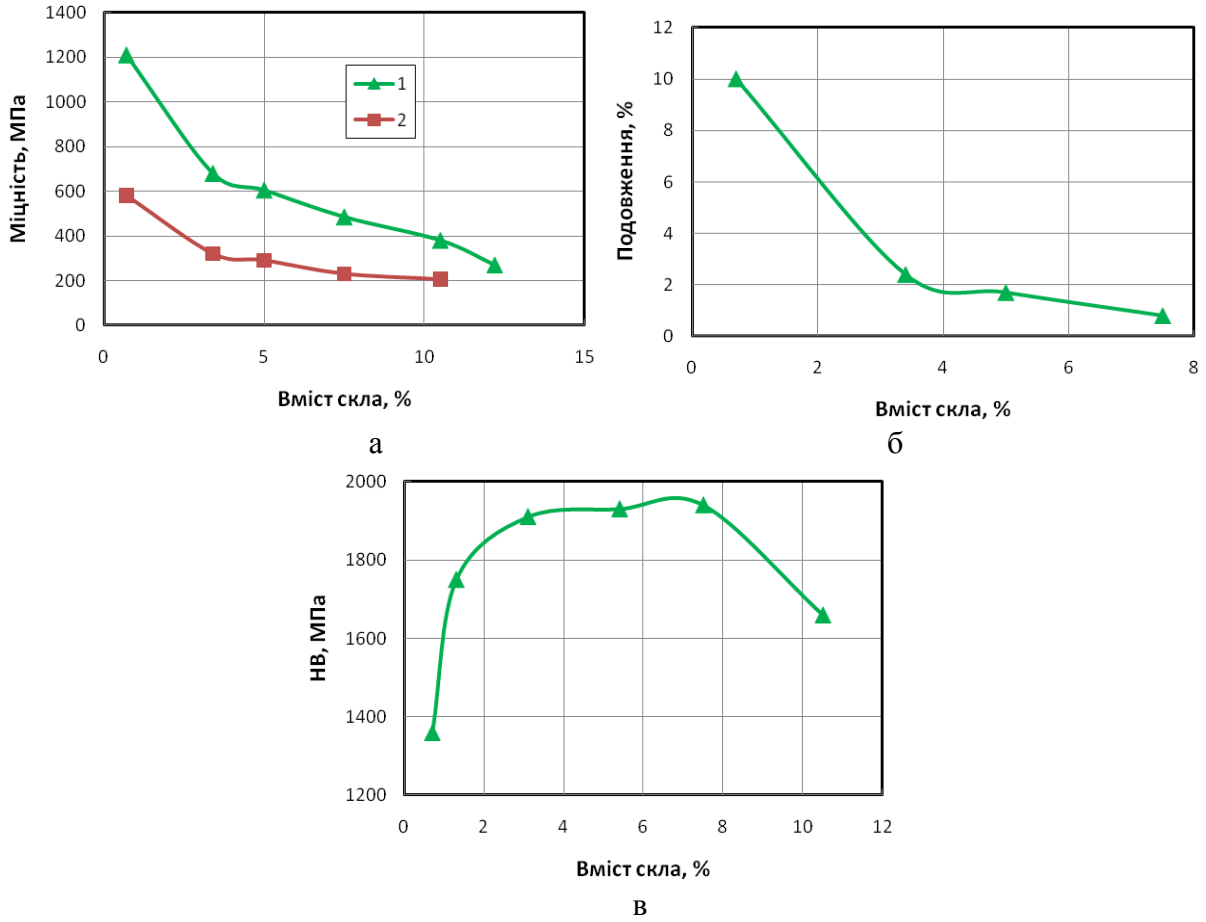


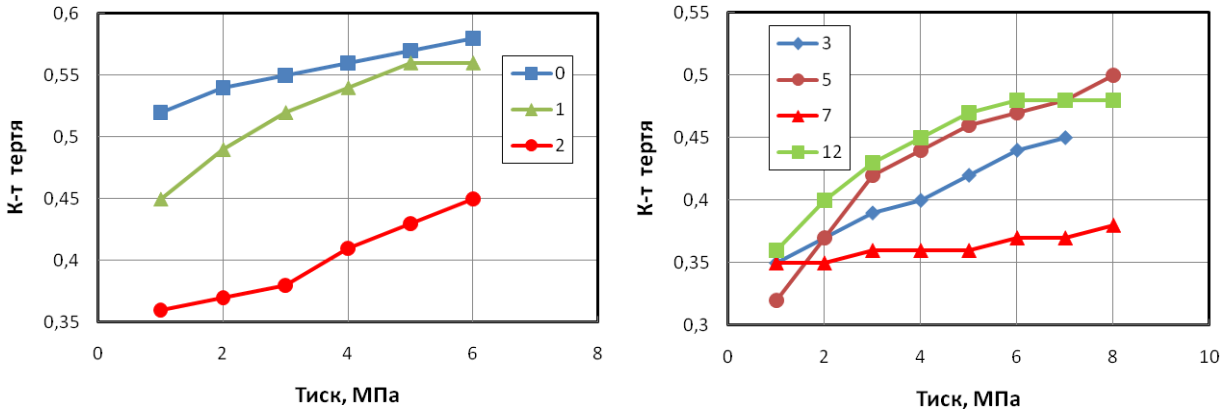
Рис. 1. Залежність механічних властивостей композиту від вмісту скла в шихті:
1 – $\sigma_{зг.}$, 2 – $\sigma_{розт.}$

В той же час, якщо значення міцності і пластичності композиту істотно знижуються зі збільшенням вмісту скла в останньому, то характер залежності його твердості від вмісту скла принципово інший. Збільшення вмісту скла з 0,7 до 3 % приводить до різкого росту твердості з НВ 1360 МПа до 1910÷1940 МПа при 3…7 %, тоді як з підвищення кількості скляної фази до 10,5 % відбувається вже падіння твердості композиту до 1660 МПа (рис. 1, в). Такий ефект може бути обумовлений наступними причинами. В процесі спікання металоскляних матеріалів в результаті взаємодії окислів матричного металу зі склом в останньому з'являється кристалічна фаза, мікротвердість якої істотно вище твердості вихідного скла [2]. У зв'язку з цим, ріст інтегральної твердості композита зі збільшенням у його складі вмісту скла до 5…7 % обумовлений як ростом мікротвердості скляної фази, так і збільшенням об'ємної частки останньої в композиті. Однак, це не пояснює різкого зниження твердості при більш високих змістах скла (до 10…12 %). Можна припустити, що прояв даного ефекту пов'язаний з неповним

проходженням ситалізації скла внаслідок недостатньої кількості оксидної фази матричного сплаву, однак ця версія вимагає додаткового вивчення.

Результати дослідження триботехнічних характеристик отриманих матеріалів (рис. 2) також показали істотну залежність останніх від вмісту скла в композиті. Як випливає з рис. 2, а, сталі без скла або з мінімальним його вмістом (1 %) відзначаються істотно більш високим коефіцієнтом тертя (на рівні 0,45…0,57) на всьому діапазоні контактних тисків (рис. 2, а). Зі збільшенням вмісту скла вже з 2 % і більше відбувається значне зниження значень коефіцієнтів тертя матеріалу.

Для всіх складів композитів значення коефіцієнту тертя монотонно зростає зі збільшенням контактного тиску. У той же час, звертає на себе увага той факт, що якщо в композитах з 2, 3, 5 і 12 % скла збільшення контактного тиску призводить до помітного підвищення коефіцієнта тертя (з 0,32…0,37 при 1 МПа до 0,45…0,50 при 8 МПа), то композит з 7 % скляної фази має найбільшу стабільність коефіцієнта тертя при різних контактних тисках, що змінюється в досить вузьких межах – 0,35…0,38.



а б

Рис. 2. Залежність коефіцієнту тертя металоскляних композитів від величини контактного тиску і вмісту скла (цифри на графіках)

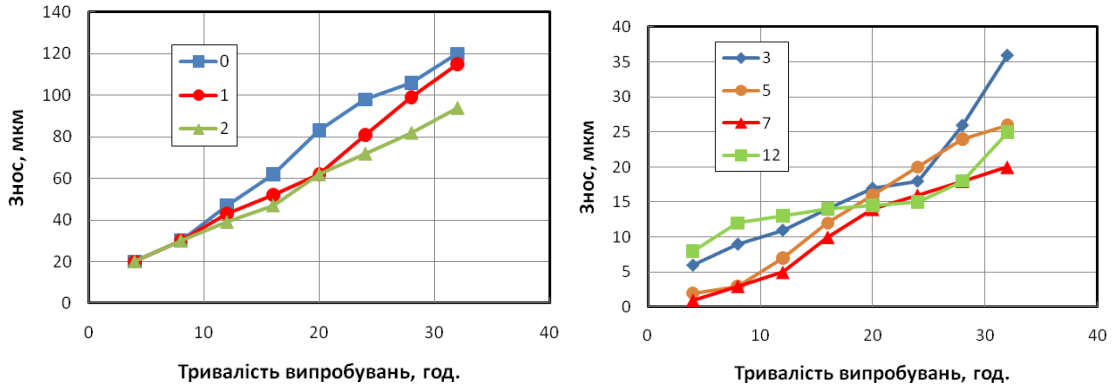
Вкрай важливою характеристикою триботехнічних матеріалів, нарівні із коефіцієнтом тертя, є їх зносостійкість. Аналіз результатів оцінки величини зносу при різних значеннях тривалості випробувань (рис. 3) показав, що композити із вмістом скляної фази 3 % і більше відзначаються істотно (у рази) більш високою стійкістю до зносу при заданих умовах тертя. При цьому, стійкість композиту до зносу зростає зі збільшенням вмісту твердої скляної складової (рис. 3, б).

Відзначена закономірність порушується однак для композиту з 12 % скла, що відрізняється дещо підвищеними значеннями зносу на початковій стадії випробувань (до 15 годин). Це може бути пояснене істотно більш низькою твердістю матеріалу цього складу у порівнянні з композитами з 3…7 % скла (див. рис. 1, в) і наявністю надлишкового вмісту неситалізованого при нагріванні скла, частки якого, що мають меншу адгезійну міцність до матричної фази, викришуються в процесі тертя і виступають у якості абразивної складової в зоні тертя.

Після 15 годин роботи інтенсивність зносу композита з 12 % скла різко знижується і загальна величина зносу на наступних стадіях (після 20…32 годин) випробувань знаходиться вже на рівні зносу матеріалів з 5…7 % скла (рис. 3, б).

Відзначений ефект може бути обумовлений викришуванням і винесенням із робочої зони на початковому етапі випробувань надлишкових часток неситалізированого скла, а також формуванням на стадії приробляння на контактній робочій поверхні вторинної структури, яка виконує роль ефективного твердого змащення. Така структура, як правило, являє собою поліоксидну плівку, що формується в процесі тертя в результаті окислювання компонентів, що входять до складу матеріалів поверхонь тертя [7, 8].

У нашому ж випадку, джерелом для формування поліоксидної трибоплівки ефективно служать частки скляної фази, що входять до складу композиту.



а б

Рис. 3. Залежність зносу металоскляних композитів від тривалості випробувань і вмісту скла (цифри на графіках)

Висновки.

1. Представлені вище результати показують, що змінюючи вміст скляної фази в сталевій матриці можна одержувати матеріали із широким діапазоном фізико-механічних і триботехнічних характеристик.

2. При введенні до складу матеріалу навіть незначної кількості скла (більше 2…3 %) характеристики міцності і пластичності гарячештампованого композиту різко знижуються, що обумовлено збільшенням в структурі матеріалу об'ємного вмісту крихкої скляної складової. Твердість матеріалу зі збільшенням у ньому вмісту скла збільшується від HB 1360 МПа при 0,7 % до 1910…1940 МПа при 3…7 %, тоді як з підвищенням кількості скляної фази до 10,5 % відбувається падіння твердості композиту до 1660 МПа.

3. Результати дослідження триботехнічних характеристик отриманих матеріалів показали, що сталі без скла і з мінімальним його вмістом (1 %) мають досить високий коефіцієнт тертя (на рівні 0,45…0,57) на всьому діапазоні контактних тисків. Зі збільшенням вмісту скла вже з 2 % і більше відбувається значне зниження значень коефіцієнтів тертя матеріалу.

4. Зносостійкість композитів із вмістом скляної фази 3 % і більше істотно (у рази) вище у порівнянні з матеріалами з малим вмістом скла при заданих умовах тертя. При цьому, стійкість композиту до зносу зростає зі збільшенням вмісту скляного компонента.

ЛІТЕРАТУРА

1. Радомысельский И. Д., Сердюк Г. Г., Щербань Н. И. Конструкционные порошковые материалы. – К.: Техніка, 1985. – 152 с.

2. Власюк Р. З. Исследование процессов структурообразования при спекании металлостеклянных материалов / Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Киев, 1972. – 29с.

3. Радомысельский И. Д., Щербань Н. И. Порошковые конструкционные материалы. – Киев: О-во “Знание” УССР, 1983. – 16 с.

4. Дорофеев Ю. Г., Гасанов Б. Г., Дорофеев В. Ю. и др. Промышленная технология горячего прессования порошковых изделий. – М.: Металлургия, 1990. – 206 с.

5. Баглюк Г. А. Технологические проблемы процессов горячей штамповки пористых заготовок // Вісник національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Машинобудування. – Вип. 56, 2009. – С. 93-100.

6. Баглюк Г. А. Влияние деформационных параметров на структуру и свойства горячештампованных порошковых материалов // Обработка материалов давлением. Сб. научн. трудов. - № 1 (26). – 2011. – Краматорск, 2011. – С. 139-145.

7. Kato H., Komai K. Tribofilm formation and mild wear by tribo-sintering of nanometer-sized oxide particles on rubbing steel surfaces // Wear. – 2007. – Vol. 262, No. 1÷2. – P. 36-41.

8. Jacobson S., Hogmark S. Surface modification in tribological contacts // Wear. – 2009. – Vol. 266, No. 3÷4. – P. 370-378.

ФОРМУВАННЯ НАНОКОМПОЗИТІВ З ПОЛІПШЕНИМИ АДГЕЗІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Бень А.П., Сапронов О.О., Букетова Н.М., Лещенко О.В.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Постановка проблеми. Експлуатаційні характеристики матеріалів для технологічного устаткування, що експлуатуються в умовах впливу агресивних середовищ, залежать насамперед від їх адгезійної міцності до металевої основи. Вона в основному визначає термін експлуатації обладнання суднових енергетичних установок і зумовлена режимами формування захисних епоксикомпозитних покриттів. Підвищення адгезійної міцності досягають як модифікуванням композицій енергетичним полем (ультразвуковим, магнітним, ультрафіолетовим та ін.), так і введенням у епоксидний зв'язувач нанодобавок. Перспективним на сьогодні є використання наночасток, що дозволяє підвищувати не тільки адгезійні, але й фізико-механічні і теплофізичні властивості матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При використанні нанонаповнювачів, особливу увагу приділяють рівномірному розподілу наночасток за об'ємом і водночас попередженню їх агрегації, а також визначенню оптимального вмісту часток у зв'язувачі. Одним із шляхів вирішення цього завдання є використання ультразвукової обробки композиції за оптимальних режимів до введення твердника. Виходячи з цього, дослідження впливу наночасток на адгезійну міцність захисного покриття є актуальним завданням для сучасного полімерного матеріалознавства.

Мета роботи: дослідити адгезійні властивості епоксидних нанокомпозитів.

Результати дослідження. Епоксидний композит з нанонаповнювачем формували за технологією описаною в працях [1-3], що передбачає десять послідовних етапів формування матеріалу.

У роботі досліджено вплив вмісту наноалмазу (НА) і нанодисперсного наповнювача спеченого композиту (ННСК) на адгезійну міцність при відриві (σ_a) і адгезійну міцність при зсуві (τ) матеріалів з використанням попередньо розробленої технології формування нанокомпозитів. Нанодисперсний наповнювач вводили у епоксидний зв'язувач за вмісту q = 0,025…0,750 мас.ч. Результати проведених досліджень наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Адгезійні властивості нанокомпозитів

Вміст ННСК, q, мас.ч	σ_a, МПа	τ, МПа	Вміст НА, q, мас.ч	σ_a, МПа	τ, МПа
-	24,4	9,0	-	-	-
0,025	30,3	10,6	0,025	19,0	10,8
0,050	76,6	15,0	0,050	33,7	10,0
0,075	50,2	11,2	0,075	32,0	9,5
0,100	45,0	9,3	0,100	31,0	9,6
0,250	44,4	9,2	0,250	34,3	10,6
0,500	43,5	9,0	0,500	37,2	11,3
0,750	40,2	8,7	0,750	29,0	9,0

Експериментально встановлено, що максимальне значення адгезійної міцності композитів досягають при введенні НА за вмісту q = 0,500 мас.ч. Адгезійна міцність при відриві такого композиту становить σ_a = 37,7 МПа, а при зсуві – τ = 11,3 МПа. Підвищення адгезійних характеристик композитів за такого вмісту часток алмазу зумовлено поліпшеним змочуванням поверхні часток зв'язувачем, які рівномірно розподіляються у об'ємі олігомеру. Це забезпечує фізико-хімічну взаємодію між активним центрами на

поверхні часток алмазу з вільними радикалами, що утворюються у процесі УЗО композицій.

На основі проведених досліджень встановлено, що найвищими показниками адгезійної міцності (σ_a = 76,6 МПа, τ = 15,0 МПа) характеризується нанодисперсний наповнювач спеченого композиту за вмісту q = 0,050 мас.ч. Отримані результати свідчать про те, що наночастки ННСК за рахунок значної хімічної та фізичної активності, високої питомої площі поверхні здатні до міжфазової взаємодії з групами та сегментами макроланцюгів зв'язувача.

Додатково методом ІЧ-спектрального аналізу досліджено природу хімічних зв'язків, які виникають при структуроутворенні композитного матеріалу, що містить частки нанодисперсного наповнювача. ІЧ-спектральний аналіз наночасток ННСК дозволив виявити значну кількість активних груп у області хвильових чисел ν = 4000…400 см$^{-1}$ порівняно з НА. При цьому встановлено міжмолекулярну взаємодію компонентів, про що свідчить зміщення смуг поглинання, зменшення їх інтенсивності та напівширини у діапазоні хвильових чисел ν = 1670,35…1743,65 см$^{-1}$. Додатково встановлено розщеплення і наступне зшивання подвійних зв'язків -C=C-, -C=N-, -C=O- та у діапазоні хвильових чисел ν = 3275,13; 3444,87; 3522,02; 3645,46 см$^{-1}$, а також зшивання -C-H- і водневих OH-груп з утворенням нових зв'язків.

Слід зазначити, що сформований матеріал відзначається високими показниками адгезійної міцності, який можна використовувати як адгезійний шар при формуванні захисних покриттів.

Висновки. На основі результатів експериментальних досліджень розроблено технологію формування нанокомпозитів, яка включає десять послідовних етапів.

Встановлено максимальні значення адгезійної міцності (при відриві – σ_a = 76,6 МПа, при зсуві – τ = 15,0 МПа), у матеріалі, який містить q = 0,050 мас.ч. нанодисперсного наповнювача спеченого композиту, 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20 і 10 мас.ч. твердника ПЕПА.

Встановлено максимальні значення адгезійної міцності (при відриві – σ_a = 37,2 МПа, при зсуві – τ = 11,3 МПа.) у матеріалі, який містить q = 0,500 мас.ч. наноалмазу, 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20 і 10 мас.ч. твердника ПЕПА.

Виходячи з результатів проведених досліджень, слід зазначити, що при формуванні багатошарового покриття, доцільно використовувати для адгезійного шару частки нанодисперсного наповнювача спеченого композиту за вмісту q = 0,050 мас.ч.

ЛІТЕРАТУРА

1. Букетов А.В. Дослідження залежності властивостей епоксидних композитів від вмісту дисперсних наповнювачів з метою формування захисних покриттів для підйомно-транспортних механізмів / А.В. Букетов, О.О. Сапронов / Підйомно-транспортна техніка. – 2013. – №3 (39). – С. 92-107.

2. Букетов А.В. Дослідження впливу ультразвукової обробки на фізико-механічні і теплофізичні властивості епоксидних антикорозійних нанокомпозитів / А.В. Букетов, О.О. Сапронов, М.В. Браїло, В.Л. Алексенко // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2013. – № 5. – С. 126-132.

3. Букетов А.В. Дослідження властивостей і структури нанокомпозитних епоксидних матеріалів / А.В. Букетов, О.О. Сапронов, В.М. Яцюк // Вісник ЖДТУ / Серія «Технічні науки». – 2013. – Т.3 (66). – С. 8-20.

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТУ TI-TIB-TIC, ОТРИМАНОГО СВС СИСТЕМИ TIH_2 – B_4C

Биба Є.Г., Лобода П.І., Сухарчук Д.О.
Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут» (Україна)

Перспективним і принципово новим конструкційним матеріалом може стати кераміка на основі тугоплавких сполук (боридів, карбідів, нітридів, силіцидів та інших) з великою часткою ковалентної складової хімічного зв'язку, яка не виявляє помітної високотемпературної повзучості аж до температур 0,5…0,8 $T_{пл}$, що значно вище, ніж в металевих конструкційних матеріалах. Кераміка має в 1,5…2,0 рази менші за металеві матеріали коефіцієнт термічного розширення, що дозволило б знизити рівень теплових деформацій конструкційних елементів [1]. Але кераміка крихка і маломіцна, що не дозволяє виготовляти конструкційні елементи з малою площею поперечного перетину. Тому тільки вирішення проблеми підвищення міцності, в'язкості руйнування та жаростійкості кераміки дозволить реалізувати принципово новий рівень температурно-часових, енергетичних та просторово-геометричних характеристик деталей сучасних машин та механізмів. Підвищення міцності таких матеріалів може досягатися за рахунок введення в них пластичної фази, за рахунок збільшення ефективної енергії руйнування шляхом подрібнення зерна, створенням внутрішніх стискаючих напружень на шляху пересування тріщини, армування волокнами, тощо. Із всіх відомих методів зміцнення крихких керамічних матеріалів, тільки армування керамічними волокнами дає змогу значно підвищити міцність та в'язкість руйнування, при збереженні рівня твердості, та жорсткості.

Серед тугоплавких сполук карбід бору виділяється своєю високою твердістю, він третій по твердості з відомих матеріалів після алмазу і кубічного нітриду бору [2]. Карбід бору ефективно використовується як балістичний захист, так як поєднання високої твердості, високого модуля пружності і низької щільності дає матеріал з надзвичайно високою питомою енергією руйнування [3].

Використання карбіду бору, як легуючу добавку до титан-матричного композиту дає змогу отримати матеріал складу Ti-TiB-TiC за рахунок армування і одночасної реакції B_4C з Ti при нагріванні. Механічній характеристики такого матеріалу вищі, аніж в титан-матричного композиту, легованого TiB. Різні методи отримання цього композиту, або подальшої термообробки, дозволяють підвищити ці показники. Такий композит буде мати покращені значення міцності, ударної в'язкості та міцності на згин при підвищеній твердості [4].

Метою даної роботи є вивчення закономірностей формування структури титан-матричного композиту Ti-TiB-TiC залежно від кількості добавок карбіду бору у вихідну суміш та методу спікання.

У якості вихідного матеріалу застосовували порошок гідриду титана з середнім розміром 7 мкм і порошок карбіду бору з середнім розміром 2 мкм. Для отримання ТМК Ti-TiB-TiC були приготовані суміші порошків TiH_2 з додаванням 2,8, 5,6 та 10,9 об% B_4C. Формування циліндричних пресовок розміром 10×10 мм проводили в сталевій розбірній пресформі. Термообробка пресовок складалася з двох послідовних стадій: дегідрування і спікання. Спікання дегідрованих пресовок проводили при температурі 1300 °С, з часом витримки 5 хв в електронно–променевій установці «ЭЛА – 6» та 1 год у вакуумній печі СНВЛ 1.3.1/16М1. Пористість зразків після термообробки визначали методом гідростатичного зважування та кількісного металографічного аналізу. Дослідження мікроструктури отриманих ТМК проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопу РЕМ 106И, укомплектованого енергодисперсійним рентгенівським (EDX) микроаналізатором для встановлення хімічного (елементного) складу. Для встановлення

фазового складу сплавів з різним вмістом бору використовували рентгенівський дифрактометр Rigaku Ultima IV з мідним (Cu Kα) випромінюванням (λ = 0,15418 нм). Вимірювання твердості спечених пресовок проводили за методом Роквела.

Зі збільшенням вмісту зміцнюючої фази загальна пористість матеріалу збільшується, що пов'язано зі зменшенням ефективного коефіцієнта дифузії. Пористість зразків при радіаційному і електронно-променевому спіканні майже однакова (рис. 1, 2), за виключенням складу з 10,9 об.% карбіду бору у вихідній суміші при радіаційному спіканні пористість збільшується на декілька відсотків у порівнянні з електронно-променевим. Залишкова пористість порошкових титанових сплавів обумовлена як незавершеністю процесів ущільнення при спіканні, так і фазовими й структурними перетвореннями, що призводять до додаткового утворення пор (розпуханню) попередньо спресованих пресовок при нагріванні, а також недостатнім часом витримки.

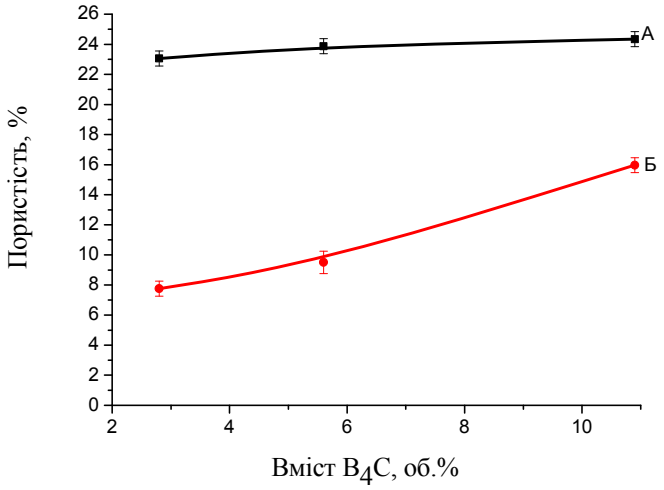


Рисунок 1. Вплив кількості введеного карбіду бору на пористість зразків, спечених у вакуумній печі: А - до спікання; Б - після спікання

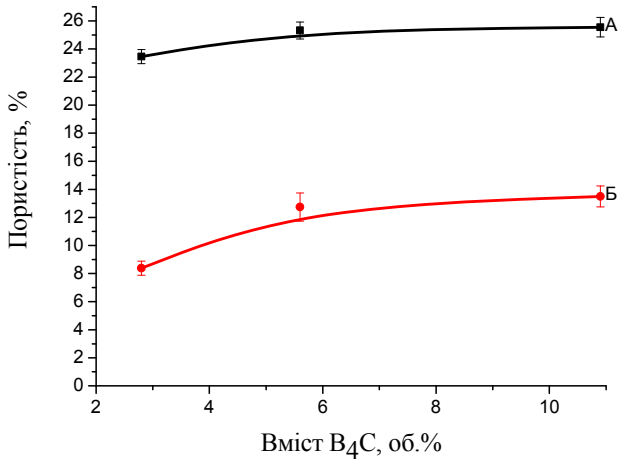


Рисунок 2. Вплив кількості введеного карбіду бору на пористість зразків, спечених методом електронно-променевого спікання: А - до спікання; Б - після спікання

За даними дифрактометричних досліджень, спечені зразки являють собою матрицю з титану (т.1 рис. 3), пронизану голкоподібними включеннями бориду титану (т.2 рис. 3) та дрібними включеннями карбіду титану (т.3 рис. 3).

На рис. 3 зображені мікроструктури зразків, отриманих спіканням суміші гідриду титану та карбіду бору (2,8, 5,6 та 10,9 об.%) у вакуумній печі. Зі збільшенням кількості карбіду бору у вихідній суміші, збільшується кількість та розмір армуючої фази. Проте наявні і частинки карбіду бору, що не встиг продифундувати, кількість яких збільшується по мірі збільшенням карбіду бору у вихідній суміші.

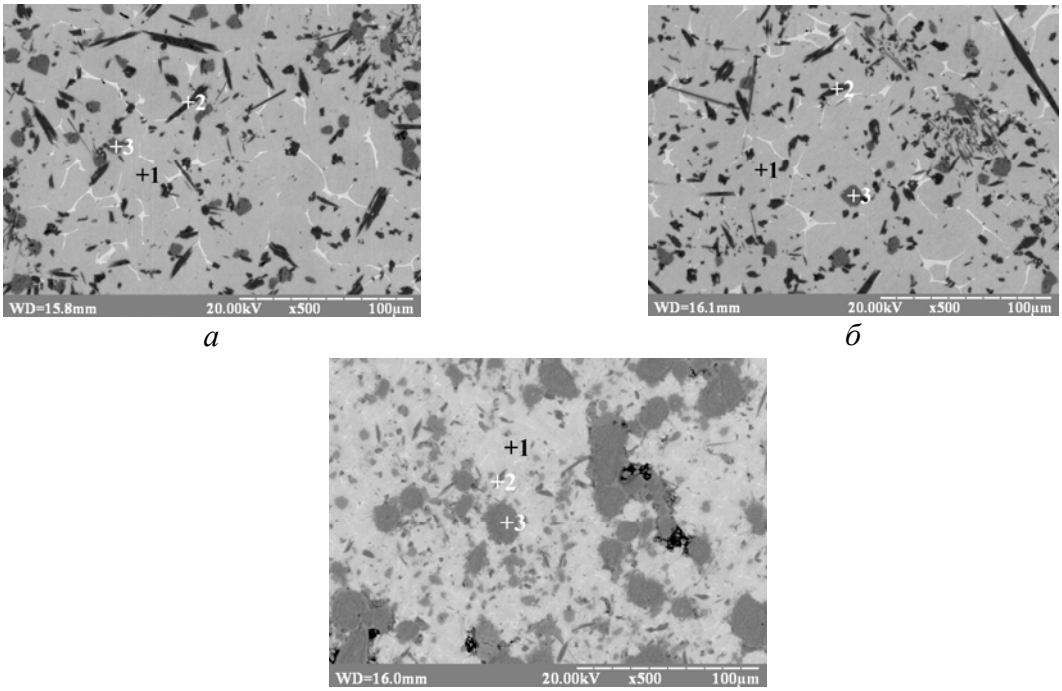


Рисунок 3. Мікроструктури пресовок з суміші TiH_2+B_4C після радіаційного спікання: *а - Ti + 2,8%B_4C; б - Ti + 5,6%B_4C; в - Ti + 10,9%B_4C*

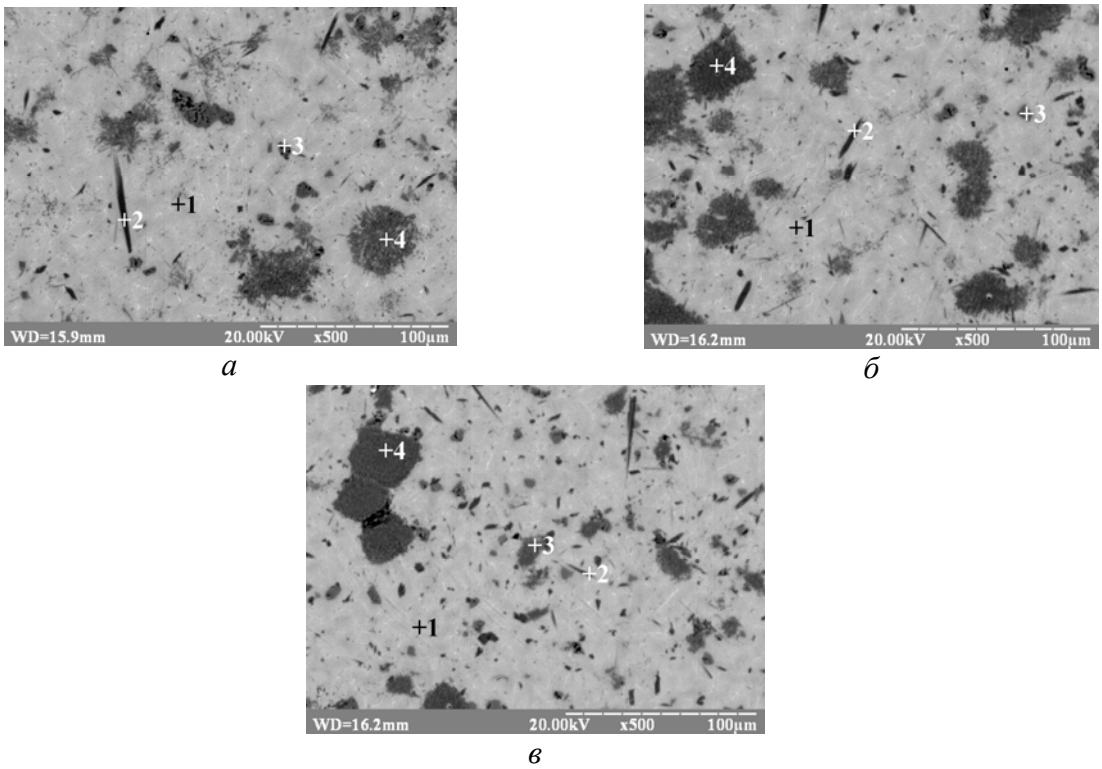


Рисунок 4. Мікроструктури пресовок з суміші TiH_2+B_4C після електронно-променевого спікання: *а - Ti + 2,8%B_4C; б - Ti + 5,6%B_4C; в - Ti + 10,9%B_4C*

На рис. 4 зображені мікроструктури спечених зразків, отриманих спіканням суміші гідриду титану та карбіду бору (2,8, 5,6 та 10,9 об.%) електронним променем. Структура даного сплаву також являє собою матрицю з титану (т.1 рис. 4) із голкоподібними включеннями бориду титану (т.2 рис. 4) та дрібними включеннями карбіду титану (т.3 рис. 4). При даному методі спікання, реакція між B_4C та TiH_2 проходить не повною мірою, за рахунок малого часу спікання, і на мікроструктурах чітко видно частинки карбіду бору (т.4 рис. 4), які почали дифундувати в об’єм зразка, і набули

дендритоподібної форми. При вмісті 10,9 об.% карбіду бору у вихідній суміші та при електронно-променевому спіканні спостерігається більша кількість частинок B_4C, які прореагували.

Графічні залежності мікротвердості за Віккерсом та твердості за Роквелом залежно від вмісту зміцнюючої фази наведено на рис. 5, 6.

Залежність мікротвердості від вмісту карбіду бору у вихідній суміші, при електропроменевому спіканні має зростаючий характер (рис. 5 б). Це пов'язано з тим, що при більшому вмісті B_4C більша його кількість встигає продифундувати і прореагувати, утворивши більше твердих включень. Для зразків спечених у вакуумній печі, B_4C в більшій мірі перейшов в фази TiB і TiC, але при вмісті 10,9 об.% кількість карбіду бору, який не продифундував, вища ніж при електронно-променевому.

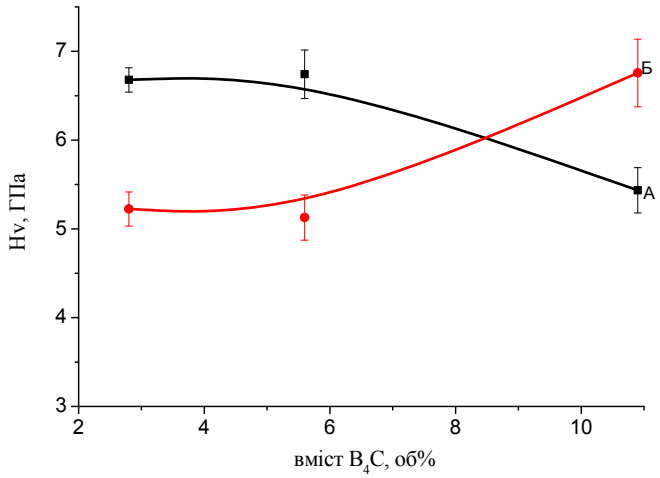


Рисунок 5. Залежність мікротвердості зразків від вмісту B_4C у вихідній суміші: А – радіаційне спікання; Б – електронно-променеве спікання

Для оцінки загальної твердості композиту, проводилося дослідження твердості за Роквелом (рис. 6) від вмісту зміцнюючої фази. Дані залежності по твердості титан-матричного композиту корелюють із залежностями по мікротвердості, що, в першу чергу, пов'язано зі структурною складовою, а токож вищими значеннями пористості зразка з вмістом карбіду бору 10,9 об.% у вихідній суміші при радіаційному спіканні.

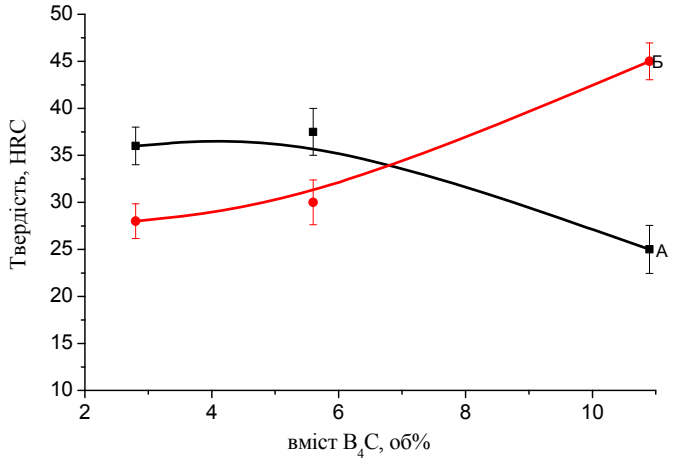


Рисунок 6. Залежність твердості по Роквеллу від вмісту B_4C у вихідній суміші: а – спікання у вакуумній електропечі; б – методом електронно-променевого спікання

Висновки. Показано, що при використанні в якості вихідної сировини гідриду титану та карбіду бору вдалось отримати композит, що характеризується досить високими механічними властивостями.

Встановлено, що метод спікання суттєво впливає на структуру та фізико-механічні властивості. В результаті металографічних досліджень показано, що структура композиту з суміші порошків TiH_2 + B_4C являє собою матрицю з титану пронизану голкоподібними включеннями бориду титану та дрібними дендридними включеннями карбіду титану.

Використання карбіду бору, як легуючого елементу, дає можливість виготовити надлегкий титановий сплав, що може бути цікавим для аерокосмічної промисловості та суднобудуванні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кислый П. С. Керметы. – К.: Наук. думка, 1985. – 71 с.
2. Кислый П. С. Карбид бора / П. С. Кислый, М. А. Кузенкова, Н. И. Боднарук и др. – К.: Наук. думка, 1988. – 216 с.
3. Karandikar P. G. A review of ceramics for armor applications / P. G. Karandikar, G. Evans, S. Wong et al. // Advanced in Ceramic Armor IV. Ceramic Engineering and Science Proceed84ings. – Hoboken, New Jersey, USA, John Wiley and Sons, Inc. – 2009. – Vol. 29, No. 6. – 242 p.
4. Abdul Jimoh. In Situ Synthesis of Titanium Matrix Composite (Ti-TiB-TiC) through Sintering of TiH_2-B_4C/ Iakovos Sigalas, Mathias Hermann// Materials Sciences and Applications.- 2012.-Vol. 3.- 30-35 p.

Автори статті висловлюють вдячність за допомогу в проведенні експерименту Сисоєву М.О.

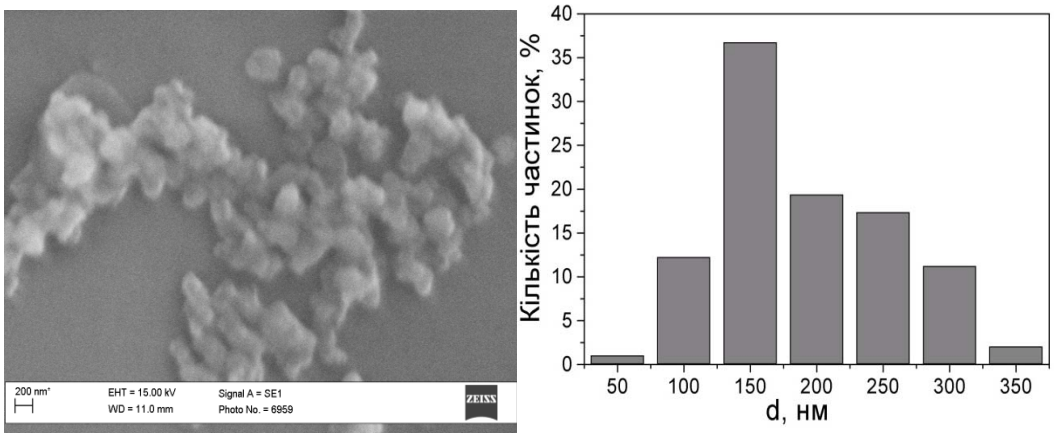
ВПЛИВ НАНОРОЗМІРНИХ ЧАСТИНОК ЦИНКУ ФОСФАТУ НА КОРОЗІЙНУ ТРИВКІСТЬ АЛКІДНИХ ПОКРИТТІВ

Білий Л.М., Зінь Я.І.
Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України (Україна)

Антикорозійні лакофарбові покриття – найпоширеніший засіб захисту металевих конструкцій від атмосферної корозії. Основну захисну функцію в системі лакофарбового покриття на металі виконує ґрунтувальний шар, що містить інгібувальні пігменти. Найефективнішими в цьому аспекті є хромати, які, однак, надзвичайно токсичні та екологічно-небезпечні. Відомим нетоксичним пігментом є цинку фосфат [1, 2]. Однак, його протикорозійна ефективність недостатня, особливо на початкових стадіях розвитку підплівкової корозії металу. Це спричинено малою розчинністю цинку фосфату у водному середовищі. Встановлено [3], що корозійна тривкість лакофарбової ґрунтовки на алюмінієвому сплаві та оцинкованій сталі підвищується додаванням мікронізованого цинку фосфату замість звичайного фосфатного пігмента. Ймовірно, це пов'язано зі збільшенням його питомої поверхні, яка знаходиться в обернено-пропорційній залежності до розміру частинок пігменту [4]. Підвищити протикорозійну активність цинку фосфату в лакофарбовому покритті можна за рахунок зменшення розмірів його частинок до нанодіапазону. У літературі описані методи отримання нанорозмірних цинку фосфатів [5, 6], однак усі вони є досить енергоємними та технічно складними, а тому мало придатні для використання в промисловості.

Мета роботи – вивчення захисних властивостей алкідних покриттів, модифікованих синтезованим нанорозмірним цинку фосфатом і комерційним пігментом Novinox PZ02.

У якості протикорозійного пігменту використовували нанорозмірний цинку фосфат, синтезований згідно методики [7]. Середній розмір пластинок пігменту товщиною від 20 до 50 нм становив 200 ± 70 нм (рис. 1).



а) б)

Рисунок 1. Мікрофотографія частинок цинку фосфату (а) та їх розподіл за розміром (б).

Встановлено (рис. 2), що нанорозмірний цинку фосфат, модифікований бутилметакрилатом і комерційний інгібувальний пігмент Novinox PZ02 суттєво зменшують поширення підплівкової корозії на алюмінієвому сплаві Д16Т з алкідним покриттям. На це вказує підвищення модуля імпедансу зразків з інгібованими лакофарбовими покриттями за нижніх частот прикладеного змінного струму. За допомогою програми EIS Spectrum Analyser [8] з використанням модельного еквівалентного кола $R_e(Q_{dl}R_{ct})$ розраховано параметри імпедансу зразків алюмінієвого сплаву Д16Т в корозивному середовищі.

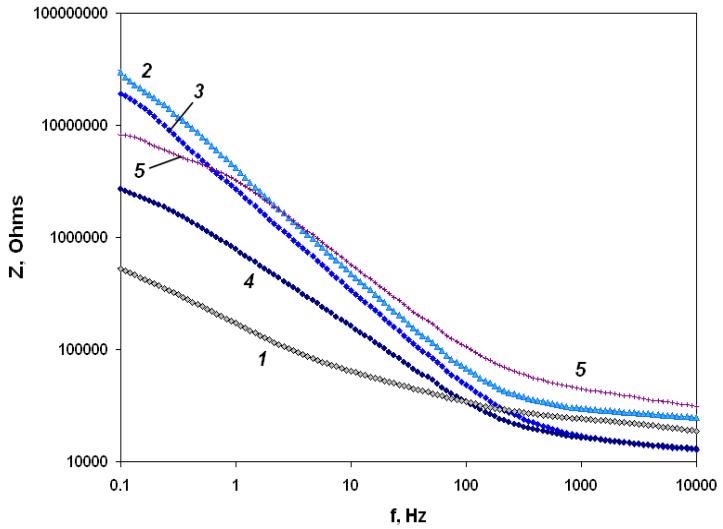


Рисунок 2. Залежність модуля імпедансу алюмінієвого сплаву Д16Т з пошкодженими алкідними покриттями після 48 год витримування в слабокислому середовищі: 1 – неінгібоване алкідне покриття; 2 – з 1 мас. % цинку нанофосфату; 3 – з 3 мас. % цинку нанофосфату; 4 – з 5 мас. % цинку нанофосфату; 5 – з 5 мас. % пігменту Novinox PZ02.

Найвищий опір переносу заряду (R_{ct}) і, відповідно, найбільша корозійна тривкість спостерігається в алюмінієвого сплаву з алкідними покриттями, що містять до 3 мас. % нанорозмірного цинку фосфату. Показник R_{ct} знаходиться в межах 20…30 МОм. За концентрації нанопігмента у покритті 5 мас. % опір переносу заряду зразків сплаву дещо зменшується, порівняно з використанням тієї ж кількості цинк фосфатного пігмента марки Novinox PZ02. Комерційний цинку фосфат забезпечує опір переносу заряду зразків на рівні 8 МОм. Нанорозмірний фосфат має більшу питому поверхню й тому може мати підвищений добуток розчинності та, відповідно, кращі інгібувальні властивості. Про це опосередковано засвідчує зниження опору корозивного розчину R_e, що контактує зі зразком покриття, яке інгібоване нанофосфатом. Оскільки алкідне покриття з нанорозмірним цинку фосфатом за концентрацій 1 та 3 мас. % значно переважає за своїми захисними властивостями покриття, що містить 5 мас. % відомого фосфатного пігменту Novinox PZ02, то з'являється можливість економнішого викоростання цинк фосфатного інгібітора в лакофарбових ґрунтувальних матеріалах.

Вимивання та розчинення неорганічного пігменту корозивним середовищем може збільшити пенетрацію лакофарбового шару корозійно активними йонами та пришвидшити розвиток підплівкової корозії. Тому було важливим дослідити вплив різних концентрацій нанорозмірного фосфату на йонну провідність алкідного покриття за відсутності в ньому макродефектів. Для цього застосували метод вимірювання активної складової імпедансу Z' та ємності алкідних покриттів C за частоти прикладеного струму 1 кГц у середовищі слабокислого дощу. Кінетичні залежності Z' (рис. 3) засвідчують, що впродовж перших 20 діб витримування алкідних покриттів у корозивному середовищі цей параметр різко знижується, що може бути викликано проникненням молекул води та йонів у лакофарбовий шар. Після цього опір зразків алкідних покриттів змінному струмові зменшується значно повільніше, виходячи на рівень 1,0…1.5 МОм·см^2, що свідчить про відсутність у них впродовж всього періоду випробувань точок підплівкової корозії.

При цьому абсолютні значення Z' у зразків покриттів, інгібованих нанорозмірним фосфатом, є вищими, ніж у контрольного алкідного покриття та інгібованого відомим цинку фосфатом PZ02. Це може бути спричинено рівномірнішим розподілом нанофосфату у об'ємі покриття. Згідно аналізу Sato [9] покриття з високим електролітичним опором мають низьку йонну проникність.

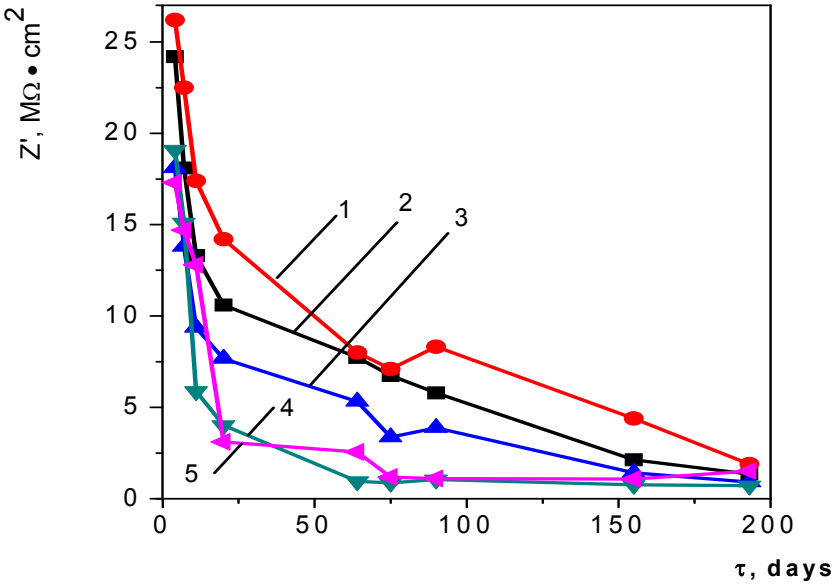


Рисунок 3. Залежність активної складової імпедансу *Z′* алюмінієвого сплаву Д16Т з алкідними покриттями від часу витримування в корозивному середовищі: 1 – покриття з 1 мас. % цинку нанофосфату; 2 – з 3 мас. % цинку нанофосфату; 3 – з 5 мас. % цинку нанофосфату; 4 – з 5 мас. % пігменту Novinox PZ02; 5 – неінгібоване алкідне покриття.

Галван робить висновок [10], що ємність суцільного бездефектного органічного покриття в середовищі може бути в ряді випадків більш інформативною, ніж електролітичний опір. Значення ємності покриття корелює зі ступенем поглинання водного середовища та його деструкцією. Ємність більш гідрофільних покриттів вища. Інгібувальні пігменти, зазвичай, збільшують сорбцію середовища лакофарбовим шаром і важливо, щоб її зростання було якомога меншим. Встановлено (рис. 4), що часові залежності ємності алкідних покриттів на алюмінієвому сплаві Д16Т за частоти 1 кГц обернено корелюють з кривими активної складової імпедансу *Z′* (рис. 3).

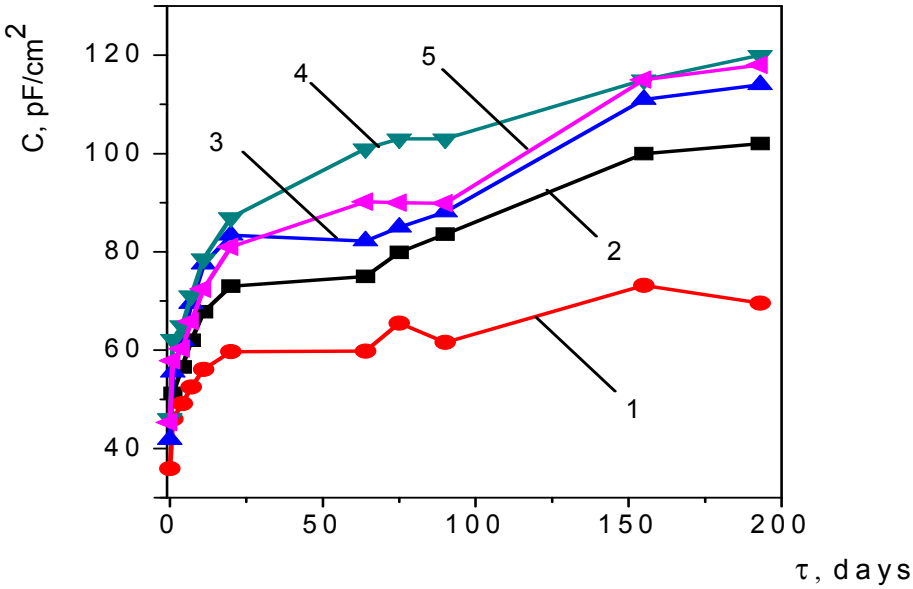


Рисунок 4. Залежність ємності алюмінієвого сплаву Д16Т з алкідними покриттями від часу витримування в корозивному середовищі: 1 – покриття з 1 мас % цинку нанофосфату; 2 – з 3 мас % цинку нанофосфату; 3 – з 5 мас % цинку нанофосфату; 4 – з 5 мас. % пігменту Novinox PZ02; 5 – неінгібоване алкідне покриття.

У перші 10 … 20 діб ємність зразків з інгібованими покриттями різко підвищується через проникнення компонентів середовища в мікропори полімерного покриття. Далі вона стабілізується та знаходиться в допустимих межах для збереження захисних властивостей (рис. 4), не перевищуючи 1000 пФ/см^2. Слід зазначити, що таку величину ємності пропонують [11], як граничний критерій, для оцінки захисних характеристик лакофарбових покриттів. При цьому найнижчі значення ємності після 200 діб витримування мають алкідні покриття, модифіковані 1 мас. % та 3 мас. % нанорозмірного цинку фосфату, що свідчить про їх незначну деградацію та мале водопоглинання.

Висновки. За реакцією йонного обміну у водно-метанольному середовищі вперше синтезовано нанорозмірний цинку фосфат з середніми лінійними розмірами 200 нм та товщиною 20 нм. Показана перспективність використання акрилових мономерів для модифікації поверхні нанофосфату, оскільки він має кращі захисні властивості порівняно з комерційним цинку фосфатом і може бути застосований у лакофарбових ґрунтувальних покриттях у вигляді протикорозійного пігмента.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bastos A.C., Ferreira M.G., Simões A.M. Corrosion inhibition by chromate and phosphate extracts for iron substrates studied by EIS and SVET / Progress in Organic Coatings. – 2007. – 58. – P. 136–145.

2. Zin I. M., Lyon S. B., Pokhmurskii V. I., Simmonds M. C. Inhibition of steel and galvanized steel corrosion by zinc and calcium ions in the presence of phosphate // Corrosion Engineering, Science & Technology. – 2004. – 39, No 2. – P. 167–173.

3. Novel, one-step, chromate-free coatings containing anticorrosion pigments for metals ─ An overview and mechanistic study / A. Seth, W.J. van Ooij, P. Puomi, Z. Yin, A. Ashirgade, S. Bafna, C. Shivane // Progress in Organic Coatings. – 2007. – 58. – P. 136–145.

4. Ермилов П.И., Индейкин Е.А., Толмачев И.А.. Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы. М.: Химия, 1987. – 198 с.

5. Grzmil B., Kic B., Lubkowski K. Studies on obtaining of zinc phosphate nanomaterials // Reviews on Advanced Materials Science. – 2007. – 14. – P. 46–48.

6. Scung–Ho Jung, Eugene Oh, Daeseob Shim, Da–Hye Park, Seungho Cho, Bo Ram Lee, Yeon Uk Jeong, Kun–Hong Lee, Soo–Hwan Jeong Sonochemical Synthesis Of Amorphous Zinc Phosphate Nanospheres // Bulletin of the Korean Chemical Society. – 2009. – 30, №10. – P. 2280–2282.

7. Патент України 78529. C01B 25/37. Спосіб отримання нанорозмірного фосфату цинку. Похмурський В.І., Киця А.Р., Зінь І.М., Базиляк Л.І., Корній С.А. Бюл. №6, Опубл. 25.03.2013. – 4 с.

8. Bondarenko A.S., Ragoisha G.A. Inverse Problem in Potentiodynamic Electrochemical Impedance Spectroscopy, in: Progress in Chemometrics Research / Ed. Pomerantsev A.L. – Nova Science Publishers; New York, 2005. – P. 89–102.

9. Yasushi Sato. Mechanism and evaluation of protective properties of paints. Progress in Organic Coatings. –1981. – 9. – P.85 – 104.

10. J. C. Galvan, S. Feliu and M. Morcillo. Reproducibility of electrical impedance data for a metal/paint system. Progress in Organic Coatings. – 1989. – 17. – P.135 – 142.

11. Розенфельд И.Л., Рубинштейн Ф.И. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями. – М.: Химия, 1987. – 224 с.

ДО ПИТАННЯ ПРО ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРУВАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ

Боярська І.В., Савчук П.П., Кашицький В.П.
Луцький національний технічний університет (Україна)

Вступ. Проблема підвищення надійності й довговічності роботи технологічного устаткування, що працює в умовах динамічного навантаження, перепадів температур, абразивного й гідроабразивного зношування набуває особливого значення для економії металів, енергоресурсів, ефективного використання технічних систем. Перспективним при цьому є використання композиційних матеріалів на полімерній основі. Особливий науковий та практичний інтерес представляє застосування епоксидних композитів та покриттів на їх основі, які завдяки поєднанню в одному матеріалі речовин з різними фізико-хімічними, тепловими та механічними властивостями мають унікальні функціональні показники [1-3]. Розробка механізмів введення структурно-активних модифікаторів і наповнювачів при додатковій обробці інгредієнтів системи і композицій в цілому фізичними полями (наприклад, ультрафіолетова обробка) дозволяє досягнути оптимального структурування системи та відповідного підсилення функціональних характеристик.

Актуальність досліджень. Широке застосування епоксидних олігомерів в якості матриці для полімеркомпозитів у різних галузях техніки обумовлено їх високою технологічністю, адгезійною здатністю, хімічною стійкістю та екологічною безпекою. Традиційні методи формування виробів з епоксикомпозитних матеріалів передбачають досить тривалий період структурування епоксидного полімеру при нормальних умовах для створення просторової сітки з мінімальними залишковими напруженнями. Завершення процесів структурування в більшій мірі відбувається через 24 год, а повністю через 30…60 діб, що створює труднощі в технологічному процесі та викликає додаткові економічні втрати. Досить ефективним методом підвищення степеня структурування епоксидних полімерів за декілька годин є застосування додаткової термічної обробки при підвищених температурах (50…150 °С) в електричних печах опору. Однак, перша стадія структурування повинна протікати при кімнатних температурах для утворення просторової сітки з рівномірним розподілом хімічних зв’язків зшиваючого реагента з молекулами епоксидного олігомера.

Значні успіхи досягнуто при комплексній обробці епоксидних полімерів в електричних печах опору з примусовим перемішуванням газового середовища, що дозволило скоротити період структурування до 2-х год при збереженні високих значень механічних характеристик.

Постановка задачі. Метою роботи є дослідження впливу фізичної модифікації на процеси структурування та властивості епоксидних композитів.

Результати досліджень. В якості матриці використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) та твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78). Для армування композиції використано комплекс наповнювачів.

Приготування композиції починалося із механічного вимішування попередньо просушених наповнювачів з епоксидною смолою та твердником у вибраному стехіометричному співвідношенні. Композицію поміщали у спеціальну форму з поперечним перерізом 10×10 мм. Тверднення епоксикомпозитів тривало 24 год при нормальних умовах. Додаткову термічну обробку здійснювали у печі, відхилення температури в якій не перевищувало ±2 °С. Для уникнення високих залишкових напружень для зразків застосовано ступінчастий режим, який полягав у нагріві до температур 50 °С та 100 °С з витримкою по 1 год, далі – до 140 °С з витримкою 4 год.

Експериментально встановлено, що тверднення епоксиполімерів у електричних печах при температурі 50…60° С з використанням аеродинамічних потоків забезпечує

найвищу степінь структурування композиту (G = 88,7 %), порівняно з традиційною термічною обробкою, через підвищені рухливість сегментів макромолекул епоксидної матриці та швидкість протікання процесів тверднення.

При режимах традиційної термічної обробки спостерігаються високі залишкові напруження, що пов'язані із локальним зшиванням макромолекул матриці, при цьому процес відбувається хаотично та нерівномірно, відповідно, частина системи знаходиться у напруженому стані. Застосування комбінованого режиму обробки композицій дозволяє знизити залишкові напруження в 2,3…2,5 рази за рахунок інтенсивного протікання релаксаційних процесів в системі, яка має підвищену гнучкість макромолекулярних ланцюгів, що забезпечує високі фізико-механічні характеристики.

Висновки. Отже, інтенсифікація процесів структурування викликана швидким та рівномірним нагріванням епоксидного полімеру через примусове перемішування газового середовища в електричних печах, що призводить до додаткового нагрівання газу за рахунок процесів внутрішнього тертя. Застосування даних технологічних новацій є складовою частиною отримання епоксидних мультинаповнених композитів з комплексом керованих властивостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кальба Є. Вплив ультразвукового і високочастотного електромагнітного полів та режиму формування на електропровідність полімеркомпозиційних покриттів / Є. Кальба, Р. Гарматюк // Вісник ТДТУ. – 2009. – Том 14, № 3. – С. 43-47.

2. Савчук П.П. Наукові і технологічні основи створення та керованого функціонування епоксидних композитів з різним ступенем наповнення: дис… д-ра техн. наук. 05 02.01 – Київ: ІПМ, 2010. – 320 с.

3. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Кальба Є.М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. – Тернопіль: Збруч, 2005. – 182 с.

РОЗРОБКА МОДИФІКОВАНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ З ПОЛІПШЕНИМИ АНТИФРИКЦІЙНИМИ ТА АНТИКОРОЗІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

[1]Браїло М.В., [2]Красненький В.М., [3]Кобельник О.С., [4]Яцюк В.М.
[2]Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
[3]Технічний коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Україна)
[4]Тернопільський науково-дослідницький експертно-криміналістичний центр при УМВС України (Україна)

На сьогодні у різних галузях промисловості широко застосовують полімерні композитні матеріали (КМ) як в промисловості України, так і Європи загалом. Проте, постає питання підвищення антикорозійних та антифрикційних характеристик при створенні нових матеріалів з наперед заданими властивостями. Даний напрямок полімерного матеріалознавства, що передбачає створення захисних покриттів з поліпшеною корозійною тривкістю, особливо є актуальним у морській галузі, де є нагальною потреба підвищення надійності та економічності при експлуатації машин і механізмів сучасних суден річкового та морського транспорту. Виходячи з цього, з метою поліпшення властивостей захисних покриттів перспективним є введення у полімерний зв'язувач дисперсних наповнювачів, різних за природою і походженням, які економічно вигідні та легкодоступні для виробника.

Мета роботи –розробити епоксикомпозити з поліпшеними фізико-механічними, антифрикційними та антикорозійними властивостями.

Як основний компонент для зв'язувача вибрано низькомолекулярний епоксидний оліґомер марки CHS-Epoxy 525, який не має у своєму складі модифікаторів і є аналогом епоксидного діанового оліґомера ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для зшивання епоксидних композицій використано у поєднані твердники: ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78) та модифікований аміноаддуктовий твердник на основі аліфатичного поліаміну марки Telalit 410 у вибраних пропорціях. Експериментальними дослідженнями попередньо встановлено концентрацію твердників для адгезійного та когезійного шарів покриття.

На основі розробленої матриці було досліджено вплив наповнювачів різної природи та дисперсності на фізико-механічні властивості матеріалів.

У вигляді дрібнодисперсних наповнювачів (5…10 мкм) використовували наступні хімічні порошки.

1. Перліт – матеріал, отриманий в результаті термічної обробки водовмісної алюмосилікатної перлітової породи вулканічного походження.

2. Охра (жовта) – природна мінеральна композиція наступного складу: гігроскопічна вода – 7…8 %, глина – 20…50 %, крейда – 2…3 %, пісок – до 45 %, окис заліза – 5…40 %.

3. Деревне вугілля (ГОСТ 7657-84) – макропористий високовуглецевий продукт, який отримують піролізом деревини без доступу повітря.

Як дисперсні наповнювачі (63…80 мкм) використовували наступні хімічні порошки.

1. Перліт.

2. Графіт антифрикційний марки АГ-1500 (ТУ 48-20-4-87) – виготовлений з непрокаленого нафтового коксу, кам'яновугільного пеку з добавкою природного графіту.

3. Сірий шлам (СШ) – тверда або пастоподібна суміш відходів (шлам) процесу Байєра – технології видалення та очищення оксиду алюмінію (сировини для видобутку алюмінію) з бокситів.

Додатково досліджували властивості КМ, наповнених гранулами поліаміду 6 (ПА-6 первинний) (ОСТ 6-06-С9-93), який є полімером на основі синтетичних

високомолекулярних сполук, що містять в основному ланцюзі амідні групи -CONH-. Розміри гранул: діаметр $d = 3{,}2 \pm 0{,}1$ мм, довжина $l = 3{,}5 \pm 0{,}1$ мм.

Досліджували наступні фізико-механічні і теплофізичні властивості матеріалів: адгезійна міцність при відриві та зсуві, теплостійкість (за Мартенсом), залишкові напруження, модуль Юнга, руйнівні напруження при згинанні, термічний коефіцієнт лінійного розширення.

За результатами досліджень було встановлено поліпшення властивостей матеріалів при введенні у епоксидний олігомер наповнювачів та встановлено їх оптимальний вміст у композитах.

Відомо, що дисперсність та фізична природа наповнювачів впливає на швидкість перебігу процесів структуроутворення матеріалів при їх зшиванні та виникнення хімічних та фізичних зв'язків на межі поділу фаз «наповнювач – полімер». Виходячи з цього, на наступному етапі при формуванні КМ було поєднано два різних за природою та дисперсністю наповнювачі. При цьому для оптимізації вмісту часток та зменшення кількості дослідів було використано метод математичного планування експерименту.

Встановлено, що максимальні показники наведених вище властивостей має матеріал наступного складу: епоксидний оліґомер CHS-Epoxy 525 (100 мас.ч.), твердник ПЕПА (5 мас.ч.), твердник Telalit 410 (5 мас.ч.), основний наповнювач – графіт антифрикційний марки АГ-1500 (60 мас.ч.), додатковий наповнювач – перліт (10…30 мас.ч.). Додатково, залежно від умов експлуатації устаткування доцільно використовувати у вигляді захисних покриттів матеріал наступного складу: епоксидний олігомер CHS-Epoxy 525 (100 мас. ч.), твердник ПЕПА (5 мас. ч.), твердник Telalit 410 (5 мас. ч.), основний наповнювач – сірий шлам (50...60 мас. ч.), додатковий наповнювач – перліт (30 мас. ч.).

Отримані результати підтверджено методами дослідження структури матеріалів, зокрема: ІЧ- та ЕПР-спектроскопія, оптична мікроскопія, ДТА та ТГА аналіз.

На наступному етапі планується дослідити трибологічні властивості розроблених матеріалів з дисперсними частками, а також з термопластичними гранулами поліаміду.

Висновки. Встановлено, що додавання наповнювачів різної природи та дисперсності суттєво впливає на властивості матеріалів. Розроблено матеріали з поліпшеними фізико-механічними, антфрикційними та антикорозійними властивостями. Доведено, що розроблені композити мають не лише підвищені показники експлуатаційних характеристик, але й забезпечують формування захисних покриттів, вигідних з економічної точки зору.

ЗАСТОСУВАННЯ ЯВИЩА ЗМОЧУВАННЯ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ З МЕТОЮ ВИБОРУ НАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ

[1]Букетов А.В., [1]Скирденко В.О., [2]Редько О.І.
[1]Херсонська державна морська академія (Україна)
[2]Луцький національний технічний університет (Україна)

Широке застосування епоксикомпозитів (ЕК) в різних галузях виробництва, а саме в машинобудуванні, суднобудуванні, будівництві, ракето- та авіабудуванні вимагає поглиблених досліджень їх фізико-механічних та експлуатаційних характеристик. Особливо зазначене стосується епоксидних ЕК при їх використанні для захисту металу, бетону, дерева та інших матеріалів, які, як правило, є субстратами. Також ЕК широко використовують як форми для литтєвого виробництва, у вигляді штампів для кузовів автомобілів. На їх основі отримують діелектричні покриття для електро- і радіоапаратури, лакофарбові, герметизуючі та інші речовини.

Як правило, в ЕК вводять наповнювачі у вигляді дрібнодисперсного мінерального порошку. Його введення передбачає зниження вмісту епоксидної матриці та твердника, які на сьогодні є дорогими й дефіцитними.

Зазначене вказує на необхідність вибору наповнювачів для епоксидних композицій з використанням експрес-методів. Аналіз таких методів в науковій літературі дозволяє стверджувати про незначну їх кількість. Це стосується, в першу чергу, саме аналізу параметрів порошкових наповнювачів до епоксидної композиції. Важливість даного питання полягає ще й у тому, що останнім часом розвивається новий напрям отримання полімерних покриттів, які містять різні за природою і розмірами інгредієнтів.

Вибір наповнювачів до епоксидної матриці, а також способу створення покриття залежить, в першу чергу, від виду вихідних матеріалів: основи (субстрату) і покриття (адгезиву), матриці і наповнювача, технологічністю введення останнього у зв’язувач, ефективністю суміщення епоксидного олігомеру чи модифікатора з частками та ін. При цьому також передбачається і створення міцного зв’язку між компонентами покриття, а також рівномірного розподілу наповнювача у об’ємі адгезиву. Зазначене повинно узгоджуватися з економічною доцільністю та технологією формування епоксикомпозитного покриття.

З технічної точки зору однією з важливих характеристик системи є коефіцієнт поверхневого натягу, який відображає енергетичний стан поверхні, а, відповідно, і її фізико-механічні властивості. З іншого боку важливою характеристикою системи «газ – рідина – тверде тіло» є робота сил адгезії. Маючи значення коефіцієнту поверхневого натягу і роботи сил адгезії можливо отримати інформацію про енергетичний стан окремих приповерхневих молекул. Важливе значення це має при розробці нових методів діагностики процесів міжфазової взаємодії при полімеризації епоксидних композитів.

Міцність полімерних, лакофарбових та інших покриттів визначається процесами змочування, тобто умовою формування площі контакту «адгезив – основа», утворенням залишкових напружень і релаксаційними процесами при зшиванні адгезиву, а також керуванням зовнішніх факторів: температури, тиску, зовнішніх енергетичних полів та ін. Міцність клеєного з’єднання при цьому визначається когезією затвердженого клейового прошарку. Недостатнє змочування призводить до утворення пористої структури матеріалу, яка буде слугувати концентратором напружень і прискорювати утворення тріщин. Для повного змочування поверхні основи в’язкість адгезиву повинна бути низькою, а його поверхневий натяг меншим від поверхневого натягу субстрату. В загальному адгезія і змочування є складними комплексними явищами, котрі залежать від багатьох параметрів. У свою чергу адгезійне з’єднання характеризується комплексом власних параметрів, неадитивно пов’язаних з параметрами вхідних компонентів. При

цьому комплекс характеристик адгезійного з'єднання залежить від густини сітки міжфазових хімічних зв'язків. У випадку перевищення енергії зв'язку між адгезивом і субстратом енергії водневих зв'язків, деформація адгезійних систем підпорядковується закономірностям когезійного внутрішньофазового утворення. У зв'язку з цим залишаються актуальними наукові задачі вибору оптимальних об'єктів та умов утворення конструкцій адгезійних з'єднань, які є відповідними до експлуатаційних характеристик конкретних виробів.

Змочування твердих поверхонь полімерами, а, у нашому випадку, епоксидним олігомерним зв'язувачем, можна проаналізувати за допомогою такого критерію, як крайовий кут змочування. Останній дозволяє визначити поверхневий натяг твердих тіл, зокрема вільну енергію поверхні. Для вимірювання величини крайового кута змочування застосовують наступні методи: метод лежачої краплі, метод підняття рідини у капілярі та метод пластини Вільгельмі. У багатьох технологічних процесах, таких як нанесення полімерних покриттів, друкування, фарбування, очистка поверхонь від забруднення, необхідне якісне змочування основи адгезивом, котре залежить як від поверхневого натягу рідини, міжфазового натягу системи «адгезив – субстрат», так і від вільної енергії твердої поверхні. Як правило, співвідношення сил міжфазового і поверхневого натягу у точці контакту трьох фаз може бути описане рівнянням Юнга.

Для визначення змочування епоксидною матрицею порошкового матеріалу доцільно застосовувати метод підняття рідини у капілярі (метод Вашбурна). Цей метод було розроблено для характеристики змочування порошків та пучків волокон за мірою проникнення рідини (адсорбції). У основі методу прийнято зміну приросту маси зразка за часом. При цьому порошок поміщають у скляну трубку з фільтром, яку занурюють у рідину з відомим поверхневим натягом. Остання проникає через фільтр і змочує порошок. Як показує аналіз літературних джерел даний метод є досить чутливим, тому особливі вимоги ставлять до технології приготування зразків. Порошки мають різну насипну щільність і для отримання результатів з прийнятою достовірністю (0,95) необхідно проводити значну кількість дубльованих дослідів. Крім цього, необхідно визначити постійну капілярів, яка залежить від їх радіуса і кількості.

Для спрощення методу Вашбурна було використано методику визначення відносної величини змочування, коли на поверхню ущільненого у капсулі порошкового матеріалу наносили декілька однакових крапель епоксидного зв'язувача і аналізували кінетику зміни форми краплі на поверхні наповнювача. При цьому вимірювали час «поглинання» краплі ущільненим порошком.

Проведені за зазначеною методикою експериментальні випробування дозволили встановити, що серед досліджуваних порошкових матеріалів, які надалі будуть використані як наповнювачі для епоксикомпозитів, найкращим змочуванням відрізняється порошок карбідної шихти. Даний порошковий матеріал поглинає епоксидний зв'язувач ЕД-20 впродовж часу $t = 2$ хв. Тривалість поглинання краплі адгезиву порошком колоїдної сірки становить $t = 5…6$ хв, а час поглинання краплі зв'язувача порошком залізного сурику $t = 7…8$ хв.

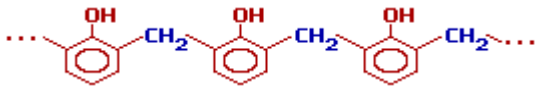
ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ФЕНОПЛАСТОВ

Букетов А.В., Акимов А.В., Браило Н.В.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

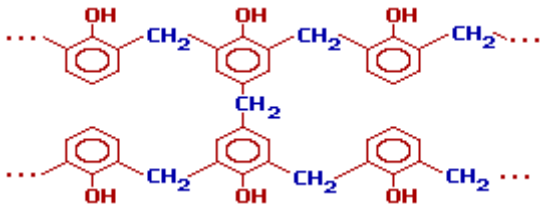
Развитие новой техники в современных условиях невозможно без использования полимерных композитов, в особенности защитных покрытий из таких материалов, обладающих высокими физико-механическими показателям, пониженной горючестью и токсичностью. Для элементов энергетических установок, работающих под действием высоких температур, характерно использование гетерогенных покрытий на основе полимеров, наиболее важными характеристиками которых являются тепло- и огнестойкость, сопротивляемость действию агрессивных сред (топливо, масло, вода, ПАВ и др.).

Трудно горючие, а также горючие (но трудновоспламеняемые) полимерные материалы находят применение в строительстве, в машиностроении, на транспорте и в космической технике. К огнестойким конструкциям из этих материалов предъявляют повышенные требования: они должны в течение достаточно длительного времени сохранять эксплуатационные свойства в условиях возгорания и пожара. Большинство полимерных материалов обладают малой огнестойкостью, хотя являются горючими. Снижение горючести полимерных композитов достигают в основном путем их модификации или введением в материал замедлителей горения.

Одним из путей решения проблемы использования защитных огнестойких покрытий для элементов энергетических установок могут служить адгезивы из фенопластов. Фенопласты – термостойкие смолы, содержащие гетероатомы, модифицированные металлами и металлоидами, а также полимеры, получаемые путем матричных полиреакций. Их получают из фенолов и альдегидов, преимущественно формальдегида. Конечным продуктом является фенолформальдегидная смола, которая получают в результате поликонденсации фенола с формальдегидом. Реакцию проводят в присутствии кислых (соляная, серная, щавелевая и другие кислоты) или щелочных катализаторов (аммиак, гидроксид натрия, гидроксид бария). При избытке фенола или кислом катализаторе образуется линейный полимер – новолак, цепь которого содержит приблизительно 10 фенольных остатков, соединенных между собой метиленовыми мостиками:



Новолаки – термопластичные полимеры, которые сами по себе не способны переходить в неплавкое и нерастворимое состояние. Но они могут превращаться в трехмерный полимер при нагревании в присутствии формальдегида в щелочной среде. При использовании щелочных катализаторов и избытке альдегида на начальной стадии поликонденсации получают линейные цепи резола, которые при дополнительном нагревании сшиваются за счет групп CH_2OH, находящихся в пара-положении фенольного кольца. В результате образуется трехмерный полимер – резит:



Таким образом, резолы являются термореактивными полимерами.

Фенолоформальдегидные полимеры применяют в виде прессовочных композиций с различными наполнителями, а также в производстве лаков и клеев.

Отвержденные смолы характеризуются высокими тепло-, водо- и кислостойкостью, а в сочетании с наполнителями – высокой механической прочностью.

Из фенолформальдегидного полимера, добавляя различные наполнители, получают фенолформальдегидные пластмассы, т. е. фенопласты. Их применение очень широко. Это: шарикоподшипники, шестерни и тормозные накладки для машин; хороший электроизоляционный материал в радио- и электротехнике.

В связи с широким применением фенолформальдегидных смол в промышленности и в быту в настоящее время возникла необходимость в получении новых видов фенопластов, которые имеют высокие эксплуатационные, в том числе физико-механические характеристики, и универсальный комплекс свойств во время эксплуатации в различных условиях. В этом отношении большую заинтересованность представляет модификация фенолформальдегидных смол эпоксидными олигомерами.

Использования эпоксидных олигомеров как модификаторов для фенолформальдегидных смол (ФФС) должно обеспечивать улучшение в комплексе свойств сшитого фенопласта, как за счет образования дополнительных пространственных структур в резите, так и при наличии в цепи полярных функциональных групп.

ФФС также применяют в качестве отвердителей для эпоксидных композитов (ЭК) в основном в виде препрегов – предварительно приготовленных смесей, обычно нанесенных на различные материалы. Они позволяют получать теплостойкие до 200…220 ^{o}C композиции, отличающиеся, кроме того, очень высокой химической инертностью.

Выбор отвердителя зачастую служит определяющим фактором для обеспечения необходимых технологических и эксплуатационных характеристик материалов, в частности, клеев и герметизирующих композиций. С другой стороны, использование отвердителей с высокой молекулярной массой может негативно сказаться на общей химической стойкости материала вследствие наличия большого количества химически нестабильных связей в молекулах ингредиентов. При использовании в качестве отвердителей полиаминов известен прием увеличения относительного удлинения материалов с увеличением количества сшивающего реагента. Однако, в этом случае значительно снижается степень сшивки и резко снижается химическая стойкость композитов.

Ангидриды ди- и поликарбоновых кислот являются второй после полиаминов (по объему применения) группой отвердителей, которые используют для изготовления стеклопластиков. К таким отвердителям относят фталевый, малеиновый, изо-метилтетрагидрофталевый (Изо-МТГФА), метилэндиковый (МЭА-610) ангидриды и пиромеллитовый диангидрид. Отвердители этой группы обеспечивают отверждение композиций с высоким уровнем физико-механических и электротехнических свойств, а также хорошими антикоррозионными характеристиками, водо- и химстойкостью.

Фталевый и малеиновый ангидриды дешевы, но являются твердыми и довольно высокоплавкими веществами. Изо-МТГФА, метилэндиковый ангидриды – подвижные жидкости, легко совмещающиеся с ЭК. Одним из основных недостатков ангидридных отвердителей является необходимость длительного нагрева изделий при высокой температуре. С целью сокращения времени и снижения температуры применяют эффективные катализаторы отверждения ЭК, в основном, из ряда третичных аминов – УП-606/2, диметилбензиламин, триэтаноламин, метилдиэтаноламин, а также 2-метилимидазол. Ускорители отверждения добавляют обычно в количестве 1…3 % от массы ЭК. Эти же вещества в количестве 5…10 % являются самостоятельными отвердителями ЭК по механизму полимеризации. Наиболее активными инициаторами полимеризации ЭК являются кислоты Льюиса – комплексы трехфтористого бора с различными азотсодержащими соединениями. Характерной особенностью этих

отвердителей является высокая скорость отверждения ЭК. В зависимости от активности отвердителя и температуры полное отверждение может быть достигнуто в интервале времени от нескольких секунд до 2…3 ч.

Отвердитель Изо-МТГФА (ТУ 38.103149-85) используют в качестве отвердителя горячего отверждения эпоксидных смол и композитов на их основе. Отвердитель обеспечивает высокие физико-механические характеристики композитов, отличные влагозащитные свойства, хорошие электрические показатели, климатическую стойкость. Тепло- и химическая стойкость, электроизоляционные свойства отвержденных Изо-МТГФА композитов лучше, чем у материалов, отвержденных аминными отвердителями.

Изо-МТГФА менее летуч, менее токсичен, лучше совмещается с эпоксидной смолой, обеспечивает лучшую воспроизводимость технологического процесса, чем малеиновый и фталевый ангидриды.

В научной лаборатории «Полимерные композитные материалы в судостроении» Херсонской государственной морской академии проводили исследования адгезионной прочности (метод отрыва) материалов на основе полимерной композиции со следующими соотношениями компонентов: 20, 40, 60 и 80 масс. ч. эпоксидно-дианового олигомера марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-84) и, соответственно, 80, 40, 60 и 20 масс. ч. фенолформальдегидной смолы марки ФРВ-1. Материалы формировали без добавления отвердителя.

Отверждали композиционные материалы по следующему режиму: выдержка образцов на открытом воздухе (24 ч); нагрев в термошкафу до температуры 120 ºС; выдержка при данной температуре (2 ч). С целью стабилизации процессов в структуре материалов образцы охлаждали в термошкафу до температуры 25±2 ºС.

Адгезионную прочность полимерной композиции оценивали по величине разрушающего усилия при отрыве цилиндрических образцов («грибков») в соответствии с ГОСТ 14760-69. Остаточные напряжения исследовали консольным методом.

По результатам исследований экспериментально установлено, что наиболее оптимальной полимерной композицией из перечисленных выше вариантов является композиция следующего состава: 60 масс. ч. эпоксидно-дианового олигомера марки ЭД-20 и 40 масс. ч. фенолформальдегидной смолы марки ФРВ-1. Установлены показатели свойств такой композиции: остаточные напряжения – $\sigma_{ост}$ = 4,3…4,8 МПа, адгезионная прочность – σ_a = 33,3…35,5 МПа.

Даная полимерная композиция может быть использована в качестве защитных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками.

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ В АНАЛИЗЕ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

[1]Букетов А.В., [2]Долгов Н.А., [2]Ляшенко Б.А., [3]Рущицкий Я.Я.
[1]Херсонская государственная морская академия (Украина)
[2]Институт проблем прочности им. Г.С.Писаренко НАН Украины (Украина)
[3]Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины (Украина)

В настоящее время в области композиционных материалов (КМ) для определения механических характеристик используют, главным образом, расчетные методы, которые основаны на гипотезе как идеального, так и скользящего контакта между матрицей и наполнителем. Однако реально в условиях эксплуатации КМ контакт не идеальный и не скользящий. Он формируется уровнем адгезионной связи, который обеспечивают технологиями обработки поверхности армирующего материала (волокна, дисперсные частицы, фольги).

Основным экспериментальным средством определения адгезионной прочности является выдергивание единичного волокна.

В Институте проблем прочности им. Г.С.Писаренко накоплен опыт определения адгезионной прочности дисперсных частиц наполнителя с матричным материалом на основе иного подхода.

В основе разработанной методике лежит построение зависимости «коэффициент Пуассона – напряжение» из диаграммы растяжения стандартного образца КМ. Уровень адгезионной прочности при этом фиксируют при резком падении коэффициента Пуассона, т.е. фиксируют напряжение потери сплошности КМ [1]. Более точное определение обеспечивает запись диаграммы в виде дифференциального вида коэффициента Пуассона [2]. Эти методы реализуют при растяжении стандартных образцов КМ на лабораторных разрывных машинах со стандартными экстензометрами.

Как известно, коэффициент Пуассона является очень чувствительной характеристикой упругого материала. К настоящему времени, используют два экспериментальных подхода к определению значения коэффициента Пуассона для конкретных материалов.

Первый подход. Он основан на экспериментальном определении модулей Юнга, сдвига и объемного сжатия и последующего вычисления значения коэффициента Пуассона по формулам: $\sigma = \frac{E}{2\mu} - 1,\ \sigma = \frac{1}{2}\left[\frac{E}{3k} - 1\right]$. Здесь возникает проблема точности вычисления. В известной книге Белла по экспериментальной механике по этому поводу говорится: «Вспомним вывод Грюнайзена, что ошибка $\pm 1\%$ в значении E и μ имеет следствием ошибку 10% в значении коэффициента Пуассона». Поэтому считается, что второй подход, который связан с экспериментами Кирхгоффа 1859 года и в котором коэффициент Пуассона определяют из прямого эксперимента одновременно на изгиб и кручение, является более предпочтительным.

Поэтому указанная выше новая методика точного определения значения коэффициента Пуассона для КМ представляется перспективной и предлагается в качестве компонента новой концепции «композит – это адгезионная конструкция».

Осуществление концепции планируется по следующим этапам:

- разработка методики определения адгезионной прочности в КМ с последующей стандартизацией;
- оптимизация технологии обработки поверхности армирующих элементов и технологии производства КМ по критериям адгезионной прочности наполнителя и

матрицы с использованием программы математического планирования типа ПРИАМ (планирование – регрессия – анализ моделей);

- разработка теории прочности и несущей способности КМ с учетом реальной адгезионной прочности, исходя из подхода, что потеря сплошности КМ при разрушении адгезионных связей приводит к изменению коэффициентов Пуассона и к перераспределению главных напряжений;
- создание критериев равнопрочности КМ с учетом адгезионной прочности.

Потребности в этих работах имеют КБ Антонова и КБ Южное.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 48397. Україна, МПК (2009) G01N 19/00, G01N 3/08. Спосіб визначення міцності зчеплення наповнювача з матрицею в композиційному матеріалі / Б.А.Ляшенко, М.А.Долгов, Є.К.Солових, А.В.Букетов, В.Г.Піскунов, П.Д.Стухляк, Н.В.Ліпінська (Україна).– Заявл. 08.11.2009; Опубл. 10.03.2010, Бюл. №5. – 6с.

2. Авт. свид. СССР 349934, G01N 19/04. Способ определения прочности сцепления частиц наполнителя со связующим / Липатов Ю.С., Ляшенко Б.А., Веселовский Р.А. и др. БИ 1972, № 26.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОВТОРНО-ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЖЕНИЯХ

Букетов А.В., Кравцова Л.В., Богдан А.П.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Постановка задачи. Обеспечение экономичности и безопасности эксплуатации конструкций и деталей предъявляет определенные требования к надежности и долговечности используемых материалов. Поэтому полимерные композитные материалы (ПКМ) нашли широкое применение в современных конструкциях разного назначения. Их высокие удельные механические характеристики особенно необходимы в условиях эксплуатации оборудования с незначительной массой деталей и механизмов. Однако широкое применение ПКМ предполагает также решение ряда научно-технических проблем, связанных с их эксплуатацией. В частности, интересным с научной точки зрения является испытание образцов ПКМ на чистый изгиб при повторно-переменных нагружениях. Анализ этих испытаний с точки зрения математических методов теории случайных процессов позволит прогнозировать поведение ПКМ в процессе эксплуатации.

В работе проведили испытания образцов ЭКМ на четырехточечный изгиб при повторно-переменных нагружениях. Нагрузку на образец подавали до определенной величины деформации с шагом 0,05 мм, после чего образец разгружали с тем же шагом деформации. При этом для каждого узлового значения деформации фиксировали изменение нагрузки. Процесс повторно-переменных нагружений повторяли до момента разрушения образца. В результате эксперимента получили зависимость изменения нагрузки на образец от его деформации с учетом цикла.

Цель работы – определить вероятности пребывания образца эпоксидного композитного материала в различных состояниях при повторно-переменных нагружениях, а также вероятности разрушения образца при достижении им состояния пластичной деформации.

В рамках настоящей работы ограничимся формальным допущением того, что процессы, происходящие с ПКМ в процессе его деформации, являются марковскими, и на основе этого формализуем рассматриваемую задачу, используя методы теории марковских процессов. Марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем называется непрерывной цепью Маркова при условии, что переход системы из состояния в состояние происходит не в фиксированные, а в случайные моменты времени.

Пусть $S_1, S_2, ...S_n$ – всевозможные состояния системы *S*. Вероятность $p_1(t) = p(S_i(t)), i = 1,...n; t \geq 0$ события $S_i(t),$, состоящего в том, что система *S* в момент времени *t* находится в состоянии S_i, называется вероятностью *i*-ого состояния системы в момент времени *t*. Вероятность состояния $p_i(t)$ является, таким образом, вероятностной функцией времени $t \geq 0$.

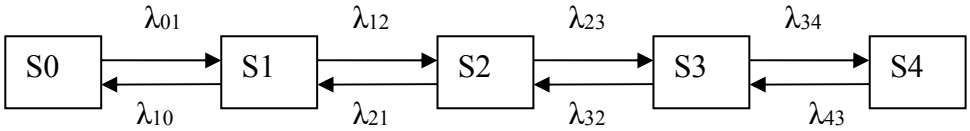
Вероятности состояний $p_1(t), i = 1,...n$ (неизвестные вероятностные функции) находятся как решение следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = -\left(\sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij}\right) p_i(t) + \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij} p_j(t), i = 1,...n; t \geq 0.$$

Система представляет собой систему *n* обыкновенных линейных однородных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами. Эту систему называют системой дифференциальных уравнений Колмогорова.

В нашем случае составим систему Колмогорова по размеченному графу состояний.

Граф состояний имеет вид:



Здесь S_i - состояние системы, соответствующее пограничной деформации образца в момент снятия нагрузки; λij – интенсивность потока.

Система дифференциальных уравнений Колмогорова, составленная по графу состояний имеет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{dp_1(t)}{dt} = -(\lambda_{10} + \lambda_{12})p_1(t) + \lambda_{01}p_0(t) + \lambda_{21}p_2(t) \\ \dfrac{dp_2(t)}{dt} = -(\lambda_{21} + \lambda_{23})p_2(t) + \lambda_{12}p_1(t) + \lambda_{32}p_3(t) \\ \dfrac{dp_3(t)}{dt} = -(\lambda_{32} + \lambda_{34})p_3(t) + \lambda_{23}p_2(t) + \lambda_{43}p_4(t) \\ \dfrac{dp_4(t)}{dt} = -\lambda_{43}p_4(t) + \lambda_{34}p_3(t) \end{cases}$$

Кроме того, учитываем нормировочное требование: $\sum_{i=0}^{n} p_i(t) = 1, \forall t \geq 0$.

Вероятности состояний могут быть получены путем решения системы линейных алгебраических уравнений, которые получают из дифференциальных уравнений Колмогорова. Если приравнять производные к нулю, а вероятностные функции состояний $P_1(t),\ldots,P_n(t)$ в правых частях уравнений заменить соответственно на неизвестные вероятности $P_1,\ldots,P_n$, тогда по результатам измерений получим систему линейных уравнений для определения вероятностей состояний с учетом нормировочного уравнения. Систему решили матричным методом. В нашем случае решением системы будут значения вероятностей состояний системы $P_0,P_1,\ldots P_4$.

Таким образом, получили следующие вероятности пребывания системы:

- в состоянии $S_0 – p_0$ = 0,055;
- в состоянии $S_1 – p_1$ = 0,0811;
- в состоянии $S_2 – p_2$ = 0,1283;
- в состоянии $S_3 – p_3$ = 0,2207;
- в состоянии S_4, предшествующем разрушению, p_4 = 0,5150.

Выводы. Методом теории случайных процессов установлены вероятности пребывания системы в различных состояниях, а также вероятность разрушения образца при достижении состояния пластической деформации. Разработанная модель дает возможность анализировать и прогнозировать свойства, а также оценить поведение эпоксидных композитных материалов под действием повторно-переменной нагрузки и на основе этих результатов предотвратить преждевременное разрушение.

ЗАХИСТНІ ПОЛІМЕРКОМПОЗИТНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

[1]Гарматюк Р.Т., [2]Чихіра І.В. , [2]Бадищук В.І.
[1]Кременецький обласний гуманітарно-педагогічний інститут
ім. Тараса Шевченка (Україна)
[2]Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

Устаткування нафтової і газової промисловості експлуатується в умовах дії абразивних та агресивних середовищ, підвищених і низьких температур, високих швидкостей і контактних тисків, а іноді й динамічних навантажень. Це супроводжується складними фізико-механічними процесами, що виникають при мікроударній дії рідини на поверхню твердого тіла.

Основним робочим органом магістральних насосів є колесо, відлите із сталі або чавуну. У процесі експлуатації відбуваються гідроабразивне зношування і корозія поверхні робочих коліс. У результаті дії вказаних чинників знижується к.к.д. насосів і зростають витрати електроенергії. Враховуючи енергоємність нафтоперекачувального устаткування завдання економії паливно-енергетичних витрат є дуже актуальне.

Для захисту деталей машин від гідроабразивного зношування і корозії та поліпшення гідродинамічних характеристик насосів в якості матеріалу для покриття можна використати полімерну композицію на основі модифікованої епоксидної смоли. Вибір смол для створення матриці обумовлений тим, що вони мають добру плинність (на стадії переробки) при заповненні проміжків, щілин і капілярів, можуть змішуватися з різними наповнювачами (металевими, мінеральними, органічними), змінюють властивості у необхідному напрямі, забезпечуючи високу щільність матеріалу. Крім цього, при затвердінні ці смоли дають незначну усадку, що знижує залишкові напруження. Полімерна матриця на основі епоксидних смол характеризується також високою адгезією до різноманітних матеріалів, значною термічною і хімічною стійкістю, не викликає корозії дотичних до неї матеріалів і за зносостійкістю є близькою до алюмінієвих сплавів [1].

У вигляді наповнювача можуть бути використані тугоплавкі з’єднання. Найбільш перспективними з них є металоподібні карбіди, нітриди, бориди тугоплавких перехідних металів IV-VI груп Періодичної системи елементів Д. І. Менделєєва, а також складні з’єднання (карбонитриди, карбобориди, оксикарбиди) [2].

Добра плинність і великий термін живучості полімерної матриці дозволяють наносити композиції на її основі будь-яким відомим способом (занурення, пульверизація та ін.), що значно розширює сферу її застосування. Гетерогенні системи містять олігомери, пластифікатори, наповнювачі, при цьому механічні властивості композитів безпосередньо залежать від адгезійних і когезійних властивостей полімерної матриці [3].

У роботі у вигляді плівкоутворювача використали епоксидні олігомери ЕД-16, ЕД-20, які затвержували ізометилтетрагідрофалевим ангідридом (ізо-МТГФА) у присутності триетаноламіну.

Як наповнювачі використали карбіди бору і кремнію дисперсністю 60…80 мкм Проте, як показали дослідження, введення у зв’язувач наповнювачів з щільністю, яка вища за $2{,}5\times10^3$ кг/м^3, і дисперсністю, яка більша за 40 мкм, призводить до їх седиментації. Щоб запобігти цьому, у композицію додатково вводили дрібнодисперсні порошки оксидів алюмінію і хрому, а також аеросил АДГЕ-300. Встановлено, що введення дрібнодисперсних часток аеросилу понад 3 мас. ч. запобігає седиментації основного наповнювача, проте при цьому істотно погіршується технологічність композиційного матеріалу. Оксид хрому або оксид алюмінію необхідно вводити у кількості 30…50 мас. ч., при цьому технологічні властивості композицій зберігаються.

Оскільки реологічні властивості досліджуваних композицій не підлягають закону Ньютона і в процесі їх течії відбувається деформація та орієнтація вздовж потоку лінійних

макромолекул полімеру, нами була розроблена методика визначення умовної в'язкості. Вона враховує градієнт швидкості деформації і руйнування структури композиції при течії її по похилій площині. Кут нахилу площини змінювали в межах від 30 до 90°. На підкладку в горизонтальному положенні наносили композиції (3 см^3), після чого її встановлювали на необхідний кут. В'язкість композицій характеризували за відношенням довжини сліду течії матеріалів до довжини сліду матриці. Цим методом досліджували вплив вмісту, дисперсності і форми часток наповнювача на реологічні властивості композицій.

З рис. 1 видно, що зі зміною дисперсності наповнювачів B_4C і SiC від 40 до 125 мкм при однаковій мірі наповнення умовна в'язкість композиції знижується. Проте, характер зміни умовної в'язкості значною мірою залежить від щільності речовини і форми часток наповнювача. Додаткове введення у полімерну композицію антиседиментаційних добавок призводить до помітного прояву тиксотропного ефекту (рис. 2).

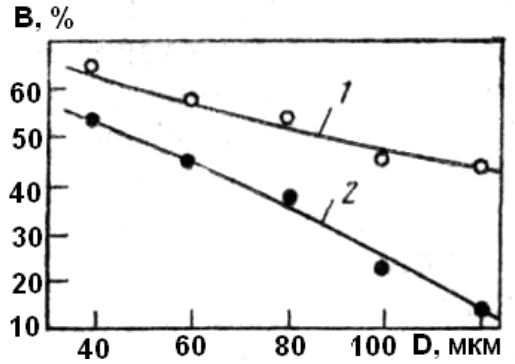


Рисунок 1. Залежність умовної в'язкості *B* композицій від дисперсності тугоплавкого наповнювача *D* B_4C (1) і SiC (2). Кут нахилу площини 40°. Кількість наповнювача 150 мас. ч.

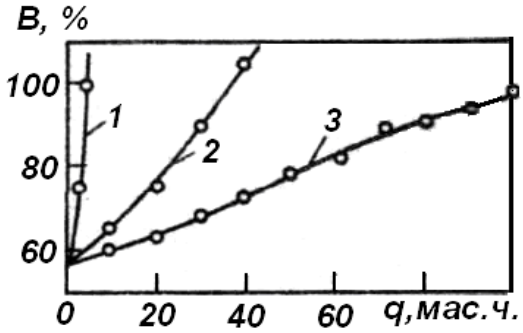


Рисунок 2. Залежність умовної в'язкості композицій *B* від кількості *q* дрібнодисперсних наповнювачів SiO_2 (1); A_2O_3, (2), Cr_2O_3 (3) при вмісті 100 мас. ч. B_4C з дисперсністю 60 мкм. Кут нахилу площини 40°.

Висновки. У результаті досліджень встановлено, що зносостійкість полімеркомпозитного покриття приблизно в 3,5 разу вище, ніж сталі СТ. 20 Л. Це дало можливість застосувати для захисту деталей відцентрових насосів перекачуючого устаткування полімеркомпозитного покриття на основі епоксидної матриці і тугоплавкого наповнювача. Виробничі випробування робочих коліс із захисним покриттям показали, що к.к.д. насосів збільшується на 2-3%, а міжремонтний період збільшується у 1,5 рази.

Додатково було розроблено технологію нанесення полімеркомпозитного покриття на робочі колеса відцентрових насосів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Князев В. К. Эпоксидные конструкционные материалы в машиностроении / В.К. Князев. - М.: Машиностроение, 1977. - 179 с.

2. Самсонов Г. В. Тугоплавкие соединения (справочник) / Г.В. Самсонов, И.М. Винницкий. - М.: Металлургия, 1976. - 530 с.

3. Кардашов Д. А. Конструкционные клеи / Д.А. Кардашов. - М.: Химия, 1980. - 286 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НВЧ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБРОБКИ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ

Голотенко О.С., Стухляк П.Д., Добротвор І.Г., Карташов В.В.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

Вступ. Обсяг світового виробництва і споживання усіх видів полімерних матеріалів неухильно зростає. Серед безлічі полімерних конструкційних матеріалів важливе місце займають епоксидні смоли завдяки цінному комплексу притаманних їм властивостей і універсальності застосування як ливарних і прес матеріалів, склопластиків, компаундів, клеїв, лакофарбових покриттів, а також у якості конструкційних матеріалів для деталей машин, приладів і механізмів.

В умовах нових економічних відносин особливої актуальності набуває можливість швидкого реагування на запити ринку, що може бути досягнуто шляхом модифікування властивостей полімерних матеріалів за рахунок використання нових технологічних прийомів для надання їм необхідних якісних характеристик, а також створенням нових способів формування матеріалів, що відповідають технологічним, економічним і екологічним вимогам сучасності.

Актуальність досліджень. У даний час для інтенсифікації процесів переробки і поліпшення експлуатаційних властивостей полімерних матеріалів широко використовують електрофізичні поля, в тому числі пружні коливання звукового та ультразвукового частотного діапазону, віброобробки, струми високої частоти, лазерне та ультрафіолетове оброблення.

Необхідність в альтернативних технологіях модифікації полімерів пов'язана, в деяких випадках, з багатостадійністю традиційних процесів, високими енерго- і трудовими затратами, екологічною напруженістю виробництва. Інтенсивні дослідження по застосуванню електрофізичних методів обробки матеріалів та виробів показали ефективність використання для цієї мети енергії надвисокочастотних (НВЧ) електромагнітних коливань.

Постановка задачі. Дослідженню впливу НВЧ електромагнітного поля (НВЧ ЕМП) на адгезійно-міцнісні властивості епоксидних композитів (ЕК) і модифікацію їх властивостей приділено недостатньо уваги. Тому нами було поставлено завдання дослідити вплив НВЧ електромагнітного модифікування епоксикомпозитів, наповнених дрібнодисперсними наповнювачами на адгезійні характеристики покриттів.

Як зв’язувач при формуванні КМ використовували епоксидний діановий оліґомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) з густиною $\rho = 1{,}2\cdot10^3$кг/м^3. Як пластифікатор використано полідіетилакрилат ПДЕА-4 (16 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомера). Як твердник використано поліетиленполіамін ПЕПА (8…10 мас.ч. на 100 мас.ч. ЕД-20, ТУ 6-05-241-202-78), який дозволяє затверджувати композити при кімнатній температурі. В якості наповнювачів вводили дрібнодисперсні порошки червоного шламу (ЧШ), оксиду хрому (Cr_2O_3), бориду титану (TiB_2).

НВЧ оброблення проводилось на попередній стадії формування матеріалу (до введення твердника), що забезпечує інтенсивніший перебіг фізико-хімічних процесів на межі поділу фаз при формуванні КМ.

НВЧ активацію пластифікованого зв’язувача і епоксидних композицій проводили за допомогою розробленого НВЧ випромінювача з частотою f = 2450 МГц, довжина довжина хвилі становить 0,1225 м, робоча напруга – 220 В, частота струму 50 Гц. Тривалість оброблення композицій (без твердника) становила t = 30…120с.

Мета роботи – визначити оптимальний час надвисокочастотної обробки композиції для формування матеріалу з підвищеними адгезійними характеристиками. Дослідити вплив наповнювачів на адгезійну міцність та залишкові напруження покриттів.

Результати досліджень. Експериментально встановлено, що НВЧ обробка (рис. 1) призводить до покращення показників адгезійної міцності полімерної матриці у порівнянні з необробленим епоксидним матеріалом. Зокрема адгезійна міцність полімерної матриці зростає з 23 МПа до 31 МПа впродовж 30 с. НВЧ обробка приводить до формування більш активного стану макромолекул та виникнення, внаслідок цього, вільних радикалів [1]. Такі радикали активують процеси зшивання зв'язувача у присутності твердої поверхні, що підвищує когезійну міцність модифікованої епоксидної матриці. Наведені положення добре узгоджуються з дослідженнями фізико-механічних властивостей КМ [2].

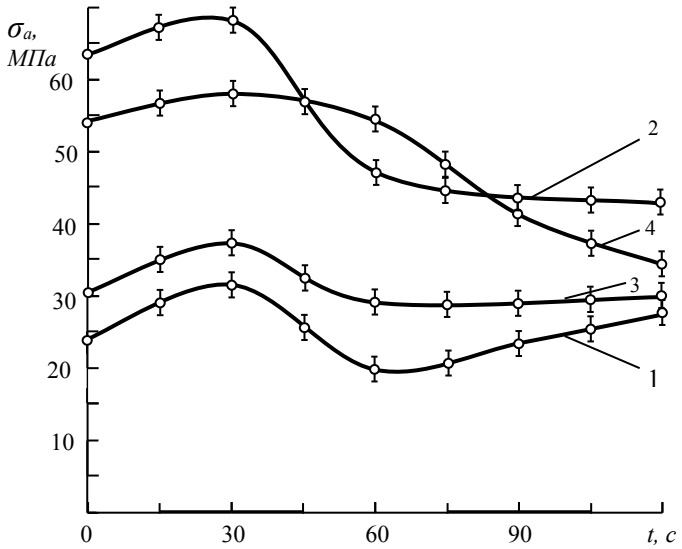


Рисунок 3. Вплив часу НВЧ ЕМ обробки на адгезійну міцність захисних полімеркомпозитних покриттів.
1 – епоксидна матриця; 2 – червоний шлам; 3 – Cr_2O_3, 4 –TiB_2

Доведено, що максимальне значення адгезійної міцності (σ_a = 68 МПа) спостерігали у покриттях з частками ЧШ при 30-ти секундній НВЧ обробці. Обробка електромагнітним полем НВЧ дозволяє покращити адгезійні характеристики композитів, наповнених TiB_2 та Cr_2O_3, до показників 58,2 МПа та 37,4 МПа відповідно. Це можна пояснити утворенням рівномірно розподіленої тиксотропної структури завдяки феро- та парамагнітній природі наповнювачів при одночасній дії на композицію надвисокочастотного електромагнітного поля, яке зумовлює орієнтацію частинок на поверхні субстрату [3, 4]. При оптимальних умовах електромагнітне поле НВЧ відіграє роль диспергатора, що попереджує агрегацію структурних елементів і дозволяє сформувати орієнтоване просторове розміщення наповнювача у матриці.

Висновки. У роботі проведено дослідження впливу надвисокочастотного електромагнітного опромінення на адгезійну міцність епоксикомпозитних покриттів наповнених дрібнодисперсними частками феро- та парамагнітної природи. Встановлено, що оптимальний час обробки НВЧ електромагнітним полем становить 30 с, що покращує адгезійні характеристики на 8…34 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стухляк П. Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П.Д. Стухляк, А.В Букетов., І.Г. Добротвор. – Тернопіль: Збруч, 2008. – 208 с.

2. Бартенев Г.М. Физика и механика полимеров / Г.М. Бартенев, Ю.В. Зеленев. – М.: Высшая школа, 1983. – 256 с.

3. Тризно М.С., Москалев Е.В. Клеи и склеивание. - Л.: Химия, 1980. – 120 с.

4. Акутин М.Е., Гуль В.Е., Слонимский Г.Л. Научные проблемы переработки полимеров // Ж-л Всесоюз. хим. об-ва им.Менделеева. - 1976. - Т.21, N5. - С. 518-521.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КООЛІГОМЕРИЗАЦІЇ НЕНАСИЧЕНИХ ВУГЛЕВОДНІВ ФРАКЦІЇ C_9

Дзіняк Б.О., Субтельний Р.О., Оробчук О.М., Фуч У.В.
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

Синтез коолігомерів здійснюють коолігомеризацією ненасичених вуглеводнів, які містяться в сировині, рідких продуктах піролізу (РПП) [1]. Продукти коолігомеризації вуглеводневих фракцій використовують у різноманітних композиціях: у виробництві захисних покриттів, мастик, адгезивів, певних видів пластиків, гуми, бітумів і т. п. Застосовують коолігомери і у якості замінника рослинних олій у виробництві антикорозійних покриттів.

Промисловий процес коолігомеризації фракції C_9 рідких продуктів піролізу реалізовано за радикальним механізмом. Технологія передбачає радикальну олігомеризацію у розчині з використанням ініціаторів. Відбувається коолігомеризація ненасичених вуглеводнів (мономери), які розчинені в насичених вуглеводнях, що не беруть участі в реакції. В результаті одержуємо олігомеризат – розчин коолігомеру у непрореагованих вуглеводнях фракції, виділення якого є складним та енергоємним, передбачає в умовах виробництва використання атмосферної та вакуумної дистиляції [2].

Слід зазначити, що одержані коолігомери не завжди мають характеристики, важливі щодо використання в певній вузькій галузі виробництва. Тому основним завданням є вдосконалення існуючих виробництв з метою економії ресурсів, глибшої їх переробки, одержання продукту з високими виходами і широкими межами фізико-хімічних характеристик. З метою забезпечення маловідходності і максимального ступеня переробки вуглеводневої сировини запропоновано проводити коолігомеризацію фракції C_9 в дві стадії (рис. 1).

Досліджено можливість проведення суспензійної [3] та емульсійної коолігомеризації ненасичених вуглеводнів фракції C_9. Дисперсійна коолігомеризація має рад особливостей, зумовлених гетерогенністю системи, дисперсним станом фаз, наявністю емульгаторів чи стабілізаторів. Для емульсійної коолігомеризації характерними є розчинність ініціатора коолігомеризації у дисперсійному середовищі (вода), а емульгатора – в дисперсній фазі (фракція C_9). При досягненні критичної концентрації молекули емульгатора агрегуються в міцели, в яких колоїдно розчиняються мономери та інші компоненти емульсії. Коолігомеризація відбувається в міжфазному шарі.

Коолігомеризація в суспензії відбувається в краплинах мономеру за наявності розчинника, хімічні перетворення, які відбуваються всередині краплі дуже схожі на ті, що притаманні полімеризації в розчині. Компоненти суспензійний коолігомеризації: дисперсійне середовище – вода; дисперсійна фаза – фракція C_9 (вміст ненасичених сполук до 45%, бромне число – 68,0 г Br_2/100г); ініціатори суспензійної коолігомеризації – пероксид бензоїлу (ПБ), ди-*трет*-бутилпероксид (ДТБП), *трет*-бутил-гідропероксид (ТБГП) (розчинні в мономері); стабілізатор суспензії – полівініловий спирт (ПВС), розчинний у дисперсійному середовищі.

Досліджено вплив співвідношення компонентів, температури, природи ініціаторів на вихід і фізико-хімічні показники коолігомерів. Для менш енергоємного виділення коолігомеру з олігомеризату запропоновано ряд осаджувачів. Проведення коолігомеризації в суспензії при температурі процесу до 353 К, тривалості реакції 3 год і концентрації ініціатора 1% мас. дозволяє одержати продукт із виходом до 24,0 % мас., низьким показником кольору (20…30 мг J_2/100 $см^3$), температурою розм'якшення 330…350 К. На стадії коолігомеризації в суспензії основним реакційно здатним мономером є стирол і його похідні з низькою температурою кипіння. Тому максимальні виходи продукту, в основному, є співставними з кількістю стиролу в вихідній сировині. Головною перевагою суспензійної коолігомеризації є легке відведення тепла і

підтримання ізотермічних умов у зоні реакції, просте виділення коолігомеру з реакційного середовища шляхом фільтрування. Запропонована нами технологія дозволяє скоротити тривалість і знизити температуру процесу порівняно з промисловим методом.

Після виділення коолігомеру з суспензійного процесу, одержуємо олігомеризат, збагачений, в основному, цінним смолоутворювальним компонентом – дициклопентадієном та іншими ненасиченими висококиплячими вуглеводнями. Олігомеризат є сировиною для отримання коолігомерів з високим показником колірності.

Залишки фракції коолігомеризуємо в розчині, методом, аналогічному з промислово впровадженим. Температура процесу – 453 К, тривалість реакції – 6 год, концентрація ініціатора 1,0 % мас. Насичені вуглеводні виділяли дистиляцією. Виходи продукту в даному випадку є обернено пропорційні виходам суспензійного процесу (до 30 % мас.). За своїми фізико-хімічними показниками коолігомери відрізняються нижчим показником ненасиченості, високою температурою розм'якшення, проте значно темнішим забарвленням.

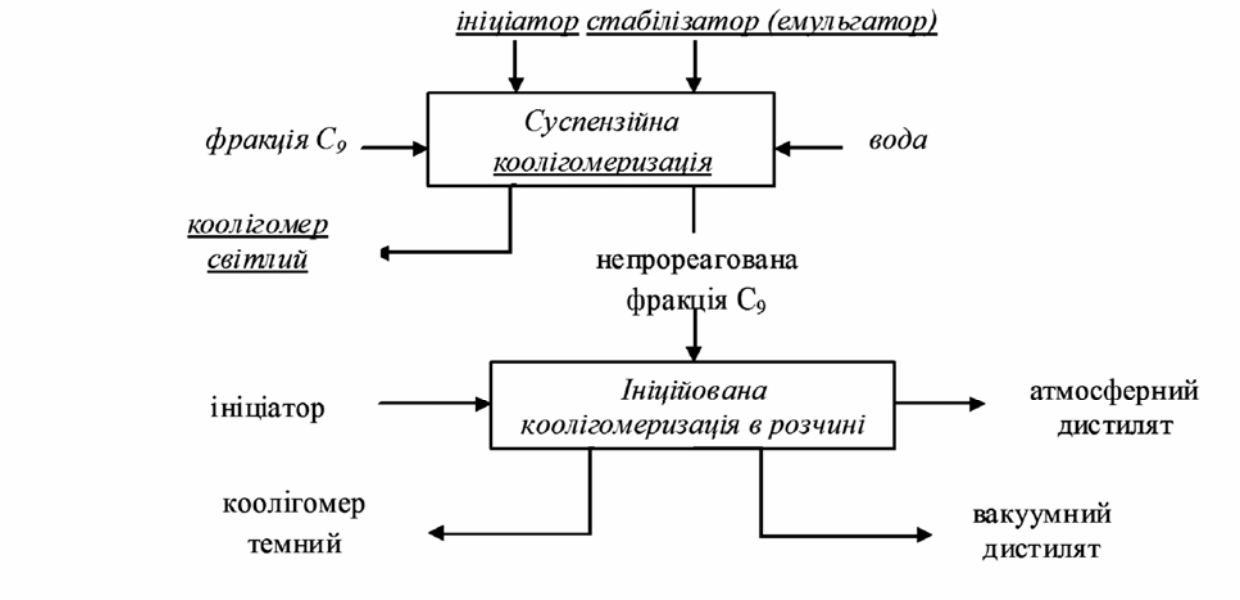


Рисунок 1. Блок-схема суспензійної коолігомеризації фракції C_9 і подальшої коолігомеризації непрореагованих залишків фракції

Отже, двостадійний метод дозволяє одержати два види коолігомеру з різними властивостями, що розширює межі їх використання, зокрема у технології захисних покриттів. Запропонована нами технологія дозволяє отримати коолігомери різної марки з максимально можливим виходом продукту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Думский Ю. В. Химия и технология нефтеполимерных смол / Ю.В. Думский, Б.И. Но, Г.М. Бутов // Москва. Химия. - 1999. – 312 с.

2. Дзіняк Б.О. Наукові основи і технологія коолігомерів з побічних продуктів піролізу вуглеводнів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.17.04 «Технологія продуктів органічного синтезу» / Б. О. Дзіняк; Національний університет "Львівська політехніка". – Львів, 2013. – 40 с.

3. Оробчук О.М. Дослідження суспензійної коолігомеризації ненасичених вуглеводнів фракції C_9, ініційованої органічними пероксидами / О. М. Оробчук, У. В. Фуч, Р. О. Субтельний, Б. О. Дзіняк // Восточно-Европейский журнал передових технологий. Технологии органических и неорганических веществ.- 2013.- №5/6 (65). – С.39-42. – ISSN 1729-3774.

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ В ПЛАЗМЕННОНАПЫЛЕННОМ ПОКРЫТИИ ПРИ ОТСЛОЕНИИ

[1]Долгов Н.А., [2]Заичко К.В., [3]Бесов А.В., [1]Капишон Л.С.
[1]Институт проблем прочности им. Г.С.Писаренко НАН Украины (Украина)
[2]Государственный научно-исследовательский институт МВД Украины (Украина)
[3]Институт проблем материаловедения им. И.Н.Францевича НАН Украины (Украина)

В силовых установках широко используются покрытия различного функционального назначения. При воздействии эксплуатационных факторов происходит как отслоение, так и растрескивание покрытий. Одним из возможных вариантов разрушения покрытия является его отслоение в окрестности свободного края вследствие сингулярности напряжений [1].

Моделирование отслоения покрытия осуществляли при растяжении плоских образцов с покрытием, которое имеет свободный край. Исследовали на растяжение металлические образцы с плазменнонапыленными покрытиями. Для напыления покрытий использовали порошок кобальт-хромового сплава [2]. Нанесение покрытий проводили на установке «ПЛАСТ» [3]. Покрытие толщиной 160 мкм напыляли на основу из нержавеющей стали 1Х18Н9 толщиной 1,5 мм. На разрывной машине *FM*-1000 исследовали на растяжение образцы с покрытиями. Отслоение покрытия произошло при нагрузке, которая вызывает в основе на участке без покрытия напряжения 752 МПа.

Численный анализ полей напряжений для образца с покрытием выполняли с помощью программного комплекса *ANSYS*. В окрестности свободного края покрытия сетку конечных элементов делали более мелкой. Минимальный размер сетки составил 0,7 мкм. Характеристики упругости (табл. 1) определяли при растяжении плоского образца с покрытием по методике, приведенной в [4].

Таблица 1. Характеристики упругости основы и покрытия

	Материал	Модуль упругости E	Коэффициент Пуассона □
Основа	нержавеющая сталь 1Х18Н9	199 ГПа	0,28
Покрытие	кобальт-хромовый сплав	70 ГПа	0,3

Графики распределения касательных напряжений (τ_{xy}), нормальных напряжений отрыва (σ_y) и растяжения (σ_x) в логарифмических координатах в плоскости адгезионного контакта основы и покрытия на расстоянии r (0,07...100 мкм) от свободного края покрытия ($x = 0$) приведены на рис. 1.

На основании проведенных исследований сделан вывод, что на характер процесса отслоения покрытий влияют как нормальные напряжение отрыва (σ_y) в окрестности свободного края покрытия, так и касательные напряжения (τ_{xy}).

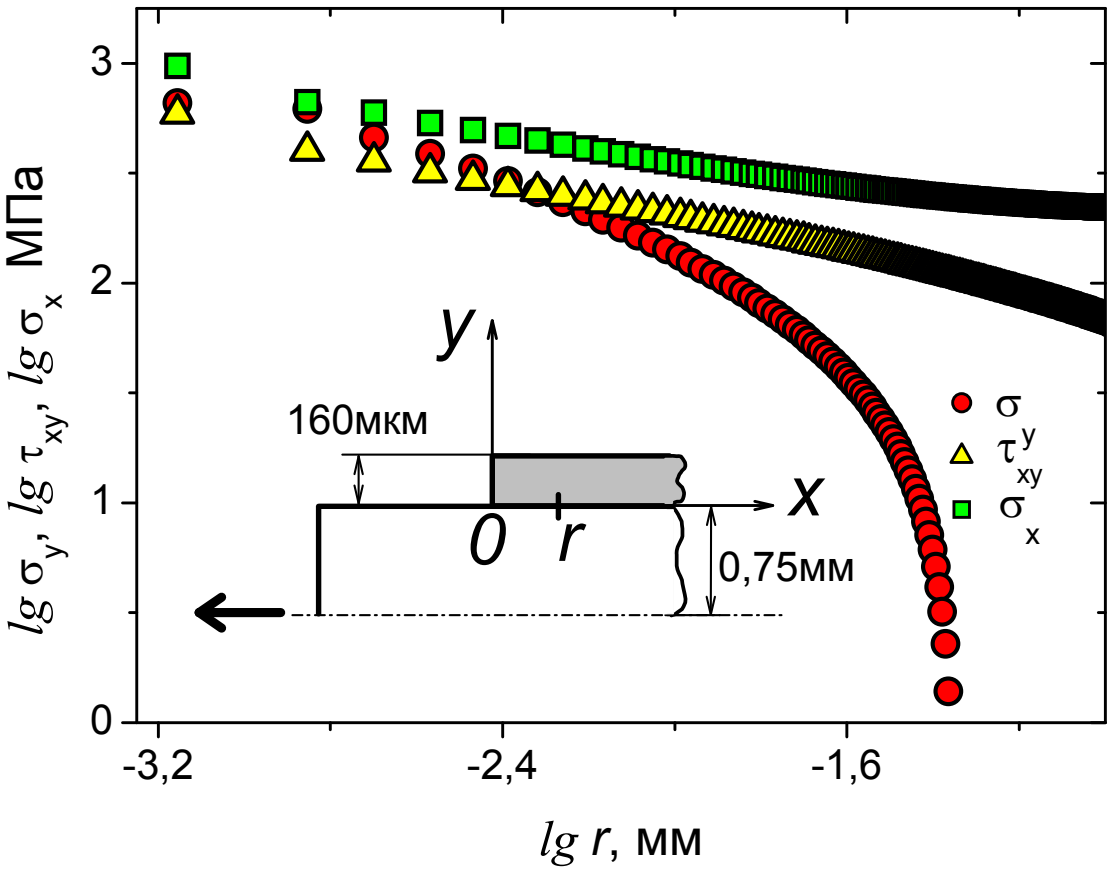


Рисунок 1. Распределение напряжений в плоскости адгезионного контакта основы и покрытия ($y = 0$) вблизи свободного края покрытия ($x = 0$) при отслоении

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгов Н.А. Сингулярность полей напряжений в системе основа-покрытие / Н.А. Долгов, Е.Б. Сорока // Проблемы прочности. – 2004. – № 6. – С. 119 –127.

2. Бєсов А.В. Спосіб виготовлення порошків кобальт-хромових сплавів для нанесення газо термічних покриттів на медичні вироби. – А.В. Бєсов, В.А. Маслюк, А.М. Степанчук. – Патент № 48648А. – 2002.

3. Бєсов А.В., Можливості застосування плазмової технології в медицині / А.В. Бєсов, В.В. Морозов // Металознавство та обробка металів. – 2002. –№ 3. – С. 62 – 66.

4. К определению характеристик упругости защитных покрытий / Н.А.Долгов, Б.А.Ляшенко, В.С.Веремчук, Ю.В.Дмитриев // Проблемы прочности. – 1995. – № 7. – С. 48 – 51.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК ДВУОКИСИ КРЕМНИЯ

Дощенко Г.Г., Штанченко А.В.
Херсонская государственная морская академія (Украина)

Термическое окисление кремния, наряду с такими технологическими процессами, как диффузия, эпитаксия и фотолитография, определяет большинство важнейших параметров и характеристик полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

В связи с этим нами исследовано влияние различных методов термического окисления на обратные характеристики кремниевых планарных диодов с целью выбора наиболее оптимального метода.

Были исследованы следующие методы термического окисления:

- окисление в парах деионизованной воды (гидротермальное окисление);
- окисление по циклу сухой-влажный-сухой (С-В-С) кислород.

Окисление с использованием в качестве источника пара водного раствора HCl (H_2O: HC1=2:1).

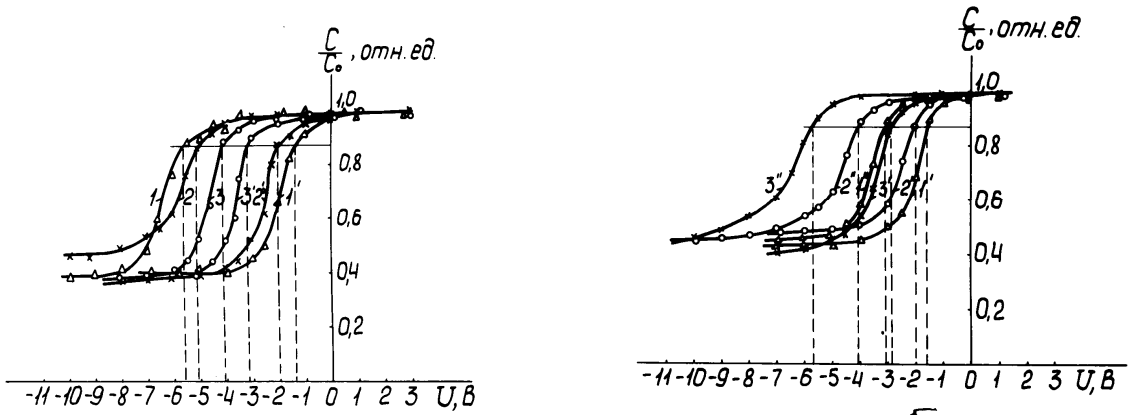
Высокоэффективный метод окисления в атмосфере сухого кислорода с добавлением газообразного HC1 [1] не исследовался нами, так как этот метод практически не используется в технологии кремниевых диодов из-за низкой скорости окисления.

Структуры диодов изготавливали на кремниевых эпитаксиальных пленках с удельным сопротивлением 2 Ом·см и толщиной 11 мкм по стандартной эпитаксиально-планарной технологии [2]. Окисление вышеуказанными методами проводилось при T = 1050°C в течение 100 минут. Толщина защитного окисла на диодных структурах была в пределах 0,75…0,80 мкм в зависимости от метода окисления. После окончания процесса окисления пластины отжигались в атмосфере аргона в течение 30 мин. при температуре окисления.

Качество полученных защитных пленок оценивалось по величине и стабильности суммарного заряда в них, а также по результатам разбраковки готовых диодных структур по обратному току на установке типа «зонд» (критерий годности: $1_{обр}$,< 0,3мкА при $U_{обр}$ = 35В).

Величину суммарного заряда окисла и его стабильность определяли по методике, описанной в работе [3]. При этом использовались вольт-фарадные характеристики(ВФХ), измеренные на изготовленных МОП-структурах A1-SiO_2-Si с толщиной SiO_2 порядка 0,15 мкм (рис.1а). Стабильность заряда в окисле оценивали, осуществив термополевую обработку исследуемых МОП-структур (T=150°C,$U_{см}$=30В,t=1час) и оценив величину сдвига ВФХ по сравнению с исходной (рис.1, б).

Послеокислительный отжиг кремниевых структур в среде аргона (рис.1, а) приводит к сдвигу вольт-фарадных характеристик МОП-структур вправо. Это свидетельствует об уменьшении суммарного положительного заряда на границе раздела Si-SiO_2[3]. Причем наибольший сдвиг ВФХ наблюдается для МОП-структур, изготовленных с использованием гидротермального окисления, что можно объяснить с помощью модели аутодиффузии натрия и других быстродиффундирующих примесей из окисла при высокотемпературных термообработках, предложенной в работе [4]. Согласно данной модели эффективность удаления быстродиффундирующих примесей путем диффузии из окисла в газовую фазу в процессе высокотемпературных обработок в инертной среде зависит от контрации силанольных OH-групп, имеющихся в окисле. В пленке двуокиси кремния, полученной с помощью гидротермального окисления, концентрация OH-групп наиболее высокая по сравнению с пленками, полученными другими исследуемыми методами, что и обеспечивает наиболее глубокую очистку окисла от примесей.



а) б)

Рис.1. Экспериментальные вольт-фарадные характеристики МОП-структур: 1 - гидротермальное окисление; 2 - окисление с использованием в качестве источника пара водного раствора HC1; 3 - окисление по циклу С-В-С кислород; 1,2,3 - без отжига; 1`,2`,3` - после отжига в среде аргона; 1”,2”,3” - после термополевой обработки.

Термополевая обработка МОП-структур вызывает сдвиг ВФХ влево (рис. 1, б), что указывает на увеличение суммарного положительного заряда в окисной пленке [3]. Наименьший дрейф заряда в гидротермальном окисле после термополевой обработки (рис.1, б) можно объяснить, в соответствии с вышерассмотренной моделью [4], лучшей очисткой окисла от быстродиффундирующих примесей в процессе высокотемпературного отжига в среде аргона.

Рассмотрение критериев оценки качества окислов, выращенных различными методами (табл.1 и 2), показывает, что применение в качестве источника пара водного раствора HC1, несмотря на сравнительно малую величину заряда, дает самый низкий процент выхода годных диодных структур. Этот факт можно объяснить следующим образом. При таком методе окисления вследствие подтравливания поверхности кремния, очевидно, происходит увеличение скорости поверхностной рекомбинации и, следовательно, возрастание тока поверхностной утечки.

Таблица.1.Зависимость «зарядовых» характеристик окисла от метода его получения.

Метод окисления	Номер экспериментальной партии	Q_{ss}* 10^{-10}, Кл	N_{ss}* 10^{11},см$^{-2}$
Гидротермальное окисление	1 2 3	2,80 2.25 3,20	1,75 1,41 2,00
Окисление по циклу С-В-С кислород	4 5 6	6,20 5,10 5,55	3,88 3,19 3,47
Окисление с использованием в качестве источника пара водного раствора HC1	7 8 9	3,21 3,20 2,79	2.01 2,00 1,74

Примечание: Q_{ss} и N_{ss} -суммарный заряд и плотность поверхностных состояний на границе раздела Si-SiO_2 ; $N_{ss} = Q_{ss}/eS$, где е- заряд электрона ; S- площадь металлического контакта структуры A1-SiO_2-Si.

Таблица 2. Влияние различных методов термического окисления на обратные токи диодных структур

Метод окисления	Выход годных диодных структур,%
Гидротермальное окисление	77
Окисление по циклу С-В-С кислород	70
Окисление с использованием в качестве источника пара водного раствора НС1	65

Таким образом, оптимальным можно считать метод гидротермального окисления с последующим отжигом в среде аргона, позволяющий получать окисные пленки с низкими значениями суммарного заряда и хорошей его стабильностью, что обеспечивает значительное повышение процента выхода годных диодных структур за счет уменьшения их обратных токов (см. табл.1,2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Крымко М.М. Окисление кремния в атмосфере сухого кислорода с добавлением хлористого водорода // Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы.-1974.- Вып. 8(90). - С. 94-98.

2. Курносов А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. - М.: Высшая школа, 1986. - 368 с.

3. Практикум по химии и технологии полупроводников / Под ред. Я. А. Угая. - М.: Высшая школа, 1978. - 191 с.

4. Колобов Н. А., Коварский Л. С., Чернов А.А. Новый метод получения качественных пленок двуокиси кремния // Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы. - 1975. - Вып.5 (97). - С. 98-109.

ОСОБЛИВОСТІ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ОКСИДОКЕРАМІЧНИХ ПОКРИТТІВ, СИНТЕЗОВАНИХ НА ОСНОВІ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Імбірович Н.Ю.[1], Клапків М.Д.[2], Зайчук Н.П.[1]
[1]Луцький національний технічний університет (Украина)
[2]Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України (Україна)

Титан широко використовується в різних галузях машино-, ракето-, суднобудування та ін., де особливо важливу роль відіграє низька густина в поєднанні з високою міцністю та здатністю чинити опір корозії. Однак, останнім часом титан називають металом нового покоління. Його широко використовують в медичній імплантології, так як він є біоінертним матеріалом та не викликає імунних реакцій організму. При цьому на поверхні титану формують спеціальне біопокриття з наперед заданим фазово-структурним станом, морфологічними властивостями, які надають біоактивність імпланту [1]. Такими покриттями можуть бути як біоактивні полімери, так і титанооксидні з'єднання, які синтезуються на поверхні в плазмі іскрових рорядів (метод плазмоелектролітного оксидування) [2].

Метою даної роботи було розробити оксидокерамічний покриття на титанових сплавах та дослідити їх корозійну стійкість в різних агресивних середовищах.

Досліджували титановий сплав ВТ-8. Синтезували покриття в електроліті на основі рідкого скла та КОН за анодно-катодним режимом з контролем процесу по струму, почергово подаючи на метал катодну і анодну напруги з певним співвідношенням густини катодного I_c і анодного I_a струмів. Режими обробки різнилися за: складом електролітів; співвідношенням I_a і I_c; часом обробки t.

Корозійні властивості визначали за поляризаційними кривими в потенціодинамічному режимі, використовуючи трьохелектродну схему з хлоросрібляним електродом порівняння і допоміжним платиновим.

Корозійними середовищами були 10%HCl, 0,1%HF+10%HCl та 80%-й розчин H_2SO_4. Корозійну стійкість оцінювали за струмом корозії, який визначали графічним аналізом поляризаційної кривої.

Для проведення рентгено-структурних досліджень використовували установку ДРОН-3М.

Використання титанових сплавів у водних розчинах сірчаної та соляної кислот високих концентрацій потребує антикорозійного захисту, що зумовлено втратою захисних властивостей природних оксидних плівок. В агресивному середовищі 0,1%HF+10%HCl потенціал корозії титанового сплаву ВТ-8 становить –0,52 V (рис. 1*b*). Анодна гілка поляризаційної кривої має петлю активного розчинення, струм зростає до максимального критичного струму пасивації (30 А/м^2) при потенціалі початку пасивації –0,48 V і з подальшим ростом потенціалу зменшується.

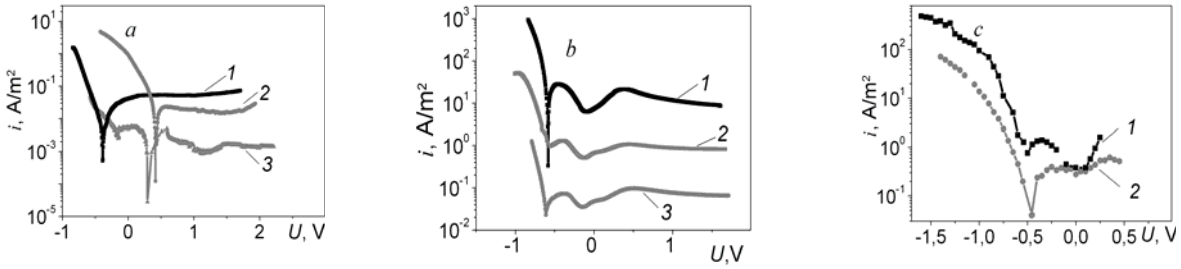


Рисунок 1. Поляризаційні криві сплаву ПТ-7М (*1*) та його оксидокерамічного покриву (*2 - 5*) в розчині 10%HCl (*a*), 0,1%HF+10%HCl (*b*) та 80%H_2SO_4 (с). Нумерація кривих відповідає номерам режимів обробки, що наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Потенціал та струм корозії цирконієвого і титанового сплавів та їх покривів за різних режимів оксидування

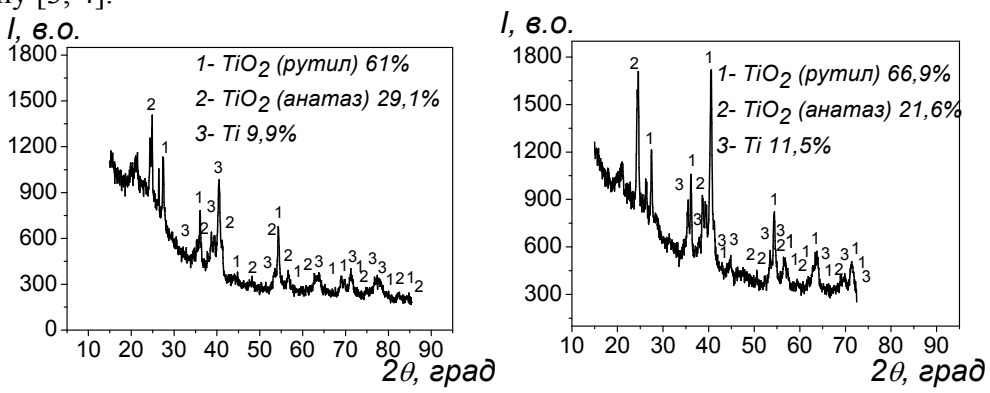
№ реж.	Матеріал	Корозійне середовище	Склад електроліту, g/l	I_a	I_c	Час t, min	U_{cor}, mV	i_{cor} mA/m^2
				A/dm^2				
1	ПТ-7М	80%H_2SO_4	—	—	—	—	-560	1400
2			10КОН+15р.с.	10	15	30	-460	60
1	ВТ-8	10%HCl	—	—	—	—	-430	100
2			10КОН+15р.с.	10	15	30	280	11
3			5КОН+5р.с.	10	15	30	290	4
1		0,1%HF+ +10%HCl	—	—	—	—	-520	11000
2			10КОН+15р.с.	10	10	30	-510	1000
3			5КОН+5р.с.	10	15	50	-590	30

У діапазоні потенціалів –0,2…+0,45 V спостерігається друга хвиля анодного розчинення титану та настає вторинна стабілізація струму в діапазоні потенціалів від 0,5 до 1,7 V. Характер анодної поведінки титану в сірчаній кислоті подібний, проте струми розчинення і окиснення нижчі. Оксидокерамічні покриття на титанових сплавах ефективно захищають метал від корозії у водних розчинах досліджуваних кислот. Потенціал корозії зміщується в додатну область на 100 mV у сірчаній та на 700 mV у соляній кислотах, залежно від складу електроліту, в якому синтезують покриття. Винятковий випадок з розчином 0,1%HF+10%HCl, коли хімічно взаємодіє HF з основним металом і оксидами (табл.1).

Відповідно покриття понижують струм корозії у десять разів для покриттів, синтезованих в електроліті складу 10 г/л КОН + 15 г/л р. с., та на два порядки - в електроліті 5 г/л КОН + 5 г/л р. с.

Структура та склад плазмоелектролітних покривів визначаються умовами їх формування. Властивості таких покривів визначаються їх складом та структурою, які, в свою чергу, залежать від матеріалу основи, складу електроліту та режиму обробки.

Головною складовою оксидного шару на титані при високотемпературному оксидуванні є рутил, який і задає високі функціональні властивості покриттю (рис. 2). Особливості його будови обумовлюють дифузійну рухливість іонів кисню та титану та кінетику параболічного окислення. Рутил відноситься до напівпровідників *n*-типу, має ромбічну сингонію з *a*=0,458 та *c*=0,295 нм і густину □=4,24×10^{-3} *кг/см*^{3}. Він містить до 60% титану [3, 4].



а б

Рисунок 2. Рентгенограми оксидокерамічних покриттів, синтезованих на титановому сплаві за різних режимів обробки: а – 10г/л КОН+15г/л р.с., $I_к/I_а$=1, τ=30 хв; б – 5г/л КОН+5г/л р.с., $I_к/I_а$=1, τ=60 хв.

За обробки в електроліті більшої концентрації (10 г/л КОН та 15 г/л рідкого скла) покриття містить 61% рутилу, 29% анатазу та 10% α-Ti. В менш концентрованому електроліті синтезується покриття, вміст рутилу в якому зростає до 67% TiO_2, при практично незмінному вмісті α-Ti (рис. 2).

Провівши аналіз фазового складу ОКП, встановлено, що високі корозійні властивості оксиду на титановому сплаві забезпечує високотемпературна фаза TiO_2 ромбічної сингонії (рутил). Відповідно більший вміст кожної з цих фаз покращує міцнісні властивості покриву. Отже, в менш легованих (для титанового сплаву 5 г/л КОН та 15 г/л рідкого скла) утворюються покриття високої твердості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Родионов И.В. Функциональные свойства анодно-оксидных биосовместимых покрытий титановых дентальных имплантов // Chemistry, chemical engineering and biotechnology.–2006. – 424 – 425.

2. Plasma electrolysis for surface engineering / A. L. Yerokhin, X. Nie, A. Leyland, et. al. // Surface and Coatings Technology. – 1999. – 122. – P. 73–93.

3. Лайнер Д.И., Цыпин М.И. Некоторые структурные особенности образования окалины на титане. – Металловедение и обраб. цв. металлов и сплавов, 1961. – Вып. 20. – С.28-41.

4. Высокотемпературное окисление титана и его сплавов / Войтович Р.Ф., Головко Э.И. – Киев :Наук. думка, 1984. – 256 с.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ З ВИСОКОДИСПЕРСНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ

Малець В.М., Савчук П.П., Кашицький В.П.
Луцький національний технічний університет (Україна)

Вступ. Розробка наукових принципів створення високоміцних полімерних композиційних покриттів сьогодні набуває основного значення для сучасної науки й техніки. Міцність покриттів залежить від цілого ряду фізико-хімічних і технологічних факторів, зокрема залишкових напружень, фазового та фізичного стану матеріалу покриття, стійкості до впливу агресивних середовищ та підвищених температур [1]. Ключову роль у забезпеченні надійності даних матеріалів відіграє адгезійний зв'язок між полімером та субстратом, оскільки від його міцності та стабільності залежать експлуатаційні характеристики покривного матеріалу.

Локальні напруження в покритті досягають максимальних значень поблизу межі розділу покриття і металевої основи, де зазвичай починається руйнування. Міцність зчеплення між композитом і металом визначає ефективність передачі даних напружень через межу розділу фаз, що гарантує можливість їх функціонування при навантаженні [1].

Актуальність досліджень. Актуальним питанням в машинобудуванні залишається необхідність підвищення адгезійної взаємодії між покриттям та основою, вирішення якого дозволить покращити властивості поверхні деталей машин.

Традиційним способом регулювання адгезійних і механічних характеристик є введення до складу композиції високодисперсних наповнювачів, які при малих вмістах в полімеркомпозитах (до 5 мас. %), здатні утворювати додаткові вузли зшивання полімерної сітки, взаємодіяти з матрицею, що призводить до зміни характеристик композиційних покриттів. Дані наповнювачі мають велику поверхневу енергію і їх введення пов'язано із значними технологічними труднощами, оскільки відбувається ріст в'язкості композицій. Тому для досягнення високих показників адгезії недостатньо досягнути термодинамічної рівноваги компонентів композиту, але необхідно забезпечити відповідні технологічні умови формування. Тому перспективними аспектами формування покриттів є розробка нових способів нанесення композиції для забезпечення максимальної взаємодії між композицією та металевою основою. Адже на стадії формування можливе створення необхідних умов для утворення міцного адгезійного зв'язку, який буде стабільним під дією термічних і усадочних напружень, що виникають на межі розділу покриття-основа внаслідок відмінності теплофізичних і механічних характеристиках матеріалів.

Постановка задачі. Метою даної роботи є дослідження адгезійних властивостей покриттів, отриманих методом розпилення стисненим повітрям епоксикомпозиційної суміші матеріалів при введені високодисперсних порошків.

Результати досліджень. Об'єктом дослідження вибрано епоксидно-діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для полімеризації епоксидних композицій використовували затверджувач поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-02-594-70). Для поліпшення експлуатаційних характеристик композиційних матеріалів використано високодисперсні порошки: оксиду міді, бронзи та алюмінію із розміром часток 0…40 мкм. Наповнювач вводили у композицію за вмісту від 3 до 12 мас. ч. на 100 мас. ч. олігомеру.

Формування дослідних зразків проводили шляхом введення в ЕД-20 твердника ПЕПА (12 мас. ч. на 100 мас. ч. ЕД-20) та наповнювача, після чого композицію піддавали механічному вимішуванню для забезпечення високої однорідності системи. Для рівномірного нанесення композиції пневматичним способом та отримання необхідної в'язкості до композиції додавали розчинник марки 647 в кількості 50 мас. ч. Підготовлену

композицію з вказаними інгредієнтами пневматичним розпилювачем наносили рівномірним шаром на металеву поверхню, яку попередньо обробляли абразивом М40 (ГОСТ 3647-80) для досягнення шорсткості $R_a = 3$ мкм і очищали розчинником. При цьому тиск повітря в розпилювачі становив 6…8 атм. Сопло розпилювача розташовували на відстані 30…50 мм від металевої поверхні.

Затверджували зразки за наступним режимом: витримка зразків впродовж 24 год при температурі 17 °С; термічна обробка при температурах 80 °С та 140 °С з витримкою впродовж 3 год; повільне охолодження до температури 17 °С.

Адгезійну міцність покриттів досліджували за методиками нормального відриву та граткових надрізів. При визначення границі адгезійної міцності за нормального відриву (ГОСТ 14759-69), досліджуваний матеріал наносили на торцеву поверхню стержнів (грибків) з конічним виступом у місці захватів для самоцентрування. Дослідження проводили на розривній машині марки УММ-5 при швидкості переміщення нижньої траверси 2 мм/хв. При визначенні границі адгезійної міцності методом гратчастих надрізів (ГОСТ 15140-78), на покриття наносили сітку паралельних та взаємоперпендикулярних надрізів з кроком *i* мм.

Експериментально встановлено, що адгезійна міцність епоксидної матриці до металевої основи становить 35,6 МПа. Введення до полімерного композиту високодисперсних частинок металів призводить до підвищення адгезійної міцності до 40…60 МПа залежно від виду наповнювача.

Встановлено, що діапазон критичного вмісту дисперсних часток у матриці становить 6…9 мас.ч., при якому адгезійна міцність є максимальною. Показано, що максимальними адгезійними властивостями відзначаються композити, наповнені порошком алюмінію. Введення даного наповнювача за оптимального вмісту ($q = 6$ мас.ч.) забезпечує підвищення адгезійної міцності, порівняно з епоксидною матрицею (з 35,6 до 63,4 МПа). Порошок алюмінію сприяє утворенню міцного зв’язку між поверхнею наповнювача і полімерною матрицею з мінімальними залишковими напруженнями, завдяки високій здатності до змочування полімером та утворенню однорідної композиції. Введення до епоксикомпозиту бронзи та оксиду міді призводить до зниження адгезійно-міцнісної характеристики до 20…40 МПа, через формування системи з підвищеним напруженим станом.

За проведеними дослідженнями на адгезійну міцність залежно від температури термообробки гратковим методом показали, що найвища адгезійна міцність була в зразках наповнених алюмінієвою пудрою. Адгезійно-міцнісні характеристики епоксикомпозитів з різними наповнювачами які піддавались термічній обробці 140 °С мають вищі показники, ніж при 80 °С. Покращення даної характеристики можна пояснити утворенням у матеріалі структурної сітки з оптимальною кількістю вузлів зшивання.

Висновки. Встановлено, що введення високодисперсних частинок з наступною їх термообробкою призводить до підвищення реакційної здатності наповнювача та відповідно поліпшення адгезійних властивостей покриття. Вибраний спосіб нанесення покриття дозволяє рівномірно розподілити його по всій поверхні, адже при пневматичному розпилені аерозоль утворюється шляхом подрібнення матеріалу струменем стисненого повітря. При переміщені даного струменю до виробу відбувається перемішування крапель, що забезпечує рівномірний розподіл матеріалу на поверхні. Тому даний спосіб можу застосовуватись для формування різноманітних покриттів на деталях складної конфігурації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технология. Долгопрудный: Интеллект, 2010. - 352 с.

ІН'ЄКЦІЙНЕ ТА ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СПОРУД І БУДІВЕЛЬ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ ПРИ ДІЇ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ

Маруха В.І., Середницький Я.А.
ДПІЦ «Техно-Ресурс» НАН України (Україна)

Відомо, що на залізобетонні гідротехнічні споруди, морські та річкові портові конструкції, підземні фундаменти і стіни широкого діапазону будівель промисловості й житлово-комунального господарства, крім постійних механічних навантажень, постійно діють морські та прісноводні середовища підвищеної агресивності. Комплекс вказаних чинників є основною причиною поступового зниження параметрів бетонних матриць і сталевої арматури залізобетону. На кінцевих стадіях процесів при тривалій експлуатації така дія приводить до розтріскування і руйнування бетону та прискореної корозії сталевої арматури. Основні руйнувальні процеси та загальноприйняті способи усунення пошкоджень наведено на рис. 1.

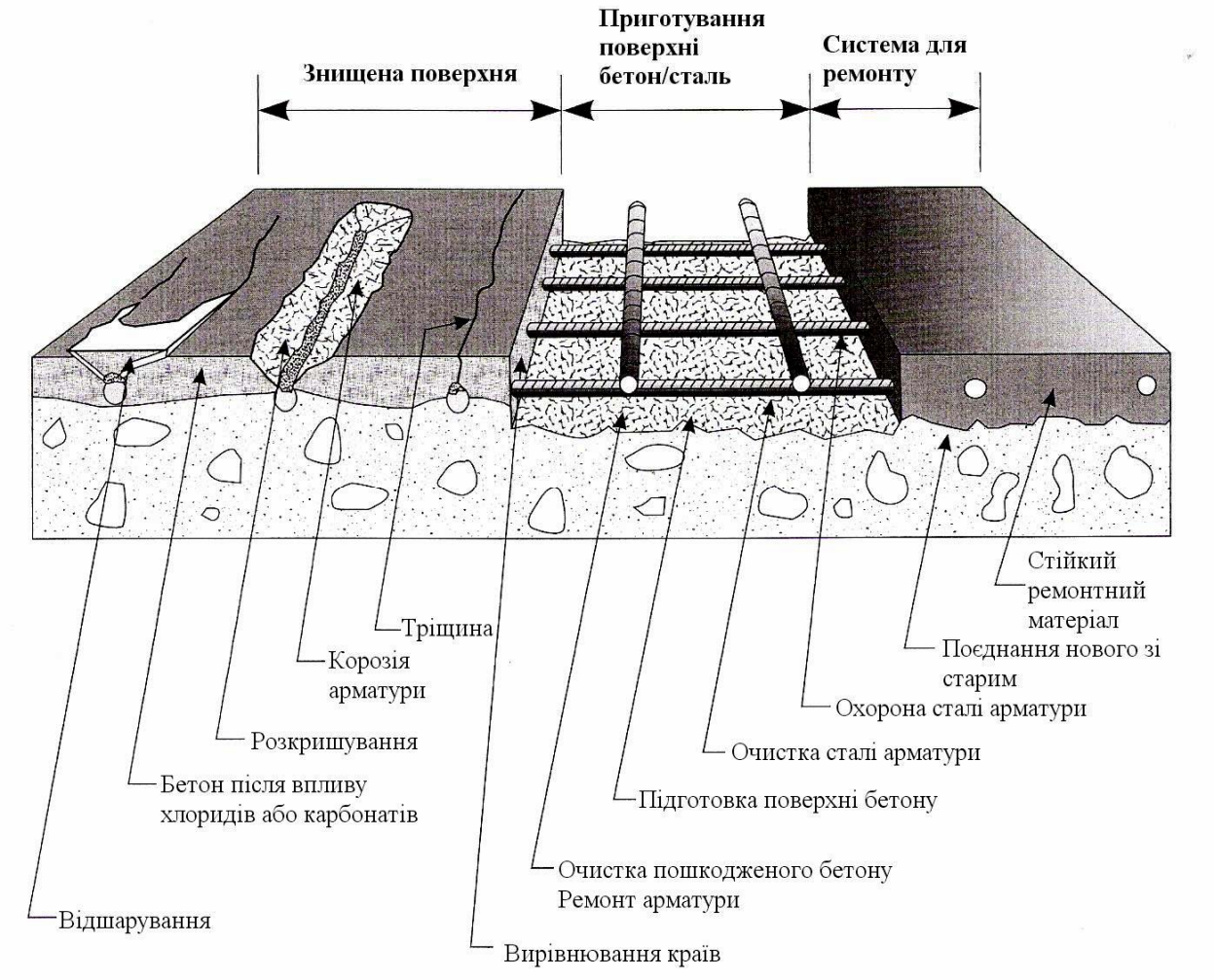


Рисунок 1. Основні пошкодження залізобетонної плити при корозійно-механічному руйнуванні та ремонтно-відновлювальні роботи.

У вітчизняній практиці максимальний вплив агресивних водних середовищ спостерігається в каналізаційних колекторах, а також на підземній частині пам'яток архітектури, наприклад, у старовинній частині міста Львова. Більшість їх побудована на заболочених, обводнених ґрунтах, до того ж, суттєво забруднених продуктами згоряння промислових підприємств і автомобільних двигунів.

Вплив водних середовищ на корозійно-механічне руйнування бетонних матриць залізобетонних гідротехнічних споруд наведено на рис. 2. Не меншу небезпеку представляє тривале витікання чи просочування грунтових вод на таких відповідальних об'єктах, як метрополітен (рис. 3) або фундаменти житлових будинків. У таких випадках використання звичайних герметиків, гідроізоляційних покривів і тиньку часто є неефективним. Тому починати необхідно з ін'єкційного блокування шляхів міграції води через тріщини, розшарування і макропорожнини в бетонах. Для цього використовують, наприклад, подачу під тиском здатних до спінення текучих поліуретанових композицій (рис. 4). Покривне гідроізолювання конструкцій проводять на другій стадії ремонтно-відновлювального процесу (рис. 5).

а)

б)

Рисунок 2. Оголення сталевої арматури в корозійно-механічній тріщині (а) і вимивання розчинних складових бетонної матриці (б) на конструкціях греблі Ташлицької ГАЕС (м. Південноукраїнськ Миколаївської обл.).

Рисунок 3. Буріння отворів під ін’єктування поліуретанових композицій у зволоженому склепінні метрополітену м. Києва.

Рисунок 4. Ін’єктування текучих поліуретанових композицій у зволожені тріщини залізобетонної греблі Ташлицької ГАЕС.

Рисунок 5. Ділянка склепіння каналізаційного колектору на проспекту Свободи в м. Львові з нанесеним гідроізоляційним покриттям.

Більш як десятилітня практика здійснення фахівцями ДПІЦ «Техно-Ресурс» НАН України ремонтно-відновлювальних робіт на гідроспорудах та інших будівельних об'єктах із витіканням або просочуванням води підтвердила, що тільки комплексне застосування ін'єкційних та гідроізоляційних технологій може забезпечити подальшу ефективну експлуатацію вказаних об'єктів. Причому для проведення ремонту немає потреби застосовувати наведений на рис. 1 широкий перелік технологічних операцій, починаючи від видалення пошкодженого бетону і закінчуючи очищенням сталевої арматури від продуктів корозії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Механіка руйнування та міцність матеріалів: Довідн. посібник / Під заг. ред. В.В. Панасюка. Т. 12: Ін'єкційні технології відновлення пошкоджених споруд тривалої експлуатації / В. І. Маруха, В.В. Панасюк, В. П. Силованюк. – Львів: СПОЛОМ, 2009. – 262 с.

2. Панасюк В.В., Силованюк В.П., Маруха В.І. Міцність пошкоджених тріщинами елементів конструкцій залікованих ін'єкційними технологіями // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2005. – № 6. – С. 60–64.

3. Захист бетонних конструкцій і споруд від корозійно-механічного руйнування поліуретановими композиціями / В. Маруха, Б. Генега, Я. Середницький, Я. Заплатинський // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – Спецвипуск № 5, т. 2. – С. 834–839.

4. A. Serednicki Ja., Marucha W., Neprila M. Korozja mikrobiologiczna stali i betonu pod naprężeniem // Streczenia IX-go Sympozjumu PSMB «Ochrona obiektow budowlanych przed wilgoscią, korozją biologiczną i ogniem». – Zakopane, 2007. – S. 14.

5. Маруха В., Генега Б., Середницький Я. Основи технології відновлення працездатності залізобетонних споруд цементно-полімерними і поліуретановими композиціями // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – Спецвипуск № 7. – Львів, 2008. – С. 474-477.

К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ПОЛНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА УПЛОТНЯЕМОСТИ ЖЕЛЕЗНОГО ПОРОШКА

[1]Миницкий А.В., [2]Сосновський Л.А., [1]Лобода П.И.
[1]Национальный технический университет Украины «КПИ» (Украина)
[2]Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины (Украина)

В настоящее время стало вполне очевидным, что общий ресурсно-енергетический кризис обрел свои прогнозированные формы [1] и стал непреодолимой реальностью, принципиально осложняющей жизненные процессы Украины. В этих условиях уже возникла необходимость постоянного расширения жизненоважных взаимосвязанных задач: а) изыскания энерго-ресурсо новых сберегающих технологий (ЭРНСТ) или старых, но становящимися актуальными и модернизированными для адаптации к новому технико-экономическому антуражу; б) создание барьеров, препятствующих реализации ошибочно выбранных направлений, т.е. тенденции опасной в настоящих реалиях страны. Решение первой задачи может быть связано с более полным выявлением и максимальным использованием свойств материалов, производимых в Украине, расширенное использование которых является решением ЭРНСТ.

Целью настоящей работы являлось определение потенциала уплотняемости отечественного порошка железа марки ПЖРВ и, соответсвенно, выявление дополнительных возможностей его использования в хозяйстве страны.

Прессование порошка железа проводили в разъемной пресс-форме с рабочим диаметром 10 мм, при давлениях 200…700 МПа. Полученные брикеты подвергали допрессовке в той же разъемной пресс-форме, т.е. в соответствии с известной технологией допрессовки [2, 3]. Допрессовку брикетов проводили без смазки или с их предварительной смазкой вазелином. Часть брикетов подвергали отжигу в водороде при температуре 800 ^{0}С. Эта температура является достаточной для устранения наклепа спрессованных частиц железа, т.е. достаточной для повышения их пластичности, однако, она недостаточна для образования между ними шеек, препятствующих дополнительной более плотной переукладке частиц при допрессовке. Были получены следующие результаты.

1. Допрессовка при 700 МПа без смазки брикетов, полученных прессованием при разных давлениях, приводит к повышению и сглаживанию плотности брикетов. При этом сохраняется наследственность прессования – чем выше стартовая (после прессования), тем больше конечная (после допрессовки) плотность. Допрессовка при 700 МПа приводит к повышению плотности брикетов, полученных при прессовании 700 МПа. Смазка брикетов вазелином перед допрессовкой несколько увеличивает плотность брикетов сравнительно с «сухой» (т.е. без смазки) допрессовкой.

2. «Сухая» допрессовка при 700 МПа отожженных брикетов, полученных прессованием при разных давлениях, приводит к существенному повышению их плотности, сравнительно с допрессовкой неотожженных (в том числе смазанных) брикетов, также с сохранением наследственности прессования. Смазка брикетов вазелином повышает плотность при допрессовке незначительно.

Таким образом, для брикетов, спрессованных при 700 МПа и допрессованных без отжига при 700 МПа, выстраивается следующий ряд плотностей: плотность после прессования – 6,57 г/см^3, после допрессовки – 7,08 г/см^3, допрессовка смазанных вазелином брикетов – 7,13 г/см^3. Для брикетов подвергнутых отжигу после прессования, эта последовательность изменяется: 6,57 г/см^3; 7,53 г/см^3; 7,57 г/см^3 соответственно. Приведенные пять значений плотности корректно и достаточно полно описывают резерв уплотняемости порошка железа при 700 МПа.

Достаточно очевидно, что отжиг брикетов, спрессованных из смесей порошка железа и органической связки (например стеарата цинка) не только препятствует их разуплотнению при спекании, но и позволяет выйти после допрессовки на существенно

более высокую плотность. Это значит, что отечественный порошок железа может быть с успехом использован для производства отечественных стальных изделий.

Выводы. Следует подчеркнуть, что в Украине накоплен многолетний опыт холодной деформации металлов, который может быть использован при разработке промышленных технологий допрессовки брикетов перед их спеканием. Таким образом, представление о реальном резерве уплотняемости может создать полную картину потребительских свойств железного порошка для их использования в ЭРНСТ изготовления деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дементьев В.А., Кузьмин В.И., Лебедев Б.Д., Матвеев Ю.А. Прогноз критических ситуаций в развитии мирового сообщества и военно-политических конфликтов. М.: Военное изд-во, 1995. – 160 с.

2. Мартынова И.Д. Физические особенности пластической деформации пористых тел. Реологические модели и процессы деформирования пористых порошковых и композиционных материалов. – К.: Наук. думка, 1985. – С. 98–105.

3. Кем А.Ю. Теоретические основы и технология специальных методов порошковой металлургии для изготовления изделий электронной техники. Дис. … докт.техн.наук. – Новочеркасск, 2003 – 360 с.

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПАРИ ТЕРТЯ БРОНЗА-СТАЛЬ В РЕЖИМІ ГРАНИЧНОГО ТЕРТЯ

Мисковець С.В., Савчук П.П., Зайчук Н.П.
Луцький національний технічний університет (Україна)

Вступ. Проблеми підвищення надійності та довговічності функціонування трибосистем ковзання набувають все більшого значення для ефективного використання сировини та техніки. При цьому важливим є забезпечення оптимальної взаємодії елементів трибопари.

Актуальність досліджень. Згідно Д.Н. Гаркунова [1], склад і властивості поверхневого шару мідних сплавів, що формується при терті, визначається в основному кількістю легуючих елементів і їх розподілом в сплаві. Д. Баклі у своїй роботі [2] відмічає позитивну роль явища поверхневої сегрегації. Уміння його правильно використовувати надзвичайно важливо, оскільки це дозволяє значно змінити фрикційні характеристики матеріалів шляхом добавки незначної кількості легуючих домішок. Прикладами таких домішок є сірка, фосфор, кисень.

Постановка задачі. Метою роботи є оцінка зносостійкості трибопари бронза-сталь в умовах граничного тертя.

Результати досліджень. Нами було встановлено, що спроб встановити взаємозв'язок між хімічним складом матеріалів і саме його стабільністю з триботехнічними властивостями спряження досі зроблено не було. Тому, для з'ясування впливу нестабільності хімічного складу бронз на їх зносостійкість при односторонньому терті з геометрією контакту лінія-площина в режимі граничного тертя було проведено спеціальні випробування. Матеріалом зразків служила бронза БрО10С10 різних серій поставок, контрзразком – сталь ШХ15 (HRC 60..62).

Зміна лінійних розмірів зразків контролювали методом профілографування на приладі профілографі-профілометрі «Калібр» М-201. Випробування проводили в середовищі дизельного палива однієї серії постачання при наступних умовах:

- швидкість ковзанння – 0,3 м/с;
- навантаження – 1000 МПа;
- шлях пройдений контрзразком – 1000 м;
- початкова температура – 20 ^{o} С.

Результати випробувань наведено в табл. 1.

Аналізуючи дані табл. 1 видно, що залежно від зміни хімічного складу Бр010С10, тобто її нестабільності, на порядок змінюється і знос зразків.

Процеси, що відбуваються при терті, істотно прискорюють фізико-хімічну взаємодію матеріалів, призводячи до дифузійного перерозподілу елементів в приповерхневому шарі деталей, що труться.

Фактор перерозподілу легуючих елементів, на думку Д.Н. Гаркунова [1], в процесі тертя можна оцінити по зміні параметра кристалічної решітки. Чутливість подібної оцінки визначається співвідношенням розмірів атома легуючого елементу і атома міді і особливо яскраво проявляється при аналізі латуні ($r_{Zn} = 1,37$ Å), бронз, легованих оловом ($r_{Sn} = 1,58$ Å), алюмінієм ($r_{Al} = 1,43$ Å), атомні радіуси яких набагато відрізняються від радіусу атома міді ($r_{Cu} = 1,28$ Å).

При терті мідних сплавів в першу чергу відбувається процес перерозподілу легуючих елементів, який значною мірою визначає механізм поведінки металу в зоні контакту. Ефект вибіркового розподілу легуючих елементів грає важливу роль в період формування плівки міді в зоні контакту. В процесі тривалих випробувань, коли плівка міді на поверхні сформувалася, в механізмі тертя визначальна роль належить процесу

дифузійного перерозподілу основних легуючих елементів в поверхневих шарах контактуючих металів.

Таблиця 1. Величини зносу бронзи БрО10С10 при односторонньому терті ковзання в режимі граничного тертя при вибраних умовах випробувань

№ зразка	Вміст елементів, % ГОСТ 613-79		Знос, мкм
	Sn	Pb	
	8,0 – 10,0	6,0 – 11,0	
1	2	3	4
1	10,0	8,72	15,5
2	10,0	7,9	16,8
3	9,8	7,36	12,25
4	9,8	6,7	10,85
5	10,0	7,28	9,5
6	9,6	8,8	9,625
7	10,0	9,42	8,9
8	9,3	8,8	8,2
9	9,5	8,72	11,0
10	9,4	9,08	7,1
11	8,33	8,66	11,4
12	8,45	8,73	7,75
13	8,8	9,1	11,3
14	9,1	8,6	9,4
15	9,0	8,8	7,9
16	9,2	8,8	8,1
17	9,1	8,0	5,7
16	8,7	9,05	6,3
19	9,0	8,9	10,6
20	9,1	8,7	10,0
21	8,3	8,3	4,71
22	8,72	9,2	21,75
23	8,85	8,8	11,71
24	8,6	8,7	2,0
25	9,0	8,7	10,8
26	8,5	8,5	10,3
27	8,6	8,8	10,6
28	8,4	8,8	9,2
29	8,7	9,25	10,80
30	8,6	9,2	12,6
31	10,0	7,16	10,6
32	8,7	8,12	10,0
33	9,02	7,44	8,55
34	10,0	8,52	10,7
35	9,8	8,94	12,55

Усі ці явища мають місце при терті в зоні контакту, проте через незначну товщину вторинних структур основну роль на дифузійний перерозподіл елементів чинитиме хімічна взаємодія мідного сплаву з середовищем.

При структурному аналізі матриці і доріжки тертя зразків досліджуваної бронзи за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ-106И було виявлено, що при терті бронзи БрО10С10 в парі зі сталлю ШХ15 відбувається перерозподіл свинцю на поверхні контакту порівняно з матричним станом зразка (табл. 2).

Таблиця 2. Вміст легуючих елементів бронзи БрО10С10 в матриці і на доріжці тертя

№ зразка	Pb, %		Sn, %	
	матриця	доріжка тертя	матриця	доріжка тертя
1	9,0	6,2	10,0	10,0
2	10,0	8,0	11,0	11,0
3	6,0	6,5	8,5	8,5

Порівнюючи значення вмісту свинцю було встановлено, що різниця у вмісті цього елемента на поверхні тертя і в матраці становить 1,0…2,8 % (зменшення вмісту Pb на доріжці тертя порівняно з матрицею). Саме з таким вмістом свинцю матеріал володіє максимальною зносостійкістю. Вище і нижче за ці значення – зносостійкість матеріалу зменшується. Це дало нам підстави зробити висновок, що при терті бронзи Бр010С10 в парі зі сталлю ШХ15 для геометрії контакту лінія-площина в середовищі дизельних палив вирішальний вплив на зносостійкість БрО10С10 чинить нестабільність хімічного складу матеріалу, а саме, нестабільність складу свинцю. Було також встановлено, що для свинцю існує оптимальна концентрація в сплаві, при якій матеріал має максимальну зносостійкість.

Висновки.

1. У роботі приведено дослідження зносостійкості пари тертя бронза-сталь при вибраних умовах випробувань в режимі граничного тертя, які переконливо доводять, що величина зносу поверхонь суттєво залежить від вмісту легуючих елементів.

2. Згідно одержаних нами даних, навіть незначне відхилення легуючих елементів у матеріалі в межах ДСТУ призводить до розсіювання результатів зносу на порядок.

3. У випадку тертя в парі бронза-сталь її зносостійкість залежить від вмісту свинцю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность. – 4-е издание. – М.: МСХА, 2001. – 616 с.

2. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии. – М. Машиностроение, 1986. – 360 с.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФІНІШНОГО ОБРОБЛЕННЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Мініцька Н.В.
Національний технічний університет України «КПІ» (Україна)

Все більш широке застосування у сучасному механообробному виробництві знаходить дороге автоматизоване верстатне обладнання. експлуатація такого устаткування характеризується жорсткістю умов роботи різального інструменту, що, у свою чергу, значно підвищує вимоги до працездатності інструменту. одним з найбільш перспективних стають питання фінішного оброблення, які дозволяють цілеспрямовано впливати на властивості поверхневого шару, забезпечуючи при цьому суттєве зростання можливостей різального інструменту, підвищення його експлуатаційних характеристик.

Підвищення працездатності різального інструменту значною мірою визначається формуванням необхідних властивостей його робочих поверхонь, особливо на завершальних етапах виготовлення, і пов'язано, перш за все, зі зміною фізико-механічних властивостей як поверхневого шару готових виробів, так і безпосередньо стану поверхні, особливо її мікрогеометрії. До методів фінішного механічного оброблення можна віднести, такі як алмазне шліфування і полірування, методи вібраційного, дрібструменого і гідро-абразивного [1] та магнітно-абразивного [2] оброблення. Усі вище зазначені методи поверхневого зміцнення різального інструменту спрямовані на підвищення експлуатаційних властивостей, але вони мають як свої переваги, так і недоліки.

Тому **метою даного огляду** є аналіз методів фінішного поверхневого оброблення різального інструменту.

При механічному фінішному обробленні, яке виконується з метою підвищення працездатності і зміцнення поверхні інструменту виявляються наступні ефекти: змінюється структура поверхневого шару; збільшується «запасена енергія» поверхневого шару; зменшується шорсткість поверхні, згладжуються і «заліковуються» концентратори напружень поверхневого шару інструментального матеріалу. Крім того, важливим фактором є формування низької шорсткості поверхні робочих елементів багатогранних непереточуваних твердосплавних пластин (БНТП), згладженого мікрорельєфу, вільного від концентраторів напружень, викришувань, виривів, тощо.

При алмазному шліфуванні і поліруванні твердосплавного різального інструменту завдяки специфічним властивостям алмазу в поверхневому шарі твердих сплавів, при дотриманні необхідних умов оброблення, як правило виникають залишкові стискаючі напруження, які є бажаними для поверхні твердосплавного інструменту. Величина зазначених напружень залежить від умов оброблення і може досягати 2500…3000 МПа, глибина залягання складає 7…15 мкм [1]. Недотримання умов оброблення, або використання засаленого алмазного кругу призводить до збільшення локальних температур в зоні різання, що є причиною формування позитивних розтинаючих напружень до 1000…1500 МПа. При цьому на поверхні зразків твердого сплаву можуть виникати мікротріщини, які є наслідком формування в поверхневих шарах підвищених позитивних залишкових напружень в результаті термо-пластичного деформування.

Загальний недолік алмазного абразивного оброблення різального інструменту [1] – точковий, або лінійчатий контакт алмазного інструменту з оброблюваною поверхнею, через що виникає складність оброблення поверхонь складного профілю, якими є наприклад передня поверхня БНТП з спеціальними стружколамними канавками, особливим профілем різального леза, що потребує застосування спеціального інструменту. У зазначених зонах алмазне оброблення або дуже ускладнене, або практично неможливе. Вирішення цієї проблеми досягається за рахунок використання віброабразивного, або дрібструминного і гідроабразивного оброблень [3, 4], оброблення у вільному абразивному середовищі шляхом застосування спеціальних щіток з еластичними

волокнами [5]. Відзначимо, що вказані методи дозволяють забезпечити пластичне деформування поверхневого шару, отримати в поверхневому шарі більш сприятливу, з точки зору міцності сплавів, епюру залишкових напружень.

При віброабразивному обробленні глибина залягання негативних залишкових напружень складає 200 мкм і більше, а їх величина складає 2000…3000 МПа аналогічно алмазному обробленні. Досяжна шорсткість поверхні складає Ra 0,5…0,8 [3]. При чому вважається, що зменшення шорсткості поверхні інструменту з твердого сплаву після вібро- і струминних методів оброблення не відіграє значної ролі у підвищені працездатності [4].

Недоліком дрібструминного та гідродрібструминного методів є низька ефективність оброблення деталей, які мають складну поверхню. Це обумовлено тим, що струмінь не забезпечує рівнобічних умов зіткнення абразивних часток з різними ділянками оброблюваної поверхні. Для запобігання цих недоліків, при обробленні складнопрофільних деталей, необхідно застосовувати декілька струменів, що ускладнює технологічну схему оброблення. Недоліком оброблення у вільному абразивному середовищі шляхом застосування спеціальних щіток з еластичними волокнами є відносно не контрольована зміна розмірів, особливо різальних кромок.

Головний недолік зазначених методів оброблення пов’язаний з практично слабо контрольованим процесом зміни геометрії робочих елементів різального інструменту, в особливості радіусів різальних кромок, а також наявність на лезах сколювань і викрашування в результаті чисельних мікроударів вібротіл, дробі, абразивних частинок об поверхню різального інструменту.

В останні роки широке застосування в якості методів фінішного оброблення, яка забезпечує як полірування поверхні так і поверхневе зміцнення набуло магнітно-абразивне оброблення (МАО), яке робить можливим оброблення складнопрофільних деталей з високою ефективністю і продуктивністю: досягненням заданої шорсткості, збереженням основних геометричних розмірів деталей і в деяких випадках їх корегування [6, 7].

Переваги застосування цього методу полягають в обробленні в умовах, коли магнітно-абразивний інструмент нівелює відносно оброблюваної поверхні і при певних умовах може забезпечувати рівномірне поверхневе оброблення, яке може забезпечити як рівномірне отримання низької шорсткості поверхні, так і зміцнення поверхневого шару деталей.

Введення в технологію виробництва твердосплавного різального інструменту магнітно-абразивного оброблення вперше виконано в роботах [8]. Дослідження були спрямовані на забезпечення оптимальної шорсткості, особливо для різальних кромок і радіусів їх заокруглення. Враховуючи ефективність попереднього окислення поверхні твердих сплавів перед віброабразивним обробленням [1] було запропоновано метод термомагнітно-абразивного оброблення з метою отримання більшої ефективності безпосередньо МАО [9]. Доведено не тільки підвищення працездатності БНТП в 2,0…3,6 разів, твердосплавних мітчиків у 1,6…1,9 рази, пов’язане з формуванням сприятливого мікрорельєфу робочих поверхонь і зміцненням поверхневого шару, але й доцільність використання МАО перед нанесенням тонких зносостійких йонно-плазмових покриттів.

Висновки. Вважаючи на переваги і недоліки традиційних методів фінішного оброблення БНТП, а також їх різноманітну просторову форму і широку номенклатуру пластин доцільним є проведення на заключних стадіях виготовлення методів об’ємного магнітно-абразивного оброблення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. – К.: Наукова думка, 1984. – 328 с.

2. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и

техника, 1981. – 328 с.

3. Кармалюк В.И. Исследование процесса вибрационной объемной обработки и его влияние на физико-механические свойства твердых сплавов: Автореф. дис. ...канд. техн. наук / Львов, 1969. – 23 с.

4. Триандафилиди И.И., Кармалюк В.И. Повышение прочности сплава ВК15 вибрационной и термовибрационной обработками// Физ.-хим. механика материалов. – 1974. - № 2. - С. 117-118.

5. Byelyaev O. Erhöhung der Leistungsfähigkiet von HSS-Spiralbohrern durch Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung. Dissertation Dr.-Ing. –Magdeburg, Germany, 2008.- 149 p.

6. Ульяненко Н.В. Підвищення працездатності твердосплавного інструменту шляхом застосування магнітно-абразивного оброблення та нанесення зносостійких покриттів. Дис. … канд. техн. наук. – Київ, 2006. – 160с.

7. Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішноі обробки фасонних поверхонь. Дис. … докт.техн.наук. – Київ, 2001. – 404 с.

8. Ефремов В.Д., Ящерицын П.И. Технологическое обеспечение качества рабочих кромок инструмента и деталей. Мн.: БАТУ. - 1997. - 251 с.

9. Повышение эксплуатационных свойств твердосплавных пластин с помощью термомагнитно-абразимной обработки / Шлюко В.Барон Ю.М. Технология магнитно-абразивной обработки. – Л.:Машиностроение, 1975. – 128 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ, МОДИФІКОВАНИХ КАРБІДОМ КРЕМНІЮ

Мороз К.М., Микитишин А.Г., Митник М.М.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

Вступ. Епоксидні олігомери, які містять епоксидні та гідроксильні групи, широко використовують у якості зв'язувачів при виготовленні композитних матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Комплексне збільшення основних фізико-механічних властивостей (адгезійної та когезійної міцності, ударної в'язкості, циклічної міцності) і теплофізичних характеристик (термічного коефіцієнта лінійного розширення, термо- і теплостійкості) і, як наслідок, корозійної стійкості та зносостійкості епоксидних композитних матеріалів може бути досягнуто введенням в епоксидний зв'язувач мінеральних дисперсних наповнювачів різної фізичної природи. При цьому властивості епоксидних композитних матеріалів багато в чому визначаються фізико-хімічними процесами на межі розділу фаз «епоксидний зв'язувач - дисперсний наповнювач» при зшиванні композитів, які, в свою чергу, залежать від будови, фізичної природи та хімічної активності мінеральних часток армуючої фази.

Відомо [1-5], що залежно від адсорбційних властивостей дисперсних частинок поблизу їх поверхні формуються перехідні шари. На більшій відстані за рахунок фізичної та хімічної взаємодії можуть утворюватися зовнішні поверхневі шари. При цьому в процесі зшивання епоксидних композитних матеріалів хімічна взаємодія може відбуватися як між активними центрами на поверхні частинок і макромолекулами (що обумовлює підвищення адгезії), так і безпосередньо між активними бічними групами або сегментами ланцюгів самих макромолекул (що сприяє збільшенню когезії).

У роботі розглядається процеси та закономірності динамічного руйнування просторово зшитих епоксидних композитів. Відомо [6], що реактопласти, в т.ч. й епоксидні смоли, після введення затверджувача перетворюються в сіткові полімери. Формування таких матеріалів відбувається внаслідок полімеризації поліфункціональних мономерів або олігомерів, а також зшивання сформованих полімерних ланцюгів, тобто шляхом утворення поперечних зв'язків між лінійними і розгалуженими макромолекулами. Зшивання здійснюється по реакційноздатних групах епоксидного полімеру. Слід зазначити, що сіткові полімери містять різні вузли зшивання: хімічні, фізичні та топологічні.

Методика досліджень. Ударну в'язкість визначали на зразках з епоксидних композитних матеріалів, виготовлених з використанням промислового епоксидного олігомеру марки ЕД-20. Для зшивання епоксидних композицій використовували поліетиленполіамін. При формуванні епоксидних композитних матеріалів в епоксидний зв'язувач вводили частки карбіду кремнію із середнім розміром 63 мкм і концентрацією 10…80 мас. ч. на 100 мас. ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 і 10 мас. ч. поліетиленполіаміну. Епоксидні композитні матеріали формували шляхом дозування компонентів, гідродинамічного суміщення дисперсних частинок та зв'язувача, введення затверджувача та затвердіння композиції. Формування епоксидних композитних матеріалів здійснювали по експериментально встановленому режиму: формування зразків з витримкою впродовж двох годин при температурі T = (293 ± 2) К, нагрівання зі швидкістю 3 К/хв до температури T = (393 ± 2) К, витримка впродовж двох годин і повільне охолодження до температури T = (293 ± 2) К. Для стабілізації процесів структурування матеріалу зразки витримували впродовж 60 год на повітрі при температурі T = (293 ± 2) К з подальшим проведенням випробувань на ударну в'язкість.

Ударну в'язкість визначали на зразках з розмірами 10x15x75 мм без надрізу. Випробування проводили на копрі RKP-300 для високошвидкісного навантаження (5.2 м/с) з реєстрацією діаграми деформування в координатах «навантаження - час».

Загальну роботу ударного руйнування матеріалу розглядали як сукупність робіт зародження $A_з$ та розповсюдження тріщини A_p**:**

$$A = A_з + A_p. \qquad (1)$$

Ударну в'язкість зразків визначали за формулою:

$$a = \frac{A}{bs} \qquad (2)$$

де A – енергія удару, затрачена на руйнування зразка; b – ширина зразка; s – товщина зразка.

Використання програми керування та запису інформації ударних випробувань VUHI-CHARPY дозволило визначити складові енергії руйнування зразка шляхом трансформації залежності «сила - час» *(P-t)* у залежність «сила - переміщення» *(P-s)*.

Обговорення результатів. Різну деформаційну поведінку наповнених епоксикомпозитів можна інтерпретувати з точки зору механіки композитів: при відсутності або при малому вмісті наповнювача – ефективність гальмування тріщини невисока. При збільшенні ступеня наповнення структура стає більш однорідною та мілкодисперсною. В результаті, при ударному навантаженні відбувається розгалуження фронту тріщини при взаємодії її вершини із наповнювачем, що обумовлює збільшення енергоємності руйнування композиту. При надлишку часток гетерогенність матеріалу приводить не тільки до локального розгалуження тріщини, але і до крихкого руйнування зміцнених фрагментів.

У рамках обговорення діаграми ударного навантаження можна припустити, що старт тріщини пов'язаний з локальною втратою стійкості матеріалу в зоні ряду мікро-концентраторів напружень; перехід від старту до поширення тріщини – це процес нагромадження критичної концентрації дефектів у певному об'ємі, що, в кінцевому випадку, визначає процес руйнування всього зразка. Розглянемо типову діаграму динамічного деформування, а також основні стадії деформування та руйнування: зародження (*n*) та росту тріщини (*p*) в епоксидних композитних матеріалах (рис. 1).

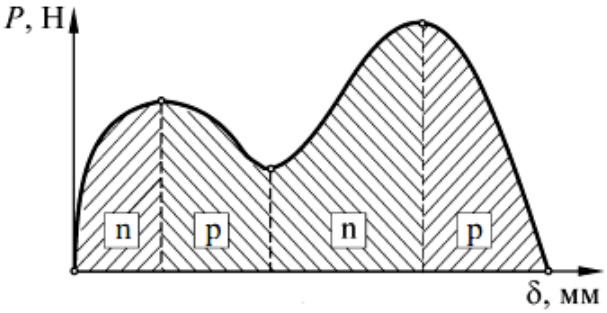


Рисунок 1. Схема діаграм деформування та руйнування матеріалів при ударному руйнуванні.

Однією із особливостей динамічного навантаження композитів є нерівномірний розподіл напружень у матеріалі. Для композиту із дисперсними частками, на кривих деформування, прогин діаграми пов'язаний із процесами зародження, росту, притуплення тріщини та руйнування зразка.

У такому випадку логічним є проаналізувати для кожного композиту окремо стадію 1 (яка характеризує зародження тріщини) і стадію 2 (яка показує специфіку росту тріщини). При цьому форма діаграми обумовлена, на нашу думку, вигином зразка та формуванням мікротріщин у структурі матеріалу, релаксацією напружень внаслідок поздовжнього мікро-розтріскування, зародженням макро-тріщини та наступним доломом зразка. Під час удару зразок прогинається, що приводить до формування зони стискаючих напружень з однієї сторони та розтягуючих з іншої. На кривій динамічного деформування руйнування супроводжується плавним стартом і ростом тріщини. Діаграма містить дві явно виражені

зони: перша відповідає зародженню тріщини після досягнення найбільшого навантаження, друга – росту.

Узагальнені дані по руйнуванню зразків епоксидних композитних матеріалів наведені в табл. 1. При цьому необхідно відзначити, що ударна в'язкість епоксидної матриці становила 5,9 кДж/м^2. Максимальною енергією деформування A = 3,24 Дж і відповідно ударною в'язкістю K_C = 21,62 кДж/м^2 відзначається епоксидний композитний матеріал з наповнювачем при концентрації в 40 мас. ч. (яку варто вважати оптимальною).

Таблиця 1. Енергоємність руйнування композиту

Енергія деформуванн	Масова частка, мас. ч.				
	10	20	40	60	80
A_1, Дж	0,112	0,170	0,576	0,096	0,169
A_2, Дж	0,130	0,168	0,554	0,154	0,201
A_3, Дж	0,215	0,191	0,734	0,105	0,045
A_4, Дж	0,448	0,456	1,324	0,147	0,293
A, Дж	0,905	0,985	2,230	0,502	0,708
K_C, кДж/м^2	6,030	6,560	15,510	3,350	4,720

Висновки. Висока ступінь структурної неоднорідності епоксидних композитних матеріалів, яка закладена на етапі формування, є ключовим фактором, що впливає на його фізико-механічні властивості. При динамічному деформуванні в матеріалі виникає розвинена ієрархія структурних рівнів деформації, яка обумовлює самоузгоджене деформування і руйнування всього об'єму матеріалу.

Найбільшою енергоємністю руйнування характеризується епоксидний композитний матеріал, який містить 40 мас.ч. SiC. Зменшення кількості наповнювача збільшує в'язкість матеріалу, знижуючи його механічні властивості. Збільшення кількості наповнювача призводить до підвищення крихкості матеріалу, росту пористості та структурної неоднорідності. Таким чином, композит з частинками карбіду кремнію при концентрації в 40 мас. ч. на 100 мас. ч. епоксидного олігомеру можна рекомендувати для підвищення міцності деталей технологічного обладнання, яке експлуатується в умовах ударних навантажень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шеногин С.В., Hohne G.W., Саламатина О.Б., Руднев С.Н., Олейник Э. Ф. Деформация стеклообразных полимеров: запасание энергии на ранних стадиях нагружения // Высокомолекулярные соединения. А. - 2004. - Т. 46. - № 1. - С. 30-42.

2. Pegoretti A., Guardini A., Migliaressi C, Ricco T. Recovery of post-yielding deformations in semicrystalline poly (ethylene-terephthalate) // Polymer. - 2000. - V. 41. - No. 5. - P. 1857-1864.

3. Волынский А.Л., Лебедева О.В., Баженов С.Л., Бакеев Н.Ф. Особенности структурообразования в системе полимер - жесткое покрытие при деформировании в жидких средах // Высокомолекулярные соединения. А. - 2002. - Т. 42. - № 4. - С. 658-664.

4. Стухляк П.Д., Букетов А.В., Добротвор И.Г. Эпоксикомпозитные материалы модифицированные энергетическими полями. - Тернополь: Збруч, 2008. - 208 с.

5. Структурные уровни пластической деформации и разрушения / Под ред. В.Е. Панина. - Новосибирск: Наука, 1990. - 255 с.

6. Иржак В.И., Розенберг Б.А., Ениколопян Н.С. Сетчатые полимеры. - М.: Наука, 1979. - 250 с.

ВПЛИВ ВОДНЮ ТА ВУГЛЕЦЮ НА ТЕМПЕРАТУРУ ТОЧКИ КЮРІ ІНВАРНОГО СПЛАВУ Н36

Наговська І.В.
Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України (Україна)

Залізонікелеві сплави інварної області концентрацій (30...45% Ni) характеризуються аномаліями фізичних властивостей, найважливішою з яких є низьке значення температурного коефіцієнта лінійного розширення (ТКЛР) в інтервалі 73...373 К [1]. Ця аномалія пояснюється тим, що в області існування феромагнетизму теплове стискування кристалічної ґратки під час охолодження компенсується її розширенням внаслідок існування у сплаві спонтанної намагніченості. Крім того, фізичні властивості інварів значною мірою залежать від вмісту домішок втілення, зокрема вуглецю, який впливає на зміну магнітних характеристик. Відомо [2], що обов'язковою умовою існування феромагнетизму в металах є наявність обмінної електронної взаємодії, позитивний знак якої досягається лише в певних інтервалах температур і значень параметра ґратки. Змінюючи їх величину шляхом легування вуглецем, можна впливати на спонтанну намагніченість сплавів і розширити температурні границі застосування інвару, як матеріалу з мінімальним ТКЛР. За критерій оцінки зміни магнітних властивостей вибрали температуру точки Кюрі T_C, в якій ефективна обмінна енергія електронів рівна тепловій енергії, що надається зразкам за нагрівання.

Дослідження проводили методом електропровідності на змінному струмі, який дозволяє отримувати неперервні залежності зміни електроопору від температури в широкому діапазоні частот струму (до 200 кГц) [3] . Вивчали вплив легування вуглецем (до 0,3 мас.%) та термічної обробки у водні на параметри магнітного впорядкування в інварному сплаві Н36 (Fe – осн., Ni – 35,7, Mn – 0,50, Si – 0,26, C – 0,01, S – 0,005, P – 0,001), який виплавляли в високочастотній індукційній печі і насичували вуглецем, добавляючи в тигель графіт з наступною розливкою металу. Перед вимірюваннями зразки після 30 хв. відпалу при 1173 К гартовували у воді.

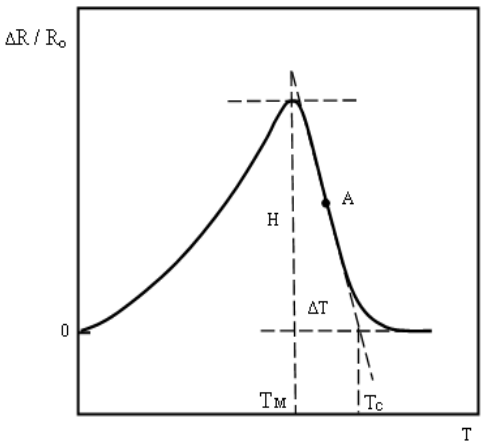


Рисунок 1. Структурно-чутливі параметри аномалії електроопору феромагнетиків змінному струму частотою 15 кГц.

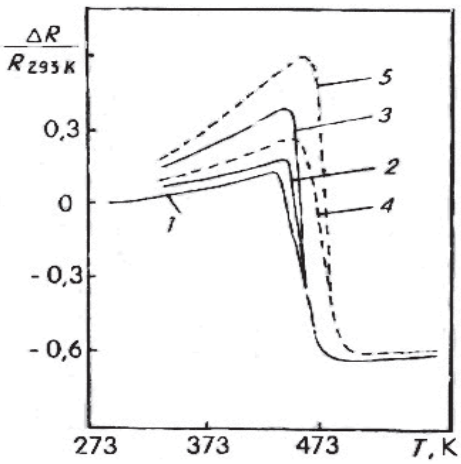


Рисунок 2. Температурні залежності зміни електроопору сплаву Н36 під час нагріву (1) та охолодження у вакуумі (2, 4) та водні (3, 5) (1–3 вміст вуглецю 0,01 мас.%; 4, 5 - 0,17 мас.%).

Щоб вияснити, як змінюються параметри феромагнітного перетворення, вивчали аномалію електроопору, яка з'являється в околі температури точки Кюрі при вимірюванні на змінному струмі звукового діапазону частот (5…25 кГц) (рис. 1). Для інтерпретації отриманих результатів використані наступні параметри:

– висота максимуму електроопору *H*, яка являє собою різницю його значень у

початковій та кінцевій точках феромагнітного перетворення і є пропорційною поверхневій магнітній проникливості матеріалу;

– температура феромагнітного перетворення T_C, яку визначали як точку перетину дотичної, проведеної на ділянці найбільш різкого спаду електроопору, і проекстрапольованої з парамагнітної області залежності $\Delta R / R_0$;

– різниця температур ΔT максимуму аномалії T_M і точки Кюрі T_C, яка характеризує структурну однорідність досліджуваного матеріалу (збіг цих температур відповідав би ідеальному кристалу).

Отримані температурні залежності зміни електроопору зразків з різним вмістом вуглецю характеризуються гістерезисом під час нагріву і охолодження (рис.2). Визначені на їх основі температури Кюрі наведені в табл. 1. Отримані результати однозначно вказують на ріст температури феромагнітного перетворення зі збільшенням вмісту вуглецю у сплаві, що є наслідком зростання ефективної обмінної взаємодії.

Таблиця 1. Вплив вуглецю на точку Кюрі сплаву Н36

Вміст вуглецю, мас. %	Температура Кюрі, К			
	Нагрів		Охолодження	
	вакуум	водень	вакуум	водень
0,01	475	471	475	474
0,03	478	475	479	478
0,09	486	484	496	493
0,17	491	492	503	498
0,26	504	502	520	512

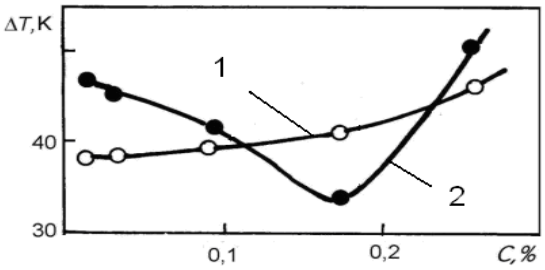


Рисунок 3. Вплив вуглецю на параметр структурної однорідності ΔТ сплаву Н36 у вакууму (1) і водні (2).

З ростом концентрації вуглецю ефект від впливу водню, який полягає у зменшенні температури Кюрі, посилюється, що можна пояснити антиферомагнітною взаємодією розчинених атомів водню з атомами компонентів сплаву. Збільшення у водні висоти максимуму електроопору H (рис.2) зумовлене, на нашу думку, прискоренням релаксації гартувальних та магнітострикційних напружень, а також зменшенням поверхневого магнетизму під час хемосорбції атомів водню. За дослідження концентраційної залежності зміни параметра ΔТ у водні встановлено появу мінімуму при вмісті вуглецю 0,17 мас.% (рис.3, крива 2), що вказує на покращення структурної однорідності сплаву Н36, очевидно, внаслідок впорядкування атомів вуглецю в γ–твердому розчині інвару і пришвидшення цього процесу розчиненим воднем [4].

ЛІТЕРАТУРА

1. Захаров А. И., Захаров Е. Х., Жуков Л. Л. Прецезионные сплавы с упругими, тепловыми и электрическими аномалиями // Металлургия: стали, сплавы, процессы. – М.: Металлургия. – 1982. – С. 136-144.

2. Вонсовский С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1971. – 1024 с.

3. Приборы и устройства для измерения, контроля и автоматизации производственных процессов. – К.: Наук. думка, 1976. – 58 с.

4. Похмурський В.І., Федоров В.В. Вплив водню на дифузійні процеси в металах. – Львів: ФМІ НАНУ, 1998. – 207 с.

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНЬ В ЗАМКОВІЙ ЧАСТИНІ ПЛАСТМАСОВИХ ЛОПАТОК ТУРБОДЕТАНДЕРІВ

Наконечний Ю.І., Ярема І.Т., Колибаб'юк П.В., Антонов А.М., Бутковська Л.С.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

Для запуску газотурбінних установок, що експлуатуються на компресорних станціях магістральних газопроводів, застосовують пускові турбодетандери, в яких напрямні та робочі лопатки можуть виготовляти з полімерних конструкційних матеріалів. Турбодетандери працюють на перепадах тиску природного газу при температурі від –40^{0}С до +20^{0}С. Використання пластмас в якості матеріалу лопаток таких холодних турбомашин пояснюється тим, що не дивлячись на порівняно невисоку теплостійкість та механічну міцність, їм притаманні інші переваги: невелика питома вага, що зменшує напруження розтягування від відцентрових сил; добрі демпфуючі властивості; висока технологічність.

Лопатки турбодетандерів виготовляють з поліаміду склонаповненого марки ПА-66КС методом лиття під тиском і мають замкову частину у формі зубців трикутної форми, яка монтується у кільцеві пази сталевого диска ротора (рис. 1). Для перевірки міцності замкової частини пластмасової лопатки потрібно знайти сумарний розподіл контактних напружень на поверхні зубців від попереднього натягу та від зміни температури. Нижче наведені результати розрахунку контактних напружень від попереднього натягу.

В реальних конструкціях пластмасових лопаток кут нахилу α зубців хвостової частини більший кута тертя φ в парі «пластмаса-метал» (α φ arctg f = φ). В цьому випадку при запресовці замкової частини лопатки в кільцевий паз металевої обойми відбувається відносне проковзування контактуючих поверхонь зубців обойми та лопатки. Завдяки наявності сил тертя, частина натягу вздовж осі «*y*» не компенсується. Як показують виконані розрахунки, контактні напруження від цього некомпенсованого натягу σ''_H мають найбільше значення при вершині зубця і зменшуються в напрямі його основи.

Друга частина сумарних контактних напружень від компенсованого натягу σ'_H навпаки зростає від вершини зубця до його основи. Компенсація натягу, що спричиняє цю частину контактних напружень, здійснюється за рахунок відносного проковзування зубців обойми та лопатки, а також за рахунок деформації деталей з'єднання вздовж осі «*y*» та зубця обойми вздовж осі «*x*».

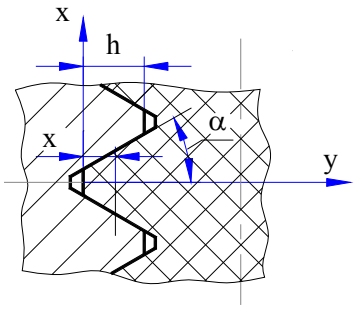


Рисунок 1. Профіль зубця замкової частини лопатки

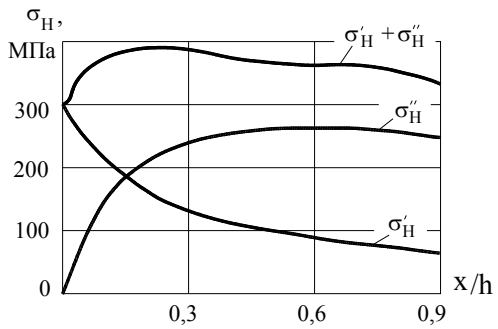


Рисунок 2. Контактні напруження в замковому з'єднанні пластмасової лопатки

На рис. 2 показаний графік розподілу контактних напружень від некомпенсованого σ''_H та компенсованого σ'_H натягів вздовж зубця пластмасової лопатки, виготовленої з поліаміду склонаповненого ПА-66КС для випадку, коли α= 30^0 ; висота зубців h = 1,8 мм; кількість зубців – по три з кожної сторони і сумарний натяг вздовж осі «*y*» – 0,2 мм.

КУБИЧЕСКИЕ ДОДЕКАБОРИДЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОМПОЗИТОВ В СУДОСТРОЕНИИ И СУДОРЕМОНТЕ

[1]Одинцов В.В., [2]Корень Е.В.
[1]Херсонский государственный университет (Украина)
[2]Херсонский государственный аграрный университет (Украина)

Введение. Важнейшая техническая проблема, возникающая в области судостроения и судоремонта, связана с экономией материала, уменьшением массы судовых машин и механизмов, а также с работоспособностью приборов и во многом зависит от выбора и использования конструкционных материалов, от материалов оборудования, оснащения.

Рациональный выбор судостроительных и ремонтных материалов – одна из основных в современном судостроении. Без знания материаловедения и технологии материалов решать ее невозможно. Особенно важно знать современные материалы и их свойства [1].

Актуальность и задачи исследования. В судостроении весьма распространено применение таких традиционных тугоплавких материалов как Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Ta, W и др. Получение этих металлов довольно трудоемкое действие, их получают из рудных концентратов при сложной трехступенчатой технологии [2], да и залежи этих металлов на земле иссякают [3]. В последнее время внимание исследователей и практиков обращается на тугоплавкие соединения – бориды, карбиды, силициды, нитриды и др., физико-технические характеристики которых весьма разнообразны: высокая температура плавления, повышенная твердость и износоустойчивость, стойкость против действия кислот и их смесей, специфические механические характеристики. Эти соединения уже нашли применение в качестве конструкционных в машиностроении, атомной и химической промышленностях, возможно их применение и в судостроении, судоремонте (корпуса судов, катеров, яхт, детали судовых двигателей, гребные винты, помпы, арматура, газотермические покрытия, коррозионные трубы, лопатки газовых турбин двигателей, зачистка и грунтовка металлического листа и многое другое).

Композиционные материалы или композиты обладают аддитивным комплексом физико-механических свойств, обусловленных сохранением индивидуальности каждого образующего композит-компонента. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя, получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств [4].

Преимущества композиционных материалов перед традиционно используемыми таковы:

- высокая удельная прочность в широком интервале температур;
- уникальная коррозионная и химическая стойкость;
- долговечность и надежность;
- отсутствие затрат на обслуживание (краситель интегрирован в состав композита);
- повышенная стойкость к переменным нагрузкам;
- повышенная демпфирующая способность;
- высокие диэлектрические характеристики.

Результаты исследований. На наш взгляд, в плане создания композиционных материалов, заслуживают внимания высшие бориды редкоземельных металлов, и в том числе додекабориды YB_{12}, TbB_{12}, DyB_{12}, HoB_{12}, ErB_{12}, TmB_{12}, YbB_{12}, LuB_{12}, ZrB_{12}. Все они изоморфные и имеют кубическую структуру типа NaCl: на местах Na ионы редкоземельных металлов иттриевой подгруппы, а вместо Cl – группы B_{12}, свойственные чистому бору (рис. 1).

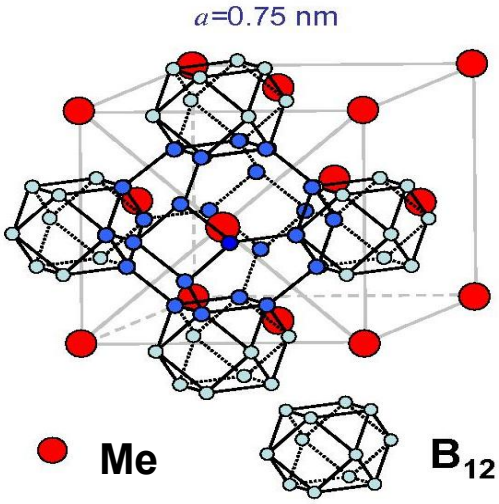


Рисунок 1. Кристаллическая структура додекаборида редкоземельного металла.

Додекабориды характеризуются металлическими свойствами, высокими температурами плавления 2400…3000К, высокой электро- и теплопроводностью (ρ=(12…20)·10^{-8}Ом·м, λ=(20…40)Вт/(м·К)), проявляют парамагнитные свойства, весьма стойки к действию кислот и их смесей, окисляются после 800 К. Механические свойства додекаборидов исследованы недостаточно. Твердость додекаборидов H_{100}=(2400…3200)кг/мм^2. Нами установлено, что модуль упругости (модуль Юнга) додекаборидов сравним с таковым для стали (190…210)ГПа, коэффициент Пуассона в пределах 0,35 [5, 6]. Додекабориды проявляют повышенную устойчивость против действия кислот и их смесей и лишь активно взаимодействуют с кипящими кислотами; додекабориды устойчивы к окислению кислородом воздуха и начинают окисляться при температурах 823…875 К; додекабориды имеют, как и чистый бор, большие способности поглощать тепловые нейтроны.

Основные характеристики этих соединений представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики додекаборидов редкоземельных металлов

Борид	YB_{12}	TbB_{12}	DyB_{12}	HoB_{12}	ErB_{12}	TmB_{12}	YbB_{12}	LuB_{12}	ZrB_{12}	B
Плотность, кг/м^3	3,444	4,540	4,611	4,655	4,706	4,756	4,820	4,868	3,611	2,340
Коэффициент термич. расширения, $\alpha_{ср}\times10^6$К$^{-1}$	3,2	3,6	4,6	3,6	3,7	3,8	3,7	3,4	3,5	8,3
Характерист. температура Θ, К	1094	834	834	871	886	888	886	878	876	1200
Температура плавления, К	2950	2400	2550	2750	2600	2750	-	2650	2750	2400
Удельное электро-сопротивление $\rho\times10^8$Ом·м	17,0	12,0	14,4	14,7	16,1	17,0	19,5	13,6	22,0	Полу-провод-ник
Коэффициент теплопроводно-сти λ, Вт/(м·К)	40	-	29	32	38	40	32	-	21	30
Микротвердость H_{100}, кг/мм^2	3200	2600	2400	2700	2800	3000	-	2900	3000	3400
Модуль Юнга, ГПа	250	180	190	220	200	210	200	180	190	390
Модуль сдвига, ГПа	180	141	151	166	143	157	154	141	156	320
Коэффициент Пуассона	0,31	0,36	0,37	0,34	0,30	0,33	0,35	0,36	0,39	0,39

Выводы. Можно предполагать, что физико-механические, химические и нейтронно-поглощающие свойства додекаборидов редкоземельных металлов при высокой их теплопроводности могут стать хорошими составляющими композиционных материалов на основе как алюминия, так и различных смол и полимеров, которые найдут достойное применение в судостроении и судоремонте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мутилина И.Н. Судостроительные материалы. – Владивосток; ДВГТУ, 2005. – 16 с.
2. Химия и технология редких и рассеянных элементов / Под ред. К.А.Большакова. – М.: Высшая школа, 1976. – 319 с.
3. Кудрин В.С., Чистов Л.Е. Состояние материально-сырьевой базы редкоземельных металлов, перспективы ее развития и освоения // Мин. ресурсы России, 1996, №15. – С. 6-12.
4. Новые материалы / В.Н.Анциферов, Ф.Ф.Бездудный, Л.Н.Белянников и др. // под редакцией Ю.С.Карабасова. – М.:МНСИС, 2002.
5. Одінцов В.В. Додекаборидн рідкісноземельних металів. – Київ. – Херсон, 1992. – 56 с.
6. Одинцов В.В., Корень Е.В. Изучение прочностных характеристик тугоплавких додекаборидов редкоземельных металлов со структурой типа UB_{12} // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании. - Одесса, 2013. - С. 55-61.

ВПЛИВ ВОДНЮ НА ПРОЦЕС АТОМНОГО ВПОРЯДКУВАННЯ ТА ТЕМПЕРАТУРНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ЛІНІЙНОГО РОЗШИРЕННЯ СПЛАВУ Н36, ЛЕГОВАНОГО ВУГЛЕЦЕМ

Прокоп'юк В.А.
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В.Гнатюка, Україна

Застосування водню як технологічного середовища у процесі обробки функціональних матеріалів на основі d–перехідних металів ґрунтується на закономірностях його впливу на існуючі в них фазові перетворення, зокрема процеси атомного і магнітного впорядкування [1]. Одночасно ці процеси існують у сплавах системи Fe–Ni, які завдяки цьому володіють низкою цінних фізичних властивостей [2]. Об'єктом дослідження вибрали інварний сплав Н36 (Fe – осн., Ni – 35,7, Mn – 0,50, Si – 0,26, C – 0,01, S – 0,005, P – 0,001), найважливішою характеристикою якого є низьке значення температурного коефіцієнта лінійного розширення (ТКЛР) в інтервалі 73...373 К, величина якого залежить від вмісту домішок втілення, зокрема вуглецю.

Вплив легування вуглецем (до 0,3 мас.%) та термічної обробки у водні на параметри атомного впорядкування сплаву Н36 вивчали методом електропровідності. Попередньо зразки після 30 хв. відпалу при 1173 К гартували у воді. Вимірювання електроопору проводили в інтервалі температур 293...573 К у вакуумі (10^{3} Па) і водні (0,1 МПа). Зміну параметра кристалічної ґратки після навуглечування інвару визначали на рентгенівській установці ДРОН 3,0 в $FeK_{\square}$ – випромінюванні, а ТКЛР вимірювали високотемпературним дилатометром.

У феромагнітних сплавах, що впорядковуються, існує тісний зв'язок між енергією атомного впорядкування, спонтанною намагніченістю і температурами Кюрі та Курнакова [3]. Причому взаємозв'язок між температурою Кюрі T_C і ступенем дальнього атомного порядку □ виражається співвідношенням

$$T_C = 2(3R+\square\square\square^2)/K_Б, \qquad (1)$$

де □ = $2J_{AB}$ □ J_{AA} □ J_{BB}, $R = a^2J_{AA} + b^2J_{BB} + 2abJ_{AB}$ □ параметри, що характеризують обмінну взаємодію в бінарному сплаві AB, a і b □ атомні концентрації компонентів, $K_Б$ – стала Больцмана. Знаючи зміну T_C під час впорядкування, можна оцінити зміну ступеня дальнього атомного порядку □. Вимірювання температурних залежностей електроопору дозволило встановити, що T_C після водневої термообробки підвищується на 20 ± 5 К. Враховуючи, що обмінні інтеграли $J_{Fe\text{-}Fe}$ = □9 МеВ, $J_{Ni\text{-}Ni}$ = 52 МеВ, $J_{Fe\text{-}Ni}$ = 39 МеВ [3], на основі співвідношення (1) визначили, що під впливом розчиненого водню концентрацією H/Me = (5…8) • 10^{-4} величина □ у сплаві Н36 зростає майже на 25%.

Для дослідження впливу водню на дифузійну рухливість атомів вуглецю у сплаві Н36 проведено розділення температурних залежностей повного електроопору ρ_m на фононну $\rho_ф$ та магнітну складову $\rho_м$ за наступною методикою [1]. Згідно правила Маттіссена повний електроопір можна записати у вигляді суми

$$\rho_m = \rho_0 + \rho_ф + \rho_м \qquad (2)$$

Тут ρ_0 – залишковий опір, зумовлений розсіянням електронів провідності на домішках, який можна знайти екстраполяцією температурної залежності ρ_m до T = 0 К. Фононна частка електроопору $\rho_ф$ зумовлена тепловим рухом атомів і з великою точністю за температур менших точки Кюрі описується інтерполяційною формулою Грюнайзена

$$\rho_ф = A\left(T/\Theta\right)^5 \cdot \int_0^{\Theta/T} y^5 (e^y - 1)^{-1}(1 - e^{-y})^{-1} dy \qquad (3)$$

де Θ – температура Дебая, A – постійна для даного металу. Оскільки за температур вище точки Кюрі магнітна складова електроопору не залежить від температури, а формула (3) скорочується до $AT/4\Theta$, то повний високотемпературний електроопір феромагнетиків запишеться у вигляді

$$\rho_m = \rho_0 + \rho_M + AT/4\Theta , \qquad (4)$$

де ρ_0 і ρ_M постійні. Це дозволяє за кутовим коефіцієнтом dρ/dT при високих температурах з рівняння прямої (4) розрахувати $A/4\Theta$, а за низькотемпературним електроопором визначити ρ_0. Таким чином, графічно віднявши суму фононного і залишкового опорів як функцію температури від повного електроопору, можна отримати температурну залежність зміни його магнітної складової (рис.1, $Z = \square R / R_0$).

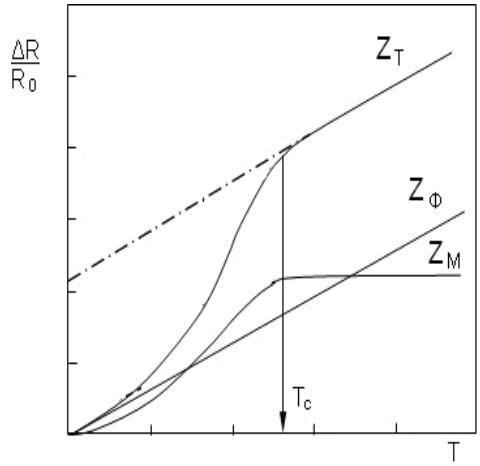


Рисунок 1. Розділення повного електроопору феромагнетиків Z_T на фононну $Z_Ф$ і магнітну Z_M складові.

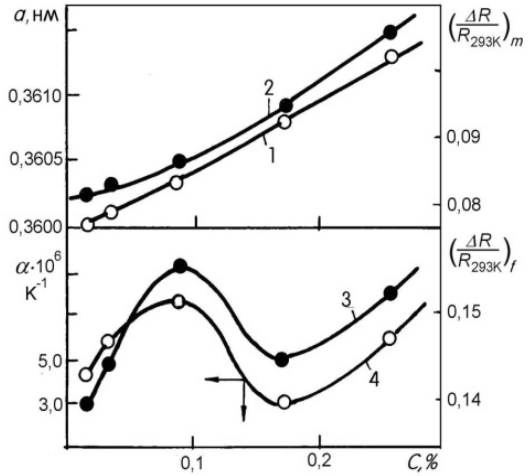


Рисунок 2. Вплив вуглецю на параметр ґратки ***a*** (1), ТКЛР □ (4), магнітну (2) і фононну (3) складові електроопору.

Безпосередніми вимірюваннями встановлено, що легування вуглецем сплаву Н36 розширює температурну область існування низьких значень ТКЛР. При цьому мінімальне значення ТКЛР, визначене при температурі 500 К, має місце за концентрації вуглецю 0,16…0,18 мас.% (рис. 2, крива 4). Щоб встановити фізичну природу знайденого ефекту, вимірювали температурні залежності електроопору навуглечених зразків сплаву Н36 та проводили їх розділення на магнітну і фононну складові, значення Z яких брали з експериментальних кривих (див. рис.1) при температурі 523 К.. З отриманих результатів слідує, що зі збільшенням вмісту вуглецю магнітна складова електроопору (рис. 2, крива 2) монотонно зростає пропорційно росту параметра ґратки за навуглечування (крива 1), а фононна (крива 3) проходить через мінімум, якісно змінюючись як і ТКЛР (крива 4).

Такий характер отриманих залежностей вказує на те, що причину появи оптимальної концентрації вуглецю (0,16…0,18 мас.%), яка покращує експлуатаційні властивості інвару, слід шукати не в зміні електронної структури сплаву Н36 під час легування, а в процесах, які відбуваються на атомному рівні і зумовлені дифузією та впорядкуванням атомів вуглецю по міжвузлях кристалічної ґратки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Похмурський В.І., Федоров В.В. Вплив водню на дифузійні процеси в металах. – Львів: ФМІ НАНУ, 1998. – 207 с.

2. Захаров А. И., Захаров Е. Х., Жуков Л. Л. Прецезионные сплавы с упругими, тепловыми и электрическими аномалиями // Металлургия: стали, сплавы, процессы. – М.: Металлургия. – 1982. – С. 136–144.

3. Смирнов А.А. Теория сплавов внедрения. – М.: Наука, 1979. – 365 с.

УЛЬТРАЗВУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІМЕРОКСИДНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ СИСТЕМИ ПХТФЕ – SNO_2

Рокицька Г.В., Шут М.І., Рокицький М.О., Січкар Т.Г., Борбіч Ю.О., Гайдай М.Л.
Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова (Україна)

Завдяки унікальним фізико-хімічним властивостям (міцність, висока хімічна стійкість, еластичність, металеві, напівпровідникові, провідні та надпровідні, унікальні емісійні, поглинальні властивості) і значному потенціалу прикладного використання полімерні нанокомпозити є постійними об'єктами дослідження провідних лабораторій світу.

Серед нанокомпозитів високі потенційні можливості для розв'язання завдань створення матеріалів з високими показниками захисних та поглинаючих властивостей із заданими електро- і теплофізичними властивостями та низьким вмістом нанодисперсних наповнювачів мають полімероксидні нанокомпозити з активними компонентами, керування параметрами яких можна здійснювати в широких межах засобами модифікування поверхонь взаємодіючих компонентів, зміни їх вмісту, розмірів та впливу зовнішніх фізичних полів.

Загальновизнаним є факт активного впливу міжфазного шару на межі поділу полімер – оксидний нанодисперсний наповнювач на формування властивостей полімерних нанокомпозитів. У зв'язку із цим перспективним є розробка нових нанокомпозитів на основі оксидних наповнювачів таких як SnO_2, VO_2, SiO_2, TiO_2, CeO, ZnO, CuO тощо.

З точки зору функціональних властивостей в якості компонентів полімероксидних нанокомпозитів на особливу увагу заслуговують високо стабільний та хімічно стійкий, полярний полімер поліхлортрифторетилен (ПХТФЕ) та діоксид олова (SnO_2).

Для синтезу нанодисперсних частинок SnO_2 нами було використано метод хімічного осадження [1], що має ряд переваг, оскільки дає можливість осаджувати SnO_2 з водних розчинів на різні матриці, а саме на нанодисперсні частинки полімерів та оксидів різних елементів.

Метод полягає у тому, що у дистильовану воду додавали полі(диалілдиметиламонію хлорид) $(C_8H_{16}NCl)_n$, після чого при неперервному перемішуванні до розчину додавали тетрахлорид олова $SnCl_4$, а потім невеликими порціями 25%-ий водний розчин аміаку (NH_4OH). Розчин набував вигляду білої маси. Її обробляли ультразвуком, центрифугували та промивали дистильованою водою від продуктів реакції. Залишки води відмивали ацетоном та сушили при кімнатній температурі, а потім у сушильній шафі при 363 К у чашці Петрі. Після цього зразки перетирали у агатовій ступці та витримували у муфельній печі при 873 К протягом 2 годин.

Для виготовлення композитів використано SnO_2 з розміром частинок 40…150 нм та типовою тетрагональною структурою кристалітів і ПХТФЕ з розміром частинок 200 нм за формою близькою до сферичної.

При виготовленні зразків для досліджень суміш ПХТФЕ та SnO_2 ретельно гомогенізували в рідинному акустичному середовищі і після термообробки в термовакуумній шафі, після чого пресували з розплаву полімеру в однакових термобаричних умовах (T = 513 К, p = 32 МПа), що відповідає технологічним умовам переробки ПХТФЕ у вироби. З отриманих блоків готували зразки циліндричної форми діаметром 20 мм і висотою 6…7 мм.

Дослідження концентраційних залежностей густини та пористості полімерних композиційних матеріалів системи ПХТФЕ – SnO_2 проводили методом гідростатичного зважування з використанням установки [2] на основі лабораторних ваг СВА-600-0,01.

Для визначення густини композитів проводили зважування зразків у повітрі та у дистильованій воді, а для визначення пористості проводили додаткове визначення істинної густини зразків, для чого здійснювали гідростатичне зважування зразків, які попередньо пропитували шляхом тривалого їх витримування у воді за умов пониженого тиску.

Дослідження фізико-механічних властивостей композитів проводили імпульсним фазовим методом при кімнатній температурі. Для реалізації імпульсного фазового методу

використовували вимірювач швидкості та поглинання ультразвуку “УС-12-ИМ”, ультразвукові випромінювач та приймач із буферними стержнями. За показами значеннь швидкості поширення (v) та коефіцієнту поглинання ультразвуку (α) обчислювали хвильовий опір ($\varkappa$), модулі пружності (E' і E'') та тангенс кута механічних втрат ($tg\delta$). З метою отримання інформації про динаміку зміни розмірів структурних неоднорідностей системи проводили вимірювання швидкості поширення та коефіцієнта поглинання ультразвуку на частотах 5 МГц, 7,5 МГц та 10 МГц. Зміну розмірів неоднорідностей оцінювали за поглинанням ультразвуку в залежності від частоти та за «стрибками» поглинання ультразвуку ($\Delta\alpha$) за зміни частоти, що розраховувались як різниця між значеннями поглинання на частотах 5 та 7,5 МГц, 7,5 та 10 МГц і 5 та 10 МГц.

Відносна похибка при дослідженні властивостей композитів становила: густини $\varepsilon \leq 5$ %; швидкості ультразвуку 0,5…1,0 %; поглинання – 4…5 %.

Результати досліджень концентраційних залежностей густини та пористості полімерних композиційних матеріалів системи ПХТФЕ – SnO_2 свідчать про те, що уявна та істинна густини зразків відрізняються не суттєво, що яскраво підтверджується значеннями пористості і характеризуються монотонним зростанням, що пов’язано зі збільшенням вмісту наповнювача з більшою густиною.

Композити з відсотковим вмістом нанорозмірного SnO_2 в межах $0 \leq \varphi \leq 13$ % (об.) характеризуються значеннями пористості в межах $0{,}5 \leq W \leq 0{,}75$ %. Збільшення концентрації до $\varphi = 20$ % призводить до зростання вмісту пор у матеріалі до значення $W \sim 2{,}5$ %, що є, очевидно, пороговим значенням, оскільки при подальшому зростанні вмісту SnO_2, вміст пор залишається практично сталим.

Аналіз залежностей $v = f(\varphi)$ свідчить про суттєве зростання пружності композиту у порівнянні із складовими компонентами, а залежностей $\alpha = f(\varphi)$ – про те, що коефіцієнт поглинання композитів значно перевищує відповідні показники складових компонентів, і особливо характерних для ПХТФЕ, що, очевидно, пов’язано з розсіюванням ультразвукових хвиль на структурних неоднорідностях системи. Результати дослідження залежностей $tg\delta = f(\varphi)$ та $E' = f(\varphi)$ свідчать про те, що композити системи ПХТФЕ – SnO_2 виявляються досить чутливими до зміни частоти ультразвукових хвиль і характеризуються деяким пониженням значень при збільшенні частоти. Зазначені особливості досліджуваних матеріалів, очевидно, викликані значними змінами структури складових системи.

Висновки. Отже, можна зробити висновок, що одержані полімероксидні нанокомпозиційні матеріали характеризуються низьким рівнем пористості та високими показниками фізико-механічних характеристик, що в свою чергу, дозволяє експлуатувати композити системи ПХТФЕ - SnO_2 за значних навантажень, у складних атмосферних умовах та у присутності агресивних середовищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шут М.І., Левандовський В.В., Міщенко В.М., Рокицький М.О., Січкар Т.Г., Борбіч Ю.О., Рокицька Г.В. Технологія виготовлення полімерних нанокомпозитів на основі поліхлортрифторетилену та SnO_2: автореферати доповідей Всеукраїнської конференції з міжнародною участю «Хімія, фізика та технологія поверхні» (Київ 15-17 травня 2013 р.). – К.: ІХП імені О.О. Чуйка НАН України, 2013. – С. 182.

2. Борбіч Ю.О., Стасюк І.М., Шевченко Р.В. Визначення пористості полімероксидних нанокомпозитів системи ПХТФЕ – SnO_2 // Збірник наукових праць студентів і молодих науковців «Фізика. Нові технології навчання». – 2014. – Вып. 12. – С. 3-7.

ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТЕРМОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АЛМАЗА И КАРБИДА КРЕМНИЯ И ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Русинова Н.А.
Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины (Украина)

Введение. На современном этапе развития промышленности существует необходимость создания и дальнейшего использования материалов повышенной прочности, термостойкости и износостойкости. Этим требованиям соответствуют поликристаллические композиционные материалы на основе алмаза, которые были созданы еще в 60-70 годы прошлого столетия и являются основой области производства сверхтвердых поликристаллических материалов инструментального назначения, известных на мировом рынке как PCD [1]. Перечисленные характеристики дают возможность использовать данные материалы при изготовлении породоразрушающего, бурового и режущего инструментов, при бурении нефтяных и газовых скважин, разрушении горных пород, в машиностроении, деревообрабатывающей и других областях промышленности. Повышение интереса к алмазному поликристаллическому материалу, который является инструментальным, обусловлено тем, что алмазный материал используют в лезвийном инструменте для механической обработки цветных металлов и сплавов на их основе, а также труднообрабатываемых материалов. Характерной особенностью алмазного поликристаллического композиционного материала, по сравнению с композитами, которые содержат отдельные алмазные кристаллы в металлической или керамической матрице, является наличие жесткого каркаса из зерен алмаза, которые срослись [2].

В настоящее время для оснащения долот, коронок, резцов используют алмазные твердосплавные пластины, которые состоят из поликристаллического алмазного слоя и подложки из твердого сплава, выполненных как единое целое, а также алмазный композиционный термостабильный материал (АКТМ) [3-7].

Результаты исследований по созданию алмазного поликристаллического композиционного материала (АПКМ) повышенной прочности (в качестве активирующей добавки использовали смесь кобальта с никелем) приведены в [8].

Цель настоящей работы – исследовать износостойкость и термостабильность АКТМ и АПКМ, спеченных при высоком давлении и температуре в системе алмаз-Si; алмаз-Ni-Co-WC с использованием микропорошка синтетического и природного алмаза, а также их смеси.

Результаты исследований. Для формирования поликристаллической структуры на основе алмаза, для которой характерен сплошной каркас из алмазных частиц, первоочередным является формирование связи алмаз–алмаз. Основная роль в этом процессе принадлежит пластической деформации частиц под воздействием высокого давления и температуры. Температура начала пластической деформации микропорошков алмаза при $P \sim 7$ ГПа составляет 1230 К. При спекании алмазных порошков давление в точках контактов составляет 130 ГПа [1]. В порах между частицами алмаза, где давление при спекании значительно ниже, образуется графит. При использовании активирующих процесс спекания добавок, например кремния, образовавшийся в поре графит становится составной частью образовавшегося карбида кремния. Если в качестве активирующей добавки использовать кобальт, образовавшийся в поре графит превратится в алмаз. При использовании в качестве активирующей процесс спекания добавки кремния термостабильность полученного материала (АКТМ) составляет ~1500 К [6-8]. Термостабильность алмазных поликристаллических материалов, полученных с использованием активирующих добавок кобальта или никеля, например алмазно-твердосплавных пластин (АТП), составляет ~1000 К. Это объясняется тем, что при

температуре выше 1000 К вследствие диффузионного взаимодействия алмазных частиц и кобальта резко снижается уровень физико-механических свойств алмазного слоя.

Для повышения термостабильности алмазного слоя АТП в качестве активирующей процесс спекания добавки к кобальту был добавлен кремний (ранее АТП изготавливались только с использованием кобальта или никеля в качестве активирующей добавки)[9]. Испытания пластин после нагревания до температуры 1300 К показали, что их величина износа не изменилась. При этом износостойкость пластин была несколько ниже, чем износостойкость пластин, полученных методом пропитки алмазного слоя только одним кобальтом.

Возможно, термостабильность алмазного слоя зависит также от содержания в нем кобальта и никеля. В связи с этим предположением количество активирующей добавки (Co-Ni) было уменьшено практически в два раза по сравнению с содержанием кобальта в алмазном слое алмазно-твердосплавной пластины.

Применение микропорошка природного алмаза для получения поликристаллических композиционных материалов обычно способствует повышению термостабильности полученного материала, так как природные алмазы, в отличие от синтетических, не содержат металлических включений, которые при высоких температурах взаимодействуют с алмазом и снижают их эксплуатационные свойства.

Упругие характеристики АКТМ и АПКМ приведены в табл.1.

Таблица 1. Упругие характеристики АКТМ и АПКМ

Поликристаллический композит	E, ГПа	σ, ГПа	B, ГПа	η
АКТМ (А) на основе микропорошка синтетического алмаза, пропитанного кремнием	886* 933 918	396 419 412	386 400 396	0,118 0,112 0,113
АПКМ (В) на основе микропорошка синтетического алмаза + + (Ni-Co-WC)	880 653 636	401 305 295	363 253 249	0,097 0,075 0,070
АПКМ (С) на основе микропорошка природного алмаза + + (Ni-Co-WC)	900 740 636	399 294 250	546 511 403	0,281 0,259 0,128
АПКМ (D) на основе смеси микропорошков природного и синтетического алмаза + (Ni-Co-WC)	773 726 707	303 286 278	577 521 512	0,277 0,268 0,270

* Приведены упругие характеристики трех образцов.

Материал АПКМ (С) обладает такими же высокими упругими свойствами, как и АКТМ (А). Большой разброс данных упругих свойств наблюдается как для материала АПКМ (С), так и для материала АПКМ (В). Используя в качестве алмазного порошка смесь синтетического и природного алмаза, при получении материала АПКМ (D) была достигнута стабильность упругих свойств этого материала (табл.1).

Сравнительные испытания образцов А, В, С и D, в виде вставок проводили при следующих параметрах: скорости резания - 1,3 м/с, путь точения - 416 м, время точения - 320 с.

Как следует из данных табл. 2, термообработка вставок при температуре 900º С не существенно повлияла на износостойкость образцов А, С и D, при этом износ образца В увеличился в 2,83 раза.

Таблица 2. Сравнительные характеристики износостойкости поликристаллических композитов

Образец поликристаллического композита	Масса образца в виде вставки, мг		Износ Δm, мг	Скорость изнашивания, мг/с	Интенсивность изнашивания, мг/м
	начальная	конечная			
До термообработки					
A	210	208	2	0,0063	0,0048
B	181	175	6	0,0187	0,0144
C	220	219	1	0,0031	0,0024
D	212	209	3	0,0094	0,0072
После термообработки					
A	206	204	2	0,0063	0,0048
B	171	154	17	0,0219	0,0168
C	184	182	2	0,0063	0,0048
D	205	203	2	0,0063	0,0048

На основании результатов можно сделать вывод, что наиболее высокой термостабильностью и износостойкостью обладают поликристаллические композиты на основе микропорошка синтетического алмаза, пропитанного кремнием, АКТМ (А), природного алмаза + (Ni-Co-WC), АПКМ (С) и смеси микропорошков природного и синтетического алмазов + (Ni-Co-WC), АПКМ (D).

Наиболее низкой термостабильностью и наиболее высокой величиной износа обладает АПКМ (В), что объясняется тем, что в качестве активирующих процесс спекания добавок использовали никель и кобальт.

Особо следует отметить тот факт, что при точении образцы АПКМ (С) нагревались до температуры 950 - 1050º С. Образцы АПКМ (А, В, D) нагревались значительно меньше. Такой режим работы объясняется тем, что материал (С) содержит микропорошок природного алмаза, который характеризуется низкой удельной поверхностью (0,172 $м^2/г$), в то время как синтетический алмаз более высокой удельной поверхностью (0,422 $м^2/г$).

Как установлено ранее, при циклическом нагружении поликристаллический композит на основе микропорошка синтетического алмаза АПКМ (В) долговечнее, чем поликристаллический композит на основе микропорошка природного алмаза АПКМ (С) [10].

Выводы. Материалы, полученные при пропитывании кремнием алмазного порошка в условиях высокого давления и температуры обладают уникальными характеристиками – термостабильностью и износостойкостью, что позволяет широко использовать данные материалы при изготовлении породоразрушающего, бурового и режущего инструментов, при бурении нефтяных и газовых скважин, разрушении горных пород, в машиностроении, деревообрабатывающей и других областях промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: Монография: в 6 т. / Под общ. ред. Н.В. Новикова: отв. ред. А.А. Шульженко. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «Алкон» НАН Украины, 2003. Т. 1: Синтез алмаза и подобных материалов. С. 259–265.

2. Поликристаллические материалы на основе алмаза / А. А. Шульженко, В. Г. Гаргин, В. А. Шишкин, А. А. Бочечка– К.: Наук. думка, 1989. – С. 3.

3. Бочковский А. М. Алмазные комбинированные вставки для бурового инструмента // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и

технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 75-77.

4. Богданов Р.К., Дутка В. А., Закора. К вопросу оснащения твердыми материалами инструмента для бурения скважин в породах средней твердости // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 78-82.

5. Алмазный поликристаллический материал для оснащения бурового инструмента / А.А. Шульженко, Р.К. Богданов, В.Г. Гаргин и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып. 10. – С. 189-196.

6. Воронін Г. О., Осіпов О. С., Шульженко О. О. Композит на основі алмазу та карбіду кремнію, призначений для оснащення бурового інструменту // Минералог. журн. – 1995. - № 6. – С. 90-95.

7. Патент № 34174 А Україна, МПК^6 С 22С 26/00. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / М. В. Новіков, О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, О. О. Бочечка. – Опубл. 15.02.01, Бюл. № 1.

8. Применение алмазных нанопорошков для увеличения прочности композита на основе алмаза и карбида кремния / А.А. Шульженко, В.Г. Гаргин, А.А. Бочечка и др.// Сверхтвердые материалы. – 2000. - № 3. – С. 3-15.

9. The formation of a diamond layer on a carbide substrate during diamond interaction with Si, WC and Co / A. V. Nozhkina, A. A. Shulzhenko, V. G. Gargin and A. A. Bochechka // High Press. Res. – 2000. – 18. – P. 325-330.

10. Сравнительные физико-механические характеристики синтетического и природного алмаза и поликристаллических композиционных материалов на их основе / А. А. Шульженко, А. В. Ножкина, В. Г. Гаргин и др. // Сверхтвердые материалы. – 2008. - № 5. – С. 3-18.

ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ ЕПОКСИДНИХ СМОЛ

Савчук П.П., Давидюк О.І., Швець І.В., Люшук О.М.
Луцький національний технічний університет (Україна)

Вступ. Епоксидні композиційні матеріали (ЕКМ) набули широкого застосування у світовій практиці як клейові композиції та адгезиви, що працездатні в умовах впливу агресивного середовища та динамічних навантажень. За рахунок сполучення в одному матеріалі речовин з різними фізико-хімічними, тепловими та механічними властивостями багатокомпонентні ЕКМ мають унікальні показники адгезійної міцності [1-4].

Актуальність досліджень. Адгезійно-міцнісні характеристики клейової системи, зокрема адгезійна здатність захисних покриттів на основі малонаповнених ЕКМ до матеріалу субстрату, вимагають пошуку шляхів досягнення максимуму значень даної характеристики.

При її дослідженні найбільш дієвим є метод «грибків», що дозволяє оцінити границю міцності при розтязі. Також достатньо багато інформації можна отримати при аналізі поверхонь руйнування клейового шва. Однак, отримані зображення при зоровому сприйнятті або скануванні та наступній цифровій обробці через існуючі світлові відтінки (сіра сталева основа та напівпрозорий полімер) не дають повної уяви про стан поверхні та характер взаємодії. Для підвищення контрастності зображень розроблено технологію з використанням індикативної речовини.

Постановка задачі. Метою роботи є порівняльна оцінка адгезійної міцності епоксидних клейових композицій різними методами.

Результати досліджень. В якості матриці використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) та твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78). Для армування композиції використано комплекс наповнювачів.

Приготування композиції починалося із механічного вимішування попередньо просушених наповнювачів з епоксидною смолою та твердником у вибраному стехіометричному співвідношенні. Композицію поміщали у спеціальну форму з поперечним перерізом 10×10 мм. Тверднення епоксикомпозитів тривало 24 год при нормальних умовах. Додаткову термічну обробку здійснювали у печі, відхилення температури в якій не перевищувало ±2 °С. Для уникнення високих залишкових напружень для зразків застосовано ступінчастий режим, який полягав у нагріві до температур 50 °С та 100 °С з витримкою по 1 год, далі – до 140 °С з витримкою 4 год.

Оцінку адгезійної міцності проводили двома шляхами: вимірюванням адгезійної міцності методом розриву і новим методом оцінки адгезійної міцності за відсотковим співвідношенням площі поверхні розриву з допомогою комп’ютерної програми Photom 3.1.1. Оцінку адгезійної міцності епоксидних композитів шляхом кількісного аналізу клейового шва з допомогою комп’ютерного продукту здійснюють у такій послідовності: формують епоксидну композицію відповідного складу; ЕКМ з різними співвідношеннями масових частин наносять на попередньо підготовлені зразки (сталеві грибки) з подальшою його термічною обробкою; руйнування клейового шва проводять на розривній машині; для отримання контрасту між клейовою композицією і поверхнею металу виконують травлення першої шляхом нанесення на досліджувану поверхню індикаторної речовини (розчин йоду); здійснюють технологічну витримку зразків протягом однієї доби з метою отримання чіткого зображення на поверхні адгезійного розриву; з допомогою мікроскопа і цифрового фотоапарата фіксують зображення і переводять його в електронний варіант; обробку фотографій здійснюють з допомогою комп’ютерних програм Adobe Photoshop та Photom 3.1.1.

В результаті досліджень показано, що відповідні значення адгезійної міцності корелюють з когезійним характером руйнування клейового шва. Найбільші значення

адгезійної міцності спостерігаються при вмісті пластифікаторів в концентраційному діапазоні 20…30 мас. ч. за рахунок досягнення оптимальної щільності структурної сітки полімеру.

Висновки. Проаналізовано методи оцінки адгезійної міцності епоксидних полімерів. Запропоновано новий метод оцінки адгезійно-міцнісних характеристик ЕКМ шляхом комплексного аналізу двовимірного цифрового зображення за допомогою програмного продукту Photom 3.1.1. Отримані результати показали кореляційний зв'язок між стандартною та розробленою методиками. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення можливостей застосування цієї методики для аналізу адгезійних характеристик ЕКМ з різним ступенем наповнення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Кальба Є.М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. – Тернопіль: Збруч, 2005. – 182 с.

2. Савчук П.П. Наукові і технологічні основи створення та керованого функціонування епоксидних композитів з різним ступенем наповнення: дис… д-ра техн. наук. 05 02.01 – Київ: ІПМ, 2010. – 320 с.

3. Кербер М. Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии: учебное пособие / Кербер М. Л. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.

4. Андреева А. В. Основы физикохимии и технологии композитов: Учеб. пособие для вузов / Андреева А. В. – М.: ИПРЖР, 2001. – 192 с.

НАУКОВІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРИБОСИСТЕМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Савчук П.П., Кашицький В.П.
Луцький національний технічний університет (Україна)

Вступ. Розвиток машинобудівної галузі потребує використання нових триботехнічних матеріалів з високими експлуатаційними та технологічними властивостями, які мають низьку собівартість виготовлення. Значний прогрес в створенні нових конкурентоздатних триботехнічних матеріалів на основі епоксидної матриці був досягнутий науковими школами академіка НАНУ А.Г. Косторнова, професорів П.Д. Стухляка, Є.М. Кальби (Україна), В.А. Бєлого, П.Н. Богдановича (Білорусія), І.В. Крагельського (Росія) тощо. Основні дослідження при цьому були направлені на встановлення закономірностей взаємодії компонентів у композитній системі та вивчення механізмів деформаційних та структурних перетворень в зоні трибоконтакту. Встановлено, що висока когезійна міцність матеріалу до різного роду навантажень в значній мірі залежить від природи та властивостей вибраних наповнювачів, які, окрім армування, виконують також мастильну функцію. Це сприяє стабілізації процесу тертя за рахунок формування стійких поверхневих плівок з низьким опором зсуву та високою адгезією до поверхні контртіла.

Актуальність досліджень. Застосування полімерів дозволяє значно скоротити витрати дорогих матеріалів та знизити енерговитрати, тому перспективними матеріалами для підшипників ковзання є полімеркомпозити на основі термопластів та термореактивних смол. Порівняно з іншими полімерними матрицями широке застосування в техніці знайшли епоксиполімери, які вирізняються високими адгезійно-міцнісними властивостями, однак обмежено використовуються як основа триботехнічного матеріалу через високі крихкість та коефіцієнт тертя [1]. Однак, відомі матеріали не в повній мірі задовільняють споживача через недостатню когезійну міцність, термо- та зносостійкість епоксикомпозитних систем. Тому створення високоефективних триботехнічних матеріалів для заданих і особливо екстремальних умов експлуатації (високі навантаження і швидкості ковзання, глибокий вакуум, знакозмінні температури, великий ресурс роботи і надійність, малий час припрацювання тощо) є актуальною проблемою матеріалознавства. Використання епоксикомпозитних матеріалів (ЕКМ) у вузлах тертя без підводу мастила при жорстких навантажувально-швидкісних режимах потребує введення до їх складу термостабілізуючих добавок, які б виступали сповільнювачами деструктивних процесів при виникненні високих температур в зоні трибоконтакту. В цьому плані перспективним є модифікування епоксиполімерів кремнійорганічними сполуками. Однак, на сьогодні недостатньо вивчені механізми структурування та процеси, що відбуваються при формуванні та експлуатації епоксикремнійорганічних наповнених композитних матеріалів.

Постановка задачі. Метою досліджень є узагальнення результатів фрикційних досліджень полімеркомпозитних матеріалів, їх хімічної стійкості та впливу модифікуючих добавок, наповнювачів різної природи і фізичних полів на фізико-механічні та триботехнічні характеристики створених епоксикомпозитів.

Результати досліджень. Як матеріал основи використали епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20, яку структурували поліетиленполіаміном (ПЕПА). Як модифікатори переважно застосовували кремнійорганічні сполуки [2]. Для наповнення системи застосовано комплекс функціональних добавок з порошків лускатого графіту, фторопласту, оксиду міді, а також подрібнене механічним способом вуглецеве волокно.

Кількісний вміст інгредієнтів розраховували у масових частинах на 100 мас. ч. епоксидної смоли. Вміст вуглецевого волокна використовували в кількості 2,0 мас. ч., ЛГ – 8,0 мас. ч., УФ – 14,0 мас. ч., порошку оксиду міді змінювали в межах 5…200 мас. ч.

Дослідження макро- та мікроструктури матеріалу проводили на оптичному мікроскопі МБС-9 при збільшенні (х30) та металографічному мікроскопі МИМ-10 (х400...600). Дослідження топографії поверхонь трибоконтакту та фрактограми зламу досліджували на скануючому електронному мікроскопі SUPERPROBE 733 (фірми JEOL, Японія) при прискорюючій напрузі 25 кВ.

Дослідження триботехнічних характеристик проводили на машинах тертя М-22П та СМЦ-2 за схемою «диск-сегмент втулки» в умовах сухого тертя. Шлях тертя становив 2000 м при навантаженні 1 МПа та 1,5 МПа відповідно. Швидкість ковзання змінювали від 0,5 до 4,0 м/с. Аналіз топографії поверхонь трибоконтакту здійснювали на скануючому електронному мікроскопі SUPERPROBE 733 та модульному комплексі Dimic 1000, що являє собою оптичну 3D-систему контролю [3].

Дослідження структури епоксидного композиційного матеріалу проводили, застосовуючи метод пластмасографії, а наповнених графітом композитів – з додатковою плазмохімічною обробкою поверхні шліфів у полі високочастотного газового розряду на установці ВУП-5М. У роботі також використано установки для обробки епоксидних композицій на стадії формування ультразвуком та ультрафіолетовим опроміненням. Термостійкість композитів оцінювали методом диференціально-термічного аналізу на дериватографі Паулік-Паулік-Ердей, а фізико-механічні характеристики визначали за стандартними методиками [2]. Характеристики ЕКМ оцінювали за стандартними методиками, а аналогів за літературними даними.

Висока однорідність систем забезпечується обробкою композицій на стадії формування у фізичних полях, що викликає необхідність вивчення їх впливу на характер структурування та властивості ЕКМ.

Введення модифікаторів до складу епоксидних олігомерів приводить до зміни характеру структурування макромолекулярної сітки матриці і формування тривимірної структури з заданими параметрами. Направлений вплив дозволяє регулювати фізико-механічні [4] та триботехнічні характеристики у широких межах. Відомо [5], що зниження ступеня структурування може привести до зменшення усадки під час твердження, а підвищення щільності міжмолекулярного зшивання – до підвищення хімічної стійкості та термостійкості епоксидного полімеру.

Однак, надто висока щільність зшивання підвищує крихкість матеріалу. Так, найменшим зносом характеризуються композити з оптимальним ступенем зшивання олігомеру. У роботі [6] відмічено, що при незавершених процесах полімеризації епоксидний композиційний матеріал має низьку когезійну міцність і є непридатним для експлуатації. Формування матеріалу з високим ступенем зшивання полімерної матриці супроводжується зменшенням рухливості елементів сітки полімеру. Понижена рухливість окремих ділянок макромолекул затрудняє протікання релаксаційних процесів, що приводить до появи у цих ділянках залишкових напружень на структурних елементах тривимірної сітки в’яжучого [4]. Такі напруження збільшують небезпеку утворення мікродефектів в об’ємі полімеру та різко зменшують межу фрикційно-контактної втоми матриці. Інтенсивність протікання втомних процесів визначає стійкість матеріалу до спрацювання.

Загалом, регулювання параметрів структурної сітки полімерної матриці відбувається шляхом фізичного та хімічного модифікування. Вибір модифікатора визначається його впливом на матрицю. При задовільній сумісності олігомеру-модифікатора з епоксидною смолою відбуваються процеси сумісної поліконденсації, що призводить до формування в затвердлих матеріалах більш міцної та гнучкої тривимірної макромолекулярної сітки. Введення фенолформальдегідних олігомерів до складу епоксидної основи приводить до зниження внутрішніх напружень у композитному

матеріалі, оскільки інтенсифікуються процеси їх релаксації на границях розділу епоксидних й фенолформальдегідних фрагментів матриці. Відомо, що введення лінійних полімерів до складу епоксидної основи викликає утворення взаємопроникної системи із сітчастого й лінійного полімерів. Повне молекулярне взаємопроникнення спостерігається лише при абсолютній взаємній розчинності, а в багатьох випадках відбувається фазове розділення компонентів. Тому взаємопроникнення на молекулярному рівні може здійснюватися на границі розділу фаз.

У праці [6] розглянуто каталітичний вплив полівінілового спирту на полімеризацію епоксидної смоли при твердинку ПЕПА. При цьому підвищується швидкість тверднення в'яжучого, що при збереженні однакових режимів тверднення приводить до формування в об'ємі композиту тривимірної сітчастої структури з вищим ступенем зшивання, ніж при твердненні немодифікованої матриці. Введення полівінілового спирту збільшує опір зношуванню внаслідок появи взаємопроникних сіток, які характеризуються підвищеною швидкістю релаксації напружень, що виникають при фрикційній взаємодії. При надлишковому вмісті модифікатора спостерігається зниження зносостійкості, що пояснюється збільшенням гетерогенності матеріалу.

Регулювання триботехнічних характеристик ЕКМ також здійснюють введенням органічних та мінеральних наповнювачів. Характер та степінь впливу наповнювача на властивості ЕКМ залежать від природи, структури, вмісту наповнювача, форми, розміру, взаємного розташування частинок або волокон. Взаємодія полімеру з наповнювачем визначається хімічною природою цих матеріалів і характером поверхні наповнювача. Наповнювачі повинні добре змочуватись полімером до утворення однорідних композицій і містити функціональні групи, здатні брати участь в утворенні хімічного зв'язку з матрицею. Чим вищий вміст наповнювача, тим більше створюється перешкод для розвитку тріщини. При зростанні вмісту наповнювача зменшення зносу пояснюють формуванням фактичної площі контакту за рахунок частинок наповнювача, зносостійкість яких вища зносостійкості матриці. Формування матеріалу з високою адгезійною міцністю та низькими внутрішніми напруженнями на границі розділу фаз є основною умовою підвищення фізико-механічних властивостей епоксикомпозиту.

Введення до складу епоксидної матриці антифрикційних дисперсних наповнювачів зумовлює підвищення триботехнічних характеристик композиту, а неантифрикційних, які мають вищу теплопровідність і зносостійкість, ніж епоксидний полімер, дозволяє знизити інтенсивність зношування полімерних покриттів і підвищити верхню температурну межу працездатності пари тертя. Автори це пояснюють армувальною дією наповнювачів та підвищенням теплопровідності композиту.

Введення дрібнодисперсних органічних та мінеральних наповнювачів перешкоджає в повній мірі зшиванню епоксидного олігомеру. Це пов'язано з специфікою міжфазних явищ взаємодії полімерів з наповнювачами, оскільки на їх поверхнях адсорбуються не тільки ізольовані полімерні молекули, але й агрегати молекул та інші надмолекулярні утворення, тому при використанні наповнювачів різної хімічної природи спостерігається селективна адсорбція компонентів в'яжучого на границі розділу. Це пов'язано із зниженням реакційної здатності матриці внаслідок переходу епоксидного полімеру на поверхні часток наповнювача у стан граничних шарів, в яких відбувається суттєве зниження рухливості його макромолекул [2], що сприяє розвитку дефектів, утворенні додаткової структурної неоднорідності, зниженню механічних властивостей композитів в цілому.

З метою надання високої міцності і стійкості до ударних і вібраційних навантажень композитні матеріали на основі епоксидних смол підсилюють, армуючи їх вуглецевими волокнами [7]. У роботі розглянуто особливості армування композиту волокнистим наповнювачем, попередньо суміщеного з полівініловим спиртом. При цьому відбувається збільшення ступеня зшивання полімерної матриці за рахунок утворення перехідної зони, збагаченої полівініловим спиртом, яка забезпечує необхідну взаємодію як з матрицею, так

і з волокном. Утворення перехідної зони, більш пластичної, ніж сама матриця, приводить до зменшення швидкості утворення і поширення мікротріщин на границі розділу фаз при фрикційній взаємодії.

Зношування високомолекулярних з'єднань залежить, головним чином, від структурної будови полімерної матриці та її фізико-механічних властивостей. Фрикційна взаємодія контактуючих поверхонь є сукупністю механічного й температурного впливів на тверді тіла, що приводить до деформаційних і структурних змін матеріалів в зоні тертя, завдяки яким тонкий поверхневий шар насичується киснем, елементами контактного матеріалу. В ньому відбувається розрив хімічних зв'язків та утворення вільних радикалів, що зумовлює фрагментацію поверхневого шару і появу мікропустот.

Триботехнічні характеристики композитних матеріалів залежать від фізико-хімічних явищ в зоні фрикційної взаємодії полімеру з металом, які пов'язані з конкуруючою дією процесів структурування й деструкції. Тертя при температурі 293 К викликає в епоксикомпозитному покритті переважно процеси структурування з утворенням нових хімічних зв'язків, що супроводжується структурними й фазовими перетвореннями та переходом всієї поверхні системи у більш вигідний енергетичний стан, в результаті чого утворюються більш термостійкі структури. Підвищення температури в вузлі тертя призводить як до деструкції в'яжучого, так і до структурних перетворень полімерної матриці. Властивості матеріалу, його склад і структура в поверхневих шарах піддаються неперервним змінам, внаслідок чого на робочих поверхнях контакту можуть утворюватись вторинні структури, які впливають на зносостійкість пари тертя.

Відомим способом регулювання триботехнічних характеристик епоксикомпозитів є формування прошарків «третього тіла», розміри, структура, склад та тривалість існування яких визначають коефіцієнт тертя та зносостійкість системи. Їх утворення відбувається в результаті вибіркового переносу при відсутності зовнішнього підведення мастила. Інтенсивність формування «третього тіла» визначається трибохімічними процесами, що протікають у зоні фрикційного контакту між поверхнями спряжених тіл. Автори робіт [8, 9] формування елементів «третього тіла» в полімерних матеріалах й композитах на їх основі пов’язують з виникненням імпульсів теплової та механічної енергії, під дією яких збільшується сегмента рухливість макромолекул, розриваються зв’язки і утворюються активні центри – реакційноздатні макрорадикали. Останні, взаємодіючи з поверхнею контртіла, наповнювачами й оточуючим середовищем, утворюють нові структури з відмінним від вихідної системи степенем структурування. У подальшому відбувається поступовий розрив перенапружених і ослаблених тепловим впливом зв'язків та забезпечується тим самим поява й розвиток мікродефектів, руйнування поверхневого шару. При цьому від основного матеріалу відділяються частинки, які переносяться на поверхню контртіла або видаляються з зони фрикційного контакту.

Вибіркове перенесення при терті є явищем протилежним зношуванню. Під час тертя при зношуванні всі процеси в зоні контакту зводяться до руйнування поверхні, а процеси при вибірковому перенесенні необоротні і відносяться до самоорганізованих процесів неживої природи. На практиці даний ефект проявляється не повністю через специфічні умови роботи вузлів тертя. Тому ефект незношування досягається не у всіх випадках. Під цим ефектом розуміють принцип, на основі якого зменшуються сили тертя і інтенсивність зношування деталей.

Досліджено, що вибіркове перенесення можуть реалізувати наступні метали: Sn, Pb, Cu, Ag, Au, Cr, Fe, Co, Ni. Вони можуть бути використані у різних парах тертя.

Фізичними основами зменшення зношування і сил тертя за вибіркового перенесення є: здійснення контакту поверхонь тертя через пластично-деформовані м'який і тонкий шари міді, запобігання процесу окислювання металу на поверхні тертя, реалізація ефекту Ребіндера, перенесення частинок з однієї поверхні тертя на іншу й утримання їх у зоні контакту електричним полем, утворення продуктів полімеризації мастильного матеріалу на поверхні сервовитної плівки, захист поверхонь тертя від водню.

Матеріал плівки переносу істотно відрізняється від матеріалу основного металу за складом і властивостями – це продукт вибіркового розчинення. Металева захисна плівка, яка утвориться в процесі тертя, являє собою речовину (у цьому випадку метал), утворену потоком енергії, що існує в процесі тертя. Тертя не може знищити плівку, воно її створює. Утворення захисної плівки належить до нового класу самоорганізованих явищ неживої природи. Унаслідок деформування сервовитна плівка не руйнується і не піддається втомному руйнуванню. Вона сприймає всі навантаження, покриваючи шорсткі поверхні сталевих деталей, які майже не беруть участі у процесі тертя. Механізм її формування ще недостатньо з'ясований, хоча властивості досліджені багатьма сучасними методами.

Зниження коефіцієнта тертя композиту обумовлено зменшенням опору зсуву в плівці переносу через виникнення в ній площин легкого ковзання внаслідок адсорбції газів, парів й низькомолекулярних оксидних з'єднань на поверхні частинок графіту. Плівки переносу, екрануючи взаємодію епоксидного полімеру й металевого контртіла, зменшують адгезійну взаємодію між спряженими поверхнями. Це сприяє зниженню швидкості накопичення дефектів в матеріалі та підвищує його зносостійкість.

Фізико-хімічні дослідження структури сервовитної плівки дали підставу висловити припущення, що матеріал плівки перебуває в стані, подібному до розплавленого. Вона не здатна до наклепу, має малі зсувні зусилля, пориста. Плівка у верхній частині не має оксидів, здатна до схоплювання, під час тертя її частинки можуть переходити з однієї поверхні тертя на іншу, тобто схоплюватися без утворення пошкоджень і збільшення сил тертя. Тертя бронзи по сталі в умовах ВП подібне ковзанню тіла по льоду, за якого низький коефіцієнт тертя замість води забезпечує плівка розплавленого металу [10-13].

Для підвищення навантажувальної здатності мастильної плівки під час тертя в мастильний матеріал можуть вводити спеціальні домішки (наприклад, суміш метилового ефіру багатоосновної кислоти поліамінів), які у процесі тертя полімеризуються і створюють на поверхнях тертя додатковий захисний шар, який запобігає їх безпосередньому контактуванню. Однак в умовах граничного мащення утворенню такої плівки перешкоджає оксидна плівка.

Ефективне формування плівки переносу спостерігали при терті графітопластів, що яскраво висвітлено у роботах авторів. В результаті високої адгезійної здатності графіту до металу в зоні тертя відбувається перенос графіту на стальну поверхню, що суттєво покращує антифрикційні властивості трибопари.

На підставі розглянутого прикладу можна стверджувати, що тертя може супроводжуватись еволюційними процесами, в результаті яких руйнування поверхонь стає другорядним. Головним є характер тертя, який зумовлений обміном вузла тертя із зовнішнім середовищем енергією і речовиною, а також колективним поводженням іонів міді, з яких формується тонка мідна плівка, що захищає поверхні тертя від зношування.

Самоорганізація не є універсальною властивістю матерії й існує лише за певних внутрішніх і зовнішніх умов. Разом із тим, дана властивість не пов'язана з якимось особливим класом речовин.

Експериментально встановлено, що введення наповнювачів в оптимальних концентраціях (3...6 мас.ч.) покращує адгезійно-міцнісні та теплофізичні характеристики епоксикомпозитів. Найвищі значення адгезійної міцності (σ_a = 33,5 МПа) мають епоксикомпозити наповнені ультрадисперсним фторопластом в інтервалі 3...6 мас. ч. Для композитів наповнених оксидом міді та лускатим графітом, зростання досліджуваної характеристики характерне при наповненні до 4 мас. ч., що відповідає високому ступеню структурування та низьким внутрішнім напруженням. Встановлено, що найвищі значення межі міцності при стисканні (σ_{cm}=119,4 МПа) зафіксовано для порошку оксиду міді при максимальному наповненні (16 мас.ч.); подрібнене вуглеволокно підвищує ударну міцність епоксиполімерів у 22,5 рази при концентрації 0,9 мас.ч. порівняно з ненаповненим епоксиполімером.

Введення наповнювачів до епоксидної матриці в оптимальному співвідношенні призводить до зниження термічного коефіцієнта лінійного розширення у 1,7 раз порівняно з ненаповненою системою. Встановлено, що межа теплостійкості для епоксиполімеру становить 340 К, а для наповненого епоксикомпозиту – 380 К, що вказує на кращу стабільність наповненої системи при високих температурах.

Найвищі значення адгезійної міцності (σ_a = 39,2 МПа) отримано для епоксикремнійорганічних полімерів термічно оброблених при 483 К з вмістом модифікатора 30 мас.ч., для яких зафіксовано найнижчі залишкові напруження ($\sigma_{вн}$ = 0,17 МПа) та найвищий ступінь зшивання (G = 94,1 МПа), що пов'язано з позитивним впливом кремнійорганічної складової, особливо в діапазоні високих температур.

Направлене введення в епоксиполімерну систему кремнійорганічної складової в кількості 30 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли при додатковому високотемпературному термічному впливі (Тк = 483 К) дозволяє отримати матеріали з високою зносостійкістю (I_g = 0,5 мг/км) при питомому навантаженні 1,2 МПа та швидкості ковзання 1,5 м/с за рахунок формування оптимальної структурної сітки епоксиполімерної матриці та стабілізації процесів в зоні трибоконтакту внаслідок утворення самоорганізованих структур.

Додаткова комплексна обробка композиції на стадії формування у фізичних полях знижує інтенсивність зношування у 1,7 рази та підвищує навантажувальну здатність епоксикомпозитів до 1,4 МПа за рахунок утворення додаткових вузлів зшивання епоксиполімерної матриці та формування однорідної структури.

Для дослідження триботехнічних характеристик були сформовані епоксикомпозити з комплексним вмістом функціональних наповнювачів (табл. 1).

Для зразків, наповнених товстим базальтовим волокном (50…500 мкм) спостерігається підвищення міцності при стисканні на 13,17 % із збільшенням його вмісту від 2 мас. ч. до 100 мас. ч., а вмісту CuO – від 50 мас. ч. до 150 мас. ч (табл. 2). Із подальшим підвищенням вмісту базальтового волокна до 150 мас. ч. відбувається зниження міцності при стисканні на 6,56 %.

При наповненні епоксидних систем супертонким базальтовим волокном (1…3 мкм) в кількості 2 мас. ч. і збільшенням вмісту CuO від 50 мас. ч. до 100 мас. ч. спостерігається підвищення міцності при стисканні на 13,30 %. При подальшому збільшенні вмісту супертонкого базальтового волокна і порошку CuO відбувається значне зниження даної характеристики. Максимальне значення міцності при стисканні σ_c = 134,39 МПа зафіксовано для зразка №5. Підвищення міцності при стисканні даних композитів пояснюють високою взаємодією наповнювачів із матрицею, що призводить до максимального зшивання полімеру. Зниження пов'язане із утворенням недостатньої кількості хімічних і фізичних вузлів через низьке змочування наповнювачів матрицею.

Таблиця 1. Склад епоксикомпозитних матеріалів

№ зразка	Вміст базальтового волокна, мас. ч.		Вміст CuO, мас. ч.
	товсте	супертонке	
1	2	–	50
2	2	–	100
3	2	–	150
4	50	–	150
5	100	–	150
6	150	–	150
7	–	2	50
8	–	2	100
9	–	2	150
10	–	50	150

Збільшення швидкості ковзання при навантаженні P = 1,8 МПа призводить до зростання інтенсивності зношування в 1,7…3,5 рази.

Експериментально встановлено, що найменша інтенсивність зношування при заданих режимах навантаження спостерігається для зразка №5, наповненого 150 мас. ч. CuO, яка досягається в результаті стабілізації тертя за рахунок відновлення міді на поверхні епоксикомпозиту та перенесенням її на поверхню контртіла.

Для зразка №5 при терті спостерігається зменшення інтенсивності зношування за рахунок вибіркового перенесення відновленої міді з епоксикомпозиту на стальну поверхню контртіла. В результаті даного ефекту на поверхні контртіла починають утворюватись фрагменти плівки, яка характеризується низьким опором зсуву та легко відновлюється в процесі трибовзаємодії [11]. Після того, як поверхні тертя покриються мідною плівкою, пара тертя КМ-сталь стає парою мідь-мідь і процес перенесення міді сповільнюється.

Згідно ряду Вольта в місцях контакту стальне контртіло матиме від'ємний, а композит, який містить оксид міді, – позитивний заряд. В тих місцях, де відсутні контактуючі ділянки, завдяки електрохімічній дії протікають окисно-відновні реакції. Рух електронів відбувається від більш від'ємного матеріалу пари тертя (сталь) до більш позитивного (композит). Одночасно розпочинається рух іонів міді, які переходять на поверхню контртіла, де адгезійно з'єднуються з нею. Такий саморегулюючий процес відбувається до моменту коли на обох поверхнях пари тертя не утвориться плівка з відновленої міді [10]. Процес відновлення міді та інтенсивніше перенесення її в більшій мірі на контртіло спостерігається для третього зразка порівняно з першим, оскільки він має більший вміст оксиду міді. В результаті цього відбувається стабілізація процесу тертя, що супроводжується зменшенням інтенсивності зношування.

Встановлено, що поверхні зразків мають включення відновленої міді, які займають 58,13 %, 64,84 %, 54,17 % і 40,86 % площі поверхні відповідно. Це свідчить, що при терті даних епоксикомпозитів виникає ефект ВП, тобто іони відновленої міді переносяться на контртіло, утворюючи на його поверхні мідну плівку, в результаті чого і відбувається стабілізація тертя.

Епоксикомпозити, наповнені порошком оксиду міді, показали себе матеріалами з високими триботехнічними властивостями. При їх терті спостерігається встановлення ефекту ВП, що призводить до стабілізації процесу тертя. В результаті чого відбувається зниження інтенсивності зношування. Отже, дані матеріали придатні для використання в триботехнічних парах.

ЕКМ характеризуються високими фізико-механічними властивостями та хімічною стійкістю полімерної основи. Введення металевих наповнювачів підвищує механічні характеристики епоксикомпозитних матеріалів, однак при цьому відбувається зміна корозійної стійкості. Тому необхідно дослідити вплив хімічного складу та вмісту дрібнодисперсних наповнювачів на корозійну стійкість епоксикомпозитів [14].

Розроблені ЕКМ містять металеві (мідь, бронза, залізо) та мінеральні наповнювачі (оксид міді). Твердження зразків відбувалося за нормальних умов протягом 24 год. Для уникнення високих залишкових напружень в матеріалі застосовано ступінчастий режим термічної обробки, який передбачав нагрівання в печі до температур 50 та 100 °С з витримкою 1 год, а далі – до 120 °С з витримкою 4 год.

Встановлено, що для більшості композитів збільшення маси відбувається внаслідок переважання процесів водопоглинання. Досліджено, що найменшу корозійну стійкість мають матеріали, наповнені залізом. Це можна пояснити достатньо високою хімічною активністю заліза порівняно із міддю. Під час перебування епоксикомпозитних зразків наповнених залізом у розчинах хлоридної і сульфатної кислот на поверхні спостерігається виділення бульбашок газу (H_2), який негативно впливає на триботехнічні властивості виробу та його корозійну стійкість. Тому використання даного наповнювача обмежує застосування трибоматеріалів з нейтральним або лужним середовищем. Часткове

розчинення встановлено також для зразків наповнених оксидом міді, однак виділення газу при цьому не відбувається.

Встановлено, що процесі досліджень зовнішній вигляд зразків практично не змінився. Отже, отримані ЕКМ характеризуються високою хімічною стійкістю, оскільки зміна маси у середньому становить 0,9…1,5 % після 500 год експозиції. В результаті можна стверджувати, що розроблені матеріали можливо використовувати у триботехнічних системах, які піддаються впливу хімічно активних середовищ.

Висновки. Доведено, що для композитних самозмащувальних матеріалів високі триботехнічні характеристики і їх стабільність функціонально адаптовані до умов експлуатації. Це додатково підтверджується при проведенні триботехнічних досліджень на повітрі. Серед характеристик адаптованої здатності і надійності функціонування трибосистем в екстремальних умовах важливе значення має така узагальнена характеристика як “незношуваність”, під якою розуміють закладену в композитний матеріал вузла тертя здатність до відновлення експлуатаційних властивостей при відхиленні від заданих умов роботи. Створення композитного матеріалу, який працюватиме в режимі вибіркового перенесення дозволить ще й додатково скоротити розхід кольорових металів, підвищити довговічність машин, понизити їх вартість та обслуговування. На сьогодні вибіркове перенесення залишається найефективнішим захистом від водневого зношування для багатьох деталей. Оскільки утворена мідна плівка знижує навантаження до рівнів, за яких утворення водню майже не відбувається і є ефективним бар’єром від проникнення водню в сталь.

Важливим аспектом є дослідження особливостей перетвореннь для забезпечення керованості процесів, які відбуваються в зоні трибоконтакту при фрикційній взаємодії для підвищення ресурсу роботи трибовиробів. Направлене формування полінаповнених ЕКМ дозволяє суттєво підсилити їх експлуатаційні характеристики. Тому важливим є комплексний вплив мінеральних та органічних різнофункціональних наповнювачів на структуроутворюючі процеси, фізико-механічні та теплофізичні характеристики епоксикомпозитів.

Застосування самозмащувальних ЕКМ у вузлах тертя, де небажане або неможливе зовнішнє підведення мастил, на сьогодні є все більш актуальним. Важливим елементом забезпечення самозмащування є процес фрикційного ВП, тобто утворення в зоні тертя генерованого трибоматеріалами суцільного або фрагментарного прошарку (третього тіла), який відділяє поверхні контакту і активно впливає на величину й характер тертя та зношування, сприяє самоорганізації трибосистеми. При цьому фрикційний перенос і розробка на його основі методів підвищення зносостійкості пар тертя відкриває новий етап у розвитку триботехніки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Близнец М.М., Холодилов О.В., Кузьменкова Е.И. Влияние органических модификаторов и структурирующихся наполнителей на морфологию продуктов изнашивания эпоксидного полимера // Трение и износ. – 1991. – Т. 12. –№4. – С. 752-754.

2. Кашицький В.П. Розробка захисних покриттів з підвищеною зносостійкістю на основі епоксидних композитів, модифікованих кремнійорганічним лаком КО-921: Автореф. дис... к-та техн. наук: 05.02.01 - Луцьк: ЛДТУ, 2006. - 20 с.

3. Савчук П. П. Особливості застосування епоксидних композиційних матеріалів у триботехніці / П. П. Савчук // Проблеми трибології. – 2008. – № 4 (50). – С. 120-125.

4. Савчук П.П. Наукові і технологічні основи створення та керованого функціонування епоксидних композитів з різним ступенем наповнення: дис… д-ра техн. наук. 05 02.01 – Київ: ІПМ, 2010. – 320 с.

5. Клочихин В.И., Стухляк П.Д. Некоторые особенности трения и изнашивания покрытий на основе эпоксидного композита в условиях работы цилиндрического шарнира // Трение и износ. - 1988. -Т. 9. -№5. - С. 897-902.

6. Свириденок А.И. Роль фрикционного переноса в механизме самосмазывания композиционных материалов // Трение и износ. - 1987. - Т. 8. - №5. - С. 773-778.

7. Сиренко Г.А., Свидерский В.П., Намошкалова Н.Л., Дробот О.С. Поиск оптимального состава антифрикционного карбоволокнита при одновременном варьировании количественных и качественных факторов // Трение и износ. – 1987. – Т. 11. – №5. – С. 901-906.

8. Богданович П.Н., Белов В.Н. Тепловые процессы в зоне контакта трущихся тел // Трение и износ. - 1992. -№4. _т. 13.-С. 624-632.

9. Савкин В.Г., Смуругов В.А. Адгезия и перенос материала при трении полимеров // Трение и износ. - 1983. - Т. 4. - №1. - С. 34-39.

10. Трибологія: [підруч.] / [Кіндрачук М.В., Лабунець В.Ф., Пашечко М.І., Корбут Є.В.]. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту “НАУ-друк”, 2009. – 392 с.

11. Кашицький В.П. , Савчук П.П., Будкіна О.Л., Редько Р.Г. До питання про реалізацію ефекту вибіркового перенесення в епоксикомпозитах, додатково наповнених оксидами міді // Науковий вісник ХДМІ: науковий журнал – Херсон: Видавництво ХДМІ, 2011. – № 1 (4). – С. 190-197.

12. Савчук П.П., Кашицький В.П., Садова О.Л. Наукові передумови та світова практика реалізації явища «вибіркового перенесення» в полімеркомпозитах при навантаженні тертям // Наукові нотатки. – Луцьк. 2011. – С. 236-240.

13. Кашицький В.П.. Савчук П.П., Садова О.Л. Трибологічні процеси та структурні перетворення в поверхневих шарах полімеркомпозитів при навантаженні тертям // Проблеми трибології. – Хмельницьк. 2011. – № 4 (62). – С. 103-107.

14. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Кальба Є.М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. – Тернопіль: Збруч, 2005. – 182 с.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРИБОСИСТЕМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПОЛІНАПОВНЕНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ

Садова О.Л., Кашицький В.П., [1]Савчук П.П., [2]Костенко О.Д.
[1]Луцький національний технічний університет (Україна)
[2]Інститут проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАН України (Україна)

Вступ. Тертя є складним процесом взаємодії контактуючих твердих тіл, що супроводжується складними структурними перетвореннями, які відбуваються в поверхневих шарах трибодеталей. В результаті на робочих поверхнях можуть утворюватись продукти зношування і вторинні структури, які впливають на зносостійкість пари тертя. Опір поверхневого шару матеріалу, сили адгезії і механізм зношування неперервно змінюються під впливом зовнішніх факторів. Тому зміну стану робочого поверхневого шару можна розглядати як деяку послідовність переходу із одного фізичного стану в інший, який придатний для динамічного впливу. Тому при терті актуальним є не стільки вихідна структура матеріалу, скільки стан поверхневого шару, трансформація якого забезпечить стабільну експлуатацію трибосистеми [1-5].

Актуальність досліджень. Актуальною проблемою трибоматеріалознавства є створення високоефективних триботехнічних матеріалів для заданих і особливо екстремальних умов експлуатації (високі навантаження і швидкості ковзання, глибокий вакуум, знакозмінні температури). Досягнуті значні успіхи в створенні нових матеріалів на основі вуглецю, полімерних композиційних матеріалів, високотемпературних та аморфних матеріалів, ультрадисперсних та нанокристалічних тощо.

Можливість поєднання різноманітних компонентів у композитах дозволяє створювати нові матеріали триботехнічного призначення з комплексом керованих властивостей, що дозволяє зменшити енергетичні та матеріальні витрати [4, 6, 7]. Актуальною задачею є створення композитних трибоматеріалів, які здатні до самоорганізації, що дозволяє відмовитись від використання дорогих мастильних матеріалів. Виникнення явища самоорганізації у вузлах тертя призводить до зниження інтенсивності зношування, за рахунок формування стійких структур та стабілізації процесу тертя, що підвищує довговічність деталей трибопар.

Постановка задачі. Метою роботи є оптимізація технологічних параметрів формування епоксикомпозиційних матеріалів для покращення їх конструкційних та триботехнічних властивостей.

Результати досліджень. Формування композиції на основі епоксидно-діанової смоли марки ЕД-20 полягало у механічному вимішуванні з твердником (ПЕПА) та попередньо просушених наповнювачів у вибраному стехіометричному співвідношенні. Склад досліджуваного матеріалу зразка поданий в таблиці 1.

Науковий інтерес полягав у визначенні триботехнічних характеристик епоксикомпозитних зразків, сформованих під тиском і за нормальних умов. Для уникнення високих залишкових напружень застосовано ступінчастий режим основної термічної обробки (ТО), який полягав у ступінчастому нагріванні зразків у печі до температур 50 °С та 100 °С з витримкою 1 год., а далі – до 140 °С з витримкою 4 год.

Таблиця 1. Склад епоксикомпозитного матеріалу

Основа матриці	Наповнювач	Вміст наповнювача, мас. ч.
ЕД-20+ПЕПА	CuO	100
	Cu	16
	ВВ	2

Експериментально встановлено, що при режимі тертя (P = 0,9 МПа, V = 1,21 м/с, S = 3 км) інтенсивність зношування зразка сформованого за тиску пресування 150 МПа є

нижчою в 2,3 рази, порівняно із зразком сформованого без тиску. За питомого навантаження $P = 1{,}2$ МПа, зафіксовано, що дана характеристика знижується в 3,5-4,2 рази, що пов'язано з формування щільної структури вільної від пустот та пор.

Для зменшення залишкових напружень після ТО запропоновано дослідити вплив наступних режимів нагрівання: 1 год 20°С; 3 год 20°С; 1 год 40°С; 3 год 40°С. Для порівняння триботехнічних параметрів були сформовані епоксикопозитні зразки під різним тиском пресування (без тиску, 150 МПа, 700 МПа). Триботехнічні дослідження проводили за питомого навантаження $P = 1{,}2$ МПа. Експериментально встановлено, що найнижчі показники інтенсивності зношування мають зразки з витримкою впродовж 3 год при температурі 40°С. Це пов'язано із зниженням залишкових напружень матеріалу та формуванням структурної сітки з високим ступенем зшивання матриці [7].

З метою економії енергетичних затрат оптимізовано основну термічну обробку, яка полягала у проведенні наступних режимів нагріву: 1 – 1 год при 50°С, 1 год при 100°С, 4 год при 140°С; 2 – 1 год при 50°С, 1 год при 100°С, 4 год при 120°С; 1 – 1 год при 50°С, 1 год при 100°С, 3 год при 120°С. Отримані результати показали, що підвищення температури полімеризації до 140°С не є доцільним, оскільки не призводить до покращення триботехнічних параметрів, що економічно невигідним. Однак, зменшення витримки з чотирьох до трьох годин при 120°С виявилось неефективним, тому що відбувається зростання інтенсивності зношування через недостатнє утворення вузлів зшивання [8].

Для дослідження залежності інтенсивності зношування від швидкості ковзання та питомого навантаження сформовано епоксикомпозитні зразки, режими ТО і тиск пресування яких подано в таблиці 2.

Таблиця 2. Технологічні режими формування на основі епоксикомпозитів

№ зразка	Тиск пресування, МПа	Режим ТО	Режим додаткової ТО
1	250	1 год 50°С 1 год 100°С 4 год 120°С	3 год при 40°С
2	700		

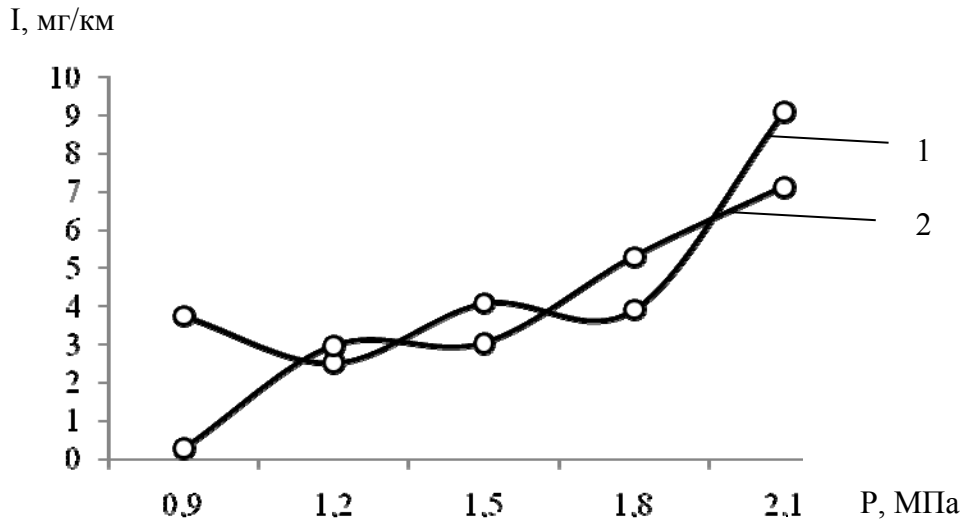


Рисунок 1. Залежність інтенсивності зношування епоксикомпозитів від питомого навантаження: 1 – 250 МПа, 2 – 700 МПа

Дослідження показали, що зразок зразок сформований при зусиллі 700 МПа має в 14,5 разів нижчу інтенсивність зношування порівняно із зразком № 1 при навантаженні в процесі тертя 0,9 МПа (рис. 1). Це пояснюється вищою щільністю системи та можливістю підвищити ступінь зшивання полімерної матриці, що забезпечує високу конструкційну

міцність епоксикомпозиту. Із збільшенням тиску навантаження при терті до 2,0 МПа при сталій швидкості ковзання 0,9 м/с інтенсивність зношування зростає, що вказує на зниження здатності матеріалу чинити опір значним навантаженням в процесі трибовзаємодії через часткову термодеструкцію полімерної матриці [4].

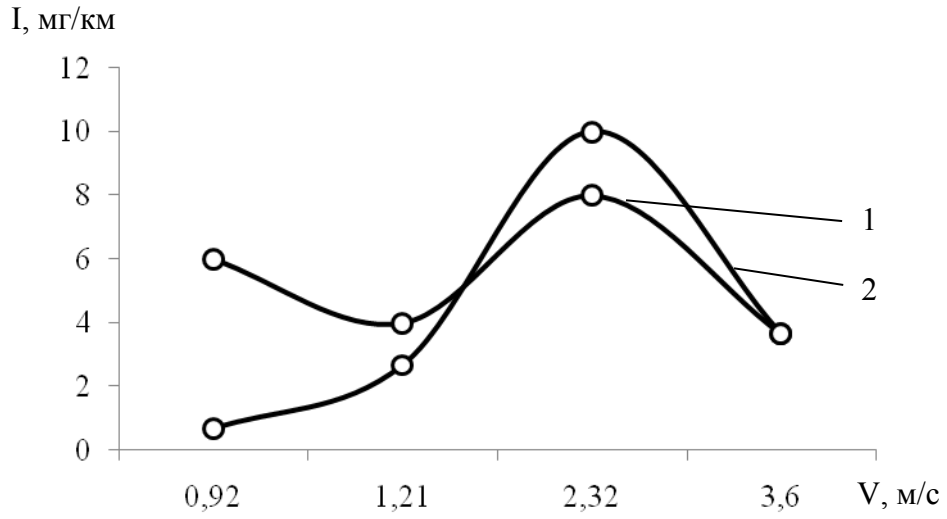


Рисунок 2. Залежність інтенсивності зношування епоксикомпозитів від швидкості ковзання:
1 – 250 МПа, 2 – 700 МПа

З рисунка 2 видно, що при поступовому збільшенні швидкості ковзання від 0,9 м/с до 2,3 для зразків № 1 і № 2 спостерігається підвищення інтенсивності зношування в 1,3 і 15 разів відповідно, оскільки при вищій швидкості ковзання зростає температура в зоні контакту, що призводить до протікання в зоні трибовзаємодії фізико-хімічних процесів з утворенням стійкої структури. При наступному збільшенні швидкості до 3,6 м/с відбувається зниження даної характеристики в 2,1 і 2,7 раз відповідно. Це пояснюється тим, що при збільшенні тривалості дослідження відбувається інтенсивне відновлення міді на поверхні зразка і її часткове перенесення на сталеве контртіло, в результаті чого поверхні покриваються міддю, що стабілізує процес тертя [9].

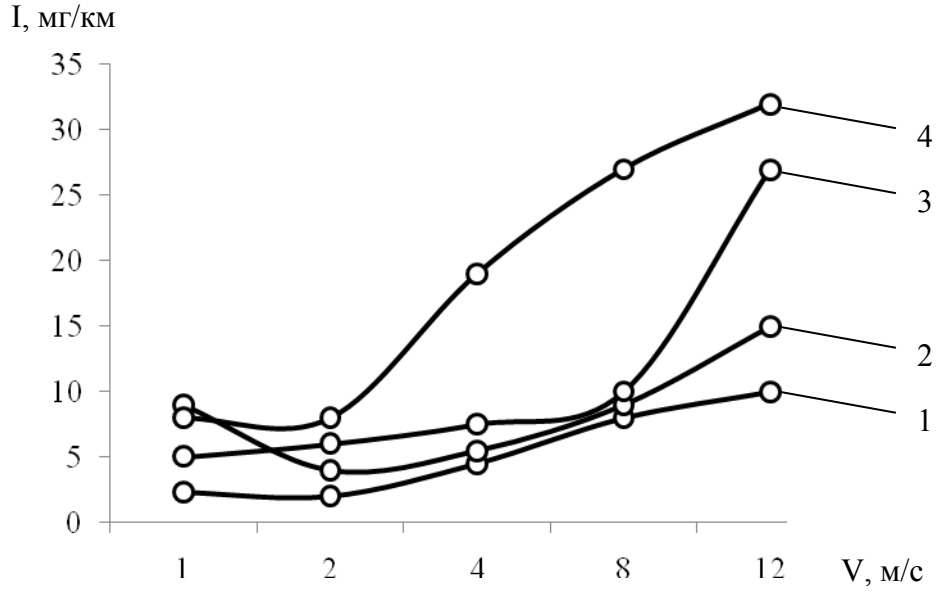


Рисунок 3. Залежність інтенсивності зношування зразка від швидкості ковзання при різному питомому навантаженні:
1 – 1 МПа, 2 – 2 МПа, 3 – 3 МПа, 4 – 4 МПа

Дослідження епоксикомпозитів на зносостійкість паралельно проводили за схемою «диск-палець», які полягали у реалізації контакту плоскої поверхні контртіла (сталі У9) і торця циліндричного зразка діаметром 8 мм в режимі сухого тертя.

На рис. 3 наведено залежності інтенсивності зношування від швидкості ковзання при різних питомих навантаженнях. З рисунку видно, що при помірних швидкостях і навантаженнях зношування матеріалів є невисоким, оскільки відбувається поступове утворення мідної плівки і її перенесення на контртіло, що веде до реалізації процесів самоорганізації у вузлах тертя. Однак, дослідження при жорсткіших умовах трибовзаємодії призводять до катастрофічного руйнування поверхневого шару системи, що пов'язано із різким підвищенням температури в зоні трибоконтакту та зниженням міцності при стисканні. Дані фактори не дозволяють протікати в повній мірі напрямленим фізико-хімічним перетворенням, які сприяють відновленню на трибоповерхнях сервовитної плівки, що забезпечує стабілізацію процесів трибовзаємодії [9].

Висновки. Встановлено, що утворення стійкої структури у вигляді плівок переносу на робочих поверхнях тертя є поступовим. Для їх формування і функціональності необхідні застосовувати режими фрикційного навантаження, які сприяють реалізації процесів самоорганізації, що забезпечить стабілізацію триботехнічних характеристик. Встановлення режиму вибіркового перенесення знижує інтенсивність зношування епоксикомпозитного матеріалу, що дозволяє підвищити надійність і довговічність трибовузлів обладнання та використовувати його в умовах з обмеженим мащенням або відсутності мастильного середовища.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Избирательный перенос в тяжелонагруженных узлах трения / Под ред. Д.Н. Гаркунова. – М: Машиноетросние, 1982. – 207 с.

2. Савчук П.П. Наукові і технологічні основи створення та керованого функціонування епоксидних композитів з різним ступенем наповнення: дис… д-ра техн. наук. 05 02.01 – Київ: ІПМ, 2010. – 320 с.

3. Кашицький В.П., Савчук П.П., Будкіна О.Л., Редько Р.Г. До питання про реалізацію ефекту вибіркового перенесення в епоксикомпозитах, додатково наповнених оксидами міді // Науковий вісник ХДМІ: науковий журнал – Херсон: Видавництво ХДМІ, 2011. – № 1 (4). – С. 190-197.

4. Савчук П.П., Кашицький В.П., Садова О.Л. Наукові передумови та світова практика реалізації явища «вибіркового перенесення» в полімеркомпозитах при навантаженні тертям // Наукові нотатки. – Луцьк. 2011. – С. 236-240.

5. Триботехнические характеристики полимерных композитов, армированных волокнистыми структурами / А.И. Юга, Т.В. Грудина, В.М. Волкогон [и др.] // Порошковая металлургия. – 2004. – №9-10. – С. 32-37.

6. Трибологія: [підруч.] / [Кіндрачук М.В., Лабунець В.Ф., Пашечко М.І., Корбут Є.В.]. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 392 с.

7. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Кальба Є.М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. – Тернопіль: Збруч, 2005. – 182 с.

8. Савчук П. П. Особливості застосування епоксидних композиційних матеріалів у триботехніці / П.П. Савчук // Проблеми трибології. - 2008. - № 4 (50). - С. 120-125.

9. Кашицький В.П.. Савчук П.П., Садова О.Л. Трибологічні процеси та структурні перетворення в поверхневих шарах полімеркомпозитів при навантаженні тертям // Проблеми трибології. – Хмельницьк. 2011. – № 4 (62). – С. 103-107.

ВПЛИВ ПОКРИТТЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРУЖИН

Самарін О.Є.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Пружини є однією з най поширених деталей сучасних машин. Пружні властивості пружин дозволяють використовувати їх для забезпечення сили натягування або стискання у муфтах та фрикційних передачах для акумулювання енергії, для віброізоляції та амортизації ударів, для зворотного переміщення клапанів [1].

Помилки при розрахунку або виготовленні пружини можуть зупинити роботу машини або привести до аварії. Тому вони ретельно розраховуються згідно з відомими рекомендаціями, а при виготовленні підлягають технічному контролю як окремо, так і у складі механізму.

Відомі методи розрахунку пружин враховують тільки механічні властивості металу та обробки пружин до їх покриття захисними матеріалами. Але, як відомо, після нанесення емалі і особливо захисного покриття з кольорових матеріалів, пружина піддається впливу термічної обробки протягом тривалого часу. Залежно від температурних режимів та тривалості технологічного процесу метал пружини може змінити свої показники.

Мета перевірки – визначити залежність силових характеристик пружини та остаточної деформації від нанесеного покриття [2].

Об'єкти перевірки - у якості зразків було вибрано пружину КМД 40.605, що виготовлена з дроту Б-2-6 ГОСТ 9389-75 і показана на рис.1.

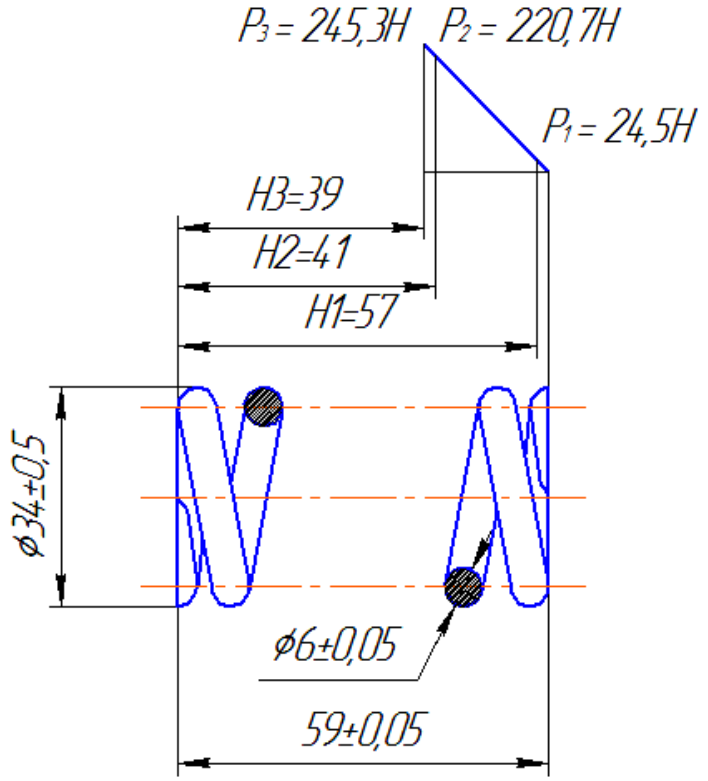


Рисунок 1. Пружини КМД 40.605

Пружина має наступні характеристики:
T = 1050 Н/мм^2 – максимальне дотичне напруження;
n_1 = 5 - число робочих витків;
n_2 = 7 - загальне число витків.

Вказана пружина використовується у запобіжних муфтах на приводі роздавальних коробок кукурудзозбиральної машини КМС-6 та КМС-8 [3].

Крайні ліва та права коробки отримують крутний момент від проміжних валів через зірочку 15 запобіжної муфти (рис. 2).

В результаті сил тертя, що виникають між поверхнями фрикційних накладок 14 і сталевими дисками 13, стиснутими пружинами 11, крутний момент передається на маточину диска 12 і через шліцеве з'єднання валу 1.

При перевантаженні роздавальної коробки запобіжна муфта спрацьовує, вал 1 зупиняється, а приводна зірочка 15 продовжує обертатись.

Фрикційну муфту регулюють на момент спрацювання 450±25 Нм.

Тривалість спрацьовування (буксування) муфти не повинна бути більше 5 с. При цьому температура нагріву муфти більше ніж на 100 °С не допускається.

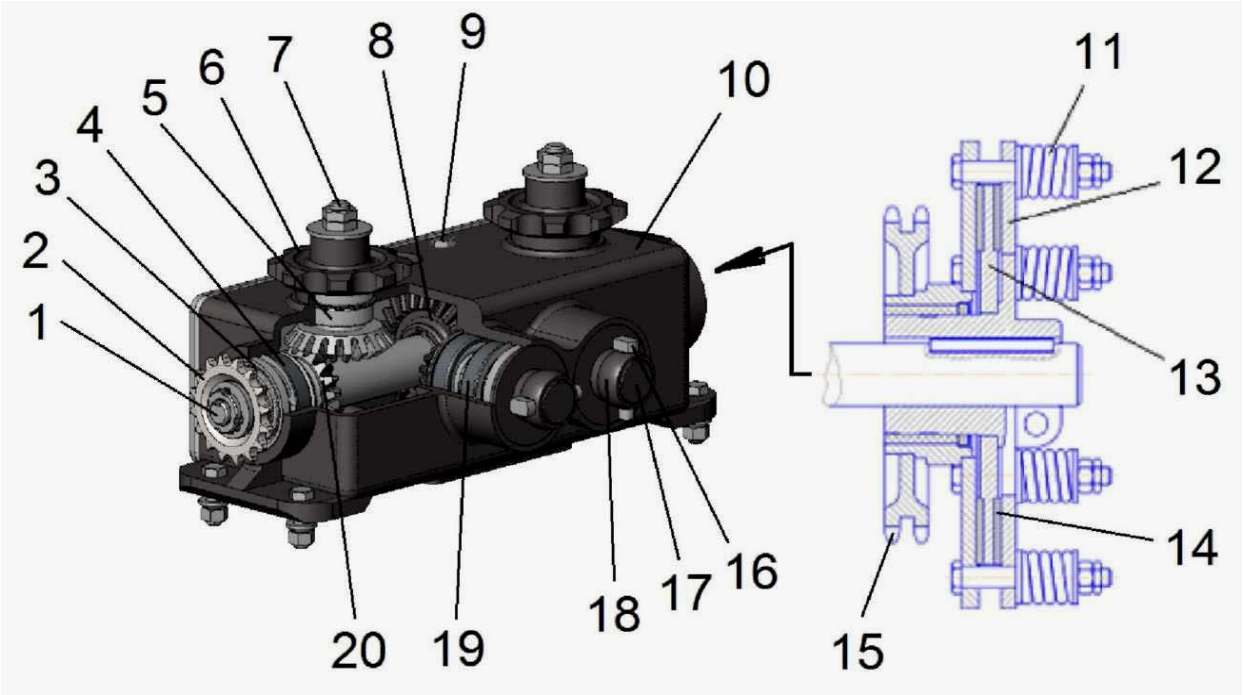


Рисунок 2. Роздавальна коробка з запобіжною муфтою
1 - вал; 2 - напівмуфта; 3 - манжета; 4, 5, 19 - підшипник; 6 - зірочка; 7, 17 - вал-шестерня; 8, 20 - колесо зубчасте; 9 - пробка; 10 - корпус; 11 - пружина; 12 - диск натискний; 13 - диск ведучий; 14 - накладка фрикційна; 15 - зірочка; 16 - поводок; 18 - шарнір

Таким чином, стабільні технічні характеристики пружини забезпечують надійну роботу муфти.

Перевірку пружин проводили методом статичного навантаження до змикання витків пружини з витримкою 10 год.

Для визначення характеристик по жорсткості пружини перевіряли на силовій установці, що дозволяє визначати залежності сила – деформація.

У якості покриття було застосовано:

- емаль Magnum 140 зелена напівматова RAL 6024;
- Ц9хр. – покриття цинкове.

Додатково було перевірено пружину КСКУ 06.10.663, що використовується для натягування подавальних ланцюгів у руслі [3].

Результати випробувань наведено у табл. 1 [1].

Таблиця 1. Результати випробувань пружини

Довжина пружини, мм	Умовне позначення пружини			
	КМД 40.605		КСКУ 06.16.663	
	Емаль Magnum 140 зелена напівматова RAL 6024	Ц9хр.	Емаль Magnum 140 зелена напівматова RAL 6024	Ц9хр.
До навантаження	59,94 59,70 59,32	59,58 60,17 60,10	144,34 144,70 144,74	142,42 144,06 144,20
Середнє значення	59,65	59,95	144,59	143,56
Після навантаження	60,00 59,90 59,84	59,58 53,89 53,30	144,60 144,34 143,48	148,60 148,70 -
Середнє значення	59,91	55,59	144,14	148,65
Залишкова деформація	0,26	4,34	0,45	5,09

Випробування жорсткості пружин показали, що пружина КМД 40.605 має жорсткість у межах 111-112,5 Н/мм, а пружина КСКУ 06.10.663 – 43,9 – 52,6 Н/мм. Тобто, вона знаходиться у межах середнього значення.

З табл. 1 видно, що покриття емаллю майже не впливає на геометричні показники пружини і її можна не враховувати при розрахунках та експлуатації.

Цинкове покриття має більш суттєвий вплив на залишкову деформацію пружини. Тому такі пружини обов’язково мають бути перевірені на стенді для регулювання моменту спрацювання запобіжної муфти.

Для зменшення впливу термічної обробки при нанесенні цинкового покриття рекомендовано зменшити товщину захисного шару цинку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Иванов М.Н. Детали машин. Учебник для вузов. Изд. 3-е, доп. и перераб. – М.: Высш. школа, 1976. – 399 с.
2. Протокол проверки влияния покрытия на характеристики пружин. Лаборатория испытаний ГСКБ ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод». 2012 – 1с.
3. Кукурузоуборочные машины КМС. Руководство по эксплуатации. КМС РЭ. – Херсон.: ООО НПП «Херсонский машиностроительный завод», 2013. – 80 с.

ОЦІНКА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СКЛЕРОМЕТРІЧИХ ВИПРОБУВАНЬ

[1]Сєліверстов І.А., [2]Троцан Г.Н., [3]Сєліверстова С.Р.
[1]Херсонський національний технічний університет (Україна)
[2]Херсонська державна морська академія (Україна)
[3]Херсонська філія національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)

Вступ. Створення на робочих поверхнях механізмів і машин композиційних покриттів дозволяє успішно вирішити завдання підвищення комплексу необхідних експлуатаційних параметрів деталей машин по надійності, зносостійкості, контактній витривалості і втомній міцності.

Поширеність способів, методів і матеріалів для захисту поверхні виробів дозволяє отримувати покриття з широким комплексом механічних властивостей. Оцінка цих властивостей визначає надійну експлуатацію деталей машин в реальних умовах.

Слід зауважити, що при визначені механічних властивостей покриттів виникають значні труднощі, іноді існує ряд об'єктивних причин, які не дозволяють в повному обсязі дослідити властивості покриттів, наприклад визначення адгезійної міцності покриттів товщиною менше 5 мкм. В багатьох випадках властивості покриттів визначають тільки за якісними характеристиками.

В зв'язку з цим існує необхідність розробки комплексного підходу для оцінки механічних властивостей покриттів, як за якісними, так і за кількісними показниками.

Обладнання та матеріали. Для оцінки механічних властивостей покриттів в роботі застосовували загальновідомий склерометриічний метод випробувань, у якому можуть імітуватися реальні умови експлуатації виробів. Метод полягає в «дряпанні» (деформуванні) твердим індентором поверхні металу із заданою швидкістю деформації як при нормальній, так і підвищеній температурах [1, 2]. У якості індентора використовували чотиригранну алмазну піраміду Віккерса. Шорсткість випробуваних зразків за ГОСТ 2789-73 не була грубіше R_α = 0,64 мкм. Глибина впровадження піраміди в досліджуваний матеріал становила $h \approx 3\ldots20$ мкм.

В роботі досліджували тонкі покриття нітриду титану Ti□, отримані методом конденсації йонним бомбардуванням (КІБ), товщиною 5…7 мкм, які наносили на поверхню вуглецевої сталі з твердістю 50…54 HRC. Також використовували плазмові покриття на основі інтерметаліду Fe_3Al з товщиною 50…100 мкм.

Результати досліджень. Запропанована нами методика склерометричних випробувань, заснована на безперервному навантаженні матеріалу індентором, що супроводжується спочатку пружними деформаціями з наступним переходом в пластичні до граничного стану і наступному руйнуванні шляхом горизонтального переміщення індентора, попередньо впровадженого на певну глибину. В результаті протікання таких різних за своєю природою фізичних процесів, зусилля яке прикладали для горизонтального переміщення індентора має змінний характер. Тобто, спочатку відбувається ріст зусилля дряпання до максимального значення $P_\partial^{\max}$ в зонах пружних та пружнопластичних деформацій, потім відбувається локальне руйнування матеріалу з різким зменьшенням зусилля. В результаті безперервного переміщення індентора, процес носить стабільний періодичний характер, довжина періоду локального руйнування L характеризує пластичність матеріалу.

Якісну та кількісну оцінку механічних властивостей покриттів проводили за наступними показниками:

- за мікротвердістю поверхневого шару. H_μ, що визначали навантаженням на індентор $H_\mu = \frac{1.8544 P_B}{b^2/2}$;

- за значенням когезійної міцності *HG*, що визначали співвідношенням максимального зусилля склерометрії до контактної площі індентора $HG = \frac{P_\partial^{\max}}{S_к}$;

- визначення зносостійкості, особливо в умовах абразивного зносу, проводили за інтенсивністю зношування, що ,у свою чергу, визначали за об'ємом покриття, видавленого із треку в процесі дряпання;

- для дослідження адгезійних зв'язків тонких покриттів Ti□ була застосована методика, яка грунтується на дряпанні плівки алмазним індентором при рівномірно збільшуваному навантаженні на індентор. При цьому вимірювали навантаження, при якому відбувається деградація та відшаровування плівки [3, 4].

Результати досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Механічні властивості покриттів

Матеріал покриття	Твердість, $H_{\mu 100}$, МПа	Когезійна міцність *HG,* МПа	Інтенсивність зношування, г/км (±3%)	Довжина локального руйнування *L,* мкм
Fe_3Al	270*	315*	4,1*	3,44*
Cu	180*	194*	10,7*	6,11*
Ti□	5770**	3200**	0,288**	-

*- навантаження на індентор - 1Н;

** - навантаження на індентор - 0,2 Н.

При дослідженні покриттів Ti□ спостерігали появу слідів руйнування покриття за допомогою оптичного мікроскопу, мінімальна (фактичне) навантаження, що призвело до руйнування, становило $P_{кр}$ = 3,5 Н.

Таким чином, запропонована точна і проста методика комплексної оцінки фізико-механічних властивостей покриттів дозволяє встановити не тільки адгезійну міцність тонких покриттів і зробити висновок про механізм руйнування покриття, але і кількісно визначити опір локальному руйнуванню в МПа, значення якого співпадає з внутрішніми когезійними напруженнями в покритті.

Як видно з результатів досліджень, значення *HG* для відпаленої міді знаходиться в межах, які відповідають міцності при розтягуванні міді, згідно [5], $\sigma_в$ = 190…220 МПа.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Хрущев М.Н. Склерометрия. - М.: Наука, 1968. - 205с.
2. Гадалов В.Н. К исследованию механических свойств защитных покрытий методом царапания / В.Н. Гадалов, Ю.В. Болдырев, Ю.Г. Алехин и др. // Конструирование, использование и надежность машин с/х назначения: Сб. науч. работ межвуз. научн.-практ. конф. Брянск: Брянскгсха, 2004.- С. 245-250.
3. Матюнин В.М. Определение механических свойств и адгезионной прочности ионно-плазменных покрытий склерометрическим методом / В.М. Матюнин, П.В. Быков, Р.Х. Сайдахмедов [и др.] // МИТОМ. - 2002. - № 3. - С. 36-39.
4. Adhesion measurement of thin films on glass substrates / Kinbara A., Baba S., Kikuchi A. [et al.] // Thin Solid Films. - 1988. - V.164, P. 169 -174.
5. Лахтин Ю.М, Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.:Машиностроение, 1990. – 528 с.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ ШВІВ ТА ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НАНОПОРОШКІВ

[1]Смирнов І.В., [1]Кузнецов В.Д., [1]Чорний А.В., [2]Клевцов К.М.
[1]Національний технічний університет України «КПІ» (Україна)
[2]Херсонська державна морська академія (Україна)

Постановка проблеми. Застосування різних технологій зварювання та нанесення захисних покриттів є невід'ємною складовою у галузі суднобудування та судноремонті. Одним з ефективних способів керування структурою, підвищення експлуатаційних властивостей зварювальних швів, наплавлених і напилених покриттів вважається введення в матрицю добавок нанокомпонентів. Серед перспективних для практичного застосування це різноманітні види нанопорошків оксидів, карбідів, нітридів металів, які в широкому асортименті пропонуються закордонними компаніями. Залежно від типу наночастинок, їх морфології, розміру та способу введення в матеріал шва або покриття можна одержувати композиційні матеріали із заданими властивостями.

Аналіз публікацій за темою дослідження. Одним з основних завдань застосування нанопорошків при зварюванні є вибір типів тугоплавких сполук і способів їх введення у зварювальну ванну. Наприклад, у роботі [1] досліджувались процеси лазерного зварювання із застосуванням нанопорошкових інокуляторів TiN, TiC, Y_2O_3, які наносились у вигляді суспензії на поверхню пластин перед зварюванням. У роботі [2] представлений спосіб зварювання із введенням мікрогранул нікелю, що містять нанодисперсні частинки монокарбіду вольфраму в покриття зварювальних електродів. В [3] також зварювання здійснювали плавким електродом з композиційним покриттям, що містить частинки нанопорошку з додатковим захистом зварювальної ванни газовим середовищем. Авторі роботи [4] вводили наночастинки у зварювальну ванну за допомогою порошкового дроту, який безпосередньо підключали до зварювального кола або закладали у розробленні кромки. В наслідок використання даних технології відбувається поліпшення властивостей дуги, підвищення продуктивності процесу зварювання і фізико-механічних властивостей зварних швів.

Сучасний стан досліджень в галузі газотермічних покриттів із застосуванням нанопорошків презентований в роботах [5,6]. Основними перевагами даного підходу є можливість нанесення тонких зносостійких композиційних покриттів з поліпшеними трибологічними характеристиками. За критеріями зносостійкості, задиростійкості та антифрикційності наноструктуровані газотермічні покриття більш ефективніші твердого електролітичного хромування, а за економічними показниками в умовах серійного виробництва та за екологічністю процесу суттєво кращі [7].

Таким чином, основні тенденції та перспективи у створенні нових зварювальних, порошкових матеріалів і покриттів, на думку більшості дослідників, пов'язані з введенням до їх складу наноскладових.

Мета роботи полягала в дослідженні впливу наночастинок оксидів на структуроутворення та експлуатаційні властивостей зварних швів та плазмових покриттів.

Для досягнення поставленої мети були проаналізовані можливі методи введення нанодисперсних тугоплавких порошків у зварювальну ванну та покриття з врахуванням того факту, що при проходженні скрізь високотемпературну зону плазми дуги може відбутися деактивація наночастинок порошку. Для збереження активності, наночастинки необхідно прикріплювати до мікрочастинок, що може бути зроблено за допомогою механохімічної обробки порошкової суміші у спеціальних високоенергонапружених планетарних млинах. Механічна енергія, яка передається порошку під час такій обробці, сприяє утворенню міцних хімічних зв'язків між макро- і наночастинками. Після обробки порошок пресувався і спікався у вигляді стрижнів певного діаметра та довжини, які

закладалися у розробленні кромки перед зварюванням. Таким чином в процесі зварювання частинки нанопорошку не проходять скрізь дугу і потрапляють у зварювальну ванну без високотемпературного впливу.

У якості нанопорошків використовували оксиди Al_2O_3, TiO_2 фракцією 50нм отримані криохімічним методом. Основними перевагами даного методу є можливість одержання гранульованих матеріалів зі строго контрольованим розміром частинок і високим ступенем хімічної однорідності; одержання порошків з високою питомою поверхнею, а також гідрофобних хімічних речовин і матеріалів з високою стабільністю в умовах тривалого збереження.

Процес зварювання здійснювали з застосуванням зварювального апарату АДФ 231 і напівавтомату КП 004В3 у суміші газів 72%Ar+28%CO_2. Режими зварювання: струм I = 170…180А, напруга дуги U = 25…27В, швидкість зварювання V = 12,5 м/год., витрати газу 8…9 л/год.

Результати експериментів показали, що у вихідних умовах, без введення нанооксидів, у металі шва формується структура, основними складовими якої є виділення полігонального фериту, голчастого і пластинчастого з упорядкованими та неупорядкованими фазами. Особливістю такої структури є наявність великих грубопластинчастих утворень переважно голчастого фериту (ГФ) по границях зерен. Мікротвердість складових змінюється відповідно від 145 до 187 МПа. Мікроструктура металу шва при введенні нанопорошку оксиду Al_2O_3 і TiO_2 у кількості 0,5…1,0 об.% має здрібнену дисперсну структуру, яка переважно складається з верхнього бейниту, частково нижнього та голчастого фериту. Мікротвердість складових становить 264…304 МПа [8].

Важливою характеристикою, яка визначає можливість одержання дрібнозернистої мікроструктури з високою часткою ГФ, є кількість включень, які можуть слугувати центрами зародження фериту в сталі. Для оцінки впливу включень на формування структури зварних швів проведені спеціальні дослідження з вивчення їх хімічного складу, розмірів і щільності виділень у металевій матриці. Було встановлено, що у випадку введення в розплав зварювальної ванни нанооксидів, середньостатистичне значення кількості неметалічних включень відповідає 30 на площі 324 мкм, тобто 1 включення зустрічається в середньому на відрізку довжиною 10 мкм.

Таким чином, проведені дослідження свідчать про істотний вплив нанооксидів, як на структуроутворення, так і на характер виділення фаз та їх розміри. Введення нанопорошку у зварний шов змінює процес зародкоутворення, який відбувається на нанорозмірних частинках на границі контакту трьох фаз (наночастица - зародок - розплав) і різко змінює будову та величину (морфологію та дисперсність) зерна, що зростає. Структура шва замість голчасто-дендритної стає квазірівноважною і дрібнодисперсною. Зменшується розмір неметалічних включень, відповідно підвищуються механічні властивості (міцність і пластичність) металу шва, зростає в кілька раз відносне подовження, збільшуються границі міцності та текучості. Результати механічних випробувань зварних швів при зварюванні сталі А-514 дротом 09Г2С приведені в табл.1.

Таблиця 1. Результати механічних випробувань зварних швів

№ п/п	Границя текучості, $\sigma_т$ МПа	Границя міцності, $\sigma_в$, МПа	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Ударна в'язкість, KCV, КДж/м^2
Без нанодобавок	357	542	21	61	4,6
З нанооксидом TiO_2	514	647	12	54	9,3
З нанооксидом Al_2O_3	535	668	17	60	4

Дані табл. 1 свідчать про зростання як границі текучості, так і границі міцності при введенні у зварювальну ванну нанооксидів титану та алюмінію. Найбільш суттєвий вплив на ці показники оказує нанооксид алюмінію, збільшуючи границю текучості на 178 МПа

(49%) і границю міцності на 126 МПа (23%). На ударну в'язкість найбільш впливає оксид титану, підвищуючи її значення приблизно в 2 рази.

Як зазначалось вище, ефективним для підвищення експлуатаційних властивостей газотермічних покриттів є також застосування нанопорошків. Присутність наночастинок у вихідному порошковому матеріалі сприяє збільшенню поверхневої енергії, що позитивно відображається на стадіях формування покриттів, наслідком чого є підвищення їх експлуатаційних властивостей, незважаючи на те, що частка наночастинок в покритті складає декілька відсотків.

При плазмовому напиленні зносостійких покриттів, як і при зварювані використовували нанопорошок Al_2O_3. Як матрицю застосовували самофлюсівний порошок ПГ-10Н-01 фракцією 40…63 мкм, який широко застосовується для нанесення зносостійких покриттів газотермічним напиленням з додатковим оплавленням. Приготування гомогенної порошкової суміші з макро- та наночастинок здійснювали за допомогою також механохімічної обробки в планетарному кульовому млині з додатковим вакуумуванням робочих ємкостей. Наночастинки оксиду алюмінію в умовах вакууму та механохімічної обробки переходять в активований стан і приєднуються до частинок інших елементів, утворюючи фізичні зв'язки між компонентами покриття. Під час плазмового напилення порошкової суміші покриття формуються з продуктів реакції компонентів, які взаємодіють, як під час руху частинок, так і на поверхні основи.

Покриття напилювали спеціальним плазмотроном з частково винесеною дугою. Завдяки конструкційним особливостям плазмотрону та встановленим режимам, досягали формування плазмового струменя за характером течії близьким до ламінарного. Подовжена високотемпературна ділянка плазмового струменя з додатковим газовим захистом забезпечує кращі умови для перенесення наночастинок у напилене покриття. Як плазмоутворювальний і захисний газ використовували аргон. Робочий струм встановлювався в межах 80…100 А, напруга 50…60 В, витрати газу 2…3 л/хв при діаметрі сопла 2 мм. Після напилення покриття оплавляли в муфельній печі при температурі 1050 ºС продовж 5 хв. Покриття наносили на пласкі зразки з розміром 5×10×20 мм із сталі т.3. Товщина покриттів складала в межах 0,3…0,5 мм. Отримані покриття досліджували на кінетику зношення в умова сухого тертя при зворотно-поступальному русі плаского контртила із загартованої сталі з навантаженням 3 кг. Результати випробувань представлені на рис. 1.

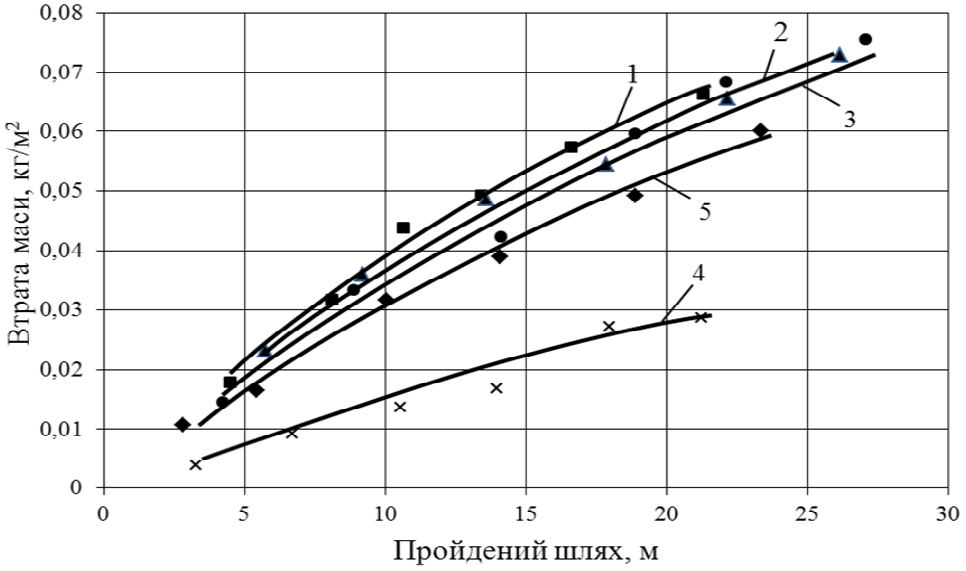


Рисунок 1. Кінетика зношування плазмових покриттів, отриманих напиленням з оплавленням порошків: 1 – ПГ-10Н-01; 2, 3, 4 і 5 – ПГ-10Н-01 з додаванням нанопорошку Al_2O_3 у кількості 0,2, 1, 1,5 і 5об.% відповідно.

З аналізу графіків наведених на рис. 1 можна зробити висновок, що найбільшу зносостійкість має покриття на основі порошку ПГ-10Н-01 з додаванням нанопорошку Al_2O_3 у кількості 1,5об.% (крива 4). Збільшення нанопорошку до 5об.% призводить до погіршення зносостійкості (крива 5). Наявність наночастинок оксиду алюмінію в покритті в кількості 1,5%, як показали випробування, також сприяє зниженню коефіцієнту тертя на 38%. Подальше збільшення концентрації нанооксиду на зменшення коефіцієнту тертя суттєво не впливає.

Висновки. Встановлено, що застосування нанопорошків оксидів Al_2O_3 та TiO_2 є ефективним для керування структурою та механічними властивостями як зварних швів, так і напилених покриттів.

Підвищення механічних властивостей притаманно всім дослідним зразкам, при цьому найбільш суттєвий вплив чинить нанооксид алюмінію в кількості 0,5об.%, збільшуючи границю текучості зварного шва на 49% і границю міцності на 23%. Збільшенню ударної в'язкості зварних швів, приблизно в 2 рази, найбільш сприяє оксид титану у кількості 1об.%.

Введенні нанопорошку оксиду алюмінію у кількості 1,5об.%. в плазмові покриття дозволило зменшити коефіцієнт тертя і збільшити зносостійкість покриттів в 2…3 рази.

ЛІТЕРАТУРА

1. Черепанов А. Н.. Афонин Ю. В.. Оришич А. М. Лазерная сварка стали с титановым сплавом с применением промежуточных вставок и нанопорошковых инокуляторов // Тяжелое машиностроение. - 2009. - №8. - С. 24 - 26.

2. Соколов Г.Н. Влияние нанодисперсных карбидов WC и никеля на структуру и свойства наплавленого металла / Г.Н. Соколов, А.С. Трошков, В.И. Лысак и др // Сварка и Диагностика. – 2011.– №3 – С. 36-38.

3. Паршин С.Г. MIG-сварка стали с применением наноструктурированных электродных материалов // Сварочное производство. - 2011. - №10. - С. 27-31.

4. Головко В.В. Костин Влияние нановключений на формирование структуры металла швов ферритно-бейнитных сталей (Обзор) / В.В. Головко, Г.М. Григоренко // Збірник наукових праць НУК.– №4.– 2011.

5. Berndt C. Thermal spray processing of nanoscale materials II – Extended abstracts / C. Berndt // Journal of thermal spray technology. – Volume 10(1).– 2001.– P.147-182.

6. Левашов Е.А. Перспективы применения наноструктурных материалов в технологиях СВС и инженерии поверхности // Тезисы докладов2-ого научно-технического семинара «Наноструктурные материалы – 2002: Беларусь – Россия». – М. – 2002. – С.19.

7. Смирнов Н. И., Прожега М. В., Даниличев М. А. Междунар. конф. Нанотехнологии и их влияние на трение, износ и усталость в машинах. – М.: ИМАШ. – 2004. – С.11.

8. Кузнецов В.Д. Вплив модифікування наночастинками оксидів на структуроутворення зварних швів низьколегованих сталей / В.Д. Кузнецов, І.В. Смирнов, Д.В. Степанов, К.П. Шаповалов // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк. – 2013. – Випуск № 41 Ч. 2. – С. 61-68.

НОВЫЙ УЛЬТРАТВЕРДЫЙ МАТЕРИАЛ «ГИБРИДАЙТ»: ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

Соколов А.Н.
Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины (Украина)

Перспективным направлением, позволяющим реализовать оптимальное сочетание прочности, твердости, и термостабильности в широком интервале температур в инструментах различного функционального назначения, является создание гибридных материалов, объединяющих в себе преимущества составляющих их компонентов.

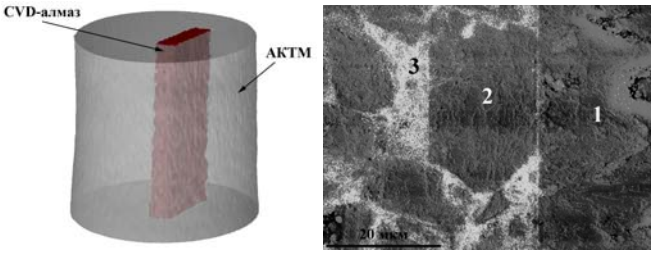
Как известно, под гибридом подразумевают объект, сочетающий в себе свойства других (двух или более) объектов. Особенностью является то, что соответствующие объекты представляют собой законченные решения, а в результате их объединения создаются новые желаемые свойства.

Одним из таких материалов является разработанный коллективами института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины и института общей физики им. А. М. Прохорова РАН новый гибридный ультратвердый поликристаллический композиционный материал [1] на основе армирования поликристаллического алмазного композита (АКТМ) [2], поликристаллическим алмазом, выращиваемым методом осаждения из газовой фазы (CVD-алмазом). Таким образом, в основе изготовления рассматриваемого ультратвердого материала лежит комбинация техники высоких давлений и CVD-метода. Реализованное техническое решение получило торговый знак «гибридайт» [3].

Спекание гибридайта проводили в многопозиционной ячейке высокого давления в два этапа согласно методике, описанной в [4].

На первом этапе содержимое многопозиционной матрицы подвергалось баротермической обработке (HPHT обработке)при давлении 8 ГПа и температуре 1170 К в течение 50 с. Затем повышали температуру до температуры плавления кремния (1570 К) при заданном давлении и выдерживали в течение 90 с.

Представление о внутреннем строении материала дает трёхмерная модель гибридного УТМ, построенная по результатам томографических исследований (рис. 1, а) и данные электронной микроскопии (рис. 2, б), полученные с использованием соответственно микротомографа SKYSCAN 1074 и электронного микроскопа ZEISS EVO 50XVP.



а) б)

Рисунок 1. Трёхмерное изображение образца гибридайта, полученное методом рентгеновской микротомографии (а) и во вторичных электронах (б): 1 – CVD-алмаз; 2 – алмазное зерно матрицы; 3 – мелкие зерна алмаза и карбида кремния

Характерной особенностью поликристаллической алмазной оболочки ультратвердого поликристаллического материала является наличие непрерывного жесткого каркаса из сросшихся зерен алмаза, который формируется в области его термодинамической стабильности. Зерна, составляющие каркас, – это, по сути, монокристаллы алмаза, которые объединяют уникальные физико-механические и теплофизические свойства. Насколько эти свойства реализуются в поликристалле зависит

от степени связи алмаз – алмаз. Основная роль в этом процессе принадлежит пластической деформации частиц материала, формирующего оболочку.

Изучение твердости составляющих материала индентором Виккерса при нагрузке 4,9 Н показало, что твердость пластины CVD-алмаз в оболочке из АКТМ составила 142 ГПа, при исходной твердости 77 ГПа. Твердость поликристаллической оболочки (АКТМ) составила 50 ГПа.

Таким образом, твердость пластинки CVD-алмаза, подвергнутой баротермической обработке при формировании гибридайта, существенно повышается. При этом было установлено, что твердость образцов CVD-алмаза в поликристаллической алмазной оболочке, сформированной в процессе его спекания при высоком давлении и температуре, существенно зависит от исходной кристаллической структуры образцов: в случае образца CVD-алмаза с крупнокристаллической совершенной струкутрой имеет место возрастание твердости более, чем в 1,5 раза, в то же время у образцов с мелкокристаллическим строением твердость практически не изменяется [5]. Это связано с тем, что в первом случае, при использовании образца CVD-алмаза, являющегося поликристаллом со столбчатой кристаллической структурой, в результате в процессе его HPHTобработки при спекании гибридайта формируется сложно-напряженное состояние, упрочняющее CVD-алмаз и приводящее к существенному увеличению его твердости. В то же время в случае мелкозернистого образца CVD-алмаза во втором случае исходная кристаллическая структура уже является напряженной и последующая HPHT-обработка в процессе изготовления гибридайта не оказывает существенного влияния на физико-механические свойства CVD-алмаза с мелкозернистой структурой.

Установлено также, что термообработка в среде аргона при температуре 1150 □С в течение 15 мин по разному, в зависимости от кристаллической структуры CVD-алмаза, влияет на работоспособность гибридайта. Так в случае использования мелкозернистого CVD-алмаза, содержащего неалмазный углерод, износостойкость уменьшается практически в 3 раза, а в случае CVD-алмаза со столбчатой кристаллической структурой – возрастает более, чем 1,6 раза.

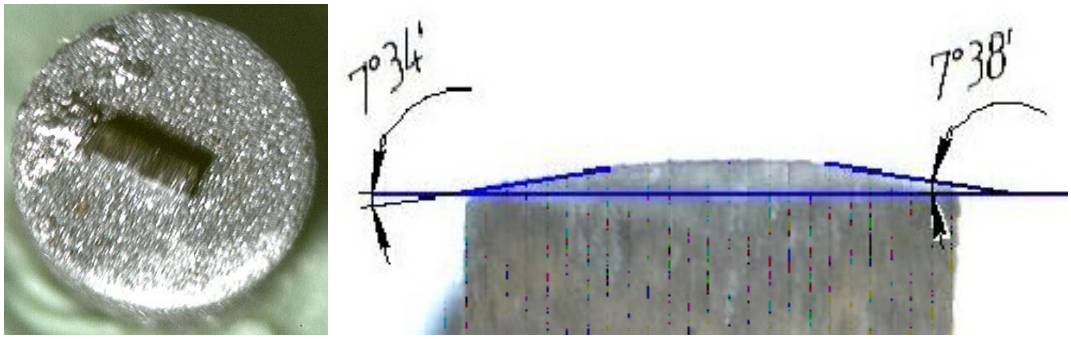
Для определения областей возможного применения полученного материала были изготовлены резец (рис. 3, а), правящие карандаши (рис. 2, б) и игла (рис. 2, в).

а) б) в)

Рисунок 2. Оснащенные рабочим элементом из гибридайта: а – резец; б – правящие карандаши; в – игла

Испытания резца проводили при точении силумина (сплава алюминия с кремнием), правящие карандаши использовали при правке абразивных кругов из оксида алюминия, а игла применялась при обработке гранита. Во всех случаях были получены положительные результаты, показывающие, что инструменты, оснащенные рабочим элементом из гибридайта, являются конкурентоспособными с инструментами, оснащенными природными алмазами.

Из гибридайта были изготовлены также цилиндрические породоразрушающие элементы (рис. 3, а) и испытаны на износостойкость при точении на токарно-винторезном станке модели ДИП-200 коростышевского гранита XI категории по буримости.



а) б)

Рисунок 3. Вид рабочего торца породоразрушающего элемента из гибридайта: а – исходный; б – после процесса точения

Установлено, что если при работе контрольных породоразрушающих элементов из АКТМ наблюдается картина разрушения гранита, характерная для процесса шлифования, т.е. с отделением от массива породы шлама мелких фракций, причем сравнительно одинакового размера, в среднем порядка 50…80 мкм, то при работе породоразрушающих элементов из гибридайта очевиден характер разрушения, присущий процессу резания, т.е. с отделением от массива породы шлама, неоднородного по размеру. В процессе работы породоразрушающих элементов из гибридайта присутствует очевидный эффект «самозатачивания», то есть при изнашивании появляется равномерная конусность на их рабочем торце при вершине армирующей вставки из CVD-алмаза (рис. 3, б). Испытаниями установлено также, что износостойкость породоразрушающих элементов, изготовленных из гибридайта, в 5,25…14,00 раз превышает износостойкость элементов, изготовленных только из неармированного АКТМ.

Данный результат является положительным фактором для дальнейшего использования таких вариантов исполнения породоразрушающих элементов из гибридайта при разработке новых конструкций буровых геологоразведочных коронок с комбинированной алмазосодержащей матрицей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новый гибридный ультратвердый материал. / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, А. Н. Соколов и др. // Сверхтвердые материалы. – 2010. – № 5. – С. 3–14.

2. Алмазный поликристаллический материал для оснащения бурового инструмента / А. А. Шульженко, Р. К. Богданов, В. Г. Гаргин и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Сб. науч. тр. – Вып. 10. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – С. 189–196.

3. Свідоцтво України на знак для товарів і послуг № 158183. – Гібридайт. – Опубл. 10.07.12, Бюл. № 13.

4. Патент на корисну модель № 21897 Україна МПК СО1 В 31/06, СО1 В 31/04, СО1 В 33/025, СО4 В 35/52, СО4 В 35/573. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, Н. О. Русінова. – Опубл. 10.04.07, Бюл. № 4.

5. Структура и физико-механические свойств CVD-алмаза различного кристаллического совершенства в материале гибридайт / А. Н. Соколов, А. А. Шульженко, В. Г. Гаргин и др. // Сверхтвердые материалы. – 2013. – № 2. – С. 29–40.

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ ПРИ МОДИФІКАЦІЇ ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ГІДРОУДАРОМ

Тотосько О.В., Левицький В.В.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

Створення нових композитних матеріалів (КМ) на полімерній основі, в тому числі і на основі реактопластів, за традиційними технологіями не задовольняє комплексу вимог, що ставиться промисловістю до вимог експлуатації обладнання в реальних умовах [1]. У зв'язку з цим, найбільш інтенсивно розвиваються нові технології по створенню нових матеріалів. Це, зокрема, модифікація композиту, або складових системи електроіскровим гідроударом (ЕІГУ). При цьому зазначимо, що така обробка олігомерних композицій на попередній стадії формування матеріалу (до введення твердника) забезпечує більш інтенсивне проходження фізико-хімічних процесів на межі поділу фаз при формуванні КМ у виробництві. Аналіз робіт авторів [1-3], показує, що модифікація зовнішніми полями, дозволяє направлено регулювати експлуатаційні властивості матеріалу в подальшому. У зв'язку з цим, актуальним є проведення досліджень впливу ЕІГУ на структурні характеристики і фізико-механічні властивості вихідних та модифікованих КМ.

Експериментально встановлено, що залежність модуля пружності епоксидних композитних матеріалів (КМ) від концентрації наповнювача має екстремальний характер (рис. 1). При цьому показано, що оптимальна, з точки зору максимальних фізико-механічних характеристик, концентрація дисперсних наповнювачів оксиду хрому і оксиду алюмінію знаходиться в межах 70…80 мас.ч. на 100 м.ч. ЕД-20, а газової сажі – 40 мас.ч. на 100 мас.ч. ЕД-20. Введення таких дисперсних наповнювачів за оптимальної концентрації забезпечує підвищення модуля пружності при згині (*E*) КМ з 3,8 ГПа (для полімерного в'яжучого) до 5,2…8,3 ГПа. Отримані результати вказують на те, що уведення дисперсних частинок у матрицю за оптимальної концентрації забезпечує формування поверхневих шарів навколо наповнювача з високим ступенем зшивання. Це, у свою чергу, забезпечує достатньо високий відсоток гелеутворення у системі, тобто перехід майже усього об'єму вяжучого у стан поверхневих шарів. Значна фізико-хімічна взаємодія на межі поділу фаз «олігомер – наповнювач», при оптимальній концентрації останнього, забезпечує суттєве зростання модуля пружності КМ. Навпаки, введення дисперсних частинок у більшій чи меншій мірі стосовно оптимальної концентрації призводить до погіршення фізико-механічних властивостей КМ. Причиною цього, на наш погляд, є невисокий вміст матеріалу, що знаходиться у стані поверхневих шарів при малих концентраціях наповнювача і недостатнє змочування в'яжучим при високих концентраціях добавок. У поверхневих шарах, в результаті недостатнього змочування добавок у системі утворюються дефекти.

Крім того встановлено (рис. 1), що попередня обробка епоксидної матриці елктроіскровим гідроударом забезпечує підвищення модуля пружності при згинанні (*E*) з 3,9 ГПа до 4,5 ГПа. Показано, що попередня обробка епоксидної матриці ЕІГУ з наступним введенням дисперсних порошків забезпечує підвищення модуля пружності при згинанні ЕКМ на 15...23% порівняно з вихідним (немодифікованим) матеріалом.

Отримані результати досліджень пояснюють наступним. Відомо, що при електроіскровому гідроударі відбувається механокрекінг ланцюгів макромолекул олігомера з утворенням вільних радикалів [4]. У подальшому такі радикали рекомбінують з наповнювачем та між собою у процесі зшивання [4]. Отримані результати підтверджено експериментальними дослідженнями з використанням методу ІЧ-спектроскопії. Аналіз ІЧ-спектрів полімеркомпозитів, наповнених дисперсними частинками, дозволяє стверджувати про наявність інтенсивної взаємодії з утворенням хімічних зв'язків між в'яжучим та дисперсними частинками Al_2O_3, Cr_2O_3 та ГС. В ІЧ-спектрах композитів з

вказаними наповнювачами спостерігали зміщення смуги поглинання гідроксильної групи при частоті 3760 $см^{-1}$ на 20 $см^{-1}$ та зменшення її інтенсивності, особливо при використанні ГС, що свідчить про виникнення водневих зв'язків з поверхнею наповнювача. Крім того встановлено, що обробка епоксидної смоли ЕІГУ з подальшим уведенням наповнювача забезпечує розкриття епоксидного циклу та утворення карбонільної групи, коливання якої виявлено при частоті 1700 $см^{-1}$. Зміщення частоти коливань даної групи, а також групи – CH_2 – на 10…30 $см^{-1}$ в низькочастотну область дозволяє стверджувати, що при зовнішній обробці проходить руйнування подвійного зв'язку та утворення радикалу етилену.

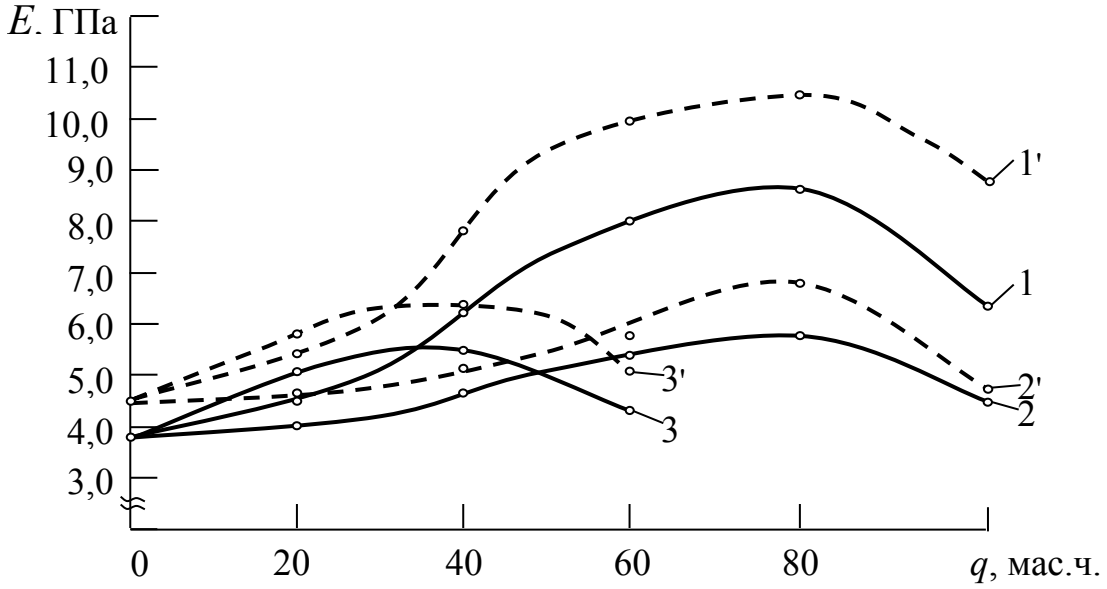


Рисунок 1. Вплив концентрації наповнювача на модуль пружності при згинанні епоксикомпозитних матеріалів, що містять: 1,1'- Al_2O_3; 2, 2'- Cr_2O_3; 3, 3'- ГС; 1,2,3 – епоксикомпозитний матеріал з вихідною епоксидною смолою ЕД-20; 1',2',3' – епоксикомпозитний матеріал з епоксидною смолою ЕД-20, модифікованою електроіскровим гідроударом.

Аналізом результатів досліджень методом ІЧ- спектроскопії встановлено, що після ЕІГУ формується більш жорсткий матеріал з високим ступенем зшиванням у поверхневих шарах навколо частинок наповнювача. Це, у свою чергу, збільшує відсоток гелеоутворення у системі, що експериментально підтверджено дослідженнями гель-фракції вихідних і модифікованих КМ. З точки зору фізико-хімії поверхневих явищ це можна пояснити тим, що порівняно з вихідним в'яжучим новоутворені, під час зовнішньої модифікації матеріалу, вільні радикали більше рекомбінують, взаємодіючи з активним центрами на поверхні добавок [5]. При цьому зауважимо, що така взаємодія суттєво залежить від магнітної природи наповнювача. Показано (рис. 1), що оптимальна концентрація феромагнетика газової сажі (ГС) становить 40 мас.ч., у той час як необхідна кількість Cr_2O_3, Al_2O_3 повинна бути у межах 70…80 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли. На наш погляд, це пов'язано з впливом магнітного поля дисперсної частинки (ГС) на зміну конформаційного набору як вихідних макромолекул, так і вільних радикалів у поверхневих шарах. Розглядаючи активні радикали як диполі, що мають власний магнітний момент, можна констатувати про їх активну взаємодію з магнітним полем дисперсної частинки. Це забезпечує орієнтацію таких радикалів в поверхневих шарах, що позначається на фізико-хімічних властивостях КМ.

Висновки. Отже, у роботі на основі експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей епоксикомпозитних матеріалів обґрунтовано доцільність проведення попередньої обробки олігомерних композицій електроіскровим гідроударом. Встановлено, що попередня обробка композицій ЕІГУ приводить до зменшення руйнівного напруження при згинанні, однак зростають модуль пружності при згинанні і

ударна в'язкість епоксикомпозитних матеріалів. Отримані результати пояснюють кращою змочуваністю субстрату та зростанням фізико-хімічної взаємодії між молекулами олігомера, вільними радикалами і дисперсними частинками після модифікації епоксидної смоли. При цьому електроіскровий гідроудар приводить до виникнення радикалів. Це, у свою чергу, підвищує ступінь зшивання гетерогенної системи при формуванні матеріалу, що позначається на експлуатаційних властивостях модифікованих епоксикомпозитів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Москалев Е.В., Вишнивецкая Л.П., Тризно М.С. Опыт ультразвукового склеивания при использовании эпоксидных адгезивов. – Л.: ЛДНТП, 1983. – 16 с.

2. Кальба Є.М., Букетов А.В. Регулювання структури і властивостей полімеркомпозиційних зносо- та корозійностійких покриттів магнітною обробкою // Фізико-хімія конденсованих структурно-неоднорідних систем. Матеріали III Всеукраїнської наукової конференції «Функціональна та професійна підготовка фахівців з фізики». – Ч.II. – К.:НПУ. – 1998. – С. 104-107.

3. Стухляк П.Д., Букетов А.В., Тотосько О.В., Шовкун О.П. Модифікація епоксидних матеріалів електрогідравлічним ударом // Вісник технологічного університету Поділля.- Хмельницький. – 2004. – Частина 2, Том 2. – С. 47-50

4. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. - М.: Химия, 1971. – 364 с.

5. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Бадищук В.І. Ультрафіолетова модифікація епоксинаповнених матеріалів // Вопросы химии и химической технологи. – 2004. – №3. – С.101-104.

ВПЛИВ ВОДНЮ ТА ВУГЛЕЦЮ НА ЗМІЦНЕННЯ ІНВАРНИХ СПЛАВІВ

Федоров В.В.
Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України (Україна)

Однією з найважливіших фізико-механічних характеристик інварних сплавів є «інварне зміцнення» – різке зростання межі міцності після фазового переходу парамагнетик – феромагнетик. Цей ефект суттєво залежить від умов термічної обробки і вмісту домішок в інварі. В першому випадку необхідно враховувати можливість утворення впорядкованих атомних структур, які впливають на температурний інтервал існування феромагнетизму, в другому – домішки втілення викликають зміну магнітних характеристик [1]. Отже, комбінуючи відповідну термообробку у водні з процентним вмістом вуглецю, можна покращити міцнісні характеристики інварних сплавів.

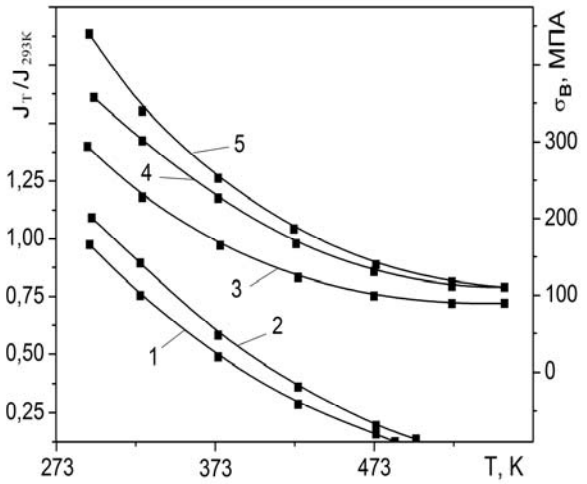


Рисунок 1. Температурні залежності намагніченості (1, 2) і межі міцності (3-5) сплаву Н36 у вихідному стані (1, 3) та легованого 0,17 мас.% С до (2,4) та після (5) водневої обробки на атомне впорядкування.

Під час дослідження впливу домішок втілення на «інварне зміцнення» сплаву Н36 (Fe – осн., Ni – 35,7, Mn – 0,50, Si – 0,26, C – 0,01, S – 0,005, P – 0,001) встановлено (рис.1), що межа міцності $\sigma_в$ після навуглечування зростає (криві 3,4) пропорційно зміні намагніченості (криві 1, 2). Фізичний механізм цього процесу полягає у наступному. З охолодженням нижче точки Кюрі T_C в інварних сплавах формується неоднорідна магнітна структура, в якій присутні флуктуації спінової густини, викликані утворенням сегрегацій атомів заліза (1...3 нм). При цьому їх результуючий магнітний момент не збігається з напрямком намагніченості в зразку. В області існування феромагнетизму об'єм ГЦК–гратки інвару збільшується внаслідок появи спонтанної магнітострикції. Це призводить до виникнення значних структурних напружень навколо сегрегацій атомів заліза і зростання $\sigma_в$ сплаву. Крім того, через магнітну неоднорідність інвару феромагнітне перетворення в ньому відбувається не в точці Кюрі, а розтягнуте за температурою. Тому з віддаленням від T_C кількість спотворених структурних мікрообластей у феромагнітній матриці зростатиме пропорційно росту намагніченості при охолодженні, що і викликає ефект «інварного зміцнення». Пластичність зразків при цьому майже не змінюється (δ = 20 %).

Легування вуглецем, збільшуючи параметр ґратки інвару, посилює ефективну обмінну взаємодію в сплаві і інтенсифікує зростання $\sigma_в$. Оскільки склад компонентів у сплаві Н36 не відповідає стехіометричному для надструктури FeNi, то за її формування об'ємна частка збагачених залізом мікрообластей зростатиме, посилюючи магнітну неоднорідність інвару. Експериментальна перевірка цього припущення показала (рис.1, крива 5), що впорядкований сплав Н36 додатково зміцнюється.

Таким чином, поєднання легування вуглецем та термообробки у водні, яка стимулює процес формування атомних впорядкованих структур, дозволяє керувати міцнісними властивостями інварних сплавів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Смирнов А.А. Теория сплавов внедрения. – М.: Наука, 1979. – 365 с.

ВПЛИВ НЕОРГАНІЧНИХ ІНГІБІТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ПАСИВНОЇ ПЛІВКИ НА МЕХАНІЧНО АКТИВОВАНІЙ ПОВЕРХНІ АЛЮМІНІЮ

Хлопик О.П., Зінь І.М.
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України (Україна)

Алюміній та його сплави відзначаються достатньо високою корозійною стійкістю в робочих середовищах, що зумовлює їх широке застосування в різних галузях промисловості. Стійкість до корозії цих металів у водних розчинах сильно залежить від наявності захисної оксидної плівки [1]. Проте, під час експлуатації ця плівка може бути механічно зруйнована. За таких умов метал прискорено кородує [2]. Ефективним способом захисту алюмінію від корозії в рідких водних середовищах є використання інгібіторів, які уповільнюють електрохімічне розчинення металу [3, 4]. Однак, за умови їх дія за умови механічного руйнування оксидної плівки на алюмінії вивчена не достатньо. Тому **метою роботи** було оцінити захисні властивості пасивних плівок, сформованих на поверхні алюмінію в інгібованих корозивних середовищах.

Для механічної активації поверхні алюмінію в робочому середовищі використовували спеціальний пристрій-гільйотину [5]. Захисні властивості пасивних плівок, утворених на алюмінії в інгібованих розчинах до та під час механічної активації, вивчали методом електрохімічної імпедансної спектроскопії на приладі Gill AC. Використовували триелектродну комірку, яка складалася з хлорид-срібного електрода порівняння, платинового допоміжного та робочого – досліджуваного зразка. В якості робочого електрода використовували алюмінієвий дріт АПТ (ГОСТ 6132-79) діаметром 3 мм. Одержані імпедансні спектри аналізували за допомогою комп'ютерної програми EIS Spectrum Analyser. При цьому за допомогою модельного еквівалентного електричного кола розраховували опір переносу заряду алюмінію R_{ct} після механічного активування [5].

Корозивним середовищем слугував синтетичний кислий дощ наступного складу: 3,18 мг/л H_2SO_4 + 4,62 мг/л $(NH_4)_2SO_4$ + 3,20 мг/л Na_2SO_4 + 1,58 мг/л HNO_3 + 2,13 мг/л $NaNO_3$ +8,48 мг/л NaCl, pH=4,5. До цього середовища додавали інгібітори корозії натрій нітрат, кальцій нітрат, цинк фосфат, кальцій фосфат, калій хромат та стронцій хромат за концентрації 1 г/л.

На рис. 1 наведені значення опору переносу заряду алюмінію після гільйотинування в інгібованих середовищах. Отримані дані показали, що в інгібованих розчинах опір R_{ct} є набагато вищим та становить $(1,2\ldots1,5)\cdot10^{5}$ Ом·см^2. Винятком є нітрат натрію, який майже не покращує захисні властивості оксидної плівки на алюмінію та дещо погіршує захисні властивості плівки утвореної за умов його репасивації.

Додавання до кислого дощу нітрату кальцію підвищує опір переносу заряду алюмінію R_{ct} приблизно в 3 рази, порівняно з його опором в неінгібованому середовищі та в розчині з нітратом натрію. Імовірно, цей ефект викликаний участю іонів кальцію у формуванні захисної плівки на алюмінії. Найбільше підвищується опір переносу заряду зразка алюмінію у розчинах кислого дощу інгібованих витяжками фосфату кальцію та хромату стронцію. Це свідчить про зниження електрохімічної активності на поверхні сплаву, внаслідок осадження захисної плівки з високими бар'єрними характеристиками Ці інгібітори приблизно однаково ефективно захищають поверхню алюмінію з природною оксидною плівкою та його свіжоутворену поверхню. Хромат калію є найбільш ефективним інгібітором на зразку алюмінію у стані поставки з природною оксидною плівкою. Проте його захисна ефективність на свіжо активованій поверхні алюмінію значно менша.

Виходячи з даних електрохімічної імпедансної спектроскопії (рис. 1) можна зробити висновок про важливість природи катіона неорганічного інгібітора для захисту алюмінію та алюмінієвих сплавів в умовах механічного пошкодження оксидної плівки.

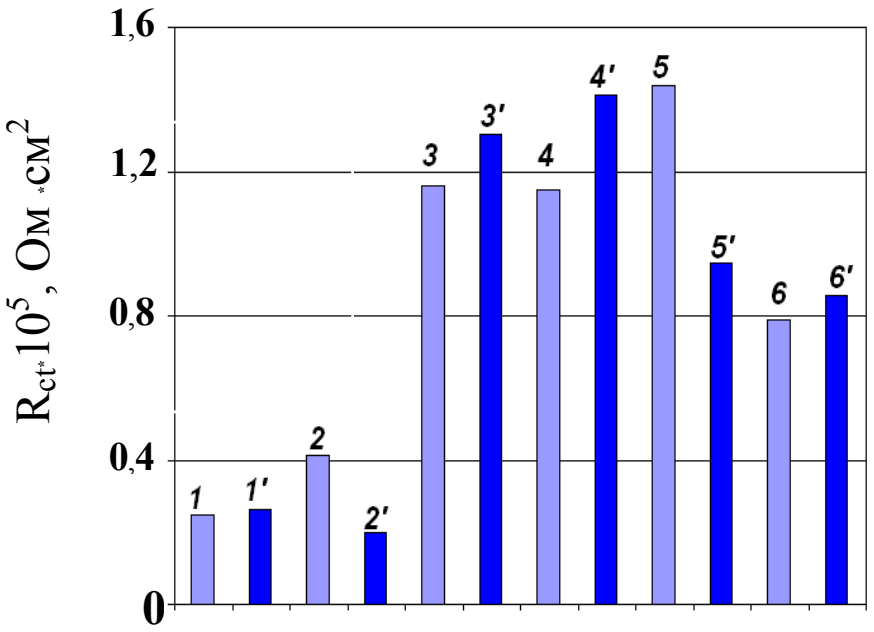


Рисунок 1. Опір переносу заряду алюмінію в неінгібованому кислому дощі (1, 1') та з додаванням: нітрату натрію (2, 2'), фосфату кальцію (3, 3'), хромату стронцію (4, 4'), хромату калію (5,5'), нітрату кальцію (6, 6').
1 2, 3, 4, 5, 6 – зразки з пасивною плівкою, утвореною на повітрі;
1', 2', 3', 4', 5', 6'- зразки з пасивною плівкою, сформованою в розчині.

Катіони Ca^{2+} та Sr^{2+} здатні утворювати малорозчинні гідроксиди, які утворюють захисну плівку на катодних ділянках металу. При цьому лужність розчину в локальному об'ємі поблизу катоду не зростає. Катіони Na^+ та K^+ утворюють добре розчинні гідроксиди. При цьому внаслідок підвищення концентрації іонів OH^- водневий показник корозивного розчину в прикатодних ділянках зростає і одночасно створюються умови для розчинення пасивної оксидної плівки на алюмінії.

Таким чином, для захисту алюмінію та сплавів на його основі від корозії на стадії відновлення механічно пошкодженої оксидної плівки перспективними можуть бути інгібітори фосфатного та хроматного типів, які містять катіони металів здатні утворювати малорозчинні гідроксиди. Додавання витяжок фосфату кальцію та хромату стронцію у розчин кислого дощу, найбільше підвищує опір переносу заряду зразка алюмінію. Ці інгібітори приблизно однаково ефективно захищають поверхню алюмінію з природною оксидною плівкою та його свіжо утворену поверхню.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.В. Герасимов. Коррозия алюминия и его сплавов // М.: Металлургия, 1967. – 113 с.

2. Lyer K. Et al Contribution of fretting to the fatigue and corrosion deterioration of a riveted lap joint // Struct. Integ. Ageing Aircraft, ASME 47 – 1995. – P. 35-61.

3. S.R.Taylor, B.D.Chambers. The discovery of non-chromate corrosion inhibitors for aerospace alloys using high-throughput screening methods / Corrosion Reviews. – 2007. - 25, № 5-6. – P. 571-590.

4. M.G.A. Khedr, A.M.S. Lashien. The role of metal cations in the corrosion and corrosion inhibition of aluminium in aqueous solutions / Corrosion Science. – 1992. - 33, №1. - P. 137-151.

5. Патент України на корисну модель № 81047. Спосіб експрес-оцінки ефективності інгібіторів корозії за умов механічного руйнування пасивної плівки на поверхні металу / В.І. Похмурський, І.М. Зінь, А.І.Кондир, О.П. Хлопик. – Опубл. 25.06.2013; Бюл. № 12. – 4 с.

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

[1]Шарко А.В., [1]Погребняк И.Ф., [2]Нигалатий В.Д.
[1]Херсонский национальный технический университет (Украина)
[2]Херсонская государственная морская академия (Украина)

Алюминиевые сплавы подвергаются закалке с целью получения перенасыщенного твердого раствора, из которого при последующем старении выпадает мелкодисперсная фаза, упрочняющая сплав. Нижний предел температуры нагрева под закалку определяется необходимостью обеспечения условий для получения твердого раствора. Верхний предел определяется температурой, выше которой имеет место пережог сплава, т.е. местное оплавление границ зерен.

При проведении закалки при температурах близких к температуре солидуса вследствие неточности измерения температуры может возникнуть пережог или оплавления в структуре. Они проявляются в образовании участков литой структуры и в снижении механических свойств. Для выявления начальной стадии пережога осуществляется металлографический анализ микроструктуры образцов-свидетелей. Пережог деталей из этих сплавов характеризуется неравномерным травлением границ зерен твердого раствора с местным чрезмерным их утолщением, округлением этих границ и проявлением внутри зерен скоагулированных включений структурных составляющих сплава.

Металлографический анализ является довольно трудоемким. Контроль по образцам-свидетелям не дает достаточной гарантии качества всей партии термообрабатываемых деталей. Контроль одной детали из партии, связанный с изготовлением большого количества макрошлифов, вырезанных из различных ее зон, их травлением и просмотром, так же не всегда является эффективным средством выявления пережога, так как возможны случаи перебраковки изделия. За начальную стадию пережога при осмотре микрошлифов принимается различная степень округления зерен, что не всегда соответствует действительному состоянию материала. Поэтому в настоящее время проводятся большие работы по разработке и внедрению в производство методов стопроцентного неразрушающего контроля термообработки деталей из алюминиевых сплавов [1-3].

На образцах из сплава Д-16, прошедших различную термообработку, выполнены акустические измерения коэффициента затухания ультразвуковых волн по отношению амплитуд последовательных экосигналов и резонансной частоты образования стоячей волны.

Амплитуда принятого ультразвукового сигнала измерялась ламповым вольтметром ВЗ-38. Резонансная частота колебаний фиксировалась частотомером ЧЗ-33.

Результаты акустических измерений коэффициента затухания α и резонансной частоты f приведены на графике рис. 1. На этом же графике приведены результаты испытаний механических свойств образцов: пределов прочности $\sigma_в$, текучести σ_{02}, относительного удлинения δ, выполненных на разрывной машине фирмы «Амслер» при нагрузке 5 т. Как видно из результатов механических испытаний резкое уменьшение пределов прочности, текучести, а также относительного удлинения наблюдается для сплава Д16 при температурах закалки больше 530 °С.

По измерению коэффициента затухания ультразвука можно надежно выявлять установившуюся стадию пережога, но невозможно выявить его начальный переход. При температуре 530 °С происходит резкое уменьшение резонансной частоты. Это позволяет надежно зафиксировать фазовый переход структуры сплавов и определить начальную стадию пережога.

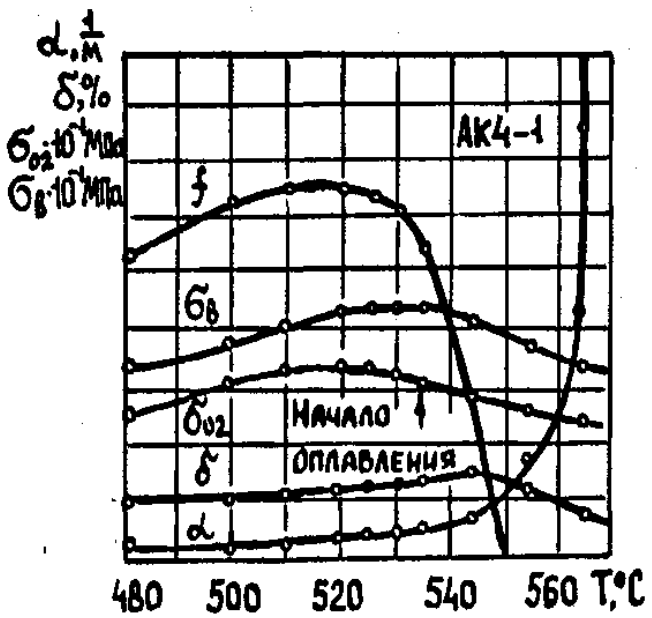


Рисунок 1. Изменение механических и акустических свойств алюминиевых сплавов от температуры закалки

Предлагаемый метод ультразвукового контроля пережога деталей и полуфабрикатов из термоупрочняемых алюминиевых сплавов является более эффективным методом по сравнению с механическими испытаниями и металлографическим анализом и может быть рекомендован как средство оценки технологических свойств материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселёв В.К., Самохвалов Р.В., Городниченко В.И. Результаты исследования напряжённо-деформированного состояния трубопроводных конструкций ультразвуковым сканером ПИНТ. 3-я Международная конференция «Диагностика трубопроводов». Москва, 21-26 мая 2001 г. – С. 176.
2. Козлов В.Н., Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Применение корреляционных методов обработки сигналов в эхо-импульсных толщиномерах. Сварка на рубеже веков: Тезисы докладов научно-технической конференции. 20 - 21 января 2003. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2002. - С. 106.
3. Самокрутов А.А., Бобров В.Т., Шевалдыкин В.Г., Козлов В.Н., Алёхин С.Г., Жуков А.В. Применение ЭМА толщиномера А1270 для контроля проката из алюминиевых сплавов // В мире неразрушающего контроля, 2002, N4. – С. 24-27.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАСТМАСОВИХ ЛАБІРИНТНИХ УЩІЛЬНЕНЬ У ВУЗЛАХ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

Ярема І.Т., Стухляк П.Д., Наконечний Ю.І., Золотий Р.З., Антонов А.М.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

Для валів газоперекачувальних агрегатів магістральних газопроводів з частотою обертання 6500 об/хв застосовують безконтактні ущільнення різних конструкцій. Це зумовлено, насамперед, високою теплотою тертя, яка виділяється при застосуванні контактних ущільнень, і наявністю вибухонебезпечного середовища – природного газу. Лабіринтні ущільнення у відцентрових газоперекачувальних установках служать для запобігання перетоку газу між камерами високого і низького тиску. Надійна робота таких ущільнень суттєво впливає на продуктивність відцентрового нагнітача в цілому та на безповоротні втрати газу та мастила. Їх дія полягає у гальмуванні (завихренні) газу у вузькій кільцевій щілині між ущільненням та валом з наступним розширенням в суміжній камері більшого об’єму. В кільцевій щілині тиск газу під тиском переходить в швидкісний напір, після виходу газу із щілини енергія потоку витрачається на незворотні втрати в процесі «завихрювання – розширення». Чим більші ці втрати (тобто, чим менший переріз щілини і гостріші кромки гребеня ущільнення), тим менша доля тиску відновлюється в камері і, відповідно, тим ефективніше працює ущільнення. В кожній наступній камері тиск газу є меншим, ніж в попередній. В системі ущільнень ротора нагнітачів газу зарубіжного виробництва фірм «Купер Бесемер» (США), «Нуово Піньоне» (Італія), «Демаг» (ФРН) та ін. на магістральних газопроводах передбачено ряд лабіринтних ущільнень різних типорозмірів виготовлених з алюмінієвих сплавів методом механічної обробки. Причиною виходу із ладу даних ущільнень є ерозійне зношування лабіринтних гребенів та збільшення радіального зазору внаслідок биття ротора, яке зумовлено довготривалою експлуатацією газоперекачувальної установки.

Лабораторією по застосуванню полімерних конструкційних матеріалів в газотранспортному обладнанні ТНТУ імені І.Пулюя накопичений багаторічний досвід розробки та виготовлення безконтактних лабіринтних ущільнень з використанням зносостійких і термостійких пластмас. Конструкції цих ущільнень передбачають зменшення зазорів в парі «вершина гребеня – ротор», зміну геометрії камер завихрення та створення протипотоків на всій ширині ущільнення. При проектуванні лабіринтних ущільнень враховувались індивідуальні розміри ротора конкретного нагнітача. Були розроблені ефективні безконтактні ущільнення для нагнітачів газу виробництва фірм «Купер Бесемер» , «Нуово Піньоне», «Демаг». Так, до відцентрового нагнітача фірми «Купер Бессемер» газотурбінного компресора ГТК-10 І авторами була розроблена пластмасо - металева конструкція, яка представляє собою металеву обойму 1 та вмонтовану в неї пластмасову вставку 2 (рис. 1).

Для металевої обойми використовували пошкоджене штатне ущільнення, в якому збережені усі приєднувальні розміри та фіксуючі елементи. Пластмасова вставка представляє собою лабіринтне ущільнення із нахиленими назустріч газовому потоку гребінцями. Як відомо, на ефективність лабіринтного ущільнення істотно впливає гострота кромки гребеня. По існуючій технології виготовлення (точіння) досить важко досягти в цьому плані розрахункових величин. Це зумовлено тим, що в процесі різання пружні деформації матеріалу переходять у пластичні, які поширюються по поверхні гребінця в порівняно великій зоні. Глибина цієї зони залежить від режимів різання, вибраного матеріалу, товщини зрізу і кута різання.

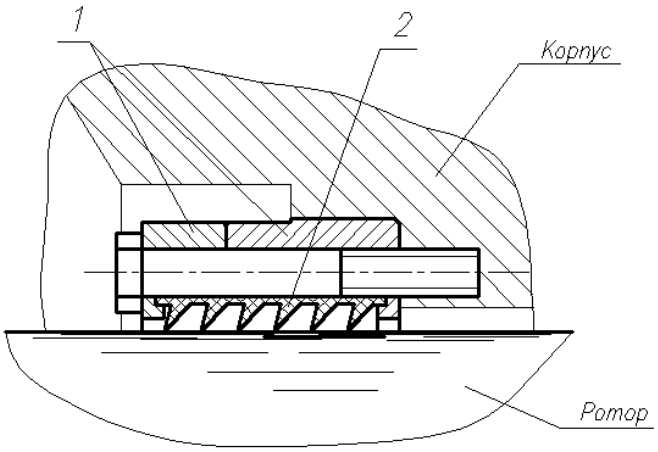


Рисунок 1. Пластмасо-металеве лабіринтне ущільнення ротора нагнітача

В результаті при вершині гребінців виникають внутрішні напруження, які спричиняють вигинання вершини, її короблення, викришування, витягування вздовж різця і, як наслідок цих негативних явищ – нестабільність зазорів по всій довжині ущільнення. Тому гребінці виконуються таким чином, щоб їхні вершини знаходились поза зоною перекриття деформацій. Цим і пояснюється наявність технологічної площадки при вершині гребінця. В існуючих конструкціях лабіринтних ущільнень ГПА вітчизняного та імпортного виробництв товщина кромок гребенів знаходиться в межах 0,3÷0,4 мм . Ця величина залежить не тільки від технології виготовлення, але й від часу роботи ущільнення в середовищі газоабразивного потоку. Відомо, що для виготовлення безконтактних лабіринтних ущільнень з метою запобігання утворення іскри використовують сплави кольорових металів, які є досить нестійкими до абразивного зношування. В процесі експлуатації гострі кромки швидко зношуються, затуплюються і, як наслідок, зазори збільшуються та знижується ефективність ущільнення.

Отже, для підвищення ефективності лабіринтного ущільнення необхідно застосувати більш досконалу технологію виготовлення, розробити ефективніші профілі гребенів ущільнення, забезпечити необхідну гостроту кромки гребінців та ефективну їх роботу в газовому потоці.

Розроблена авторами конструкція пластмасової вставки з лабіринтними гребенями виготовляється з конструкційних пластмас (поліамідів) високопродуктивним методом лиття під тиском на термопластавтоматах. Така технологія дозволяє отримати товщину лабіринтних гребенів до 0,1мм, а виготовлення їх нахиленими до осі вала дає можливість монтувати ущільнення на вал з нульовим зазором. При монтажі на нагнітач можливе торкання ротором гребенів ущільнення, проте, завдяки в’язкопружним властивостям поліаміду, це не приведе до їх поломки, а тільки до деформації пластмасових гребенів. Завдяки такій конструкції досягається зменшення радіального зазору між ротором та ущільненням і, як наслідок, суттєво покращується ефективність роботи вузла.

Випробування в експлуатаційних умовах компресорних станцій показали, що така конструкція лабіринтного ущільнення нагнітача працює ефективно і дає можливість суттєво скоротити втрати ущільнюючого мастила та зменшити безповоротні втрати перекачуваного газу.

Ефективність лабіринтних ущільнень для інших нагнітачів підтверджена практикою використання та оформлена відповідними актами випробувань.

ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ КУЛЬОВИХ КРАНІВ ДУ-50 «GROVE» (ІТАЛІЯ)

Ярема І.Т., Наконечний Ю.І., Буховець В.М., Дячук Д.С., Бутковська Л.С.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

На технологічних лініях компресорних станцій (КС) магістральних газопроводів використовується значна кількість кульових кранів Ду-50 виробництва фірми «Grove» (Італія). По конструкції ці крани є кранами з фіксованим кульовим затвором. Ущільнення кульового затвору здійснюється за рахунок підтискання сідла до кульової поверхні за допомогою тарільчатої пружини та перепаду тиску в закритому положенні крана. Герметизація пари «сідло-куля» в даних кранах забезпечується за рахунок тефлонового ущільнення, яке запресоване в кільцеву канавку металевого сідла. Для ущільнення металевого сідла з корпусом крана використовується гумове кільце круглого перерізу.

Термін експлуатації кранів Ду-50 «Grove» на деяких КС України становить 25 і більше років. Хоча внутрішні частини (куля, шток, сідла) цих кранів покриті нікелем, але внаслідок тривалої експлуатації та дії агресивних середовищ ці покриття в деяких місцях руйнуються. Незахищені покриттям ділянки кулі піддаються негативній дії корозії і, як наслідок, утворюються лунки та вм'ятини. Глибина цих лунок може коливатися від сотих до 0,5 міліметра. Причиною виходу з ладу пластмасових ущільнень кульового затвору є ерозійне зношування та пошкодження ущільнювальної поверхні при попаданні в зону контакту абразиву та інших твердих механічних частинок.

Авторами розроблена технологія ремонту цих кульових кранів, яка полягає в наступному. Насамперед проводиться повне розбирання крана та очищення (промивка) всіх його деталей, оцінюється стан кулі, сідел, пластмасових та гумових ущільнень, тобто визначається наскільки вони зношені чи пошкоджені корозією. Якщо нікелеве покриття кулі збережене, а на її поверхні є незначні подряпини, то кулю полірують, запресовують в сідла нові пластмасові ущільнення та замінюють на нові всі гумові ущільнення. При пошкодженні захисного покриття на робочій поверхні кулі та за наявності глибоких канавок чи лунок, кулю на сферо токарному верстаті обточують, а потім наносять нове захисне покриття. Так як, при цьому зовнішній діаметр кулі стає меншим, то вносяться зміни в конструкцію ущільнень таким чином, щоб вона забезпечувала повну герметичність кульового затвору . Підвищення ефективності ущільнень кульових кранів досягається через удосконалення конструкцій та використання сучасних полімерних і полімеркомпозиційних матеріалів. При розробці конструкцій ущільнення кулі необхідно враховувати умови, в яких експлуатується даний кран. Для виготовлення ущільнення використовується фторопласт марки Ф-4К20, який має в своєму складі 20 відсотків коксу і характеризується підвищеною, в порівняно з іншими фторопластами, зносостійкістю. Застосування цього матеріалу дозволяє підвищити герметичність ущільнення і значно зменшити крутні моменти внаслідок низького коефіцієнта тертя його по металу. Після реставрації кулі та заміни всіх ущільнень проводиться складання крана та його випробування спочатку в лабораторних умовах на герметичність та працездатність, а пізніше - в експлуатаційних умовах.

Описана вище технологія ремонту кульових кранів Ду-50 «Grove» дозволяє не тільки відновлювати їх роботоздатність, але й отримати економічний ефект, який полягає в економії підприємствами ДК «Укртрансгаз» валютних коштів на придбання нових кранів та комплектуючих до них.

Секція 6

ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

МОДЕЛЬ «ИДЕАЛЬНОГО» СТУДЕНТА МОРСКОГО ВУЗА

Акимов А.В., Букетов А.В.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Одним из направлений совершенствования морского образования в Украине и в мире в целом на современном этапе является развитие системных требований и достижение у студентов необходимых и достаточных свойств (качеств) по выполнению профессиональных задач, труда и творчества. Это приводит к повышению уровня компетентности выпускников, что является наиболее важным для современного морского ВУЗа в условиях сложившейся мировой ситуации относительно уточнения компетентностных требований к обслуживающему персоналу судов морского флота, отраженных в Кодексе ПДНВ.

«Ближняя зона успеха» данной цели определяется моделью абитуриента, которая, на основе оцененных показателей знаний даёт представление о потенциале каждого субъекта к обучению и, как следствие, овладению конкретной специальностью. «Зона дальних успехов» – прогнозирование последующей эффективности выпускников в профессиональной работе. Таким образом, модель студента – это представление о развитии обучающегося в ВУЗе; его стремлении к «идеалу», сравнимости с ним; совокупность логически связанных требований государственных (международных) образовательных стандартов, квалификационных характеристик специалиста; развиваемые компетенции по будущей специальности.

Образ идеального студента – это активный, ответственный, целеустремленный, добросовестный, отзывчивый, успешный в учебе человек с обширными многосторонними интересами, основная сфера интересов которого заключается в процессе учебы и реализации накопленных знаний в будущей профессии. Этот образ складывается из сочетания деловых качеств, особенностей взаимодействия с другими людьми, направленности на психофизиологические особенности с выделением приоритета учебы и будущей профессиональной деятельности.

Задачами, которые необходимо решить являются: определение факторов развития «идеального» студента и уточнение необходимых компетенций студента. Ядром модели может служит комплексная (биолого-, психолого-, социально-, информационная) микросреда обучающегося, представляющего индивидуум во времени и в пространстве макросред. В модель можно включить следующие надстройки: связи и взаимодействия посредством функций и потребностей индивидуума для достижения определенного уровня компетенций. Внешнюю часть модели могут определять ситуационные задачи и цели системы образования (социализации). Практическим значением модели является следующее: в ВУЗе определяют (переопределяют) цели, содержание, принципы и правила обучения и воспитания студентов при определённой степени дифференциации обучающихся и введении рейтинговой системы успеваемости.

В наибольшей мере понимание вопроса компетентности складывается у студентов, которые обучаются на старших курсах и уже имеют определенный уровень практической подготовки в экипажах судов зарубежных судовладельческих компаний.

Личностные качества студентов старших курсов включают психологические, но это выделение было довольно условным, так как некоторые деловые характеристики и качество общения можно было отнести к личностным. Аргументом при таком выделении послужила возможность выявить направленность на деловую сферу, сферу общения и взаимодействия. Из мнений относительно личностных качеств ни одно не вошло в группу, наиболее часто характеризующую идеального студента. Приближаются к наиболее значимым качествам такие функции, как: самостоятельность в принятии решений и высокая адекватная самооценка, уверенность в себе. В характеристике идеального студента личностные качества реже встречаются, чем деловые, но чаще, чем психофизиологические и когнитивные.

Проведенный опрос по поводу психологических проблем студентов старших

курсов показал, что более чем у 40 % студентов дневной формы обучения психологические проблемы связаны именно с учебой. Это характеризует направленность студентов на учебу. В сочетании с анонимностью проведенного опроса и его проведением в студенческих группах это дает основания предполагать, что выделение деловых качеств идеального образа студента в направлении ведущих не носит установочного характера. Реальный студент хотел бы развивать деловые качества. Студенты старших курсов факультета судовой энергетики ХДМА серьезно подходят как к учебе, так и к будущей профессии.

Психофизиологические особенности включают активность и стрессоустойчивость. Активность в высказываниях значительного большинства студентов представляла собой интегративную характеристику без выделения отдельных сфер ее проявлений. Небольшая частота высказываний относительно стрессоустойчивости свидетельствует о благополучности социальной группы студентов старших курсов. Видимо, студенческая жизнь для старшекурсников включает мало стрессов, поэтому стрессоустойчивость в понимании группы студентов не очень актуальна. Студенты чаще включают в образ идеального студента аспект деловых качеств по сравнению с аспектом психофизиологических характеристик, хотя активность, как характеристика идеального студента, часто указывается студентами.

Наличие когнитивных способностей для некоторых студентов оказалось значимым. Они характеризуют идеального студента как умного и творческого человека. Им льстит, что они принадлежат к группе умных и творческих людей. Такое мнение можно использовать в качестве позитивного подкрепления при формировании мотивации саморазвития. Когнитивные способности реже характеризовали идеального студента, чем деловые качества, и группа когнитивных способностей в высказываниях студентов не имеет достоверных различий с мнением о психофизиологических особенностях.

Из приведенных мнений относительно внешности, манер, поведения ни одно не вошло в группу наиболее значимых, характеризующих идеального студента в понимании старшекурсников. В характеристике идеального студента характеристики внешности, поведения манер реже встречаются по сравнению с деловыми качествами и личностными особенностями. Для студентов старших курсов содержание является более значимым, чем форма. Одно из качеств, отражающих особенности взаимодействия студента с людьми – отзывчивость – является одним из наиболее значимых, характеризующих идеального студента. В характеристике идеального студента особенности взаимодействия с людьми реже встречаются по сравнению с деловыми качествами, но чаще – по сравнению с психофизиологическими характеристиками и особенностями внешности, поведения, манер.

Идеальный образ студента – это образец, по которому сверяется личный образ себя и образ другого. В понимании студентов старших курсов ВУЗа идеальный студент в первую очередь характеризуется деловыми качествами, активностью, качествами общения и особенностями сферы интересов. В сформировавшемся у студентов старших курсов идеальном образе студента находят отражение в интегративной форме и профессиональные нормы, и этические принципы, и ценности, что будет способствовать его конкурентоспособности (компетентности) как будущего профессионала.

Таким образом, в понимании студентов старших курсов факультета судовой энергетики ХДМА образ идеального студента – это активный, ответственный, целеустремленный, добросовестный, отзывчивый человек с обширными многосторонними интересами, основная сфера интересов которого – учеба и будущая профессия. Поэтому он успешен в учебе. Образ идеального студента складывается из сочетания деловых качеств, особенностей взаимодействия с другими людьми, направленности на многие сферы, с выделением приоритета учебы и будущей профессиональной деятельности, психофизиологических особенностей.

С учетом идеального образа студентов можно прогнозировать направления развития студентов – это развитие деловых качеств и профессионализма, улучшение взаимодействия с другими людьми, повышение уровня активности, расширение сферы интересов, что способствует обеспечению компетенций студента и его конкурентоспособности в профессиональной деятельности.

COMPETENCE GOAL - TEACHING ENGLISH FOR MARINE ENGINEERS

Afanasievska I.O., Syniuk A.O.
Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

The twenty-first century is characterized by mobility, ever-increasing flow of information and co-operation between countries in the field of economics, culture and education. "New competences and skills are necessary to understand and evaluate the developments, and it is a way towards higher effectiveness" [6, p.28]. In these conditions specialists professional competence is becoming more and more important and special attention should be paid to employees academic skills, communication, language competence, innovations, imagination, creativity, critical thinking, problem solving skills, ability to evaluate the situation and make a decision, positive attitude, openness to changes, responsibility, integration, partnership, co-operation and teamwork and lifelong learning [4;5], which are essential components of professional competence. Growing demands to employees professionalism set new requirements to education, stressing "co-existence, respect to personality, dialogue, mutual creative activity" [1, p.57].

In knowledge society the contents of the studies, learning, and the methods used and the requirements for an educator's professionalism are changing. The studies should be student-centred and oriented towards the holistic acquisition of study courses. The educator's professionalism means wide strategic, creative knowledge, imagination and creativity, organizing of pair work, group work, teamwork, mutual help among the students, and strengthening of students independence, as well as an ability to integrate interdisciplinary knowledge in continuous professional development. This means a shift from teaching to learning. Students themselves have to construct their knowledge; the educator can advise and help them in this process. Students have to be active participants in the process.

Recently seafarer business has become one of the most flourishing businesses in our country. Its specific feature is the requirement for creative, decisive, educated and competitive specialists with a good command of English and excellent cooperation skills, who are able to work observing traditions of different cultures. An essential role in tourism specialists education should be paid to the development of their English for Special Purposes(ESP) competence, which in a knowledge society could simultaneously foster the development of employees professional competence. Therefore, with the growth in requirements for language competence, the language-learning model changes as well. English for special purpose competence consists of communicative, intercultural and professional activity competence. Each of them consists of several sub-competences that interact [2, pp. 46-58]. The development of English for marine engineers' competence takes place in action and it is based on students' experiences, and consequently students form new experiences. This competence is an individual combination of gained experience, attitude and abilities developed on the basis of learning, which allows a specialist, observing different cultural traditions and peculiarities, to creatively implement the English language both receptively and productively in communication and professional work, responsibly develop sailing industry and offer the client a product in an understandable and acceptable way.

The present situation shows that there is an objective need to study possibilities how students can attain a high level of English for marine engineers competence, the ability to compete in labour market and to continuously develop themselves, at the same time promoting the development of educator's professional pedagogical activity and the integration of English for special purposes in studies by purposefully organizing a student-centred pedagogical process.

The following suggestions for the development of educator's professional activity have been elaborated: the teaching-learning methods that arouse students' activity should be used during the studies and they have to be connected with professional lexis; the educator should

offer the students problem-solving tasks that are related with their professional activity, and in cooperation find the most appropriate solution discussing advantages, disadvantages and the interesting aspects of the possible solutions; in order to develop students' professional thinking English for marine engineers' studies should include creative tasks; professional lexis, texts, different speaking and listening tasks have to be supplemented with adequate video recorded materials; the studies have to be arranged so that the students cooperating with their group mates would construct their knowledge and the educator would be their adviser and facilitator; in order to help the students to develop an ability to work in different sociocultural contexts the teaching aids which contain a versatile cultural experience should be chosen; educators should be flexible, helpful and ready to learn from the students thus developing their professional competence; at the end of the course it is vital to conduct its evaluation process in order to make improvements in the syllabus, the teaching-learning methods and teaching aids used.

In the language learning process the aim of the studies and the corresponding teaching learning methods and teaching aids that have been chosen in cooperation between the students and the educator enable the students to attain the aim of the studies. The educator helps the students to improve their ESP competence, to develop a skill to use a language in different socio-cultural contexts; at the same time the educator is learning from the students acquiring knowledge in a specific professional field. In the studies in cooperation between the students and the educator, the students' attitude changes, the aim of the English for special course is significantly widening – the language learning is changing into a means of acquiring of the profession [3, pp. 2-27].

The model for the development of students' ESP competence, which is based on the students and the educator's mutual cooperation and which includes continuous needs analysis of the students and the industry's needs in the course of studies, enables understanding the students' wishes and learning styles, forming a micro-climate in the group, creating a favourable study environment, and forming continuous feedback,which, in turn, helps selecting the most appropriate teaching aids and teaching-learning methods, as a result helping the students to develop their ESP competence and the educators to improve their professional activity.

The use of problem-solving tasks that are connected with the marine industry, role plays, case studies, project work in language studies enables the students to use the language in the changing socio-cultural context.

LITERATURE

1. Alijevs, R. (2005). Izglītības filosofija. 21.gadsimts. [Philosophy of Education]. Rīga: Retorika A. 267 p.

2. Blūma, D. (2004). Teaching as Management of Student Learning in Higher Education. // Humanities and Social Sciences. Latvia. Education Management in Latvia. Riga: University of Latvia. Vol.42, N 2, pp. 46-58.

3.Canale, M. (1983b). From communicative competence to communicative language pedagogy. Richards, J. C., Schmidt, R. W. (Eds.), Language and communication (pp. 2-27). Rowley, MA: Newbury House Publishers, Inc.

4.Canale, M., Swain, M. (1980). Theoretical bases of communicative approaches to second language teaching and testing. Applied linguistics, 1 (1), 1-47.

5.Fulans, M. (1999). Pārmaiņu spēki: izglītības reformu virzieni. [Change Forces: The Sequel]. Rīga: Zvaigzne, ABC. 166 p.

6. Rifkins Jeremy Jaunās ekonomikas laikmet. - Rīga: Jumava.SIA «J.L.V.», - 2004. - 279 p.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЗМІН ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БАЗИСІВ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ЇХ МОДИФІКАЦІЇ

Безердян С.І., БілоусоваТ.П., Тулученко Г.Я.
Херсонський національний технічний університет (Україна)

Постановка проблеми. Програмні продукти, що реалізують метод скінченних елементів (МСЕ) у своїй більшості пропонують користувачам певну бібліотеку СЕ, серед яких передбачається здійснювати вибір. У той же час існує немало прийомів адаптації базисів СЕ до розв'язання граничних та крайових задач конкретного виду. Очевидною є доцільність ознайомлення студентів інженерних спеціальностей з такими прийомами під час опанування дисциплін, які пов'язані з вивченням обчислювальних методів.

Аналіз основних досліджень та публікацій. У роботі [1] та інших роботах цього ж автора обґрунтовуються переваги використання гармонічних базисів при розв'язанні граничних задач для рівняння Лапласа. О.І. Юлдашевим із співавторами наводяться вирази гармонічних базисних функцій для серендипових скінченних елементів, які побудовані за методом Фур'є, і відзначається можливість побудови гармонічних базисів для трикутних СЕ за тим же методом. У роботі [2] наводиться оригінальний алгоритм побудови гармонічних базисів за методом Фур'є для СЕ у формі прямокутних рівнобедрених трикутників. Локальні критерії якості апроксимаційних властивостей модифікованих базисів у перелічених роботах не досліджуються.

Мета статті. Показати можливості організації науково-дослідницької роботи студентів інженерних спеціальностей стосовно задач модифікації стандартних СЕ. Дослідити вплив переходу від стандартних базисів трикутних СЕ вищих порядків до гармонічних на показники якості їх апроксимаційних можливостей.

Основна частина. Будемо називати стандартними базисні функції трикутних СЕ $\{NS_i\}$, які описані, наприклад, у роботі [3].

У роботі [4] за двома методами: методом Фур'є і методом Рітца, – будуються гармонічні базиси трикутного СЕ II порядку. При цьому вперше встановлюється, що перехід до гармонічного базису може приводити до суперечливих оцінок якості апроксимаційних властивостей. Так, число обумовленості матриці Грама у метриці L_2 при переході від стандартного до гармонічного базису незначно, але зростає від 17,209 до 18,111, а слід матриці жорсткості навпаки зменшується від 8,660 до 7,737. Як відомо, тенденція зміни першого показника є негативною, а іншого – позитивною.

Практичне тестування авторами вказаних базисів на задачах, що мають аналітичні розв'язки, показало, що оцінка апроксимаційних властивостей базису на основі числа обумовленості матриці Грама є більш сильною, ніж їх оцінка на основі величини сліду матриці жорсткості.

Таким чином, вперше доведено, що використання гармонічного базису трикутного СЕ може погіршувати точність отримуваних розв'язків задачі Діріхлє порівняно із використанням стандартного базису.

Більше можливостей для розширення досліджень надає трикутний СЕ III порядку. У роботі [5] показано динаміку змін локальних критеріїв якості апроксимаційних властивостей при модифікації його базису за рахунок виконання операції внутрішньої конденсації:

$$NM_i = NS_i + w_i \cdot NS_0, \quad i = 1...9, \tag{1}$$

де NM_i –модифіковані базисні функції; NS_0 – базисна функція, яка асоційована із внутрішнім вузлом СЕ III порядку; w_i – вагові коефіцієнти; $\sum_{i=1}^{9} w_i = 1$.

Окремо відзначено, що не існує такого розподілу базисної функції NS_0 між базисними функціями на сторонах та вершинах трикутного СЕ III порядку, щоб отримуваний при цьому базис був гармонічним. Але існують певні проміжки зміни вагових коефіцієнтів при виконанні операції внутрішньої конденсації, що значення числа обумовленості матриці Грама у метриці L_2 практично не змінюється (рис. 1). Параметр a на рис.1 дорівнює значенню вагових коефіцієнтів для вузлів на сторонах СЕ III порядку у формі правильного трикутника.

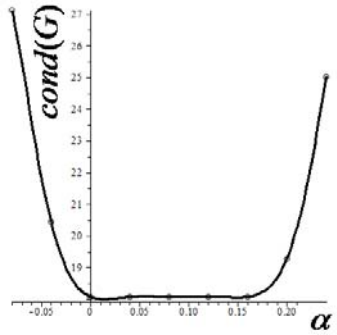


Рис. 1. Залежність величини числа обумовленості матриці Грама у нормі метрики L_2 для трикутного СЕ III порядку

Отже, логічною видається постановка задачі про пошук таких значень вагових коефіцієнтів w_i з формули (1) для виконання операції внутрішньої конденсації, які дозволять побудувати базисні функції, які найменше відхиляються від гармонічних у метриці L_2 або C:

$$\sum_{i=1}^{Q}\iint_S\left(\frac{\partial^2 NM_i}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 NM_i}{\partial y^2}\right)^2 dS \to \min,$$

або

$$\max_S\left|\frac{\partial^2 NM_i}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 NM_i}{\partial y^2}\right| \to \min,$$

.де Q – кількість функцій у базисі; NM_i – модифікована базисна функція; S – трикутний СЕ.

Висновки. Аналіз результатів здійснених досліджень та досліджень, які визначені як перспективні, показує, що для їх виконання достатньо математичної підготовки, яка надається студентам інженерних спеціальностей у межах стандартних курсів вищої математики (об’ємом біля 540 год).

На прикладі, цільової модифікації базисних функцій СЕ майбутні інженери можуть набути навичок свідомого використання програмного забезпечення, що реалізує МСЕ, навичок адаптації відомого обчислювального методу до розв’язання задачі конкретного виду з метою підвищення точності цього методу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Юлдашев О.И. Проекционно-сеточные методы для решения нелинейных эллиптических задач с дифференциальными о ператорами векторного анализа :автореф. дисс. на соискание учен. степени д-ра физ.-мат. наук : спец. 01.01.07 / Олег Ирикевич Юлдашев. — М., 2010. — 36 с.

2. Пашковский А.В. Численно-аналитические методы стандартных элементов для моделирования стационарных физических полей в линейных кусочнооднородных и нелинейных средах : дис. … доктора техн. наук : 05.13.18 / Александр Владимирович Пашковский. — Новочеркасск, 2014. — 364 с.

3. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. — М.: Мир, 1979. — 392 с.

4. Тулученко Г.Я. Побудова базисів скінченних елементів, які адаптовані до виду граничної задачі (Повідомлення 1) / Г.Я. Тулученко, О.В. Котова, С.І. Безердян // Вісник ХНТУ. — 2014. —Вип. 3(50). — С. 502—505.

5. Тулученко Г.Я. Вплив операції конденсації на властивості базисних функцій трикутних скінченних елементів / Г.Я. Тулученко // Компютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. — 2011. — Вип. 6. — С. 248—252.

ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ – ШЛЯХ, СПРЯМОВАНИЙ НА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ ОФІЦЕРІВ-МЕХАНІКІВ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ

Білоусов Є.В., Ляшкевич А.І.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Зростання конкуренції на світовому ринку праці в морській галузі – з одного боку, ускладнення устаткування, що експлуатується – з іншого боку, привів до зростання вимог роботодавців щодо підвищення якості підготовки морських фахівців.

Для того, щоб відповідати цим вимогам, члени машинної команди і, в першу чергу, офіцери мають пройти якісну підготовку в морських навчальних закладах.

Якість підготовки визначається організацією навчального процесу і того, як цей процес узгоджується вимогами, що диктуються Міжнародною морською організацією (ІМО).

Відповідно до вимог ІМО, фахівець, що йде на морську службу, повинен уміти виконувати визначені функції у відповідності з займаною посадою. Для цього він має володіти набором компетенцій, тобто комплексом знань, умінь і навичок, що дозволяють виконувати певні види робіт, пов’язаних з його професійною діяльністю.

Таким чином, кінцевою метою навчання морського фахівця є, в першу чергу, формування в нього професійних компетенцій. Відповідно і процес навчання має бути побудовано таким чином, щоб ці компетенції у курсанта сформувати. Тобто, найкращий шлях підготовки морських фахівців вбачаємо на основі компетентнісного підходу в навчанні. Саме впровадження його є тим ключовим завданням, яке сьогодні стоїть перед колективом факультету суднової енергетики ХДМА.

Гостра необхідність у зміні принципових підходів до процесу навчання в академії пов’язана ще й динамічним ринком праці морських фахівців і зростанням конкуренції на цьому ринку.

У рамках підготовки до переходу в 2014-2015 навчальному році на компетентнісний підхід у навчанні суднових механіків і електромеханіків на факультеті суднової енергетики було створено робочу групу, яка виробила перелік компетенцій, якими має оволодіти курсант (студент) протягом усього періоду навчання в межах академії. У процесі формування даного переліку професійні компетенції визначали, виходячи з базових вимог Кодексу ПДМНВ та інших нормативних документів Міжнародної морської організації. В основу загальних компетенцій лягли вимоги національних нормативних документів вищої школи, а також російський та європейський досвід у цій галузі, зокрема акумульований в проекті «Тьюнінг» (рис. 1).

При формуванні концепції підготовки морських фахівців на основі компетентнісного підходу, робочою групою було взято до уваги світовий досвід, де з’ясовано, що формування професійної компетентності здійснюється за двома взаємопов’язаними та взаємодоповнюючими напрямами: академічна підготовка, у межах навчальних закладів, і тренажерна підготовка, у відповідних тренажерних центрах (рис. 2).

Академічна підготовка, в свою чергу, поєднує теоретичне навчання і практичну підготовку загального професійного спрямування. Тренажерна підготовка спрямована на прищеплення претендентам на обіймання відповідної посади вузькопрофесійних знань, умінь і навичок. Тільки ефективне поєднання обох видів підготовки може дати той результат, на який сьогодні розраховує роботодавець.

Беручи за основу перелік компетенцій, робочою групою було сформовано структуру професійної підготовки за двома спеціальностями, за якими ведеться підготовка на факультеті. При формуванні структури професійної підготовки було взято за основу модельні курси ІМО та ряд інших нормативних міжнародних і національних документів,

якими регламентовано академічну і тренажерну підготовку претендентів на обіймання відповідної посади.

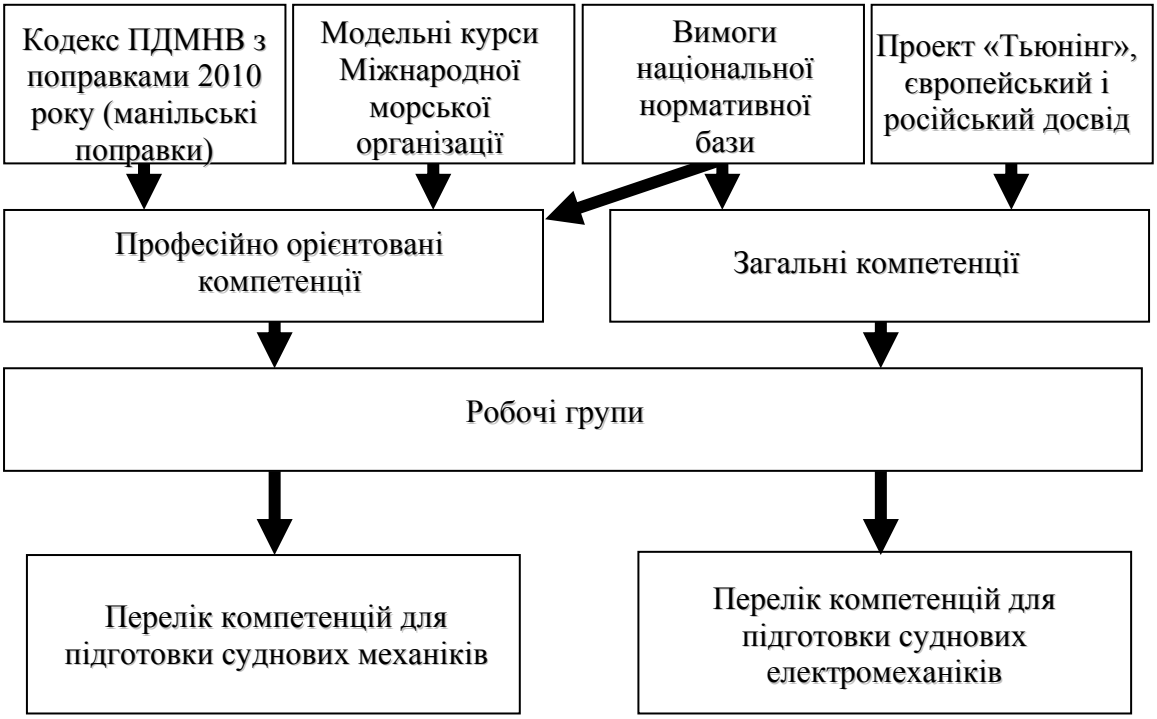


Рисунок 1. Порядок формування переліку компетенцій

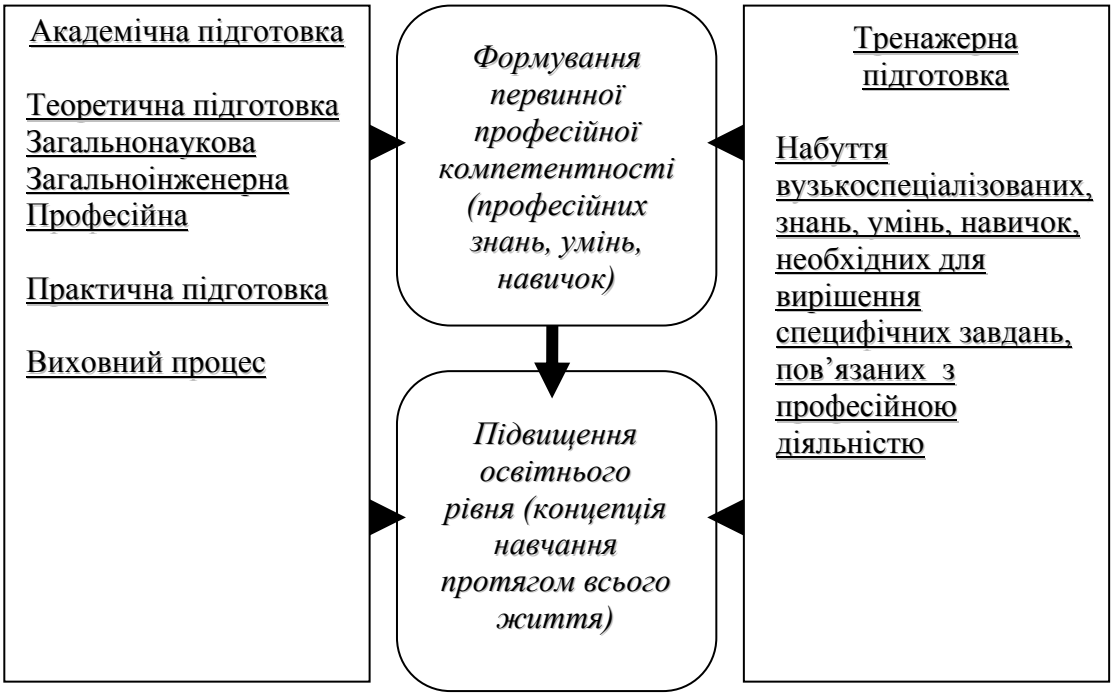


Рисунок 2. Структура підготовки морських спеціалістів на основі компетентнісного підходу

При розробці структури підготовки фахівців за двома спеціальностями особливу увагу було приділено ефективному поєднанню теоретичної, практичної та тренажерної підготовки курсантів. Так, у нових навчальних планах, частину тренажерних курсів було інтегровано в структуру академічних дисциплін, які передують практичній підготовці курсантів. У першу чергу, на факультеті суднової енергетики це стосується підготовки з дисципліни «Безпека життєдіяльності», в якій було інтегровано відповідний тренажерний

курс. Тренажерний курс «Рефрижераторний контейнер» аналогічно було інтегровано в дисципліну «Суднові холодильні установки».

На основі розробленої структури підготовки, робочою групою здійснено розподіл тематичних блоків теоретичної та практичної підготовки з відповідних дисциплін, перелік яких наведено в стандарті підготовки бакалаврів по спеціальностях, закріплених за факультетом.

Аналіз стандарту підготовки бакалаврів 2012 року показав, що сформовану в рамках компетентнісного підходу структуру підготовки цілком може бути реалізовано в рамках дисциплін, встановлених цим документом як у частині підготовки суднових механіків так і в частині підготовки електромеханіків. При розробці навчальних планів підготовки механіків деякі тематичні блоки, які не вдалося віднести до якої-небудь дисципліни, було об'єднано, і на їх основі сформовано нову дисципліну за рахунок годин варіативної частини стандарту підготовки. У навчальні плани ця дисципліна увійшла під назвою «Підготовка до плавальної практики». Частину питань практичної підготовки винесено до програми першої навчальної практики курсантів, яку вони проходять після першого курсу навчання.

Керівництво факультету глибоко переконане, що впровадження компетентнісного підходу є тим важливим етапом на шляху розвитку Херсонської державної морської академії, який дозволить вивести її на високий рівень, поставивши наш навчальний заклад в один ряд із кращими морськими вузами Європи, а випускників академії зробити бажаними в будь-якій крюїнговій компанії світу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Галузевий стандарт вищої освіти України. Освітньо-професійна програма підготовки бакалавра: Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України. – Київ, 2012. – 24 с.

2. Міжнародна конвенція про підготовку та дипломування моряків і несення вахти: Міжнародна морська організація. – Лондон, 2013. – 413 с.

КОМПЕТЕНТНОСТИ ОПЕРАТОРОВ В СУДОВЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЯХ

Бобыр В.А.
Одесская национальная морская академия (Украина)

Введение и актуальность исследований. Несмотря на технический прогресс и автоматизацию многих процессов на морском флоте аварийность не снижается. Причина этого – недостаточная компетентность судовых экипажей в вопросах предотвращения проявления «человеческого фактора» и контроля над ним.

В настоящее время понятие компетентность однозначно не определено. Поэтому для целей нашего исследования примем, что применительно к судовой эргатической функции (СЭФ) компетентность – это знания и умения ее оператора, которые необходимы для реализации СЭФ в соответствии с требованиями стандартов, применяемыми на морском флоте. При этом СЭФ – это функция, характеризующая изменение энтропии связи двух любых ее элементов, например, оператор – социум, судно – судно, природная среда – оператор и т.д. в судовой эргатической системе оператор – судно – окружающая среда (природная и социальная), которое обеспечивает достижение целей и задач судовых систем менеджмента.

Начальные компетентности операторы СЭФ получают в морских академиях и колледжах на основе учебных программ, учитывающих минимальные требования к компетентностям плавсостава, установленных в Кодексе ПДНВ [1]. В дальнейшем к этим требованиям добавляются различные законодательные и регламентирующие требования страны флага судна, а также требования рынка и судоходной компании.

Однако изначально все эти требования определяются достаточно субъективно и, как правило, отстают от требований практики. По этой причине многие СЭФ, с помощью которых можно предотвратить проявление «человеческого фактора» и взять его под контроль, оказались вне поля зрения требований к компетентности операторов СЭФ.

Постановка задачи. Поэтому необходимо найти инструмент, позволяющий объективно идентифицировать требования к компетентности плавсостава, возникающие в связи с изменениями технологии морских перевозок, конструкции морских судов, условий работы и т.п. Таким инструментом может быть количественная оценка связи существующих требований к компетентности операторов с судовыми эргатическими функциями.

Результаты исследований. Рассмотрим связи компетентности операторов СЭФ с эргатическими функциями на примере дисциплин, преподаваемых в морских высших учебных заведениях, по специальности 7.07010401 «Судовождение». Эти дисциплины можно разделить на общеобразовательные и специальные – всего 20 общеобразовательных и 45 специальных. Удельный вес общеобразовательных дисциплин в общем курсе обучения превышает 35%, а специальных - около 65 % (табл. 1).

В настоящее время знания, полученные по общеобразовательным дисциплинам, носят теоретический, абстрактный характер. О таких знаниях академик А.Н.Несмеянов говорил: «Только то знание … имеет цену, отличную от нуля… и не требует постоянного и безнадежного повторения для удержания его в “чердаке”, которое применялось» [2]. При этом тенденция должна быть такова: чем больше в данной специальности удельный вес абстрактных знаний, тем больше внимания нужно уделять единству теории и практики – обучению операторов СЭФ применению этих абстрактных знаний.

Например, если в морском вузе преподается высшая математика, то необходимо не просто обучить студентов высшей математике, а тому, как и какие приемы и методы этой дисциплины нужно применить для решения конкретных задач на современном флоте.

Укрупнено количественная характеристика связи СЭФ со специальными дисциплинами на основе количества часов их преподавания показана в табл. 1.

Таблица 1. Количественная характеристика связи СЭФ со специальными дисциплинами в специальности 7.07010401 «Судовождение»

Дисциплина	СЭФ*	Часы, %
1. Английский язык	СЦО, ОС	9,0
2. Морское право		0,6
3. Применение международных конвенций на борту судна		1,0
4. Социально-психологические технологии управления коллективом	ОСЦ, СЦО	0,8
5. Организация и управление экипажем		0,6
6. Лидерство в судовом экипаже		0,6
7. Этико-религиозная толерантность в многонациональных экипажах судов		0,8
8. Логистика на морском транспорте	ОС, ОСЦ	1,0
9. Экономика мореплавания		1,0
10. Морские перевозки		1,2
11. Коммерческая эксплуатация судна		1,2
12. Технология перевозок грузов	ОС	1,2
13. Лоция внутренних водных путей		2,0
14. Теория и устройство судна		1,7
15. Управление судном		3,2
16. Теория и практика управления движением судна	ОС	0,6
17. Управление мореходными качествами судна		1,0
18. Специальные вопросы мореходности		1,0
19. Навигация и лоция		2,0
20. Мореходная астрономия		1,3
21. Навигационно-гидрографическое оборудование морских путей и акваторий	ПСС	0,6
22. Электронавигационные приборы	ОС	1,5
23. Радиотехника и радиоэлектроника		0,8
24. Технические средства судовождения		1,2
25. Электронные навигационные карты		0,6
26. Радионавигационные приборы и системы		1,5
27. Навигационные информационные системы		1,2
28. Спутниковые системы позиционирования		0,8
29. Автоматизированные комплексы судовождения	СС	1,2
30. Современные автоматизированные системы управления движением судна		1,2
31. Глобальная морская связь для поиска и спасения (GMDSS)	ОСЦ, ОС	2,4
32. Обеспечение навигационной безопасности плавания	ОС, ОПС, СПС, ПСС	2,3
33. Судовождение на морских путях		1,7
34. Метеорология и океанография	ПСС	1,8
35. Гидрометеорологическое обеспечение мореплавания		1,3
36. Математическая статистика и теоретические основы судовождения	ОС	1,0
37. Практика несения штурманской вахты	ОС, ОПС	0,8
38. Управление ресурсами навигационного мостика		0,6
39. МППСС в море и использование РЛС и АРПА при расхождении судов		2,0
40. Судовые энергетические установки и электрооборудование судов		0,9
41. Управление судовыми энергетическими установками	ОС	1,0
42. Основы охраны труда	СО, ПСО, ОСЦ	1,6
43. Безопасность жизнедеятельности		1,8
44. Безопасность и охрана на море		1,0
45. Управление охраной судна		1,2

*ОС - оператор-судно, ОПС – оператор - природная среда, ОСЦ - оператор-социум, СПС – судно - природная среда, СО – судно – оператор, ПСС - природная среда-судно, СЦО - социум - оператор, ПСО – природная среда - оператор; СС- судно – судно.

Анализ данных (табл. 1) показывает, что при преподавании специальных дисциплин по специальности 7.07010401 «Судовождение» на судовые эргатические функции в среднем тратится: оператор – судно – 35,2 %; оператор - природная среда – 6,7 %; социум – оператор – 6,5 %; природная среда – судно – 4,7 %; оператор – природная среда – 3,1 %; судно – судно – 2,4 %; судно – оператор – 1,8 %; природная среда – оператор – 1,8 % и судно – природная среда –1 %. Таким образом, в данном случае на

изучение судовых эргатических функций, на основе которых можно исключить или уменьшить влияние многообразных факторов на энтропию оператора таких СЭФ, как социум – оператор, природная среда – оператор, судно – оператор и груз – оператор, уделено всего чуть более 10 % общего времени. А СЭФ оператор – оператор осталась и вовсе вне поля зрения учебной программы.

Кодексом ПДНВ устанавливаются минимальные стандарты профессиональных компетентностей для судовых операторов. На основе [3] связь этих минимальных компетентностей старших командиров с судовыми эргатическими функциями на уровне управления показана в табл. 2.

Таблица 2. Количественная характеристика связи минимальных компетентностей старших командиров на уровне управления по Кодексу ПДНВ с СЭФ, %

Должности	**СЭФ*, %**											
	ОС	**ОСЦ**	**ПСС**	**ОПС**	**СПС**	**СС**	**ПСО**	**ССЦ**	**СО**	**СЦО**	**СЦСЦ**	**ПССЦ**
Капитан и ст. помощник	26	25	11	19	8	0	3	2	2	2	1	1
Старший и 2-й механики	23	23	18	3	13	11	3	3	1	1	1	0
Среднее значение	24,5	24	14,5	11	10,5	5,5	3	2,5	1,5	1,5	1	0,5

*СЦСЦ – социум-социум; ПССЦ – природная среда-социум; остальные обозначения те же, что и в табл.1.

Анализ данных (табл. 2) позволяет заключить, что в Кодексе ПДНВ компетентности старших командиров сконцентрированы, главным образом, на уменьшении энтропии таких судовых эргатических функций, как оператор – судно, оператор – социум и оператор – природная среда. При этом на первом месте находится управление и эксплуатация судна, его технических систем и оборудования. А СЭФ природная среда – социум, судно-оператор, социум – оператор, природная среда – оператор, социум – социум, оператор – оператор и судно – судно требуют определения в Кодексе ПДНВ дополнительных компетентностей, в первую очередь, старших командиров. Компетентности, которые позволяли бы осуществлять контроль над «человеческим фактором» в части уменьшения или учета влияния на него судна, груза, окружающей среды и социума практически отсутствуют.

Требования государств флага к профессиональной компетентности операторов СЭФ, как правило, соответствуют минимальным требованиями Кодекса ПДНВ. Однако государство флага, которое несет судно, своими морскими законодательствами вводит дополнительные требования к компетентностям. Эти требования направлены, главным образом, на обеспечение внедрения и выполнения на судах под их флагом требований международных морских конвенций. При этом основное внимание уделяется вопросам охраны человеческой жизни на море, защиты окружающей среды, технических и социальных аспектов судоходства, а также условий найма, труда и жизни моряков на судах под флагом этих государств. Кроме того, в законодательствах государств флага судна имеются требования к количественному составу экипажей, сертификатам моряков, их уголовной ответственности за нарушения законодательства, оказанию медицинской помощи и др. В современных условиях моряк (оператор СЭФ) за время своей службы может попасть на суда, которые несут флаги самых различных государства. И каждый раз ему приходится осваивать дополнительные знания и умения, требуемые морским законодательством страны флага судна.

В качестве примера в табл.3 приведены дополнительные к Кодексу ПДНВ требования к компетентности операторов СЭФ морского законодательства Республики Либерия, как государства флага, под которым плавает самое большое количество судов [4].

Таким образом, из анализа данных (табл. 3) следует, что законодательные требования Республики Либерия к компетентности операторов СЭФ соотносятся с судовыми эргатическими функциями в среднем следующим образом: социум – оператор – 34 %, оператор – судно – 23 %, оператор – природная среда – 12 %, оператор – социум –

11 %, социум – судно – 9 %, судно – природная среда – 6 %, судно – оператор – 5 %. Требования к компетентностям, относящимся к СЭФ природная среда – оператор и оператор – оператор, которые позволили бы уменьшить или устранить влияние судовых факторов на энтропию оператора, отсутствуют.

Таблица 3. Связь законодательных требований Республики Либерия с СЭФ

Требования	**СЭФ***	**Требования**	**СЭФ***
Лицензии и сертификаты моряков	СЦО	Ответственность за отсутствие требуемых сертификатов	СЦО
Ответственность за невыполнение требований законов и международных конвенций	СЦО	Управление спасательными средствами	ОС, СЦО
Предотвращение загрязнения моря с судов: нефтью, опасными веществами и мусором	ОПС, СПС	Расписание по тревогам и правила действий в аварийных ситуациях	СЦО, ОС, ОПС
Сжигание или сброс отходов в море	ОПС, СПС	Пожарные и шлюпочные учения	ОС, СЦС
Грузовая марка	ОС	Линебросательный аппарат	ОС, СЦС
Конфиденциальность радиосвязи	ОСЦ	Обучение на судне и инструктаж	ОСЦ
GMDSS	ОС, ОСЦ	Вода и продукты питания	СО
Расследование несчастных и аварийных случаев	ОС, ОПС, СЦО	Условия найма моряков	СЦО, СО
Минимальный состав экипажа	СЦС	Недопустимые условия найма	СЦО, СО
Смена командования	СЦО	Время работы и отдыха	СЦО
Обязанности и ответственность капитана	СЦО	Медицинское обслуживание экипажа	СЦО, ОСЦ

*СЦС – социум - судно; СЦО – социум – оператор; ОПС – оператор – природная среда; ОСЦ – оператор – социум; остальные обозначения те же, что и в табл.1.

На практике судоходные компании не ограничиваются минимальными требованиями к компетентностям судовых операторов, установленными Кодексом ПДНВ и законодательством стран флага судна. Каждая компания устанавливает свои дополнительные требования к компетентностям судовых операторов, которые превышают требования Кодекса ПДНВ [5]. Примеры количественной связи компетентностей старших командиров (без учета требований систем менеджмента), установленных судоходной компанией, с судовыми эргатическими функциями на основе данных работы [3] приведены в табл. 4.

Таблица 4. Количественная характеристика связи компетентностей старших командиров, установленных судоходными компаниями с СЭФ, %

СЭФ	**Должности**				**Среднее значение связи**
	капитан	**старший**		**второй механик**	
		помощник	**механик**		
Оператор – судно	50	63	66	65	61
Оператор – социум	39	27	27	27	30
Природная среда – судно	6	3	3	0	3
Оператор – природная среда	2	2	2	8	4
Судно – природная среда	3	2	2	3	2

Из анализа данных (табл. 4) следует, что в настоящее время дополнительные компетентности судовых операторов, установленные судоходными компаниями сверх требований Кодекса ПДНВ, ориентированы преимущественно на управление и эксплуатацию судна, его технических систем и оборудования. При этом компетентности старших командиров также не включают в себя заботу об учете и уменьшении влияния на членов экипажа окружающей среды, судна и социума. Это делает контроль над «человеческим фактором» недостаточным.

Сравнение данных таблиц 2 и 4 показывает на значительное увеличение доли компетентностей, требуемых судоходными компаниями в отношении судовых эргатических функций оператор – судно и оператор – социум, по сравнению с

требованиями Кодекса ПДНВ. Однако требования к компетентностям, относящимся к СЭФ природная среда – оператор, судно – оператор, судно – природная среда, груз – оператор, оператор – оператор, как к основе для уменьшения или устранения влияния постоянных и переменных судовых факторов на энтропию оператора, отсутствуют.

В настоящее время внедрение систем менеджмента на судах связано, главным образом, с требованиями рынка, на котором работают суда компании. При этом с каждой новой системой менеджмента появляются новые функциональные элементы, которые отличают ее от других систем менеджмента. Эти элементы, в свою очередь, выставляют новые требования к компетентностям судовых операторов, которые должны реализовывать их с помощью судовых эргатических функций. Содержание этих новых требований определяется содержанием функциональных элементов систем менеджмента.

Поскольку система менеджмента качества, отвечающая требованиям международного стандарта ISO 9001:2008 [6], является наиболее представительной с точки зрения отражения в ней основных принципов систем менеджмента, то в качестве примера рассмотрим связь ее функциональных элементов с судовыми эргатическими функциями. На основе [3], получена следующая обобщенная количественная характеристика связи функциональных элементов системы менеджмента качества с судовыми эргатическими функциями: оператор – социум и социум – оператор – по 15 %; оператор – судно 14 %; судно – оператор – 12 %; оператор – природная середа – 10%; природная среда – судно, судно – природная середа и природная среда – оператор – по 9 %; судно – судно – 5 %; судно – социум – 2 %; социум – социум 2 % и природная среда – социум – 1 %. Эти данные показывают, что в системе менеджмента качества значительно возросли требования к компетенции операторов в таких СЭФ, как судно – оператор и природная среда – оператор. Однако и здесь СЭФ оператор – оператор пока осталась без внимания.

Выводы. Сравнительная количественная характеристика связи существующих требований к компетентностям операторов с судовыми эргатическими функциями, реализуемыми командирами судна, приведена в табл. 5.

Таблица 5. Количественная характеристика связи законодательных и регламентирующих требований к компетентностям оператора с СЭФ, %

Требования	СЭФ*													
	ОС	ОСЦ	ОПС	СЦО	ПСС	СПС	СО	СС	ПСО	СЦС	ССЦ	СЦСЦ	ПССЦ	ОО
ВУЗа	35	7	3	7	4	1	2	3	2	0	0	0	0	0
Кодекса ПДНВ	25	24	11	1	14	10	2	5	3	0	2	1	1	0
Страны флага	23	11	12	34	0	5	6	0	0	9	0	0	0	0
Рынка	14	15	10	15	9	9	12	5	9	0	2	2	1	0
Компании	61	30	4	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Среднее	32	17	16	11	6	5	4	3	3	1,5	0,5	0,5	0,5	0

*СЦС – социум-судно; ССЦ – судно-социум; СЦСЦ – социум-социум; ПССЦ – природная среда-социум; ОО – оператор-оператор; остальные обозначения те же, что и в табл.1.

Из анализа данных (табл. 5) следует, что в настоящее время на морском флоте основное внимание уделяется требованиям к компетентностям операторов, связанным с вопросами управления судном и его технической эксплуатацией, экипажем в целом и контролю над охраной природной среды. Эти требования реализуется с помощью СЭФ оператор – судно, оператор – социум, оператор – природная среда.

Требования к компетентностям операторов СЭФ, на основе которых исключается или уменьшается влияние различных факторов на энтропию оператора и самой СЭФ, практически отсутствуют. Это такие СЭФ, как природная среда – оператор, судно – оператор, социум – оператор, груз – оператор и оператор – оператор. Поэтому проблема

предотвращения проявления «человеческого фактора» и контроля над ним в полной мере остается нерешенной.

Вопрос о количестве часов как в целом в общеобразовательных и специальных дисциплинах, так и в каждой из дисциплин, которые необходимы для обеспечения требований к компетентностям операторов СЭФ, на наш взгляд, достаточно объективно позволяют решить методы менеджмента рисками [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 г. (ПДМНВ-78) с поправками (консолидированный текст), Кодекс по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты с Манильскими поправками 2010 года. - СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2010 г. - 806 с.

2. Броневицкий Г.А. Основы военно-морской психологии. / Под. общ. ред. Гришанова В.М. // Г.А. Броневицкий, Ю.П. Зуев, А.М. Столяренко. – М.: Воениздат, 1977. – 339 с.

3. НИР «Підвищення ефективності операторської діяльності в суднових ергатичних системах на морському транспорті». Заключний звіт за темою НДР № 105-Б / ОНМА, № державної реєстрації 0111U001609, облікова карта №0213U001479). (Науковий керівник М.В.Міюсов). Розділи 3-5, Одеса: ОНМА, 2013. - 460 с.

4. The Liberian Maritime Regulations. Title 2. Maritime Law. – Vienna: LISCR, 2010. - 56 p.

5. Safety Management System Manual - UNI/SMS/001. Cyprus: Unicom Shipmanagement Co. Ltd., 2012. - 156 p.

6. ДСТУ ISO 9001:2009. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2008 IDT). - К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 26 с.

7. ISO 31010:2009. Менеджмент рисками. Методики оценки риска. - Минск: Госстандарт. - 2010. - 77 с.

ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ПОЕТАПНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ НА КАФЕДРІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТА ЗАГАЛЬНОІНЖЕНЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

Букетов А.В.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Постановка проблеми. Проблема компетентнісного підходу в освіті вищої школи України на сьогодні ґрунтовно вирішується [1, 2]. Запровадження нових вимог до системи поліпшення якості знань, навчальних та наукових досягнень студентів вивело компетентнісний підхід на якісно новий щабель розвитку відповідно до європейських освітніх стандартів і зумовило переведення компетентнісної ідеї на рівень обов'язкової нормативної реалізації. Це безпосередньо зумовило розвиток ідей, що передбачають нове бачення функціонування системи освіти, у тому числі і професійної, в результаті чого виникла необхідність у вирішенні наступних проблем [1].

- Державні стандарти базової та повної вищої освіти підкреслюють пріоритетність формування компетентностей, але у змісті освітніх галузей компетентнісна ідея презентована не завжди системно. Зокрема, при вивченні дисциплін на початкових курсах навчання (математика, фізика, інформатика) не акцентується на досягненні студентами компетентностей, а обмежується лише оволодінням знаннями, уміннями й навичками, достатніми для успішного оволодіння даними предметами. Слід акцентувати увагу на недостаність міжпредметних зв'язків при вивченні базових дисциплін, що безумовно впливає на погіршення якості знань під час вивчення предметів професійного спрямування. Така дискретність компетентнісного підходу до навчання регламентує зміст освіти і свідчить про те, що сучасний підхід до навчання у вищій школі недостатньо орієнтований на потреби ринку праці, запити студентів, у тому числі курсантів морського та річкового транспорту, для здобуття подальшої освіти.

- Складність взаємодії при реалізації компетентнісного підходу у напрямку міжпредметних зв'язків між кафедрами вищого навчального закладу. Одним зі шляхів розв'язання цієї проблеми є реалізації моделі взаємозв'язку кафедр «базова – перехідна – випускна». У цьому аспекті велике значення має уточнення необхідних знань, вмінь і навичок при вивченні компетенцій під час викладання дисциплін, що вивчаються на перехідній кафедрі. Остання реалізує міжпредметні зв'язки базових кафедр і випускної. Причому при вивченні предметів перехідної кафедри реалізуються основні компетенції, необхідні при вивченні дисциплін професійного спрямування. Одним із напрямків вирішення даної проблеми є створення як кафедральних, так і міжкафедральних робочих груп, які забезпечуватимуть реалізацію взаємовідносин між суб'єктами (кафедрами), що дозволить встановити не лише вектор однонаправлених дій, а й вносити поточні корективи, залежно від потреб.

- Широко презентована в нормативних документах компетентнісна ідея не набула адекватного втілення у навчально-методичних та наукових підходах колективів кафедр, особливо випускних. Об'єктивною проблемою впровадження компетентнісного підходу до навчання є необхідність технологічної адаптації навчально-виховного та наукового процесу відповідно до нових вимог. У даному аспекті мова йде не лише про нові підходи щодо оцінювання студентів чи викладання матеріалу дисциплін під час реалізації лекційного, лабораторного і практичного курсів. Важливе значення має самонавчання професорсько-викладацького складу у спектрі розвитку нових технологій, постійне оновлення методичного матеріалу, як і матеріально-технічної бази, що забезпечить студентам і курсантам перспективу на ринку праці після завершення навчання. Отже,

важливою є задача оновлення арсеналу і базису педагогічних технологій, якими володіють викладачі, як процесуальної умови реалізації компетентнісного підходу до навчання.

- Ідея компетентнісного підходу виявила проблему, що передбачає нові вимоги до організації взаємовідносин системи «викладач – студент». На сьогодні можна стверджувати про необхідність збільшення комунікативного спілкування між наведеними вище суб'єктами, що передбачає новий підхід до системи викладання з боку викладача і водночас розуміння необхідності збільшення об'єму самостійної роботи, тобто – самоновчання, з боку студента. У цьому плані студенту слід зрозуміти, що досягнення базових компетентностей ще не є достатнім результатом навчання. Дані компетентності є лише умовою для досягнення вмінь і навичок при вивченні основних дисциплін професійного спрямування. Водночас психологічний чинник, здатність реагувати на зміни, гнучкість у прийнятті нових рішень, уміння подолати стереотипи мислення є однією з основних проблем впровадження компетентнісного підходу до навчання з боку викладачів. Забезпечення готовності викладача до реалізації нових завдань у професійному навчанні з використанням новітніх наукових технологій та розробок є обов'язковою умовою впровадження компетентнісного підходу до організації педагогічного процесу. Отже, необхідно врахувати цей аспект у розробці нової системи моніторингу якості освіти та за можливості адаптувати систему контролю й оцінювання навчальних і наукових досягнень як студентів, так і викладачів.

Враховуючи наведене вище і усвідомлюючи важливість та обов'язковість розв'язання проблем реалізації компетентнісного підходу у вищій школі на кафедрі експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії було розроблено комплексну програму впровадження компетентнісного орієнтованого підходу у навчально-виховний і науковий процес та модель поетапної її реалізації. Принципово важливим аспектом даної комплексної програми є:

- аналіз державних стандартів базової та повної вищої освіти Міністерства освіти і науки України та вимог ПДМНВ з метою визначення пріоритетів при формування компетентностей під час навчання курсантів для отримання кваліфікації «бакалавра» з напряму підготовки 6.070104 «Морський та річковий транспорт», «спеціаліста» зі спеціальності 7.07010402 «Експлуатація суднових енергетичних установок» і «магістра» зі спеціальності 8.07010402 «Експлуатація суднових енергетичних установок»;
- удосконалення структури випускних дипломних робіт і проектів у аспекті реалізації компетентнісного підходу;
- формування робочих груп для уточнення міжпредметних зв'язків і реалізації моделі взаємозв'язку кафедр «базова – перехідна – випускна»;
- організація і вдосконалення взаємовідносин системи «викладач – студент» у аспекті взаємодопомоги і взаєморозуміння.

У цьому напрямку слід зазначити про необхідність тривалої та перманентної взаємодії суб'єктів (деканат, кафедри, викладач, студент) вищого навчального закладу, постійний контакт і неперервний зворотний зв'язок між ними, на відміну від епізодичних контактів інструктивного, інформаційного чи контролюючого характеру. Крім того, за нашим переконанням необхідним аспектом впровадження компетентнісного підходу, зокрема, на випускній кафедрі вищого начального закладу, є реалізація демократичних відносин на кожному етапі взаємозв'язку системи «деканат – кафедра (випускна – перехідна – базова) – викладач – студент». Корективи у науковому та навчально-методичному забезпеченні на кожному етапі взаємовідносин необхідно здійснювати робочим групам, які безпосередньо відповідають за свій напрям діяльності. Такий підхід дозволить запобігти безпідставному втручанню у педагогічний процес функціонування кафедри ззовні, застосуванню командно-адміністративних методів, формальному впровадженню необдуманих заходів тощо.

Поетапна реалізація компетентнісного підходу на кафедрі експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки (СЕУ та ЗП).

Компетентнісний підхід реалізовують на кафедрі ЕСЕУ та ЗП впродовж 2012…2014 р.р. При цьому слід уточнити, що модель реалізації комплексної програми впровадження компетентнісного орієнтованого підходу у навчально-виховний і науковий процес складається з кількох взаємопов'язаних етапів.

Етап 1. Розподіл компетенцій між дисциплінами із врахуванням міжпредметних зв'язків.

Слід врахувати, що Херсонська державна морська академія впродовж останніх років посідає чільне місце серед 20-ти найкращих ВНЗ України і є лідером серед морських навчальних закладів нашої держави згідно рейтингу Міністерства освіти і науки України. Даний рейтинг враховує не лише наукову, навчально-методичну й міжнародну діяльність ВНЗ, але й відсоток працевлаштованих студентів після закінчення навчання. Враховуючи це, одним з необхідних напрямків діяльності професорсько-викладацького складу кафедри ЕСЕУ та ЗП було проведення аналізу не лише навчальних й робочих планів Міністерства освіти і науки України, але й відповідності навчальних дисциплін вимогам ПДМНВ, тобто роботодавця. Дана потреба стала необхідністю, виходячи з умови конкурентноздатності випускників кафедри на ринку праці Європи і світової спільноти.

Враховуючи це на початковому етапі було створено робочу групу з найкращих представників професорсько-викладацького складу кафедри, що охоплювала старших викладачів, механіків 1-го розряду, які мають значний досвід роботи на суднах морського та річкового транспорту світового флоту (тобто, володіють інформацією стосовно останніх вимог працедавця до кваліфікації механіків на судні), та доцентів і професорів, які забезпечують наукову та навчально-методичну роботу на кафедрі стосовно вимог Міністерства освіти і науки України. Робоча група (рис. 1) працювала поетапно, здійснюючи взаємозв'язок працівників кафедри з деканатом, який полягав в уточненні навчальних планів (кількість і об'єм вибіркових дисциплін) у спектрі вимог МОН України і ПДМНВ. Слід зауважити, що лише такий підхід, який максимально враховує вимоги МОН України і працедавця, а також взаємодія представників деканату і кафедри дозволив уточнити зміст навчальних планів, згідно яких на сьогодні працює кафадра ЕСЕУ та ЗП.

Надалі перед робочою групою було поставлено завдання реалізації моделі взаємозв'язку кафедр «базова – перехідна – випускна». Показано (рис. 1), що базовими кафедрами під час навчання курсантів для отримання кваліфікації «бакалавра» з напряму підготовки 6.070104 «Морський та річковий транспорт» є кафедри:

- природничо-наукової підготовки;
- інформаційних технологій, комп'ютерних систем і мереж;
- гуманітарних дисциплін.

Крім того, перехідною є кафедра технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки. Представниками кафедри ЕСЕУ та ЗП було здійснено безпосереднє спілкування (у вигляді круглих столів та семінарів) з робочими групами як незалежно, так і у комплексі з аналогічними робочими групами базових та перехідної кафедри. Метою таких засідань було уточнення міжпредметних зв'язків базових і випускної кафедри у спектрі перхідної. Тобто, на початковому етапі було встановлено комплекс вимог до розуміння компетентнісного підходу в спетрі розвитку і набуття знань курсантом під час вивчення базових дисциплін. Надалі було поставлено вимоги щодо реалізації наукової і навчально-методичної діяльності викладачами кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки у напрямку подальшого використання набутих вмінь і знань курсантами під час вивчення професійних дисциплін.

Слід зазначити, що на даній (перехідній) кафедрі вивчають наступні дисципліни:

- інженерна та комп'ютерна графіка;
- матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів;
- теоретична механіка;

- опір матеріалів;
- технологія машин і механізмів та деталі машин.

Наведені вище дисципліни не лише грунтуються і безпосередньо пов'язані з предметами базових кафедр (математика, фізика, хімія, інформатика та ін.), але й є основою при вивченні дисциплін професійного спрямування випускної кафедри ЕСЕУ та ЗП. У результаті проведеної роботи у даному напрямку можна констатувати наступне.

Результати роботи на 1-му етапі.

1. Вдосконалено нові навчальні і робочі плани.
2. Модернізовано навчальні програми, де враховано компетенції, зазначені у модельному курсі 7.04 ПДМНВ.
3. Уточнено методичні рекомендації для лекційного курсу, лабораторних і практичних занять з професійних навчальних дисциплін згідно вимог Міністерства освіти і науки України та модельних курсів ПДМНВ.

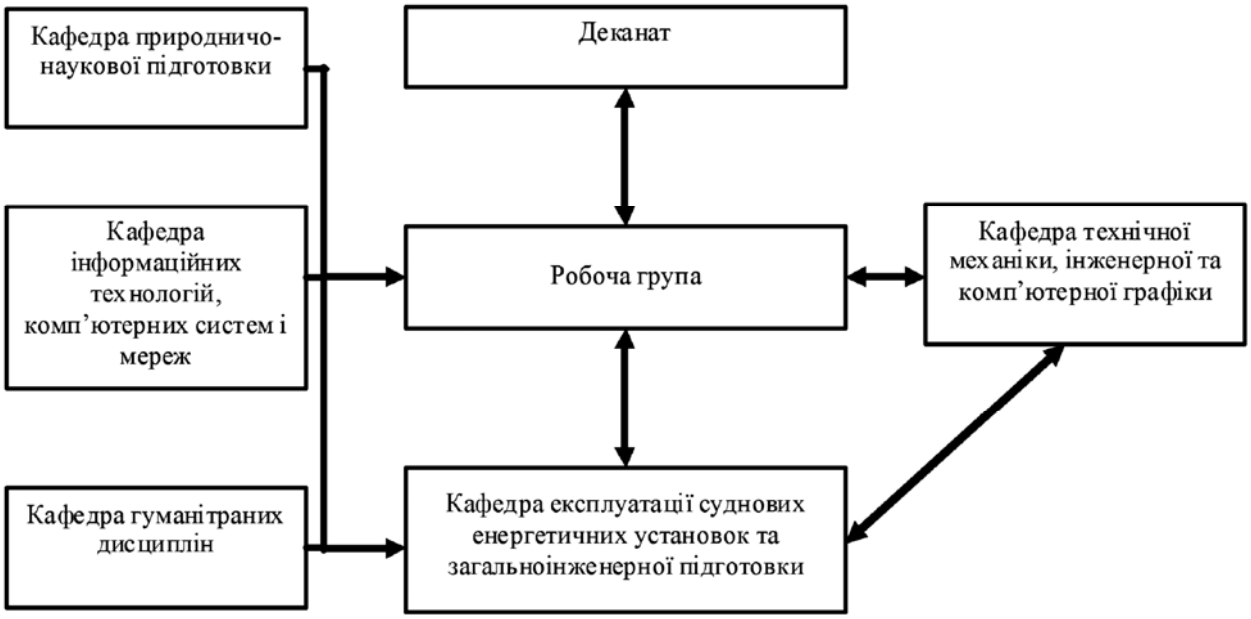


Рисунок 1. Розподіл компетенцій між дисциплінами із врахуванням міжпредметних зв'язків

Етап 2. Впровадження компетентнісного підходу під час виконання дипломних робіт і проектів.

Визначальними характеристиками цього етапу чи рівня компетентності є недостатня узагальненість (вузькість соціального простору дій) та обмеження у перенесенні засвоюваних практичних способів дій на інші об'єкти, враховуючи специфіку нових обставин. Визначальне значення для курсанта чи студента на даному етапі діяльності має процес узагальнення отриманих у процесі навчання знань, вмінь і навичок для їх застосування на практиці у вигляді внесення ідей, нових розробок чи підходів у напрямку модернізації елементів СЕУ. Центральним мотивом цього рівня компетентності виступає необхідність суб'єкта додатково використовувати отриманий досвід під час проходження виробничих практик на судні, що передбачає пристосовування до вимог, які ставить життя у тій чи іншій критичній ситуації.

Беручи до уваги вищевикладене, компетентнісний підхід на даному етапі навчання (самонавчання) повинен забезпечити вищий рівень компетентності суб'єктів навчання, якими є студенти і курсанти. Даний рівень репрезентується сформованістю у суб'єкта наукового поняття «компетентність» як єдності, де наукова орієнтована основа дії визначає логіку її практичного виконання [2]. Остання, у свою чергу, полягає у інтелектуально-моральній саморегуляції, спрямованій на ефективне вирішення суб'єктом поставлених попередньо керівником дипломного проекту чи роботи завдань.

Компетентність цього рівня як відповідне уміння спонукається мотиваційною основою, причиною якої є прагнення до самоствердження. Принциповим моментом компетентності курсанта на цьому рівні є те, що його підхід до цього етапу навчальної роботи безпосередньо залежить від якості попередніх здобутків, які повинні трансформуватися у систему компетентностей суб'єкта. Лише власні наукові (теоретичні), а також практичні надбання мають достатній потенціал для такої компетентності.

Безумовно, що для реалізації суб'єктом такого рівня компетентності необхідна допомога не лише керівника роботи (чи проекту), але й консультантів, які відповідають за той чи інший напрям роботи. У цьому аспекті педагогічним колективом кафедри ЕСЕУ та ЗП було ініційовано реалізацію комплексного підходу до підготовки випускників, що передбачає вдосконалення структури дипломної роботи (чи проекту) у трьох напрямках. Забезпечення вищого рівня компетентності суб'єктів навчання полягав у наступному.

Слід зазначити, що дипломний проект для отримання освітньо-кваліфікаційного рівня «спеціаліста» зі спеціальності 7.07010402 «Експлуатація суднових енергетичних установок» і «магістра» зі спеціальності 8.07010402 «Експлуатація суднових енергетичних установок» передбачає виконання п'яти розділів:

- I…III – спеціальна частина (огляд літератури, конструкторська і технологічна частина);
- IV – економічне обґрунтування запропонованих технічних рішень;
- V – охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях.

Дипломна робота для отримання кваліфікації «бакалавра» з напряму підготовки 6.070104 «Морський та річковий транспорт» передбачає виконання чотирьох розділів:

- I…III – спеціальна частина (у тому числі і технологічна);
- IV – охорона праці.

Проаналізувавши досвід і недоліки при виконанні димпломних робіт та проектів впродовж останніх 5…7 років педагогічний колектив кафедри звернув увагу на культивування нерозвиненої форми компетентності порівняно з її вищою формою. Зокрема, було встановлено відсутність взаємозв'язку між окремими розділами проектів, що особливо стосується виокремлення розділів економічного обґрунтування запропонованих технічних рішень та охорони праці від спеціальної частини. За такого підходу закономірності розвитку і реалізації потенційних можливостей суб'єкта (курсанта чи студента) використовуються лише фрагментарно, що різко знижує можливості його творчого пошуку і, як наслідок, практичну ефективність.

Виходячи з цього, колективом кафедри було ініційовано створення двох робочих груп, у які входили компетентні спеціалісти з охорони праці та економісти. Разом з представниками аналогічних робочих груп, створених на кафедрі судноводіння, охорони праці і навколишнього середовища та кафедрі економіки і морського права, було обговорено комплекс питань, що стосуються узгодження діяльності системи «керівник – студент – консультант» (рис. 2). Додатково під керівництвом деканату суднової енергетики було проведено ряд семінарів, що дозволило уточнити проблемні ситуації і віднайти необхідні рішення для подальшої спільної навчально-методичної роботи. У цьому зв'язку були використані ідеї діяльнісного та особистісного орієнтованого підходів, на яких ґрунтується педагогіка розвитку суб'єкта та реалізація його наукових (для «магістра») та практичних (для «бакалавра» та «спеціаліста») ідей. Така модель безпосередньо пов'язана з цілями і завданнями компетентнісного підходу у його розвиненій формі. На завершальному етапі таке узгодження є доцільним і необхідним при реалізації основних принципів логічної доповнюваності під час написання усіх розділів дипломної роботи (чи проекту).

Результати роботи на 2-му етапі.

1. Уточнено структуру дипломної роботи (чи проекту) стосовно компетентнісного підходу і взаємозв'язку між розділами спеціальної частини і розділами «Економічне обґрунтування запропонованих технічних рішень» та «Охорона праці».

2. Розроблені спільні з кафедрами судноводіння, охорони праці і навколишнього середовища та економіки і морського права методичні рекомендації щодо виконання розділів «Економічне обґрунтування запропонованих технічних рішень» та «Охорона праці» із врахуванням компетентнісного підходу при реалізації дипломного проектування.

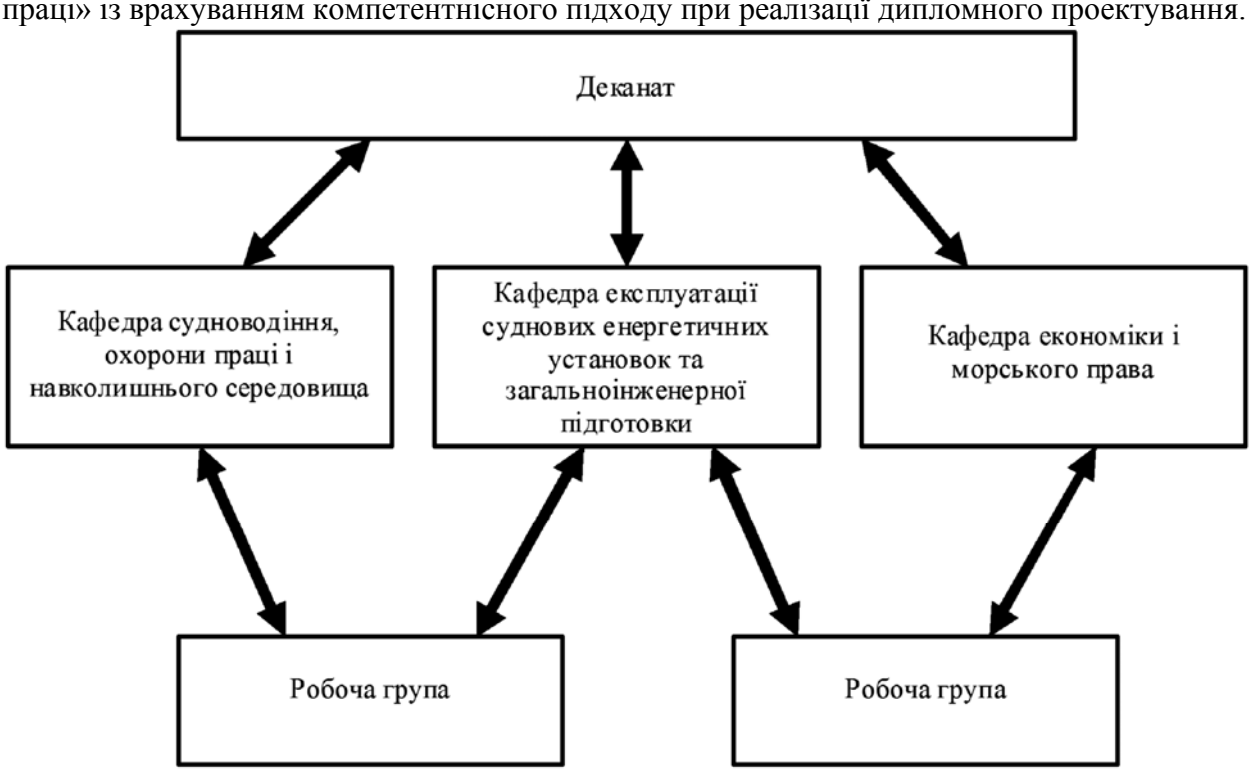


Рисунок 2. Впровадження компетентнісного підходу під час виконання дипломних робіт і проектів

Етап 3. Місце і роль викладача при реалізації компетентнісного підходу на кафедрі ЕСЕУ та ЗП.

Згадана вище модель реалізації компетентнісного процесу подання інформації з боку викладача і засвоєння знань студентом будується на засадах не формальної, а діалектичної логіки. Адже вчити мислити – означає перш за все вчити діалектиці. Суб'єкту навчання з самого початку слід показувати необхідність отриманої інформації з цієї чи іншої дисципліни у аспекті міжпредметних зв'язків. У першу чергу викладачу необхідно звернути увагу на розвиток матеріально-технічної бази морського та річкового транспорту. У цьому плані важливе значення мають наукові розробки викладачів кафедри ЕСЕУ та ЗП, які відповідають вимогам часу та сучасному розвитку науки і техніки. Даний напрям широко розвивається, у тому числі під час регулярного проведення міжнародної науково-практичної конференції «СЕУТТОО», наукових семінарів та тематичних круглих столів. Крім того, необхідний взаємозв'язок у науковій роботі системи «викладач – студент», чого досягають на кафедрі при виконанні дипломних проектів та під час проведення студентських конференцій. У результаті студенти отримують нові знання, якими надалі можуть керуватись у практичній діяльності. При цьому, засвоївши готовий результат мислення людей разом з процесом його одержання, суб'єкт засвоює одночасно і той спосіб мислення за допомогою якого цей результат був здобутий.

Необхідним аспектом діяльності викладача є його навчально-методична робота (рис. 3). Упродовж останніх двох років викладачами кафедри ЕСЕУ та ЗП модернізовано і уточнено навчально-методичне забезпечення стосовно вимог Міністерства освіти і науки України та модельних курсів ПДМНВ. Більше того, викладачами кафедри створено нові модельні курси, що забезпечують поглиблене і різнобічне вивчення професійної дисципліни, залежно від бажання курсанта. З огляду на це розвиток вищої школи повинен конституювати принципи діяльності, розвивального навчання, генетичного сходження у

відображенні дійсності, різного за формами моделювання. Вони послідовно реалізовуються у навчальних програмах і при створені нових навчальних курсів кафедри ЕСЕУ та ЗП.

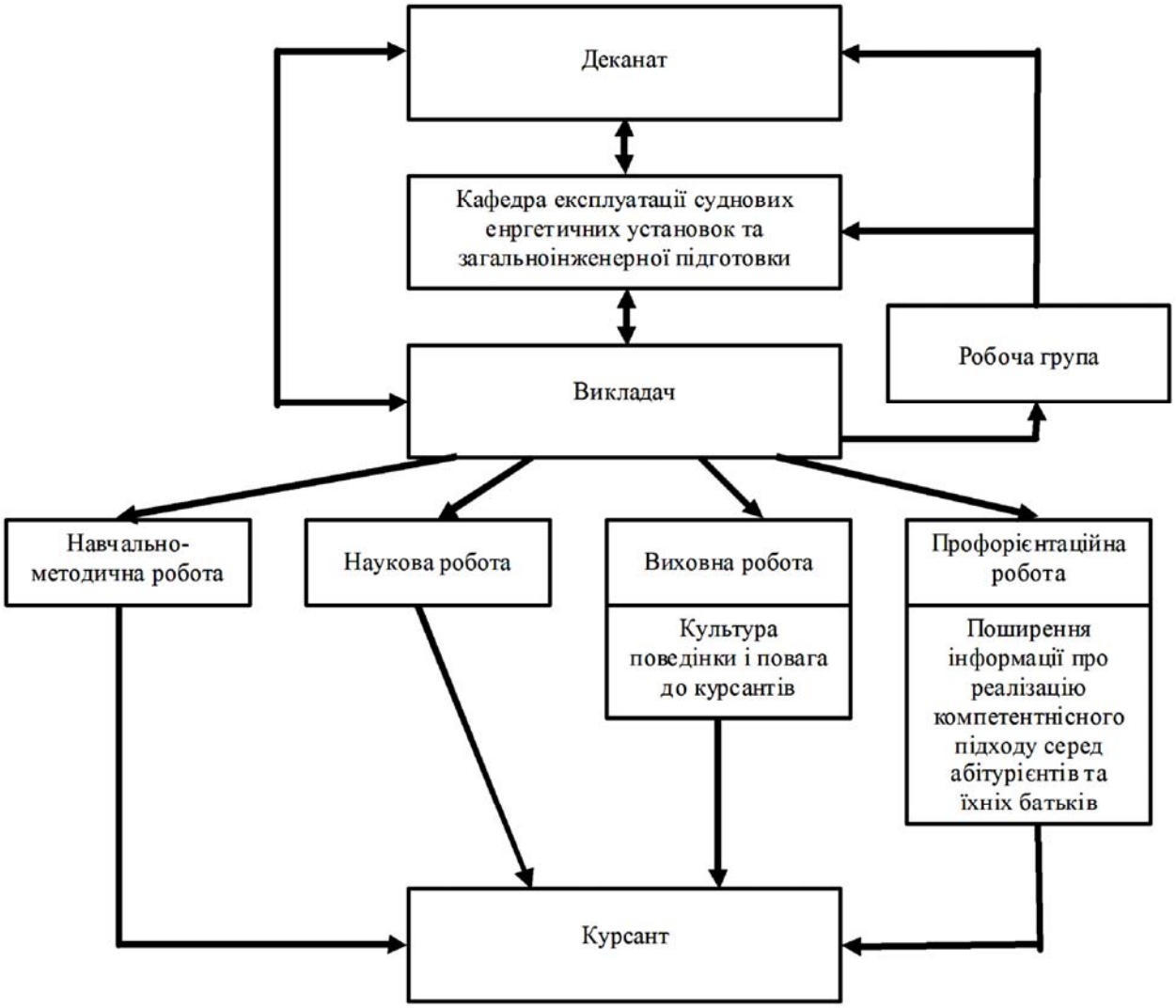


Рисунок 3. Місце і роль викладача при реалізації компетентнісного підходу на кафедрі ЕСЕУ та ЗП.

Водночас слід звернути увагу на виховну та профорієнтаційну роботу, яку необхідно проводити з боку викладача під час реалізації компетентнісного підходу. Останнім часом керівництвом кафедри зосереджено особливу увагу на модернізацію взаємовідносин системи «викладач – студент». Одним із напрямків реалізації цієї ідеї є проведення круглих столів під час проведення попереднього захисту дипломних робіт чи проектів. На таких захистах присутня достатньо велика кількість викладачів та студентів, де у формі «діалогу» відбувається вирішення проблемних ситуацій, вироблення необхідних рішень, в результаті чого формуються нові думки, виникають ідеї і, як наслідок, реалізуються новітні технічні рішення. Слід зазначити, що перед виконанням дипломного проекту курсанти та студенти, маючи певний досвід навчання, самостійно вибирають напрямок проекту і, відповідно, свого керівника. Саме у цьому, на наш погляд, виявляється діяльнісний підхід викладачів кафедри у глибшому розумінні свідомості студентів та модернізації підходів щодо розвитку теоретичної свідомості суб’єкта. При цьому викладач апелює до формування знань як переконань, що передбачає формування наукового світогляду студента. З цією метою й залучаються фрагменти практики як полігону застосування засвоєних наукових знань. У даному аспекті практика є критерієм істини пізнавальних результатів.

Реалізація наведених вище завдань і напрямків діяльності роботи викладача зі студентом не була б можливою без створення робочої групи, яка здійснює безпосередній зв'язок між викладачами на кафедрі, а також є перехідною ланкою зв'язку викладача і деканату. Слід врахувати, що функції робочої групи полягають не у забезпеченні викладача навчально-методичними матеріалами, а у визначенні вектора його подальшої діяльності. Слід зазначити, що робоча група активується до роботи лише у певні, визначенні життєвими проблемними ситуаціями, періоди функціонування кафедри.

Отже, кінцевою метою діяльнісного підходу до реалізації компетентнісного процесу навчання є перетворення того, хто навчається, у суб'єкт учіння. Причому суб'єктом учіння на кафедрі СЕУ та ЗП безпосередньо є студент з одного боку і викладач з іншого боку. Компетентнісний підхід, у нашому розумінні, повинен забезпечити трансформацію свідомості як студента, так і викладача у напрямку взаємного самонавчання і самовиховання.

Результати роботи на 3-му етапі.

1. Розширення спектру взаємозв'язів у науковій та начально-методичній роботі системи «викладач – студент», чого досягають на кафедрі при виконанні дипломних проектів та під час проведення студентських конференцій.

2. Підвищення культури поведінки і поваги до курсантів з боку викладачів, чого досягають інтенсифікацією взаємозв'язку професорсько-викладацького складу і студентів через самовиховання і взаємоповагу.

3. Поширення інформації про реалізацію компетентнісного підходу серед абітурієнтів та їхніх батьків.

Етап 4. Місце і роль курсанта при реалізації компетентнісного підходу на кафедрі ЕСЕУ та ЗП.

Безумовно вершиною реалізації компетентнісного підходу системи «деканат – кафедра – викладач» є студент. Що стосується особисто орієнтованого підходу з боку студента, то він повинен повністю асимілюватися з компетентнісним підходом. Згідно вище описаної моделі діяльності кафедри ЕСЕУ та ЗП це передбачає у комплексі наступні етапи.

- Підвищення свідомості у спектрі необхідності здобувати теоретичні і практичні знання, вміння і навички з подальшою їх реалізацією у сфері практичної діяльності. Для цього, у першу чергу, потрібно усвідомити зміст навчального процесу у спектрі міжпредметних зв'язків. Значна роль у даному плані відводиться як деканату суднової енергетики, так і керівництву кафедри СЕУ та ЗП. При реалізації цього завдання, окрім командирів (з боку деканату), важлива робота, проводиться кураторами груп кафедри, що дозволяє розширити світогляд курсантів у напрямку необхідності зміни відношення до начального процесу, позаяк саме рівень знань є визначальним під час працевлаштування спеціалістів на суднах морського та річкового транспорту світового флоту (рис. 4).

- Виховний підхід. Загальновідомо, що одиницею особистісного розвитку суб'єкта є його вчинок, який мотивується певною морально-духовною цінністю як самовартісною формою активності. Тому лише за цього виховного підходу можливо стверджувати і формувати культуру поведінки суб'єкта до колег, викладачів, колективу Херсонської державної морської академії. Водночас без будь-яких застережень слід направляти студента у сфері духовно-практичного освоєння світу, що передбачає його морально-духовний розвиток, а не його пристосування до умов оточуючого середовища. У цьому аспекті важливе значення має вплив викладачів кафедри, зокрема, їх особистий орієнтований підхід до виховання, який ґрунтується на механізмах свідомості й самосвідомості й призводить до виховання вищих сенсів життя людини і практичної орієнтації на них у своїй життєдіяльності.

У процесі оволодіння професійно-навчальною діяльністю курсанти кафедри набувають індивідуального досвіду діяння як єдності пізнавального досвіду і досвіду перетворення. Участь у спільній колективній роботі кафедри (зокрема, під час практики

або спільного виконання практичних та лабораторних робіт) поліпшує професійно-навчальну діяльність і підвищує мотивацію суб'єктів пізнання. Саме у групових видах роботи виникають реальні умови для вчинкової взаємодії, за якої удосконалюється морально-духовна сфера студента, його базові смисло-ціннісні орієнтації. Тут перед викладачами кафедри ЕСЕУ та ЗП відкриваються реальні можливості для дієвого використання положень орієнтованої моделі навчання і виховання особистості у контексті моделі реалізації компетентнісного підходу Херсонської державної морської академії в цілому.

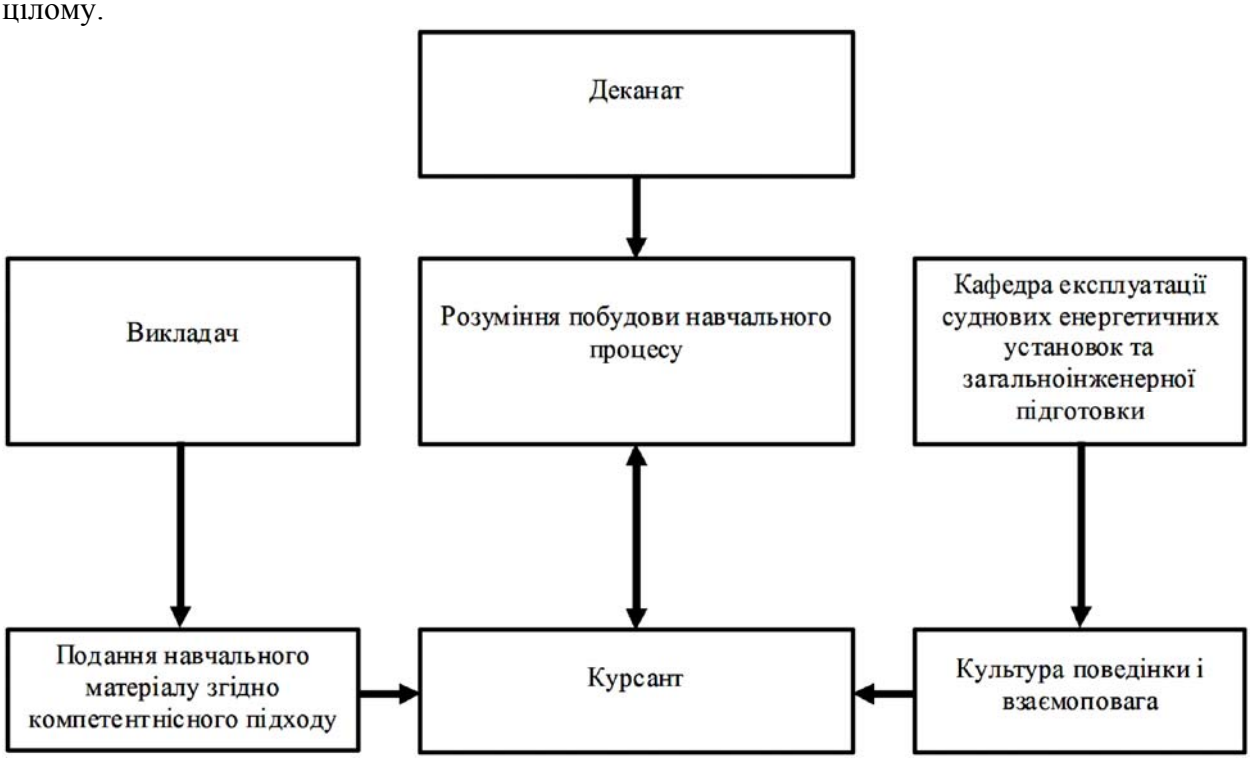


Рисунок 4. Місце і роль курсанта при реалізації компетентнісного підходу на кафедрі ЕСЕУ та ЗП.

Висновки. У наведених вище результатах роботи в загальному показано основні напрямки реалізації компетентнісного підходу на кафедрі експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії. Показано, що на початковому етапі було розроблено комплексну програму впровадження компетентнісного орієнтованого підходу у навчально-виховний і науковий процес та модель поетапної її реалізації. Показано етапи реалізації даної моделі, які охоплюють різносторонні підходи у спектрі зміни взаємовідносин і свідомості компонентів системи «деканат – кафедра – викладач – студент». Слід зауважити, що описані у роботі етапи ні в якому разі неможна розглядати незалежно. Навпаки, лише поєднання даних етапів і одночасна їх реалізація дозволить вийти на якісно новий рівень у підготовці студентів чи курсантів, що, у свою чергу, забезпечить їх конкурентноздатність на ринку праці.

ЛІТЕРАТУРА

1. http://osvita.ua/school/method/technol/641/
2. http://ipv.org.ua/component/content/article/8-beh/56-2012-09-04-22-32-01.html
3. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. – Издательский дом «Вильямс», 2006.- 1408 с.
4. Денисенко М.П., Гречан А.П., Гаман М.В. та ін. Провайдинг инноваций: підручник – К.: Видавничий дім «Професіонал», 2008.-448 с.

ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ В ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ МЕХАНІКИ

Васильченко Г.Ю.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Основним документом, що формулює вимоги до компетентності фахівців морського транспорту з боку замовників, судноплавних компаній, є Міжнародна конвенція про підготовку та дипломування моряків та несенню вахти (ПДМНВ) та вимоги Міжнародної морської організації (ІМО)[1,2].

Аналіз цих документів показує, що основна увага приділяється умінням, як реалізованим знанням здобувачів робочих дипломів для обіймання посад. Такий висновок спадає на думку при аналізі методів демонстрації компетентностей, серед яких:

- схвалений стаж роботи;
- схвалений стаж підготовки на учбовому судні;
- схвалена підготовка на тренажері, коли це можна вжити;
- схвалена підготовка з використанням лабораторного обладнання.

Стандарти ІМО дещо розширюють перелік знань фахівців, але включають в себе, на нашу думку, не більше 30% змісту в порівнянні з загальноприйнятими інженерними стандартами. Такий підхід, цілком логічний для роботодавців, обмежує мобільність випускників вищих навчальних закладів при виборі сфери майбутньої діяльності та суперечить змісту стандартів України.

З метою вирішення цього **протиріччя** ми пропонуємо організацію навчального процесу здійснювати з урахуванням того, що знання теоретичної механіки потрібні майбутньому фахівцю для розуміння механічних явищ, з якими йому доведеться зустрічатися у своїй практичній діяльності, зокрема, при самостійному вирішенні проблем, які можуть виникнути при експлуатації механізмів суден. Отже метою дисципліни «Теоретична механіка» відповідно до державної програми морських навчальних закладів та ІМО-моделі курсу є) [2]:

- формування у курсантів сучасного наукового уявлення про навколишній світ природи, його закономірності;
- формування у курсантів знань певних законів природи та умінь їх використовувати, тобто формування у курсантів компетентностей, які є базовими для сприйняття та формування професійних компетентностей;
- формування знань, умінь та навичок, необхідних для: розуміння механічних явищ у практичній діяльності, складання розрахункових схем механізмів і машин, розвиток навичок, самостійного розв’язання різноманітних технічних задач, розуміння кількісних і якісних закономірностей, що спостерігаються у природі.

Очевидним підходом до реалізації цих вимог вважаємо використання при теоретичному викладенні та практичному вивченні основних положень теоретичної механіки прикладів, пов’язаних з майбутньою професійною діяльністю. Також вважаємо за доцільне формування умінь під час виконання лабораторних робіт, які імітують певні ситуації на судні, що відповідає вимогам ПДМНВ при перевірці компетентності здобувача диплома) [1].

Як приклад можна навести фрагмент вказівок до виконання однієї з тем.

Тема: Визначення реакцій опор вантажопідйомного пристрою.

Мета роботи: Навчитися визначати реакції в опорах і натяг тросів при різних варіантах розташування опор і вантажу.

Теоретичні відомості:

На сучасних суднах для полегшення проведення ремонтних робіт, забезпечення їхньої безпеки і якості застосовується різного роду вантажопідйомне встаткування.

Усередині судна, зокрема в машинному відділенні (МО) широке поширення одержали підйомники з електричним приводом (талі або тельфери). У них передбачена можливість переміщення механізму уздовж рейкової напрямної. Вони, зазвичай, розташовані уздовж осі судна, над головним двигуном, тому що самі трудомісткі операції виконуються в цій зоні (рис. 1).

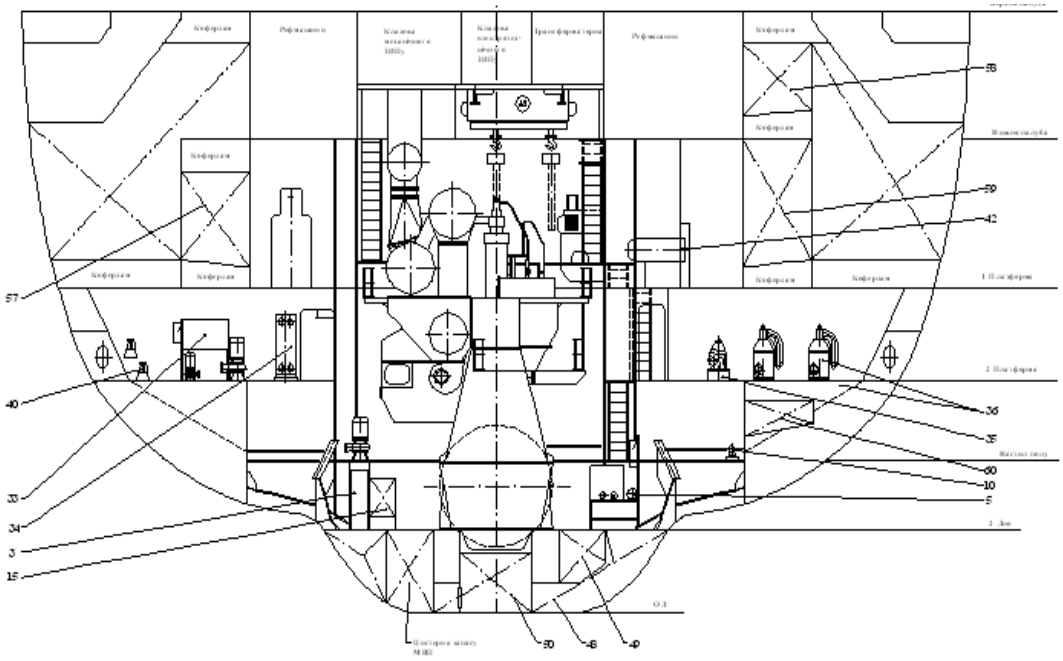


Рисунок 1. Схема машинного відділення з тельфером

Як видно з рис. 1 в машинному відділенні розташована велика кількість механізмів, які теж можуть мати потребу в демонтажі з метою заміни або ремонту.

Технології ремонту передбачають повільний підйом механізмів з постійним контролем його ходу, що пов’язане з необхідністю попередження ушкоджень кріплення, трубопроводів і сусідніх механізмів. З погляду теоретичної механіки зовнішні сили (тельфера) і реакції опор фактично врівноважуються (прискорення мінімальне або відсутнє тіло рухається рівномірно прямолінійно). Тобто, система розглядається у зрівноваженому стані – зовнішня активна сила вага вантажу (P) дорівнює натягу тросів N і T.

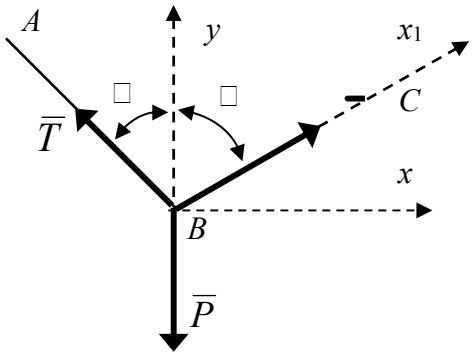


Рисунок 2. Приклад схеми сил

При використанні тельфера безпосередньо зусилля троса (реакція N) спрямоване під кутом до складової ваги механізму P, що завжди перпендикулярне опорі. У цьому випадку вертикальний підйом вантажу і якість проведення операції забезпечити неможливо. Виникає необхідність силами машинної команди вжити заходів організації підйому шляхом установлення додаткових блоків, опор, розтяжок, для чого необхідно мати чіткі уявлення про величину й напрямок сил, чому й присвячена дана робота.

Студентам пропонується виконати теоретичний розрахунок по індивідуальному варіанту й перевірити його результати експериментально на лабораторній установці, яка створена на кафедрі.

При цьому задаються: значення ваги вантажу (сила Р) і відстанями між опорами А**,** В та С або кутами між вантажем і опорами**.** Завдання може задаватись кожному студенту індивідуально, або бригаді студентів, що дозволяє формувати у них навички роботи в групі і відповідати за результат.

Завдання вирішується методом проекцій. Варто також пам'ятати, що реакції в гнучких зв'язках, підвісах (N і T)завжди спрямовані уздовж них.

Для отриманої в розрахунковій схемі плоскої системи збіжних сил студенти складають два рівняння рівноваги в проекціях на осі координат x і y (рис. 2) та знаходять значення сил і здійснюють перевірочний розрахунок.

Після розрахунку визначається відносна похибка обчислень.

Практична частина роботи.

Опис установки (рис. 3). На підставці 1 закріплена напрямна 2 з лінійкою. Вантаж Р закріплений на мотузці, що перекинута через нерухомий блок 4 і рухомий блок 3. Реакції опор визначаються за допомогою динамометрів 6.

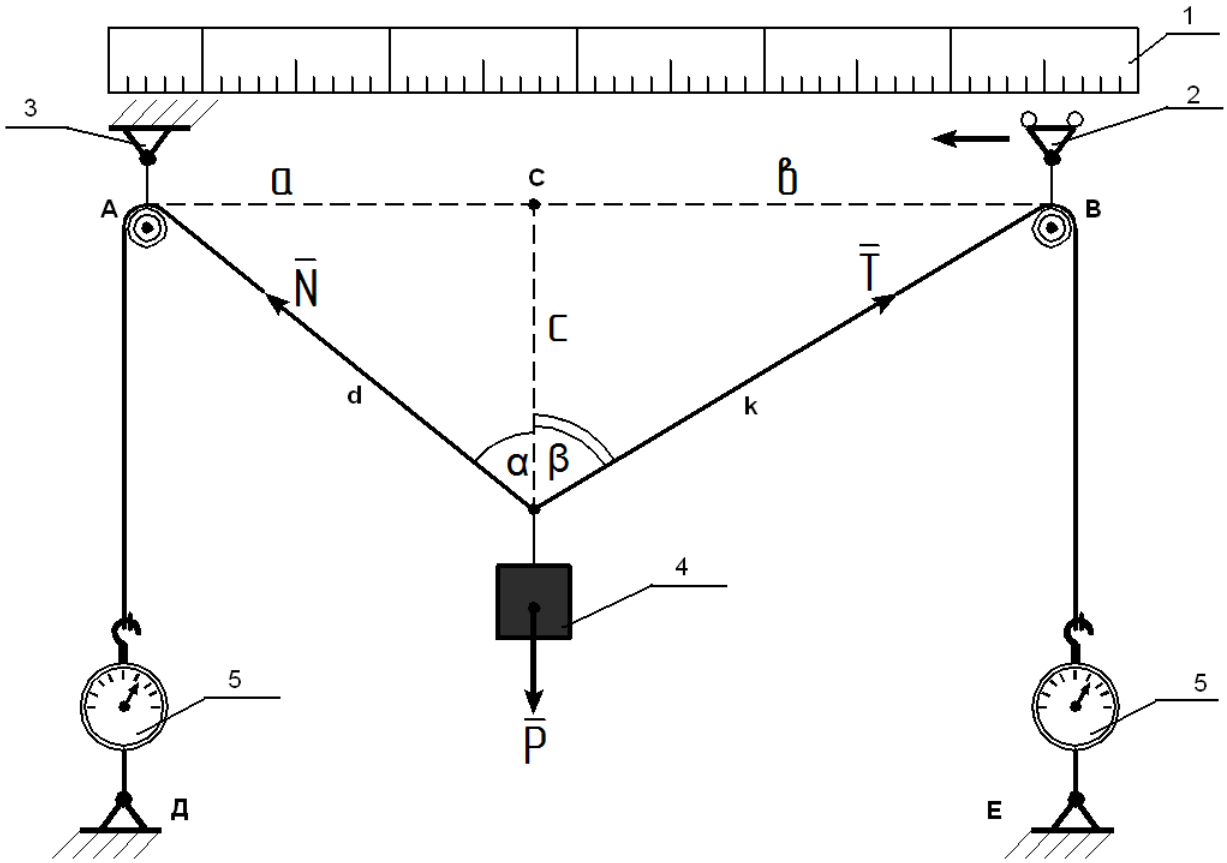


Рисунок 3. Установка для визначення реакцій опор: 1 - напрямна з мірною лінійкою; 2 - опора рухома з роликом; 3 - опора нерухома з роликом; 4 - вантаж; 5 - динамометри.

Порядок роботи:

1. Установити рухомий блок 2 на відстані а + в від нерухомої опори 3 згідно варіанту завдання;
2. Вантаж 4 установити на твердій опорі на відстанях а й у від опор;
3. Прикласти зусилля через динамометр у крапці Е до моменту відриву вантажу від опори, зафіксувавши показання обох динамометрів 5.
4. Порівняти показання лівого динамометра з розрахунковим N

5. Порівняти показання правого динамометра з розрахунковим Т
6. Знайти похибку результату, отриманого аналітично й фактично

$$\Delta N = \frac{Nm - N}{N_т} \cdot 100\% \qquad \Delta T = \frac{Tm - T}{Pm} \cdot 100\%$$

ΔN не більше 5% ΔT не більше 5%

Зміст звіту:
1. Накреслити схему відповідно до умов теоретичного завдання;
2. Визначити максимальну вагу Р и реакції опор методом проекцій;
3. Привести схему випробування на установці;
4. Проаналізувати й порівняти отримані результати.
5. Визначити погрішність ΔN і ΔT.

Таблиця завдань.

№ п\п	а (мм)	в (мм)	с (мм)	N (н)
1				

Висновки. Проведений аналіз вимог до компетентностей фахівців морського транспорту показав можливості їх ефективного формування шляхом організації вивчення загально інженерних дисциплін при проведенні лабораторних робіт з теоретичної механіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. IMO-модель курсу.
2. Конвенція ПДМНВ 1978, 2014 р.р.
3. Козицький С.В. Теоретична механіка. Стислий курс лекцій.: - Одеса: ОНМА, 2008. -72с.
4 Павловський М.А. Теоретична механіка: Підручник. - Друге вид., стереотип. - К.: Техніка, 2004. - 512 с.: іл.

КОПМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД ЯК ЗАСІБ ПОДОЛАННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

Гришко Ю.В.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Активізація міжнародних зв'язків нашої держави, поступове входження її в європейський і світовий простір ознаменувалися значними змінами у соціально-економічному розвитку України, у тому числі в її освітній сфері. Все це стало передумовою для вагомих трансформаційних процесів, які відбуваються у вітчизняній освітній галузі. Особливе місце серед них належить змінам у сфері навчання іноземних мов курсантів морських закладів. Як зазначає В.Г. Кремень «інтеграція України у світову спільноту потребує досконалого володіння іноземними мовами. Без таких знань прилучитися до міжнародного співтовариства буде неможливо».

Провідні освітянські документи визначають компетентнісно орієнтований підхід пріоритетом розвитку сучасної вітчизняної системи освіти. Під поняттям «компетентнісний підхід», як вважає О. Пометун, розуміють спрямованість освітнього процесу на формування і розвиток ключових (базових, основних)та предметних компетентностей особистості. Якщо сфера життя, в якій людина відчуває себе здатною до ефективного функціонування (тобто компетентною), є достатньо широкою, то йдеться про так звані ключові, чи життєві, компетентності. Якщо ж компетентність розповсюджується на вужчу сферу, наприклад, у рамках певної дисципліни, то можна говорити про предметну чи галузеву компетентність.

У сьогоденні існує проблема підготовки спеціалістів транспортної галузі,яка передбачає значне посилення практичної спрямованості освіти,необхідність студентів морських вузів перейти на новий рівень,значно ефективніший від попереднього.

Актуальніть цього питання полягає у важливості поступової переорієнтації на компетентісний підхід. Перехід до компетентнісного підходу означає для студентів:

а) переорієнтацію з процесу на результат освіти в діяльнісному вимірі

б) зміщення акценту з накопичування нормативно визначених знань, умінь і навичок на формування й розвиток в них здатності практично діяти, застосовувати досвід успішних дій у конкретних ситуаціях.

Результати навчальної діяльності розглядаються як особисті досягнення,перш за все. Важливим стає не наявність у студента внутрішньої організації знань, а здатність застосовувати компетентності в навчанні та житті.

Існує дві ключові компетентності:

– соціальна (здатність до співробітництва в групі та команді, мобільність, уміння адаптуватись і визначати особисті цілі та виконувати різні ролі й функції в колективі, планувати, розробляти й реалізовувати соціальні проекти індивідуальних і колективних дій; уміння визначати й реалізовувати мету комунікації в залежності від обставин; підтримувати взаємини; розв'язувати проблеми в різних життєвих ситуаціях);

– загальнокультурна (спроможність аналізувати й оцінювати досягнення національної, європейської та світової науки й культури, орієнтуватися в культурному й духовному контексті сучасного суспільства; знати рідну й іноземні мови, інтерактивно їх використовувати; опановувати моделі толерантної поведінки, створювати умови для конструктивної співпраці в умовах культурних, мовних і релігійних відмінностей між людьми та народами; застосовувати методи самовиховання, орієнтовані на систему загальнолюдських цінностей);

Компетентнісний підхід до навчання стає освітянською реалією.

У « Критеріях оцінювання навчальних досягнень » компетентність визначається «як загальна здатність, яка базується на знаннях, уміннях, цінностях, здібностях, набутих завдяки навчанню».

Компетентнісний підхід, за Т. Сорочан, означає переорієнтацію з процесу на результат у діяльнісному вимірі, вміння не тільки оперувати знаннями, а й змінюватися і пристосовуватися до нових потреб ринку праці, управляти інформацією, активно діяти, швидко приймати рішення, навчатись протягом життя . Отже, можемо зробити висновок, що компетентність людини - це певним чином структуровані набори знань, умінь, навичок і стосунків, які набуваються у процесі навчання.

Нові акценти в діяльності викладача пов'язані з перерозподілом пріоритетів його функцій – від інформаційної до організаторської, консультативної, управлінської. Викладач має бути організатором спрямованої на розв'язання навчальних завдань діяльності студентів. Закономірною є зміна акцентів і в студентської діяльності - вона має бути активною, передбачати самостійну й самоосвітню роботу. Слід сповна використовувати особливості професійно-пізнавальної діяльності студентів. Якраз у ній і створюються психологічні умови набуття студентом первинної досвідченості (виробничої, педагогічної, економічної, юридичної тощо). Згодом цей рівень досвідченості зросте в міру трансформації професійно-навчальної діяльності у власне професійну.

У процесі оволодіння професійно-навчальною діяльністю студентська молодь має набути індивідуального досвіду діяння як єдності пізнавального досвіду і досвіду перетворення. При цьому перетворювальну діяльність недоцільно ототожнювати з певним видом практики; вона набагато ширша, оскільки охоплює основні форми людської діяльності, які ведуть до зміни, реальної чи ідеальної, існуючого і до створення, знову-таки реального чи ідеального, того, чого раніше не існувало.

Індивідуальний досвід діяння не можна протиставляти розвиткові моральності особистості, вважати їх незалежними один від одного векторами розвитку, і також не можливо спрощено встановлювати прямий зв'язок між рівнем досвіду діяння і якостями особистості студента. Участь у спільній колективній роботі поліпшує професійно-навчальну діяльність і підвищує мотивацію суб'єктів пізнання. Якраз у групових видах роботи виникають реальні умови для вчинкової взаємодії, за якої удосконалюється морально-духовна сфера студента, його базові смисло-ціннісні орієнтації. Тут перед викладачем відкриваються реальні можливості для дієвого використання положень особивастісно орієнтованої моделі виховання у контексті орієнтованої моделі вихоння у контексті реалізації компетентнісного підходу.

Із численного арсеналу методів навчання адекватними завданнями компетентнісного підходу дослідники називають метод проектів, портфоліо, освітні технології «Дебати» та «Розвиток критичного мислення через читання та письмо», частково-пошукові та дослідницькі методи навчання, які передбачають самостійну активну діяльність учнів, задіяння та розвиток їх творчого потенціалу, уміння самостійного опрацювання додаткових джерел, комунікативні (особливо за умови роботи у групі) та організаційні вміння. Саме групова робота найбільш узгоджена з реаліями професійної діяльності дорослих. Таким чином, визначаючи форми організації навчальної діяльності студентів у контексті компетентнісного підходу, бачимо пріоритетність групової та індивідуальної форм організації навчальної діяльності.

Компетентнісний підхід у навчанні іноземних мов досить новий, але, у разі його успішної реалізації, може стати засобом забезпечення студентів корисними знаннями, необхідними для успішного досягнення цілей у реальних життєвих умовах. Включення автентичних матеріалів до навчально-пізнавального процесу дозволяє створити умови для формування уявлень про сучасний полікультурний і багатомовний світ, про загальнолюдські й національні цінності, культурну спадщину рідної країни і країн, мову яких вивчають студенти. У доповідді розглядаються особливості компетентнісного підходу у викладанні іноземної мови, аналізуються підходи до визначення поняття «компетентність», розглядається можливість практичного використання компетентнісного підходу у викладанні іноземних мов.

СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ ПРИ ПІДГОТОВЦІ СУДНОВИХ МЕХАНІКІВ ЗАСОБАМИ МІЖДИСЦИПЛІНАРНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ

Дендеренко О.О., Ляшенко У.І.
Морський коледж Херсонської державної морської академії (Україна)

Сучасний стан вищої освіти України зазнав суттєвих змін. Прийняття Закону України «Про вищу освіту» в новій редакції передбачає оновлення її змісту, цілей і задач. Ключовим поняттям стає компетентність, що відображає здатність випускника успішно конкурувати на ринку праці внаслідок високої якості отриманих теоретичних та практичних результатів навчання. Більшої актуальності набирає проблема погодженості викладання навчального матеріалу в різних дисциплінах, застосування міжпредметних зв'язків не завжди призводить до очікуваного результату. Для випускників вищих морських навчальних закладів очікуваними результатами є працевлаштування для роботи на судах у змішаних екіпажах. Суттєву роль при цьому відіграє не лише професійна компетентність, а й здатність виконувати обов'язки інтегруючи всі набуті знання, вміння і навички. Таким чином перед системою морської освіти ВНЗ постає питання у виборі способів реалізації компетентнісного підходу при підготовці спеціалістів, впровадження якого забезпечить виконання міжнародних вимог і створить сприятливі умови на ринку праці для майбутніх спеціалістів. У зв'язку з цим основною задачею нашої статті є пошук способів реалізації компетентнісного підходу засобами міждисциплінарної інтеграції в процесі при підготовці суднових механіків.

Питання компетентнісного підходу в освіті були висвітлені в роботах В. Байденко, В. Болотов, Ф. Гоноболін, Б. Ельконін, Е. Зеєр, І. Зимня, І. Зязюн, В. Краєвський, Н. Кузьміна, А. Маркова, А. Новиков, О. Овчарук, Т. Орджи, Дж. Равен, Є. Рогов, В. Сєріков, Л. Паращенко, Ю. Татур, Л. Тархан, В. Тушева, С. Трубачова, Г. Фрейман, М. Холстед, А. Хуторський, В. Шадриков та ін. Проблемою компетентнісного підходу в морській освіти займались такі науковці як І. Сокол, С. Волошинов, Т. Джежуль.

Основна ідея компетентнісного підходу зводиться до того, що результатом освіти є не окремі знання, вміння та навички, а компетенції. За такого підходу сутність підготовки педагогічних кадрів полягає не у збагаченні студентів певною кількістю інформації, а в розвитку вміння оперувати нею, проектувати та моделювати свою діяльність, здатності творчо застосовувати набуті знання і досвід у практичній діяльності. Відповідно до компетентнісного підходу зміст вищої освіти і методика навчання повинні бути зорієнтовані на професійну підготовку компетентного фахівця [2].

Освітніми цілями компетентнісного підходу визначаються важливі компетентності, що включають у себе *знання і розуміння* (теоретичні знання з академічної дисципліни, здатність знати і розуміти); *знання як діяти* (практичне або операційне застосування знань в певних ситуаціях); *знання як жити* (цінності як інтегральний елемент сприйняття і співіснування з іншими в соціальному контексті). Компетентності являються поєднанням властивостей (по відношенню до знань та їх застосування, установок, навичок, умінь та обов'язків), які описують рівень або ступінь, до якого особа здатна виконувати їх [5].

У міжнародному освітньому просторі вже впроваджені й успішно реалізуються на практиці форми, які дозволяють втілити в професійну освіту основні ідеї компетентнісного підходу, проте триває пошук й найбільш ефективних з них, серед яких на особливу увагу заслуговує міждисциплінарна інтеграція, яка здатна охопити всі дисципліни різних навчальних циклів і якнайкраще допомогти майбутнім фахівцям морського профілю навчитись застосувати свої знання, вміння, навички ще в умовах ВНЗ. Особливо це важливо для суднових механіків, адже механіка як «синтезатора» знань із різних галузей наук не можна назвати механіком, якщо в його свідомості не утворяться

«міжсистемні асоціації» [4], що охоплюють різні системи знань, утворюючи загальні поняття, взаємозв'язки теорій, ідентичність символік.

Міжпредметні зв'язки стимулюють цілісне пізнання світу, сприяють розвитку мислення, аналізу, зіставленню фактів з різних галузей знань [3]. Так, викладення змісту дисципліни «Суднові дизельні установки» не можливе без інтеграції із дисциплінами «Суднові допоміжні механізми, устрої та системи», «Основи автоматики», «Автоматизовані системи управління енергетичною установкою», «Суднові котельні установки», «Суднові турбіни», оскільки процес набуття нових знань з однієї дисципліни повинен відбуватися синхронізовано із набуттям знань з іншої дисципліни. Тому виникає потреба в глибокій міждисциплінарній інтеграції.

Основний принцип педагогіки міждисциплінарних зв'язків – це послідовність викладення інформації та єдина система визначень і як результат єдина система знань. Але даний принцип ускладнює реалізацію взаємозв'язку дисциплін професійного спрямування, тому слід оновлювати зміст дисциплін, в яких були б відображені тенденції сучасного стану виробництва: нове суднове обладнання провідних фірм-виробників MAN, Wartsila, Rolls-Royce, Yanmar, MAK-Caterpillar (для двигунів внутрішнього згоряння); Alfa-Laval, Westfalia (для сепараторів); Aalborg (для котлів); SAM-electronic, Jensen, Schneider-electric (для електрообладнання); Brunvoll, Schottel (для пропульсивних установок). З цією метою нами було виокремлено наступне:

– Математичні знання – формують логічне мислення та є базою для вивчення загально-технічних дисциплін і професійно-орієнтованих дисциплін.

– Фізичні знання – є базою для оволодіння професійними знаннями, засобами загально технічних дисциплін. Основними напрямками у спектрі професійних компетентностей суднових механіків є механічні, гідравлічні, теплові та електричні. Дані напрямки знань будуються на таких розділах фізики як механіка, термодинаміка і теплотехніка, механіка рідин та газів і електротехніка.

– Знання з англійської мови (за п.с.) – сприяють більш детальному та глибокому ознайомленню з досягненнями науково-технічного прогресу; обміну та впровадженню досвіду з експлуатації новітнього механічного обладнання на борту сучасного судна; дозволяють ефективно засвоювати і застосовувати знання з професійно-орієнтованих дисциплін.

Міждисциплінарна інтеграція даних дисциплін сприятиме не лише поглибленню знань курсантів, але й збагаченню їх кругозору та встановленню взаємозв'язків та взаємозалежностей у їх свідомості при вивченні професійно-орієнтованих дисциплін.

Для прикладу розглянемо ряд ситуативних проблем.

Проблема-1: математичні і фізичні знання мають цілісну та універсальну систему скорочень, яка використовується усіма країнами і є загальноприйнятою (F – сила, p – тиск, T – температура, t – час, a – прискорення, m – маса, v – швидкість тощо). Ці скорочення наразі подаються і пояснюються викладачами математики і фізики окремо без урахування знання з англійської мови (за п.с.), оскільки на момент їх пояснення курсанти ще не оволоділи цими термінами англійською (F – force, p – pressure, T – temperature, t – time, a – acceleration etc.). Проте саме знання значень цих скорочень та вміння автоматично їх декодувати сприяло б кращому їх засвоєнню.

Проблема-2: система скорочень циклу професійно-орієнтованих дисциплін (F – force; N – normal force, P – power; p – pressure; T – temperature; t – time; a – acceleration; m – mass; v – volume; Q – quantity of hot) майже повністю віддзеркалює систему скорочень базових дисциплін таких як математика і фізика і таким чином фактично її копіює. Проте процес засвоєння цих скорочень курсантами недостатньо скоординований у навчальному плані і його синхронізація сприяла б його ефективності.

Проблема-3: знання з англійської мови (за п.с.) засвоюються набагато ефективніше, якщо вони спираються на набутий досвід та знання з професійно-орієнтованих дисциплін, які, в свою чергу, залежать від рівня оволодіння курсантом

компетентностей з фізики та математики. На даний час курс підготовки майбутніх суднових механіків не передбачає спеціалізованої узгодженої програми з англійської мови, яка б охоплювала такі дисципліни як фізика та математика, а викладення матеріалу часто є випереджувальним до професійно-орієнтованих дисциплін. Так аналіз діючої робочої навчальної з англійської мови (за п.с.) показав, що матеріал з теми: "Ship construction" викладається на другому курсі в дисципліні «Англійська мова (за п.с.)», а в курсі дисципліни «Основи теорії, устрою судна та рушіїв» на третьому курсі (п'ятий семестр). Даний приклад не є єдиним.

Таким чином процес засвоєння матеріалу на занятті з дисципліни «Англійська мова (за п.с.), на нашу думку, був би більш ефективним, якщо у зміст дисципліни було б інтегровано знання з фундаментальних дисциплін (фізика, математика), а викладення тем професійно-орієнтованих дисциплін синхронізовано з викладенням останніх.

Із наведених вище прикладів активується необхідність використання міждисциплінарної інтеграції не лише між дисциплінами циклу професійної підготовки, але й на рівні циклів гуманітарної, соціально-економічної та математичної, природничо-наукової підготовки, що впливатиме на якість підготовки майбутнього суднового механіка.

Реалізація компетентнісного підходу засобами міждисциплінарної інтеграції при підготовці майбутніх спеціалістів морських навчальних закладів сприятиме встановленню таких міжпредметних зв'язків, що «повинні виконувати професійну роль у єдності з функціонально-особистісною, активізуючи специфічну діяльність викладачів у виборі змісту своєї дисципліни» [1]. Інтеграція змісту предметної підготовки майбутніх судових механіків з фаховими навчальними дисциплінами, спрямування її на розвиток професійних компетенцій зробить цей процес ефективним.

Аналіз літератури з проблеми дослідження, пошук шляхів впровадження міждисциплінарної інтеграції дав можливість виокремити три напрямки сучасних пошуків удосконалення змісту дисциплін [1] таких як:

1) розподіл навчальних предметів на основні блоки навчальних планів на базі спільної функції методологічної підготовки фахівців;

2) створення інтегрованих допоміжних навчальних посібників у межах одного наукового знання на основі його практичного застосування в оточуючому середовищі;

3) створення базових підручників із широким спектром, що включені у зміст можливостей практичної значущості матеріалів, що курсанти вивчають.

Дана проблема є актуальною, тому одним із перспективних напрямків дослідження вважаємо за потрібне в подальшому створення інтегрованих методичних посібників із широким спектром (як для викладачів так і для курсантів), які створять умови для ефективного впровадження компетентнісного підходу у підготовці вахтового механіка для морських суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бокарев М. Ю. Педагогические условия профориентированного обучения морских инженеров на начальных этапах их подготовки (лицей-вуз): дисс. канд. пед. наук: 13.00.08 «Теория и методика профессионального образования»/ М.Ю. Бокарев. – Калининград, 2000. – 182 с.

2. Грицай Н. Сучасні підходи до методичної підготовки майбутніх учителів біології // Проблеми підготовки сучасного вчителя. – 2013. – №7. – С.326-330.

3. Tuning Project (Університет Деусто (Іспанія), університет Гронінгена (Нідерланди)) /Education & culture. – Socrates-Tempus. – December, 2006. – 101 p.

4. Кривдіна І. Ю. Інтеграція як фактор формування загально трудових сільськогосподарських вмінь у учнів 6-7 класів сільських школ в процесі трудового навчання: дис. канд.. пед. наук: 13.00.01 – «Загальна педагогіка, історія педагогіки та освіта» / Кривдіна І.Ю. – Нижній Новгород, 2003 – 424с.

ФОРМУВАННЯ ВМІНЬ З ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ У МАЙБУТНІХ СПЕЦІАЛІСТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

Дубовик Л.П., Кострицький В.Г.
Херсонський державний університет (Украина)

Вступ. Підготовка необхідної кількості кваліфікованих і адаптованих до сучасних вимог фахівців для транспортної галузі, що відповідають сучасним і перспективним вимогам, є пріоритетним завданням вищої школи.

При цьому слід враховувати, що ефективне функціонування сучасної транспортної галузі неможливе без її систематичного технічного переоснащення. Останнє, у свою чергу, базується на досягненнях науки і техніки. При цьому елементи наукового дослідження усе більшою мірою входять в діяльність фахівців, оскільки у своїй повсякденній роботі вони постійно стикаються з необхідністю досліджувати роботу механізмів і машин, обирати оптимальні параметри і режими їх роботи шляхом проведенням наукових досліджень. Тому вже на рівні підготовки фахівців у вищих навчальних закладах необхідно формувати у студентів наукове мислення, здатність до самостійного ухвалення рішень, грамотного аналізу отриманих даних і можливості прогнозування ситуації.

Актуальність дослідження. Перед вищими навчальними закладами постає проблема не лише підвищення рівня теоретичних знань студентів з навчальних дисциплін, але й формування вміння використовувати їх для розв’язання професійних проблем дослідницьким шляхом. На цьому наголошують О. Андрусь, Б. Гершунський, Д. Чернилевський, Н. Ничкало, П. Олійник та ін.

Виникає гостра потреба такої організації освіти, яка б забезпечувала організацію навчально-пізнавальної та науково-дослідницької діяльності студентів, спрямованої на формування їх дослідницьких умінь. Саме на це звертається увага в працях Г.Артемчук, В.Буряка, Л.Кондрашової, Г.Гранник, Є.Спіцина, А.Усової, В.Шейко та ін. Проблему формування професійних і дослідницьких умінь та навичок особистості подано в роботах А. Бойко, С. Гончаренка, Г. Селевка, В. Шадрікова та ін. Окремі аспекти формування та розвитку дослідницьких умінь фахівців у процесі професійної підготовки представлено в дисертаційних дослідженнях В.Кулешової, В. Літовченко, Т.Марущак, О.Рогозіної та ін.

Зокрема, Т. Марущак запропонувала конкретизовану класифікацію компетенцій фахівця транспортної галузі, що враховує трансформацію сучасних вимог практичної діяльності у вигляді двох груп характеристик: функціональні і поведінкові, до яких відносяться і дослідницькі вміння [6]. В. Литовченко розглядає такі групи дослідницьких вмінь: 1) операційні дослідницькі вміння; 2) організаційні дослідницькі вміння; 3) практичні дослідницькі вміння; 4) комунікативні дослідницькі вміння.

Аналіз наукових психолого-педагогічних робіт показав, що при формуванні дослідницьких умінь у студентів недостатньо уваги приділяється методиці навчання їх застосуванню методів математичної статистики.

Постановка задачі. Метою статті є розкриття методики формування у студентів дослідницького вміння використовувати методи математичної статистики під час обробки результатів вимірювань на лабораторних роботах з професійно-орієнтованих дисциплін.

Результати дослідження. У тлумаченні В.Андреєва «дослідницьке вміння» – це вміння застосовувати певні прийоми наукового методу пізнання в умовах розв’язання навчальної проблеми під час виконання дослідницького завдання [2].

У зв’язку із цим актуалізується проблема: які саме дослідницькі вміння майбутнього фахівця транспортної галузі мають бути сформовані, який механізм та методика їхнього формування, їхнього розвитку, як такі вміння мають бути органічно введені до структури майбутньої діяльності.

Фахівцю транспортної галузі, на думку Т. Агеєвої, необхідно володіти методикою наукового пошуку, уміти ставити завдання дослідження, знати методи і засоби виміру параметрів роботи, мати навички проведення експерименту, обробки, аналізу і узагальнення результатів дослідження, володіти теорією ухвалення рішень [1]. Цю ж думку підтримують О.Белова, В.Данілов, наголошуючи, що реалізація дослідницьких умінь і професійних компетенцій досягається в процесі навчання студентів великої кількості навчальних дисциплін [3].

Як доводить В.Опанасенко, створення умов для формування дослідницьких умінь при вивченні фахових дисциплін є нагальною потребою в процесі підготовки майбутніх фахівців, так як, відповідно до об'єктивних та суб'єктивних факторів вони повинні оволодіти системою професійних знань, умінь та навичок, навчитись використовувати їх як для організації дослідницької діяльності, так і для її здійснення [7].

Як вважає О. Рогозіна, це можливо при дотриманні таких педагогічних умов: насичення занять творчими ситуаціями, оптимізація логічних та евристичних методів розв'язання творчих завдань, оптимальне в часі співвідношення індивідуальної й колективної форм організації навчально-творчої діяльності, етапність науково-дослідницьких завдань з урахуванням можливостей і досвіду пізнавальної діяльності. Відповідно до принципу системності і послідовності в основі такого підходу проводиться поетапне ускладнення змісту дослідницької діяльності та поєднання в ньому диференційованих і індивідуальних завдань, що будуються на принципах альтернативних та варіативних рішень.

На думку В. Кулешової важливу роль у засвоєнні вмінь і навичок відіграють умови навчання, правильна організація процесу вправляння: послідовність засвоєння дій, поступовий перехід від простішого до складніших завдань, від повільного до швидкого темпу їх виконання [4]. Необхідною умовою формування дослідницьких умінь А. Єфіменко, В. Макаров, М. Макійов вважають використання наукових досліджень в навчальному процесі [5].

Опираючись на роботи Т.Агеєвої, В. Кулешової, В. Литовченко, Т. Марущак, О. Рогозіна та ін. ми розробили методику формування у студентів уміння використовувати методи математичної статистики при вивченні дисциплін, які викладаємо.

Вже на першому лабораторному занятті з дисципліни «загальна фізика» знайомимо студентів з елементами теорії похибок. Зауважуємо, що наукове пізнання людиною оточуючого світу стало можливим лише завдяки впровадженню вимірювань у практику наукових досліджень. Показуємо, що процес вимірювання фізичної величини полягає у знаходженні її числового значення. Виміряти фізичну величину означає порівняти її з іншою однорідною фізичною величиною, прийнятою за одиницю (еталон) вимірювання. Розкриваємо поняття про прямі і непрямі вимірювання, про істинне і виміряне значення фізичної величини. На конкретних прикладах доводимо, що жодна фізична величина не може бути виміряна абсолютно точно, тому $x_{вим}$ не співпадає з $x_{іст}$. Пояснюємо, що мірою відхилення $x_{вим}$ від $x_{іст}$ є абсолютна похибка вимірювання, а мірою точності вимірювання – відносна похибка.

З метою забезпечення усвідомленого засвоєння методів визначення похибок вимірювання пропонуємо студентам самостійно виводити формули для їх обчислення. Наприклад, під час виконання лабораторної роботи «Визначення прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника» на основі відомої розрахункової формули для вимірювання g: $g = \frac{4\pi^2 LN}{t^2}$, вони виводять формулу абсолютної похибки непрямого вимірювання: $\Delta g = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2}\Delta L + \frac{8\pi^2 N^2 L}{t^3}\Delta t$.

Одним з основних методів наукового пізнання на лабораторних заняттях з дисципліни «Загальна фізика» є експеримент. Враховуємо, що якісне проведення

наукового експерименту здатне сформувати теоретичні наукові знання і практичні навички, необхідні дослідникові. Розглядаючи експеримент як один з методів наукових досліджень, Т.Агеєва виділяє наступні його етапи, які ми реалізовували у процесі дослідження:

1. Вивчення методології проведення експерименту. Розробка плану експерименту. Вибір моделі.
2. Організація наукового експерименту. Підготовка устаткування, приладів і об'єкту досліджень.
3. Способи і завдання реєстрації і протоколювання досліджуваних показників.
4. Статистична і математична обробка експериментальних даних.
5. Оформлення результатів дослідження [1].

Під час проведення лабораторних занять з дисципліни «Теорія механізмів та машин» показуємо, як використовуються основні методи визначення похибок механізмів. Зокрема пояснюємо, що суть аналітичних методів полягає в тому, що похибка будь-якого параметра звичайно значно менша за самий параметр, тому похибку можна подати як диференціал змінної, а для визначення похибки сукупності параметрів (наприклад, функції положення) використовувати математичний апарат функцій багатьох змінних.

Абсолютні похибки параметрів механізму можна визначати диференціальним методом. Для цього сукупність пов'язаних геометричних параметрів q_i (розмірний ланцюг, функцію положення тощо) подають як функцію цих параметрів, вважаючи їх змінними: $f = F(q_1, q_2, ..., q_n)$.

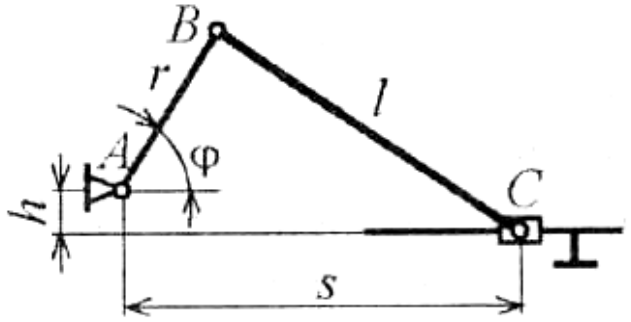


Рисунок 1. Похибки функції положення механізму

Диференціальний метод визначення похибок є універсальним, він може бути використаний практично до будь-якого параметру механізму. Наприклад, для шарніно-повзунного механізму (рис. 1) функція положення:

$$s = r\cos\varphi\sqrt{\ell^2 - (r\sin\varphi + h)^2},$$

а похибка положення механізму:

$$\Delta s = \frac{\partial s}{\partial r}\Delta r + \frac{\partial s}{\partial \ell}\Delta \ell \frac{\partial s}{\partial h}\Delta h$$

Формування вмінь студентів з використання методів математичної статистики продовжуємо на лабораторних заняттях з дисципліни «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання». Наприклад, метою лабораторної роботи «Обробка результатів вимірювань» є засвоєння знань з методики обробки результатів вимірювань при статистичному контролі якості продукції, набуття практичних навичок з обробки результатів вимірювань за допомогою методів математичної статистики.

На лабораторному занятті пояснюємо, що результати вимірювань, як і інші випадкові величини, характеризуються визначеним законом розподілу (функцією щільності ймовірності). Наголошуємо, що в області взаємозамінності і технічних вимірювань найбільш часто зустрічаються наступні закони розподілу: нормальний (закон Гауса); закон рівної ймовірності (рівномірної щільності); закон рівнобедреного трикутника (Сімпсона); закон Релея.

Через обмеженість числа результатів вимірювань при обробці замість математичного очікування і дисперсії одержують наближені до них відповідно емпіричне середнє $\overline{x}$ і емпіричну дисперсію S^2, які характеризують середній результат вимірювань і ступінь розкиду результатів.

Під час виконання лабораторної роботи студенти здійснюють виміри діаметрів валів (не менше 50 шт.), що оброблені при одній настройці верстата без зміни та

переналадки ріжучого інструмента. Наголошуємо, що вимірювання деталей необхідно виконувати в одному і тому ж перерізі, що знаходиться на відповідній відстані від торця деталі. Далі студенти визначають середнє арифметичне значення дійних розмірів та середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань.

Важливим етапом виконання лабораторної роботи є вилучення грубих похибок з результатів вимірювань. Наявність грубих похибок студенти перевіряють, як для нормального розподілу, за допомогою критерію Райта, критерію Смирнова, за критерієм Романовського та за критерієм Ірвіна.

Загальний висновок про наявність грубої похибки при перевірці сумнівного (максимального чи мінімального) результату виміру студенти роблять при відповідному підтвердженні хоча б за одним з критеріїв.

За результатами вимірів, що залишились після статистичної перевірки студенти визначають діапазон розсіювання розмірів. Наступним кроком є визначення числа вимірів, що випадають на кожний інтервал i - частоти m_i та побудова експериментальної кривої розподілу (полігону).

Після цього студенти підраховують середнє арифметичне значення дійсних розмірів та середнє квадратичне відхилення результатів вимірів.

Припущення (гіпотезу) щодо форми закону емпіричного розподілу студенти перевіряють за допомогою критеріїв узгодженості. Наочним доведенням будь-якого емпіричного розподілу є гістограма (полігон), за видом якої можна наближено ідентифікувати закон емпіричного розподілу.

На завершення студенти визначають ймовірність одержання розмірів деталей в межах поля допуску.

При проведенні наукових досліджень та при виконанні лабораторних робіт з дисципліни «Опір матеріалів» необхідно встановлювати кількісні закономірності між певними властивостями досліджуваного фізичного об’єкту, наприклад, деформації ригеля у статично визначеній рамі залежно від прикладеного зусилля, осадки циліндричної пружини від прикладеного зусилля, модулю зсуву при крученні пустотілого валу тощо. З цією метою необхідно знайти значення фізичної величини (прогину ригеля, осадки пружини тощо) за допомогою спеціальних технічних засобів, тобто шляхом вимірювання. Проте, якби ретельно не проводились вимірювання, отримати абсолютно точне значення шуканої величини практично неможливо. Тому зауважимо, що одноразові вимірювання досліджуваного параметру, що звичайно здійснюється при проведенні дослідів в умовах навчальних закладів дають випадкову дуже приблизну оцінку цього параметру, і на її підставі робити висновок про відповідність результатів вимірів досліджуємій залежності являється принципово невірно, хибно.

Виходячи з того, що задачею експерименту являється знаходження найбільш достовірного значення вимірювального параметру, необхідно для підвищення достовірності здійснити n вимірювань досліджуваного параметру, повертаючи кожного разу досліджувану технічну систему і засоби вимірювань у вихідне положення. Чим більше повторних вимірювань n, тим результат вимірювань після його відповідної математичної обробки буде ближчим до дійсного значення вимірюваного параметру.

Нами було встановлено, що в межах аудиторного часу відведеного на виконання лабораторної роботи з дисципліни «Опір матеріалів», можливе виконання n = 6…7 повторних дослідів з їх наступною математичною обробкою.

Для перевірки результатів вимірювань пропонуємо ряд статистичних критеріїв вилучення грубих похибок (Райта, Романовського, Смирнова, Діксона, Греббса та ін.). Якщо статистична перевірка підтверджує, що результат вимірювання різко відрізняється (являється грубою похибкою), то його вилучають з подальшого розгляду.

Перед лабораторною роботою пропонуємо для вивчення та закріплення основних методик математичної статистики вирішувати із студентами розрахункові завдання.

Висновки. Дослідницькі вміння взагалі, та вміння з використання методів

математичної статистики зокрема, набуваються шляхом залучення студентів до самостійного проведення експериментів та обробки його результатів та основі використання методів математичної статистики. Внесення елемента дослідження в навчальні заняття сприяє вихованню у студентів активності, ініціативності, допитливості, розвиває мислення, заохочує потребу в самостійних наукових пошуках.

Пропонований підхід щодо проведення обробки результатів вимірювання під час виконання лабораторних робіт з професійно-орієнтованих дисциплін дає можливість підвищити точність експериментальної оцінки досліджуваної теорії, так як знаходиться найбільш достовірне значення вимірюваного параметру, а також сформувати у студентів наступні загальнокультурні та професійні компетенції:

- знань про наукові основи математичної статистики, методи збирання, обробки, зберігання та передачі статистичної інформації, основні етапи статистичного дослідження, особливості використання статистичних критеріїв;
- вміння використовувати основні закони наукових дисциплін у професійній діяльності, використовувати методи математичного аналізу та моделювання, теоретичного та експериментального дослідження;
- навички з проведення наукових експериментів;
- уміння з кількісної і якісної обробки результатів вимірювань, виявлення їх закономірностей та тенденцій розвитку;
- вміння використовувати математико-статистичних методів для прогнозування розвитку виробничих процесів та технологій.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Агеева Т. Ю. Пример использования моделирования при подготовке инженеров в рамках курса «Основы научных исследований» [Электронный ресурс]: // Инновационные технологии в подготовке специалистов транспортной отрасли. – Режим доступа: http://conference.osu.ru/assets/files/conf_info/conf8/s5.pdf.

2. Андреев В.И. Эвристическое программирование учебно–исследовательской деятельности [Текст]/В.И.Андреев. – М.: Высшая школа, 1981. – 240 с.

3. Белова Е.А., Данилов В.И. Проблемы подготовки специалистов для транспортной отрасли [Электронный ресурс] // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ» 2013, Том 4, № 4, 2013/ - С. 1480 – 1484. – Режим доступу: http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2014/TGU_4_281.pdf.

4. Кулешова В.В. Формування пошуково-дослідницьких умінь майбутніх інженерів-педагогів у процесі професійної підготовки [Текст]: автореф. дис… канд. пед..наук: 13.00.04/ АПН України. - К., – 2007. – 18 с.

5. Макаров В.А., Єфименко А.М., Макійов М.М. До питання використання наукових досліджень в навчальному процесі //Проблеми підготовки кадрів автомобільної галузі та шляхи їх вирішення: збірник матеріалів Міжнародної науково-методичної конференції, 7-8 листопада 2013 р. /В.А. Макаров, А.М.Єфименко, М.М.Макійов. – Х.: ХНАДУ, 2013. – С.77-78.

6. Марущак Т. Б. Организационно-методическое обеспечение професси-ональной подготовки специалистов транспорта [Електронний ресурс]: автореф. дис… канд. эконом. наук: 08.00.05. – Новосибирск – 2009. – 18 с. – Режим доступу: http://www.ceninauku.ru/info/page_13345.htm.

7. Опанасенко В.П. Умови формування дослідницьких умінь студентів у процесі вивчення дисциплін циклу професійної та практичної підготовки [Електронний ресурс]: // Педагогічні науки. Вип. 19. – Режим доступу: http://gnpu.edu.ua/files/VIDANNIY/Visnik_19/V19_88_93.pdf.

ГРАФІЧНА ПІДГОТОВКА У КОНТЕКСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ КУРСАНТІВ (СТУДЕНТІВ)

Знамеровська Н.П.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Сучасні соціально-економічні відносини в Україні ставлять перед морською освітою новітні завдання з її удосконалення. Необхідність формування висококваліфікованих фахівців у морській сфері, які вміють творчо працювати, знаходити вихід з різних складних ситуацій та передбачати наперед можливі наслідки діяльності, диктує потребу у поліпшенні методик навчання, впровадженні в навчальний процес досконалих форм та методів навчання, нових педагогічних технологій, які будуть формувати професійні компетентності.

Засоби інформатизації, які використовуються в освіті, дозволяють реалізувати головні принципи гуманістичного напряму в системі навчання: перехід від процесу запам’ятовування до процесу пізнання в результаті розумового розвитку; від асоціативної, статистичної моделі знань до динамічно структурованих систем розумових дій; від орієнтації на середнього курсанта(студента) до диференційованих та індивідуалізованих програм навчання; від зовнішньої мотивації навчання до внутрішньої вольової регуляції.

Нарисна геометрія та інженерна графіка займає особливе місце серед дисципліни, що закладають основи загально технічних знань. Креслення є засобом вираження технічної думки та творчої ідеї. Всі навчальні плани технічних спеціальностей вищих навчальних закладів містять таку дисципліну як нарисна геометрія та інженерна графіка, яку вивчають на перших курсах вишів,тому що вона є основою для вивчення багатьох спеціальних технічних дисциплін, таких, як математика, матеріалознавство, теоретична механіка, теорія машин і механізмів, деталі машин, взаємозамінність та стандартизація, тощо.

Актуальність дослідження. Головною метою вивчення нарисної геометрії та інженерної графіки традиційно є вивчення методів ортогонального проекціювання на три проекційні площини проекцій, що зазвичай, базуються на ручному способі виконання креслярських графічних роботи. Зміни у сучасному проектуванні, де все частіше використовується 3D-моделювання за допомогою технічних засобів і наступної автоматизації побудови креслеників деталей, складальних одиниць, тому методи автоматизованого проектування є більш ефективними. Вважаємо, що випускники повинні мати можливість користуватись графічними програмами для створення креслярсько-конструкторської документації. Це вимагає використання в навчальному процесі комп'ютерної графіки. Суть комп'ютерної графіки - це створення інтегрованої моделі на основі теоретичних знань та вмінь з нарисної геометрії та інженерної графіки. Завданням комп’ютерної графіки є формування прийомів роботи з певними графічними програмами, вивчення і практичне засвоєння комп'ютерних методів, методів автоматизованого проектування, використовуючи графічну базу даних, що дасть можливість показати значущість комп’ютерної графіки для підготовки сучасного інженера.

Проблема дослідження. Аналіз практичної реалізації графічної підготовки у вузах дозволив виявити ряд актуальних проблем графічної підготовки випускників, до яких можна віднести наступні:

• відсутність належної графічної підготовки в середній школі;

• специфіку графіки, пов'язану з розвитком просторового мислення;

• необхідність формування у курсанта (студента) в процесі графічної підготовки специфічних якостей для засвоєння дисциплін фахового спрямування;

• різну сприйнятливість курсантів до володіння графічною культурою ;

• відмінність вимог і змісту графічної підготовки для різних напрямів і спеціальностей з урахуванням компетентнісного підходу;

• великий обсяг спеціальних знань і навичок, які формуються в межах графічної підготовки;

• необхідність великого обсягу самостійної роботи курсантів(студентів);

• складність і трудомісткість розробки та реалізації інноваційних освітніх технологій , пов'язаних з графічною підготовкою;

• складність і трудомісткість сучасних контролюючих матеріалів для оцінки якості графічної підготовки курсанта(студента);

• дефіцит викладацьких кадрів високої кваліфікації , що відповідають вимогам сьогодення;

• невідповідність якості графічної підготовки сучасним вимогам.

Вирішення перерахованих вище проблем дозволить удосконалити графічну підготовку і забезпечити гарантовану якість підготовки випускників, які відповідають сучасним вимогам компетентнісного підходу в освіті.

Питання професійної спрямованості навчання досить глибоко і різнобічно досліджені в теорії навчання: розроблено основи професійної спрямованості навчання (В.І. Загвязінскій, В.В. Краєвський, Н.В. Кузьміна, та ін.), досліджені методичні аспекти професійної спрямованості курсів (Т.М. Грань, А.Г. Мордкович, СВ. Плотнікова та ін), засоби реалізації професійної спрямованості навчання (К.А. Балашов, Е.А. Василевська, Т.В. Распопова, В.Г. Соловьянюк та ін.). Визначено способи здійснення професійної спрямованості навчальних дисциплін природничого циклу вищої школи (Е.А. Василевська, Т.М. Грань, І.П. Єгорова та ін.). Але до теперішнього часу в науково - педагогічній літературі не представлені дослідження з реалізації професійної спрямованості курсу «Нарисна геометрія та інженерна графіка» в рамках підготовки інженерів морської галузі.

Останнім часом у практиці викладання нарисної геометрії та інженерної графіки у вищих технічних навчальних закладах відбуваються суттєві зміни. Цьому сприяє як постійне зменшення часу у навчальних планах на її вивчення, так і зміна тієї ролі , яка відводиться нарисній геометрії та інженерній графіці в загальній системі освіти інженерів морських спеціальностей. Все це призводить до висновку про необхідність поглиблення і перебудови курсу нарисної геометрії та інженерної графіки саме з компетентнісним підходом. Традиційний курс, свого часу відповідав всім вимогам, які до нього ставилися. За останній час його недоліки стали очевидними і неодноразово вказувались [2].

У результаті вивчення дисципліни у курсантів (студентів) формуються наступні компетенції: здатність самостійно використовувати методи та засоби пізнання, навчання і самоконтролю для набуття нових знань і вмінь у тому числі, не пов’язаних з галуззю діяльності, розвитку соціальних і професійних компетенцій, змінювати вид своєї професійної діяльності; здатністю до засвоєння нових зразків програмних, технічних засобів та інформаційних технологій; здатність здійснювати пошук, вивчення, узагальнення, систематизацію науково-технічної інформації, нормативних та методичних матеріалів у галузі своєї професійної діяльності; здатність використовувати сучасні методи дослідження з використанням комп’ютерних технологій[5].

Засвоєння дисципліни курсантами (студентами) формує відповідні компетентності, які визначаються через знання, вміння та навички.

Для забезпечення формування цих компетенцій курсант (студент) має володіти такими знаннями з нарисної геометрії та інженерної графіки: координатним методом побудови проекцій точок, прямих і площин (при прокладанні курсу, визначені найкоротшої відстані між об'єктами (суднами); навичками аналізу позиційних властивостей пар геометричних образів(точка-точка; точка-пряма;, пряма-пряма,пряма – площина, площина –площина) необхідних при запобіганні зіткненню суден; методами виконання ескізів і креслеників технічних деталей; навичками роботи з довідниковою літературою і нормативними документами (Держстандартами).

Вважаємо, що для здійснення компетентнісного підходу в курсі нарисної геометрії та інженерної графіки потрібно спиратись на між предметні зв'язки з усіма загально технічними та спеціальними дисциплінами підготовки майбутніх морських фахівців.

Таким чином курсант(студент), слухає лекції з нарисної геометрії та інженерної графіки, знайомиться з її практичними додатками і надалі , вивчаючи такі курси як теорія машин і механізмів, опору матеріалів, теоретичної механіки, електро навігаційні прилади, навігація і лоція, будова судна, суднові допоміжні установки і т.п. знаходить тісний зв'язок отриманих знань з дисциплінами професійного спрямування. У зв'язку з цим і задачі курсу нарисної геометрії та інженерної графіки повинні мати конкретне технічне спрямування залежно від спеціалізації, тобто містити компетентнісний підхід [1]. (Див. табл. 1 і 2)

Тому метою вивчення дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка» буде: вивчення методів проекціювання і закономірностей побудови і читання креслеників різноманітних об'єктів, вивчення правил оформлення креслеників та ескізів деталей машин.

У навчальному плані підготовки морських фахівців нарисна геометрія та інженерна графіка займає особливе місце у міжпредметному плані і є підґрунтям для вивчення багатьох фахових дисциплін:

Таблиця 1. Міжпредметні зв'язки нарисної геометрії та інженерної графіки зі спеціальними дисциплінами підготовки судноводіїв

Спеціальні дисципліни циклу професійного спрямування	**Тема нарисної геометрії та інженерної графіки, пов'язана з спеціальною дисципліною,**
Технологія перевезення вантажів Вирішення професійних задач, які пов'язані з рухом судна.	Побудова проекцій точок,прямих, площин визначення положення точки на площині і т.п.
Теорія та будова судна Теорія, будова судна та рушії Теоретичні основи електротехніки	Ттехнічні кресленики, складальні кресленики, схеми, діаграми,тощо. Методи і прийоми виконання схем за спеціальністю.
Суднові енергетичні установки та електрообладнання суден. Електричні схеми технічних засобів судноводіння та електро радіо навігаційних приладів.	Схеми кінематичні, електричні, гідравлічні і т. п. методи і прийоми виконання схем за спеціальністю.
Теорія та будова судна(Шпиль, брашпиль, суднові лебідки) Суднові допоміжні механізми	Кінематичні схеми машин та механізмів, методи і прийоми виконання схем за спеціальністю.
Навігація і лоція. Прокладання курсу.	Побудова проекцій точок, прямих, площин визначення положення точки на площині і т.п прямокутне проекціювання. Використання прямокутної системи координат для прокладки курсу судна.
Розрахунки карт технологічного режиму навантаження судна	Оформлення технічної документації, порядок розробки і оформлення конструкторської документації
Навігація і лоція. Розв'язування задач, які пов'язані з прямолінійним та криволінійним рухом судна.	Прямокутне проекціювання. Побудова проекцій точок, прямих, площин визначення положення точки на площині і т.п,
Курсове і дипломне проектування	Виконання та оформлення робочих, складальних креслеників, креслеників загального виду, схем.

Таблиця 2. Компетентності майбутніх механіків, що формуються при вивченні нарисної геометрії та інженерної графіки

№	Компетент-ність згідно ПДНВ*	Зміст уміння
1	ЗК-1	Ухвалювати рішення в стандартних і нестандартних ситуаціях і нести за них відповідальність
2	ЗК-2	Здійснювати пошук і використання інформації, необхідної для ефективного виконання професійних завдань, професійного і особового розвитку.
3	ЗК-3	Самостійно визначати завдання професійного й особистісного розвитку, займатися самоосвітою, усвідомлено планувати підвищення кваліфікації.
4	ПК-1	Грамотно і вільно читати технічні креслеників, структурні та принципові схеми виробів з метою: – забезпечення своєчасної технічної експлуатації і ремонту головних енергетичних установок судна, додаткових механізмів і пов'язаних з ними систем керування; – оволодіння технічною конструкторською документацією як одним із напрямів міжнародної комунікаційної системи (кресленик – це ще одна із загальних міжнародних мов за професійним технічним спрямуванням).
5	ПК-2	Виконувати повний обсяг технічного обслуговування і своєчасний ремонт суднового обладнання.
6	ПК-3	Здійснювати вибір устаткування, елементів і систем устаткування для заміни під час експлуатації судна.
7	ПК-4	Здійснювати експлуатацію суднових технічних засобів у відповідності до встановлених правилами і процедурами, що забезпечують безпечність операцій і відсутність забруднення навколишнього середовища.
8	ПК-5	Організовувати заходи щодо забезпечення транспортної безпеки.
9	ПК-6	Застосовувати засоби щодо боротьби за живучість судна.

*Позначення: ПДНВ - міжнародний документ «Положення дипломування і несення вахти» фахівцями морського транспорту.

ЗК- загальнокультурні компетентності, ПК- професійні компетентності

У зміст дисципліни включено розділи : нарисна геометрія, інженерна графіка.

Курсанти охоплюються наступними видами навчальної роботи: лекційними, практичними заняттями, а також мають комплекс самостійних робіт з нарисної геометрії та інженерної графіки, для чого розроблені інформаційні, інструментальні та програмні засоби, електронні підручники, матеріали Інтернету, графічна програма «Компас-Графік», робочі зошити. Кафедрою розроблені методичні матеріали: рекомендації та вказівки до всіх видів робіт згідно програмового матеріалу, робочі зошити з кожного розділу. Є довідникова література, підручники (всі матеріали наявні як в електронному виді так і на паперових носіях).

Успішність курсантів визначається шляхом виконання контрольних робіт, аудиторних і самостійних робіт у робочому зошиті, виконання графічних робіт, тестування, усного опитування.

Найбільш ефективним був процес оптимально поєднання ручного і комп'ютерного виконання креслеників. Але при такій організації навчання виникало чимало труднощів,

пов'язаних з відсутністю часу на дисципліну і можливістю розвивати просторове мислення курсантів(студентів) до достатнього рівня. Впровадження автоматизованих технологій має бути в розумних межах [4]. Пріоритети у вивченні комп'ютерної графіки повинні бути спрямовані на засвоєння правил і методів графічного виконання завдань, а не на вивчення властивостей і можливостей комп'ютера.

Вважаємо, спеціаліст, в першу чергу, має володіти інструментами ескізування та виконувати ескізи від руки. Цей крок у процесі викладання нарисної геометрії та інженерної графіки є основним, оскільки він дозволяє довести роботу зі створення певного образу до необхідного рівня. Ескізування є обов'язковим атрибутом кожного завдання. При виконанні ескізу треба вибрати склад зображення: види, розрізи, перерізи; розміри, тощо, перевірити правильність виконання ескізу, а потім тільки приступати до роботи на комп'ютері.

Таким чином, навчання комп'ютерній графіці в нарисній геометрії та інженерній графіці повинно розглядатися як окремий розділ, присвячений отриманню навичок створення креслеників в електронному вигляді, а також навчання нарисної геометрії та інженерної графіки проводити за допомогою інших засобів.

Висновок. В умовах впровадження компетентнісного підходу в практику підготовки фахівців морської галузі, графічна підготовка є підґрунтям формування професійних компетенцій курсантів, сприяє усвідомленому розумінню конструктивно-технічних і функціональних характеристик технічних об'єктів, які вивчаються у циклі професійних дисциплін, вільному володінню конструкторською документацією та її застосуванню у професійній діяльності, а також забезпечує саморозвиток особистості майбутнього морського фахівця.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зеер Э., Сыманюк Э. Компетентностный подход к модернизации профессионального образования // Высшее образование. - №4. – 2005. - С.23-30.

2. Рыжаков М.В. Ключевые компетенции в стандарте: возможности реализации // Стандарты и мониторинг в образовании. - 1999. - №4. – С. 20-24.

3. Равен Дж. Компетентность в современном обществе: выявление, развитие и реализация / Пер. с англ. – М.: Когито-центр, 2002. - 396 с.

4. Ярошевич О.В. Инновации в графической подготовке студентов на современном этапе // Образовательные технологии в преподавании графических дисциплин: материалы II Республиканской научно-практ. конф., Брест, 18-19 мая 2007 г. – Брест, 2007. – С. 89-92.

5. Ярошевич О.В. Инновации в графической подготовке студентов на современном этапе / О.В. Ярошевич // Образовательные технологии в преподавании графических дисциплин: материалы II Республиканской научно-практ. конф., Брест, 18-19 мая 2007 г. – Брест, 2007. – С. 89-92.

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ

Красновська І.П.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Мовна освіта, її сучасний стан і перспективи для України, мовна політика у сфері освіти постійно знаходяться у фокусі уваги педагогічної громадськості. Метою навчання іноземним мовам у вищих навчальних закладах є формування у студентів професійної комунікативної компетенції шляхом розвитку та вдосконалення усіх видів мовленнєвої діяльності: читання, говоріння, письма та аудіювання.

На шляху успішного оволодіння іноземною мовою у вищому навчальному закладі стоїть низька мотивація студентів до вивчення мови. Тому особливий інтерес представляє комунікативна спрямованість навчального процесу та інтерактивні методи навчання та викладання, метою яких є створення комфортних умов навчання, за яких кожен студент відчує свою успішність, інтелектуальну спроможність.

Останнім часом в освіті особливої актуальності набули інноваційні методи навчання, які торкнулися не тільки загальної методології навчання, але й методології навчання іноземних мов. У загальному розумінні термін «інновація» (із пізньолатинської innovatio - оновлення, новизна, зміна) означає нововведення, тобто цілеспрямовані зміни, які вносять у середовище впровадження нові стабільні елементи (нововведення), що викликають перехід системи з одного стану до іншого. Інновацію в освіті розглядають як реалізоване нововведення - у змісті, методах, прийомах і формах навчальної діяльності та виховання особистості (методиках, технологіях), у змісті і формах організації управління освітньою системою, а також в організаційній структурі закладів освіти, у засобах навчання та виховання і в підходах до соціальних послуг в освіті, що суттєво підвищує якість, ефективність та результативність навчально-виховного процесу. Інноваційне навчання це - цілеспрямоване, систематичне й послідовне впровадження в практику оригінальних, новаторських способів, прийомів педагогічних дій і засобів, що охоплюють цілісний навчально-виховний процес від визначення його мети до очікуваних результатів.

Інноваційні методи навчання передбачають наявність чотирьох компонентів, які формують професійну компетентність майбутніх педагогів:

- роль педагога у виконанні сучасних завдань в освіті;
- індивідуальний підхід як основа особистісно зорієнтованого навчання;
- кооперативне навчання;
- розвиток критичного мислення.

До таких критеріїв повною мірою підлягають інтерактивні методи навчання. Термін «інтерактивна педагогіка» відносно новий: до наукового обігу його ввів у 1975 р. німецький дослідник Ганс Фріц. У своїх дослідженнях він визначив мету інтерактивного процесу - це зміна і поліпшення моделей поведінки його учасників. Аналізуючи власні реакції та реакції партнера, учасник змінює свою модель поведінки і свідомо засвоює її. Це дозволяє говорити про інтерактивні методи як процес інтерактивного виховання. Лінгвістичне значення слова «interactive», представлене в іншомовних словниках, розтлумачує поняття «інтерактивності», «інтерактивного» як взаємодію, або того, що взаємодіє, впливає один на одного.

Інтерактивний метод надає можливість вирішити комунікативно - пізнавальні задачі засобами іншомовного спілкування. Інтерактивна діяльність включає організацію і розвиток діалогічного мовлення, спрямованих на взаєморозуміння, взаємодію, вирішення проблем, важливих для кожного із учасників навчального процесу.

У системі інтерактивного навчання виділяють такі основні принципи методики співробітництва:

а) позитивна взаємозалежність - група досягає успіху за умови гарного виконання завдань кожним студентом;

б) індивідуальна відповідальність - працюючи в групі, кожен студент виконує своє завдання, відмінне від інших;

в) однакова участь - кожному студенту надається однаковий за обсягом час для ведення бесіди або завершення завдання;

г) одночасна взаємодія - коли всі студенти залучені до роботи.

Умовою успішної реалізації компетентністного підходу в навчанні іноземної мови є комунікативний підхід до навчання, який забезпечує активне іншомовне спілкування протягом заняття. Під комунікативним підходом розуміємо засвоєння іноземної мови через завдання, що вчать студентів як реагувати у ситуаціях, максимально наближених до реального життя. Цьому сприяє організація навчального процесу на основі п'яти принципів (англійська мова вивчається засобами англійської мови; мова - засіб спілкування; навчання здійснюється завдяки активному залученню студентів; у центрі навчання - студент; навчальні завдання відображають реальне спілкування у житті) та конкретних методів і прийомів навчання чотирьох навичок спілкування: аудіювання, читання, говоріння, письмо.

У процесі навчання за комунікативним методом студенти набувають комунікативної компетенції - здатності користуватись мовою залежно від конкретної ситуації. Зазначимо, що комунікативна компетентність трактується як структурний феномен, що містить як складові цінності, мотиви, установки, соціально-психологічні стереотипи, знання, уміння, навички, які охоплюють такі аспекти як орієнтованість у різноманітних ситуаціях спілкування, яка заснована на знаннях і життєвому досвіді індивіда, спроможність ефективно взаємодіяти з оточенням завдяки розумінню себе й інших при постійній видозміні психічних станів, міжособистісних відносин і умов соціального середовища, адекватна орієнтація людини в самій собі - власному психологічному потенціалі, потенціалі партнера, у ситуації, готовність і уміння будувати контакт з людьми внутрішні ресурси, необхідні для побудови ефективної комунікативної дії у визначеному колі ситуацій міжособистісної взаємодії.

Студенти навчаються комунікації у процесі комунікативної діяльності. Відповідно усі вправи та завдання повинні бути комунікативно виправданими дефіцитом інформації, вибором та реакцією (informationgap, choice, feedback). Найважливішою характеристикою комуніктивного підходу є використання автентичних матеріалів, тобто таких, які реально виокристовуються носіями мови. Мовленнєва взаємодія студентів інколи, хоч і далеко не завжди, проходить за співучастю викладача в найрізноманітніших формах: парах, тріадах, невеликих групах, з усією групою. З самого початку студенти оволодівають усіма чотирма видами мовленнєвої діяльності на понадфразовому і текстовому рівнях при обмеженому використанні рідної мови. Об'єктом оцінки є не тільки правильність, але й швидкість усного мовлення та читання.

Для досягнення комунікативної компетенції - комунікативних вмінь, сформованих на основі мовних знань, навичок і вмінь - викладач іноземної мови використовує новітні методи навчання, що поєднують комунікативні та пізнавальні цілі.

Великі можливості у цьому напрямку відкриває навчальне ігрове проектування (НІП). Сутність цієї технології полягає в тому, що:

4. Студенти у складі невеликих груп творчо працюють над виконанням професійно значущого для них проектного завдання за допомогою ігор, які органічно пов'язані між собою тематично, сюжетно тощо;

5. Кінцевий результат роботи, форму якого вибирають самі студенти (конкурс проектів, дискусія, прес-конференція, усна презентація тощо) має бути пред'явлений на розгляд експертної ради, інших викладачів іноземної мови та підлягати рейтинговій оцінці;

3. Викладач іноземної мови виступає в ролі консультанта з питань мови, спостерігача за творчою працею студентів, організатора підготовчого етапу та створення умов для успішної роботи.

Метою навчального ігрового проектування є навчальний творчий проект, яким може бути самостійно розроблена програма дій, послуга, тощо, від ідеї до її втілення, що має суб'єктивну або об'єктивну новизну та виконується під керівництвом викладача.

В ігрових проектах студенти обирають собі ролі, обумовлені характером та змістом проекту. Це можуть бути як вигадані, так і реально існуючі ролі, які ускладнюються заданими ситуаціями. В таких проектах ступінь творчості студентів висока і оскільки домінуючим видом діяльності виступає гра, розробка та впровадження ігрових проектів при вивченні іноземної мови майбутніми фахівцями має спиратися на психолого-педагогічні умови використання, перш за все, гри.

Готовність студента до участі в ігровому проекті є суттєвою умовою його ефективності. Її не можна зводити лише до суми знань і умінь. Можна виділити такі рівні сформованості цього складного особистісного утворення:

- установку на участь в проекті з навчальною метою;
- систему знань, умінь і навичок студентів з іноземної мови;
- емпатію і здатність до рефлекторної діяльності;
- креативність, здатність до творчого вирішення навчальних завдань у формі гри.

Враховуючи той факт, що ігрові проекти для студентів є професійно-орієнтованими, важливою умовою їх результативності є рівень сформованості якостей майбутніх фахівців, їх готовність до участі в імітації конкретних умов виробництва, а саме: уміння оцінити ситуацію, поставити цілі та розробити стратегію їх досягнення, приймати рішення в звичайних, нестандартних та непередбачених ситуаціях, самостійно вирішувати проблеми, впливати на оточуючих тощо. В свою чергу, участь студентів в таких ігрових проектах сприяє розвитку цих умінь.

Навчальне ігрове проектування пред'являє особливі вимоги до викладача, як керівника ігрових форм діяльності. Він має знати основні вимоги, які висуває проектна технологія до її організації, мати відповідну соціально-психологічну підготовку, а саме, з соціальної психології, уміти використовувати теоретичні знання в практичній діяльності, адже від його особистісної підготовки залежить успішність реалізації всіх тих переваг, які має ігровий проект в порівнянні з традиційними формами навчання.

Ігрове проектування сприяє створенню вільної та невимушеної атмосфери в групі, внаслідок чого послаблюються психологічні бар'єри. Але викладач має пам'ятати, що не всі ігри підходять всім студентам, тому окрім орієнтації на колектив, потрібно враховувати окремі особистості. Гру не можна використовувати тоді, коли вона хоч і буде підходити усьому колективу, але матиме негативний вплив хоч на одного студента, який має певні психологічні проблеми.

Педагогічні умови впровадження НІП враховують дотримання викладачем основних етапів, а саме:

1. Підготовчий етап (формування груп учасників та вибір теми проекту, визначення мети проекту і форми його кінцевого продукту, визначення структури проекту);
2. Навчальний етап (практична діяльність з формування мовних та мовленнєвих навичок, необхідних для збору інформації, збір інформації студентами, підготовка студентів до аналізу інформації, обробка та аналіз зібраної інформації);
3. Заключний етап (підготовка студентів до презентації кінцевого продукту, презентація кінцевого продукту, оцінка виконання проекту всіма учасниками).

Отже, інноваційні методи навчання іноземних мов спрямовані на розвиток і самовдосконалення особистості, на розкриття її резервних можливостей і творчого потенціалу, створюють передумови для ефективного поліпшення навчального процесу у вищих навчальних закладах.

COMMUNICATIVE METHOD IN COMPETENCY-BASED TEACHING OF MARITIME ENGINEERING ENGLISH

Litikova O.I.
Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

We must confess that sometimes getting of educational certificates by our graduates – future seafarers – doesn't guarantee availability of correspondent to their occupation professional skills. These skills are of utmost importance to ensure safe running of the ship equipment and survival at sea. Otherwise, lack of critical competencies leads to unintentional carelessness and even criminal negligence on the working place and the consequences may range from ridiculous to striking.

To enhance sufficient professional training of future seafarers in 2013 in KSMA was provided besides communicative learning of English also a competency-based approach.

So the intent of my report (paper) is to encourage the use of well proven communicative method of teaching maritime English in a competency-based learning environment. This hopefully will give cadets the chance to develop and form not only communicative skills in listening, speaking, reading and writing in professional sphere but also will facilitate the formation of important professional skills by means of English language.

Considering competency-based learning as a process of learning, developing and forming of concrete skills unlike to abstract learning, it's necessary to underline its extremely fine grained nature. It means learners move gradually from one mastered competence to the next in order to gain a larger learning goal. And to each competence corresponds to a certain necessary set of individual skills, which together constitute a common learning outcome.

For example, people learning to drive manual transmission, might first have to demonstrate their mastery of such competences, as rules of the road, safety, defensive driving, parallel parking. Based on these competences, manual transmission competence will be focused on the following independent skills: using the clutch, brake with right foot, shifting up and down, over-arching (from full stop to a slow roll, followed by sudden stops, shifting up and down). Besides, the learner would repeat each action a few times until they can demonstrate their mastery. It is important to understand that this learning methodology is common in many skills-based fields and learning environments.

Attentive viewing of STCW Code (1995) and STCW Manila amendments (2010) reveals the same graduated manner of seafarers Maritime Engineers competency-based training for different ranks beginning from ratings and ending with the chief engineer of a ship. First of all, professional training of marine engineering personnel is accomplished on three levels: the 1st is the support level (ratings, wipers, oilers, fitters, the 2nd and 1st class motormen, forming part of engineering watch); the 2nd operational level (officers in charge of an engineering watch in a manned or periodically unmanned engine room) and the 3rd management level (chief engineers and 2nd engineers on ships with main propulsion machinery of 3000kw propulsion power or more). Gaining of each professional level is ensured by learners in course of gradual mastering of certain number of competences: 13 – on the support level; 17 – on the operational level; 14 – on the management level. Besides, mastering of each competence must be confirmed by the availability of formed learning outcome in form of correspondent individual skills. Further this student may be permitted to proceed with higher learning and still be missing some skills that are crucial to that higher level.

Up to STCW in process of Maritime Engineering English learning succession of competences on the highest management level shows that mastery of the last competence – use of leadership and managerial skills – becomes possible as the result of gaining of communicative competences sufficient for doing the following actions: 1 /managing the operation of propulsion plant machinery; 2/ operations of planning and scheduling; 3/ assessment and maintaining safety of propulsion plant and auxiliary machinery; 4/ managing fuel lubrication and ballast operations;

5/ managing operation and troubleshooting of electrical and electronic control equipment; 6/ managing safe and effective maintenance and repair procedures; 7/ detection and identification the causes of machinery malfunctions and faults correction; 8/ management of measures to ensure safety of life at sea, security, marine environment protection; 9/ maintaining life-saving, fire-fighting and other safety systems. And certainly this last competence of "leadership and managerial skills" has its own learning outcome in the form of individual communicative skills set, among which are the following: 1) planning and coordination; 2) personal assignment; 3) time and resource management; 4) prioritization; 5) effective communication; 6) situation and risk assessment; 7) assertiveness and leadership; 8) ability to select course of actions [3].

Accordingly to STCW Code all skills of marine engineers independently on their rank must be accomplished by means of the working language of mixed crews – English language. The IMO acknowledged communicative method the only suitable for a competency-based teaching of English language in 2000 already. In that year there was published and launched into learning the International Model Course 3.17 for seafarers which is based on principals of communicative method.

There are some explanations why this very method was acknowledged as well for Maritime Engineering English language learning.

There is a common for some practicing teachers (S.Tomniac [2011], P. Trenkner [2010], A.Gabrielli [2012]) consideration that "Engineering Maritime English is a symbiosis between language, communication and alligator spanner wrench" [1, 2]. This subject demands from learner accumulation and elaboration a plenty of linguistic, communication and technical knowledge.

On a certain stage it becomes impossible to accumulate details without their rearrangement; a learner will be unable to move further if does not deny the previous knowledge model in favor of its new structure and content. If we introduce new pieces of learning information as different shapes we will understand that only their displacement makes process of information accumulation progressive and able to develop.

If we use traditional learning with just thoughtless plain reading of professionally oriented texts and doing homogeneous exercises for linguistic competence formation, this method activates mostly the left half of learners' brain, which is logical, verbal, linear, vertically analyzing, non-emotional and is occupied with details, and is responsible for knowledge deepening, without putting these details into order. But if we use communicative method with its motley interactive teaching techniques, the right side of the learners' brain considerably activates during horizontal processing of information and putting all accumulated details in emotionally-spatial order with further synthesizing them in one big picture. Using interaction as both the means and the goal of study, this method is focused on communicative competence with learning outcome in form of individual communicative skills.

Thus we see that communicative method is greatly contributing to maintain self-extending system of Maritime Engineering English learners' linguistic and technical knowledge, puts the most number of learning information details into spatial order, facilitates development of communicative skills of learners and graduated formation of Maritime Engineering professional competences.

LITERATURE

1. Cole C., Trenkner P. – Raising the Maritime English Bar: the STCW Manila Amendments and their impact on maritime English. Proceedings Maritime English Conference IMEC 22, 2010, Alexandria Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport. – P. 3 – 16.

2. Gabrielli A., Gabrielli C., Pahlm H. Engineering Maritime English: a symbiosis between language, communication and an alligator spanner wrench. – International Maritime English Conference IMEC 24, 2012,Yangon, Myanmar. – P. 41 – 52.

3. The Manila Amendments to the Seafarers' Training, Certification and Watchkeeping (STCW) Code. - STCW/CONF. 2/34. - 3 August 2010.- P. 104 – 107.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИКЛАДНОГО МАГНЕТИЗМА

Малыгин Б.В.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Вступление. Известно, что некоторые элементы магнитного поля, изложенные ранее [1] могут успешно использоваться человеком. Только здоровый физически и психофизически человек сможет реализовать себя в аспекте развития научно-технического прогресса. Ученые многих стран уже применяют достижения в области прикладного магнетизма при подготовке специалистов судостроения и авиатехники.

Содержание работы. Основа исследования данного вопроса сводилась к рекомендациям:

а) проводил опыты, исследования, работал в абсолютно комфортных условиях, заведомо зная, что вернется домой целым и невредимым;

б) был уверен, что все, без исключения, его органы и организм в целом будут долго и качественно служить семье, организации, стране;

в) психо-физиологически чувствовал ответственность за опыты и работу: был абсолютно уверенным в том, что она необходима людям и качественно им выполняется;

г) получит многое другое, необходимое нормальному человеку, для его полезности обществу.

В основном исследовали традиционные системы жизнеобеспечения. К сожалению, примитивно рассматривали методологию питания, обмена веществ, реабилитационный блок вопросов - «до», «после», а также, «работа на траектории». Это наше субъективное мнение и мы могли ошибаться. Частично проблемы изучались и нами. Цель настоящей публикации не предусматривала подробное изложение достижений и просчетов при качественном обеспечении жизнедеятельности персонала кораблей. Остановимся только на некоторых вопросах, которые необходимо свято соблюдать.

Используя элементы материалов работы [2], кратко изложим лишь общие правила, соблюдение которых позволит безболезненно осваивать пространство.

В течение более 50-ти лет, автор рассматривал данные вопросы, создавали необходимые программы [3] по отдельным направлениям. Теперь мы сочли полезным поделиться с читателями определенными предложениями.

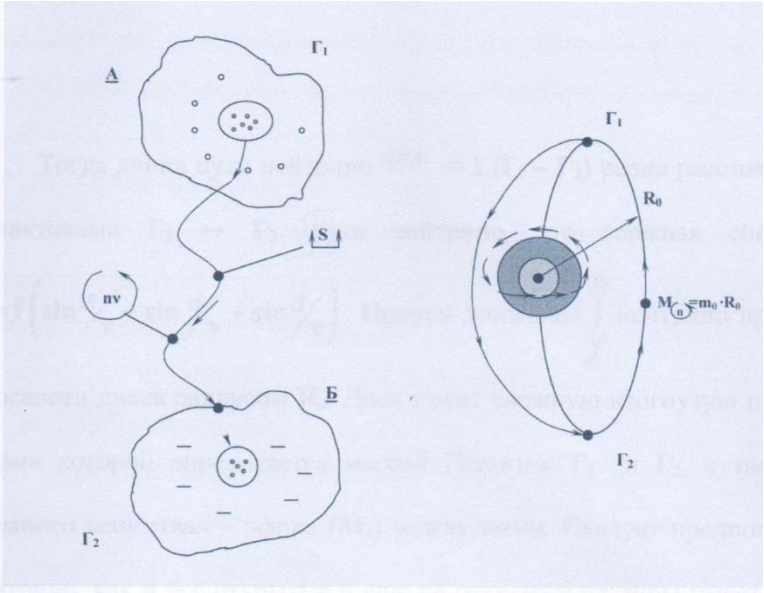
Для безотказной безопасности нужен стандарт-комплекс: блок мировых программ стратегических и тактических исследований, разработанных научной элитой передовых стран мира. Ученая элита должна заниматься «нуждами человечества», первозадачами бизнеса, рынка и других корыстных целей конкретной страны.

В программе должен быть заложен Принцип - Постулат воспитания научных сотрудников для решения задач, которые они должны (обязаны) решить лучше других.

Это касается программы подготовки специалистов. Причем, они всегда и везде должны обладать тремя чувствами: чувством меры, чувством собственного достоинства и чувством юмора. Содержание третьего чувства – юмора будет раскрыто нескоро, но оно необходимо для работы и жизни.

Программа качественного обеспечения рабочего дома – корабля состоит в следующем. В системах зашиты персонала от излучений должны устанавливаться многослойные покрытия экраны-поглотители на магнитной основе. Для этого следует использовать 3-х N-слойные конденсаторные покрытия на основе органико-минеральных соединений иттрия, диспрозия и других элементов, поглощающих внешний поток излучений [3, 4]. Ведь известно, что нейтрино имеет тонкую волновую структуру спирального скольжения по «ноль-пространству». То есть, она перемещается по искривленной плоскости границ того пространства, где происходит уравновешивание гравитационных масс.

Согласно существующей теории схематично это выглядит так, как показано на рисунке.



Путь нейтрино, это сложная спираль вида $S = f\left(\sin \frac{d}{x} + \sin \frac{d}{y} + \sin \frac{d}{z}\right)$. Причем движение нейтрино происходит в плоскости диска радиусом R_0. Диск имеет сложную изогнутую поверхность, форма которой определяется массой $Г_1$ и $Г_2$, а также массой «темного вещества» – эфира ($M_э$) между ними. Следует предположить, что нейтрино, как и все открытые и еще не открытые частицы имеет магнитный момент равный (Mn):

$Mn = m^0 n \cdot R_0$, где R_0 – радиус диска.

$R_0 = 10^{88} \ldots 10^{100}$ м.

Это может служить подтверждением того, что в микромире существуют «скоростиливни», величина которых в тысячи и миллионы раз превышает скорость света – скорость, такую традиционную для нашей системы из-за отсутствия принципиально новых инструментов, приборов и нового мировоззрения на внешний мир.

Об этом автор может изложить более подробно при запросе заинтересованными службами или учеными.

Предлагаемая нами (частично испытанная!) программа позволит использовать энергию поглощения внешних ливней слоями защитных пленок за счет физики эффектов Пельтье, Джонсона, Томсона и др., аккумулировать энергию внешних облучений для полезной работы экипажа.

Дополнительно программа содержит комплекс дополнений и абсолютно новых видов продуктов жизнеобеспечения. В системе питания содержится комплекс строго индивидуальных рекомендаций. Например, учитывается более 60-ти факторов, в том числе группа крови человека, его оптимальный редокс-потенциал, соотношения калий/натрий в крови и питании. Всего более 80 рекомендаций.

Выводы. Чтобы не утомлять читателя-специалиста, дать ему время подумать, разобраться, что к чему и прочее, сообщаем следующее.

1. Автором разработана принципиально новая программа обеспечения активной жизнедеятельности и работе над поставленными задачами. Например, указывается возможность практической методологии био-воспроизводства. Показаны необходимые причины для трансляции жизни на кораблях, а также отмечаются трудности воспроизводства биогеномов.

2. Предлагаются новые программы восстановления здоровья специалистов при возвращении их в нормальную среду, даются рекомендации по индивидуальному

питанию каждому из членов команды (экипажа), с учетом сказанного ранее. Предлагаются схемы гарантированного разработанного обеспечения качества жизни для каждого специалиста. Причем поэтапная реализация программы гарантирует, что из организма любого специалиста за 35…66 дней после возвращения на землю может быть выведено из организма до 96…99 % вредных компонентов для дальнейшей жизни и трудовой деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малыгин Б.В., Кобяков Н.Н., Миронов О.Л. Экология и здравоохранение служб транспорта и флота. Возможности прикладного магнетизма. Монография. Херсон: Изд. ХГМА. – 2014. - 208 с.

2. Малыгин Б.В., Ходаковский А.В. Прикладной магнетизм. Интеллектуальные технологии здравоохранения на транспорте и флоте. Монография. Херсон: Изд. ХГМА. - 2012, - 430 с.

3. Малыгин Б.В., Рябинин Л.И. Боровков Е.И. О возможностях применения прикладного магнетизма при освоении Космоса. Международная академия. Санкт-Петербург, Вестник. - № 2 (56). – 2011. - С. 92-116.

4. Малигін Б.В. Спосіб корекції функціонального стану біологічного об’єкту у стані невагомості. Патент №89915,UA.12.05.2014 р.

ОСОБЕННОСТИ АНГЛИЙКОГО МОРСКОГО ЯЗЫКА

Огиенко М.Д.
Херсонская государственная морская академия (Украина)

В современном мире общение на английском языке становится важным компонентом будущей профессиональной деятельности моряка – специалиста.

Важная роль языка специальности в контексте компетентностного подхода обусловлена также тем, что посредством данного учебного предмета развиваются, совершенствуются отдельные личностно и профессионально значимые компетентностные качества будущих специалистов: профессиональные умения, культура профессионального/делового межкультурного общения и др.

Использование культуроведческих компонентов при обучении английского языка необходимо для достижения основной практической цели – формирование способности к общению на изучаемом языке. Особое познание мира той или иной человеческой общностью, обычаи, нашедшие отражение в культуре, передаются в языке и могут стать препятствием при общении представителями разных народов. Вот почему лучшее и даже единственное средство проникнуть в характер народа – это усвоить его язык.

Успешное коммуникативное взаимодействие и взаимопонимание представителей разных наций и культур возможно лишь при условии знания коммуникативных языковых значений и культурных кодов, что создает возможности для правильной интерпретации сообщения и понимания выраженного в нем смысла. Поскольку коммуникация – это процесс обмена сообщениями и создания смысла, то эффективность коммуникации зависит от того, насколько и в какой степени коммуниканты придают одинаковый смысл сообщениям (посылаемому и воспринимаемому), которыми они обмениваются. То есть эффективная коммуникация сводит непонимание до минимума [1-5].

Активно изучаемая курсантами в академии профессиональная морская лексика дает широкие возможности для ее практического применения в решении учебно-профессиональных задач. Изучение фразеологизмов значительно расширяет возможности курсанта разнообразить свою речь, совершенствовать владение иностранным языком. Следует принять во внимание, что период обучения в вузе для студента характеризуется освоением системы основных представлений, характеризующих данную профессиональную общность, овладением знаниями, умениями, навыками, важными для будущей профессиональной деятельности. Развиваются профессионально важные личные качества. Начинает формироваться профессиональное самосознание, профессиональная пригодность. Происходит овладение и принятие норм профессиональной деятельности и профессионального общения, понимания смысла профессии и своей причастности к ней.

Немаловажное значение в этой связи приобретает практическая направленность образования, которая в вузах приобретает форму профессионализма и характеризуется, в частности, развитием профессионального мышления и наличием комплекса актуальных знаний, умений и навыков, позволяющих будущему специалисту по окончании вуза без проблем перейти от учебной деятельности к профессиональной работе.

Подготовка моряков-специалистов заключается в формировании таких коммуникативных умений, которые позволили бы осуществлять профессиональные контакты на иностранном языке в различных сферах и ситуациях. Под сферой общения понимается совокупность однородных коммуникативных ситуаций, характеризующихся однотипностью речевого стимула, отношениями между коммуникантами и обстановкой общения [6]. Иноязычное общение может происходить как в официальной, так и в неофициальной формах, в ходе индивидуальных и групповых контактов, в виде выступлений на конференциях, при обсуждении договоров, проектов, составлении деловых писем.

Трудно представить профессию, не имеющую специфического/профессионального

словарного запаса. Целый ряд слов, которые возникают в процессе работы, помогают быстрой передачи информации между людьми, что способствует взаимопониманию в коллективе.

Профессиональный сленг – это специальные слова, понятные определённому кругу людей, но они совсем не являются словами паразитами, уничтожающими общество.

Деятельностью сленга является маскировка информации от людей, не посвящённых в определённую профессиональную сферу. Когда вы начинаете работать в той или иной области, в вашу речь начинают проникать слова, которые вы понимаете только с коллегами, работающими в этой же сфере.

Так, среди моряков имеются слова, которые отражают специфику их работы, указывают на некоторые особенности их деятельности.

Очень легко заменить целое предложение емким словом, что позволит собеседнику понять о чем, собственно, идет речь и что от него требуется. Например, выражение «*блэкаут*» (англ. BLACK OUT) означает полное обесточивание теплохода. «*вахтить*» – нести вахту, «*вирать*» – «поднимать вверх или выбирать, тащить к себе, на себя», «*тревожиться*» – выполнять учения по тревогам (Человек за бортом, Пожар, Оставление судна и т.п.), «*чиф*» – (от англ. CHIEF – шеф) – старший помощник капитана или же *старпом* [6].

Профессиональный сленг формируется постепенно и дает возможность повысить эффективность выполняемой работы, за счет того, что сленговые слова, часто - короткие, не требующие времени на произношение целого предложения или длинного слова.

Очень важно понимать, что профессиональный сленг переходит и в обычное, повседневное общение и сегодня уже никого не удивить словами «*мореман*» или « *трап*», здесь все понятно и без расшифровки значений.

Таким образом, при умеренном употреблении сленг профессиональной среды может оказать благотворное воздействие на развитие и совершенствование словарного запаса, помогает сближению людей из различных социальных слоев общества, что, несомненно, хорошо для общего развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зиннурова Ф.М. Формирование профессионально-языковой компетентности студентов ССУЗ в полиэтническом регионе (на примере строительных специальностей): Автореф. дис. ... канд. пед. наук : спец.13.00.08 «Теория и методика профессионального образования» / Ф.М. Зиннурова. – Йошкар-Ола, 2006. – 25 с.
2. Образцов П.И., Иванова О.Ю. Профессионально-ориентированное обучение иностранному языку на неязыковых факультетах вузов. – Орел : ОГУ, 2005. – 114с.
3. Семантические особенности использования морской лексики в английских фразеологизмах : материалы междунар. науч. конф. (Уфа, апрель 2011 г.). – Уфа : Лето, 2011. – С. 207-209.
4. Хусаинова М.А. Становление профессиональной позиции студентов - будущих менеджеров средствами иностранного языка: дис. …канд. пед. наук : 13.00.08 / Мария Алексеевна Хусаинова. – Самара, 2006. – 165 с.
5. Fisher B. Perspectives on Human Communication. № 4. Macmillian. 1978. 402 p.
6. Морская библиотека Каланова [Электронный ресурс]. – Режим доступа к слов. – URL: http://www.kalanov.ru/index.php?id=122.

DEVELOPMENT OF COMPETENCY-BASED ENGLISH COURSE FOR FUTURE MARITIME SPECIALISTS

Ohorodnyk N.
Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

Discrepancies existing between university English language curriculum and English requirements at workplace, the abyss between the goals of the academic and the professional world' result in incompetent English language graduates. Logically an idea of bridging the gap between English for Academic and Occupational purposes is provoked. Nowadays there's a trend toward the promotion of occupational or professional education in higher education. In the area of English for Specific Purposes (ESP) it means the integration between English for academic purposes and English for occupational purposes.

In scientific literature we can find a brief example of the integration supported with the use of new technologies such as video cameras, network computers and the internet allowing access to virtually real world settings. It is considered that such a technology facilitates not just collecting and analyzing data but also generating teaching materials from those actual occupational situations. Of course, a special program with an occupational focus should be introduced. The integration of occupational content and academic instruction involves English within courses that draw reading, vocabulary, writing exercises and other applications from a broad occupational area as well as providing what might be termed career exploration - an introduction to the specific jobs within the occupation and to the concepts, practices and demands in these positions.

Some years ago it was revealed that there is a need to set up a specific English course for KSMA cadets - future specialists for Marine Industry. The reason behind the idea is that English proficiency is usually a requirement to work in the field of marine industry, but most of KSMA cadets do not have strong English proficiency. Today our purpose is to develop for KSMA cadets an English oral communication course based on the oral English needs using job prospects in international crewing agencies. Such a course is provided as part of their degree program and is taught alongside with other subject academic courses. A Competency-based approach is selected for the course as a key for integration.

The course emphasizes competencies in English oral communication since English oral skills are reported as the most wanted and needed by International Maritime Organization. Especially in the area of marine industry, competencies in English oral communication are considered a valuable asset for future navigators, mechanical and electrical engineers. The course is thus expected to equip our cadets with English oral competencies so that they will receive more opportunities in maritime job employment.

Due to widespread concern about the quality of students learning, competency-based education originated in response to increased calls for teacher accountability, for measurable assessment of student achievement, and for skills-based curricula which train students for specific tasks. Especially in post-secondary education, there is a gradual movement toward competencies and a corresponding focus on learning outcomes as high educational establishments attempt to be more responsive to business needs. We support the approach as a successful model for the delivery of educational services that provide responsible and accountable teaching and widely used in many workplace-oriented language programs.

Firstly, we should develop standards of English for maritime occupations in order to use them as criteria to assess personnel English proficiencies and as a basis for workplace English curriculum development, lesson planning, materials development, resource selection, learner placement and assessment. Standards concerning English oral communication for maritime cadets may include the following:

I. using spoken English at an intermediate level with such indicators as:

 use and respond to basic courtesy formulas, e.g. greetings, leave-taking, introductions; use and respond to questions, requests opinions, suggestions and advice from crew members and employers;

 give directions, instructions, suggestions, advice, confirmations, apologies and warnings;

 initiate and carry on small talk; handle phone conversations and standard replies;

 express and respond to gratitude, appreciation, complaints, disappointment, dissatisfaction, satisfaction and hope;

 give clear directions and instructions in a job situations;

 speak with considerable fluency and accuracy.

II. using an appropriate language variety according to the purpose, setting and culture. These are advanced indicators:

 use appropriate language register to interact with employers;

 respond appropriately to refusals, negative value judgments, criticism and complaints from crew members and employers;

 use polite language to interact with crew members and employers, especially when persuading, discussing professional troubles, and expressing one's own opinion;

 use idiomatic expressions appropriately;

 use appropriate strategies to handle communications problems.

III. understanding and using nonverbal communication appropriate to purpose, setting and culture:

 understand body language norms among various cultures;

 identify nonverbal cues that cause misunderstandings or indicate communication problems; identify attitudes and emotions of crewmembers and employers from their nonverbal communication;

 understand and use gestures, facial and body language appropriate to crewmembers and employers' cultures; use intonation, pitch, volume and tone of voice appropriately.

The above standards are not quite complete nor sufficiently specific since the indicators do not specify any details related to maritime job descriptions. We should conduct an in-depth investigation of needed competencies in English oral communication for KSMA cadets. The steps are: needs analysis, course development and course implementation with evaluation.

Needs analysis means duties, tasks, knowledge, skills, traits and in some cases the tools the specialist uses. To collect data from experts in the field interviews are used. The results of the needs analysis will reveal a list of the needed competencies in English oral communication for future maritime specialist. Next, the top four needed competencies should be selected to be the learning objectives for the course and the underlying principles in designing the course. To evaluate the effectiveness of the course both quantitatively and qualitatively, the evaluation process was conducted in three phases: before, during and after the course implementation. For example, the selected learning objectives for the first-year cadets include abilities: 1) to introduce themselves; describe their educational backgrounds, their participation in extra curriculum activities and job experiences; 2) to talk about their abilities, their hobbies, their nature, their strengths and weaknesses as well as their likes and dislikes; 3) to give some information about their future profession and position they are applying for; 4) to handle job interviews with crewing agencies, phone conversations and standard replies.

As for learning and teaching method, group activity-based learning and teaching is on the top of the list while role-plays and class discussions take the second place and the third respectively. Moreover, the lessons should be group activities focusing on real applications instead of theories. The lessons should provide the cadets opportunity to do lots of group activities so as to help the cadets learn and practice their English with their peers. Concerning assessment, the learners are assessed as they actually perform the behaviour that we want to measure.

СУЧАСНІ КОМУНІКАТИВНІ СТРАТЕГІЇЇ ЯК СКЛАДОВА КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ

Пильщик С.В.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Сучасні цивілізаційні тенденції розвитку висувають нові вимоги до людини, а це означає – й до освіти. Сьогодні світове співтовариство беззастережно визнає якість освіти головною метою, пріоритетом розвитку суспільства у XXI столітті, якому підпорядковані всі інші показники людського життя.

Нова європейська культура – культура галузева, раціональна (будь-яка діяльність або знання розмежується на послідовність операцій), монологічна (присутній тільки голос розуму, який повідомляє істину, а істина, в свою чергу, одна на всіх), утилітарська (все потребує підтвердження, а користь і є цим підтвердженням, тому все, що існує маєх свою мету). За цією логікою кваліфікація як результат професійної підготовки передбачає наявність у випускника визначених професійних умінь та навичок. З іншого боку, працедавцям потрібна не кваліфікація, яка за їх розумінням повязана з розділенням виробничих функцій на ряд задач та види діяльності, а компетентність як поєднання навичок, притаманних кожному індивіду, у якому поєднується кваліфікація із соціальною поведінкою, здатністю працювати в групі, ініціативністю, умінням приймати рішення та відповідати за їх наслідки.

Майбутній професіонал повинен мати прагнення до самоосвіти упродовж усього життя, володіти новими технологіями і розуміти можливості їх використання, уміти приймати самостійні рішення, адаптуватися у соціальній і майбутній професійній сфері, вирішувати проблеми і працювати в команді, бути готовим до перевантажень, стресовим ситуаціям і уміти швидко з них виходити.

Отже, у світі, що міняється, система освіти повинна формувати такі нові якості випускника як ініціативність, інноваційність, мобільність, гнучкість, динамізм і конструктивність. Вищезазначені умови поставили за необхідне виробити новий підхід до організації освіти, а саме – компетентнісний підхід.

Новий підхід в освіті припускає створення нових методик навчання, і нових методик перевірки ефективності навчання. Накопичується і осмислюється вже досвід рішення не учбових, а життєвих завдань. Основним результатом навчання будуть не знання, уміння і навички, а осмислений досвід діяльності. Життєвий досвід формується планомірно. Оцінюється не накопичений багаж дидактичних одиниць, а здатність застосувати його в різних ситуаціях. Освіта повинна готувати до рішення життєвих проблем і покладатися на свою самостійність. І тому методи і форми навчання мають бути підпорядковані не учбовому змісту, а використовуватися як самостійні засоби досягнення певної педагогічної мети.

При організації занять необхідно продумувати, якими методами скористатися, щоб завдання мали не лише учбове, але і життєве обгрунтування, і щоб студенти знали, навіщо вони це роблять. Намагатися відмовлятися від таких некомпетентносних форм і методів учбової роботи, як монолог викладача, фронтально-індивідуальне опитування, інформуюча бесіда, самостійна індивідуальна робота з підручником по завданнях та ін.

Компетентнісний підхід має чимало переваг у порівнянні із попереднім підходом до організаці навчального процесу. Перелічимо найбільш важливі серед них.

Новий підхід дає узгодженість цілей навчання, поставлених педагогами, з власними цілями студентів, оскільки самостійність останніх з кожним роком зростає, підготовку до свідомого і відповідального навчання надалі, підготовку до успіху в житті, підвищує міру мотивації вчення, не в теорії, а на практиці забезпечує єдність учбового і виховного процесів, коли студенти розуміють значущість власного виховання і власної культури для його життя.

У формуванні пізнавального інтересу до предмета чимало важливу роль відіграє особистість викладача, його поведінка, ставлення до студентів. Справді, моральні, моральні аспекти спілкування вчителя з учнями мають колосальне значення не тільки у виховній роботі, а й в освоєнні навчальних предметів. Тому викладач-професіонал повинен не тільки знати основи комунікативних стратегій і їх тактик, а й уміти слідувати цим основам.

Попередні підходи до освіти передбачали звертання до маніпулятивних прийомів, мета яких була домогтися виконання педагогічних вимог, але мотиви їх застосування можги істотно відрізнятися. Можна виділити дві групи мотивів, якими керуються педагоги. До першої групи належать: бажання зміцнити свій престиж, підкреслити свою значимість. До другої групи – бажання переконати студентів у справедливості педагогічних вимог, активізувати їх навчальну або громадську діяльність, використовуючи позитивні риси особистості (почуття дорослості, співчуття і допомогу людям, інтерес до нових вражень та інше).

За навого підходу традиційні моделі «дозволу-заборони» з боку викладача, використання загальновідомих тактик маніпулювання сьогодні не принесять бажаних результатів через тенденції, що нестримно розвиваються, до індивідуалізму і свободи вибору, через все більшу недовіру і відторгнення будь-якої «силової політики». Слід вдаватися до більш м’яких стратегій.

Однією з таких «м’яких» стратегій є стратегія спонукання. Саме з використанням цієї стратегії будуються зараз соціальні програми таких країн, як Сполучені Штати Америки, Великобританія та Франція.

Головна ідея стратегії спонукання зводиться до того, що так званий «позитивний примус» або натяк мають більш ефективний вплив на формування мотивів та здійснення вибору людиною, ніж пряма вказівка, нормативний акт чи змушення.

Найголовніше, що нові тактики спілкування не обмежують свободу людини, залишаючи за ним навіть право робити неправильний вибір. При цьому стратегія буде побудована так, що людина, роблячи неправильний вибір, повинна відчути себе «не у своїй тарілці» і далі сам усвідомити необхідність «правильного вибору».

З вищевикладеного можна зробити висновок про те, що компетентнісний підхід вимагає нового усвідомлення викладачем своєї діяльності. Викладач повинен бути самостійним, ініціативним, відповідальним, розуміти, які уміння знадобляться студентам в житті, зв'язувати матеріал, що вивчається, з повсякденним життям і з інтересами студентів, характерними для їх віку, закріплювати знання і уміння в учбовій і в позаурочній практиці, планувати заняття з використанням усієї різноманітності форм і методів учбової роботи, і, передусім, усіх видів самостійної роботи (груповою і індивідуальною), діалогічних і проектно-дослідних методів, досконало використати метод «Створення ситуації успіху», оцінювати досягнення студентів не лише відміткою-балом, але і змістовною характеристикою, бачити пропуски не лише в знаннях, але і в готовності до життя.

Головне, що викладач повинен усвідомити полягає в тому, що: будувати сьогоднішню і завтрашню поведінку на основі вчорашніх знань і вчорашнього досвіду неможливо; головне завдання – забезпечити максимум успіху і мінімум невдач в майбутньому житті своїх студентів.

Не потрібно вважати себе єдиним і головним джерелом знань, передавати свій досвід життя і виховання, стверджувати про раз і назавжди задані способи «правильного» і «неправильного» рішення життєвих і професійних проблем, нез'ясовних висловлювань «потрібно», «повинен», «так прийнято».

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ СУДНОВИХ МЕХАНІКІВ

Проценко В.О., Настасенко В.О.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Для інженера-судномеханіка необхідність самостійного прийняття обґрунтованих рішень і демонстрації своєї компетентності під час роботи набуває особливої гостроти, оскільки від цього рішення залежить життя людей на борту судна та берегу. Прийняття самостійних рішень, уміння їх обґрунтувати та захистити є найскладнішим у інженерній практиці і саме ця вимога виписана у розділі A-III/1 Кодексу ПДНВ [1], де зазначено, що кожний кандидат на отримання професійного диплома вахтового механіка морського судна з машинним відділенням, що обслуговується традиційно або періодично не обслуговується та головною установкою потужністю 750 кВт або більше повинен продемонструвати здатність прийняти на себе на рівні експлуатації завдання, обов'язки та відповідальність, які перелічені в колонці 1 таблиці A-III/1. Ключовою у цій вимозі є «здатність прийняти на себе на рівні експлуатації завдання, обов'язки та відповідальність». Прийняттю відповідальності передує обов'язкове прийняття самостійних рішень щодо того чи іншого аспекту управління, технічного обслуговування чи ремонту будь-якого обладнання. Цих компетенцій курсант повинен набути під час навчання у освітньому закладі згідно діючих стандартів освіти [2].

Спеціаліст, якому навчальним закладом видано диплом бакалавра чи спеціаліста повинен уміти приймати рішення керуючись знаннями отриманими під час навчання за рахунок глибокого розуміння процесів, що протікають в обладнанні енергетичної установки яке ним експлуатується. Важливо при цьому розуміти закономірності отримання та перетворення енергії, основним із яких є закони збереження енергії (1) та маси (витрати) (2) [3].

$$E_1 = E_2 . \tag{1}$$

$$M_1 = M_2 . \tag{2}$$

Знання цих законів дозволяє ефективно виконувати діагностику обладнання та виявляти причини виходу його з ладу. Так механічні руйнування деталей є результатом дії енергії перевантажень, перегрів елементів теплових машин є результатом внесення в систему додаткової теплової енергії чи відсутність відведення від системи енергії, яка повинна відводитись від неї у справному стані. Для прикладу розглянемо рівняння енергетичного балансу головного двигуна у формі (3) [3-7].

$$Q_{пал}^{ГД} + Q_{пов}^{ГД} = N_e + Q_{вг}^{ГД} + Q_{пв}^{ГД} + Q_{м}^{ГД} + Q_{зал}^{ГД} , \tag{3}$$

де $Q_{пал}^{ГД} = G_{пал}^{ГД} \times Q_{пал}^{н}$ - повна теплова потужність, що виділяється при згорянні палива в циліндрах двигуна, кВт;

$Q_{пов}^{ГД} = G_{пов}^{ГД} \times c_p^{пов} \times T_{пов}$ - теплова потужність, що вноситься в циліндри наддувочним повітрям, кВт;

$N_e^{ГД}$ - ефективна потужність двигуна, кВт;

$Q_{вг}^{ГД} = G_{вг} \times c_p^{г} \times T_{г}$ - теплова потужність, що виноситься із двигуна з випускними газами, кВт;

$Q_{пв}^{ГД} = a \times Q_{пал}^{ГД}$ - теплова потужність, яка відводиться від двигуна із охолоджуючою прісною водою, кВт;

$Q_{м}^{ГД} = b \times Q_{пал}^{ГД}$ - теплова потужність, яка відводиться від двигуна із маслом, кВт;

$Q_з^{ГД} \le (0{,}02...0{,}03) \times Q_{пал}^{ГД}$ - залишковий член енергетичного балансу, кВт.

Використовуючи рівняння (3) проаналізуємо причини виникнення одної із експлуатаційних відмов двигуна – прогоряння клапанів. Очевидно, що ця відмова пов'язана зі збільшенням температури відпрацьованих газів $T_г$, а відтак зі збільшенням складової $Q_{вг}^{ГД}$ наведеного рівняння (3). До збільшення цієї складової може призвести збільшення правої частини рівняння (3), або зменшення у лівій частині цього ж рівняння інших складових крім $Q_{вг}^{ГД}$. Найбільш вірогідною причиною збільшення у правій частині складової $Q_{пал}^{ГД} = G_{пал}^{ГД} \times Q_{пал}^{н}$ є надлишкова подача палива $G_{пал}^{ГД}$ в циліндри двигуна, що приводить до механічного недогоряння палива та, в кінцевому підсумку, до збільшення температури $T_г$, що спричиняє прогоряння клапанів. У цьому випадку механіку необхідно виконувати контроль та регулювання паливної апаратури дизеля. Найбільш вірогідною причиною збільшення у правій частині складової $Q_{пов}^{ГД} = G_{пов}^{ГД} \times c_p^{пов} \times T_{пов}$ є підвищення температури повітря $T_{пов}$, що поступає в циліндри з ресивера, а туди з охолодника наддувочного повітря. У цьому випадку необхідно механіку перевіряти стан охолодника повітря та за необхідності виконувати його очищення та промивання. Подібні міркування можуть бути висловлені і щодо членів правої частини рівняння (3) із відповідною діагностикою системи охолодження сорочкової води та мастила.

На думку авторів, рівняння енергетичного балансу, подібні до (3), як основа енергетичного аналізу, повинні записуватись та пояснюватись курсантам і для інших елементів СЕУ (передач, насосів, компресорів, холодильних машин) при вивченні відповідних дисциплін. Це дасть можливість досягнення курсантами глибокого розуміння процесів, що протікають у зазначеному обладнанні, та здобуття ними початкових навичок технічної діагностики. Такий підхід сприятиме досягненню майбутніми судномеханіками компетентностей, що встановлені вимогами ПДМНВ. Спеціаліст, що набуватиме навичок енергетичного аналізу в аудиторії, а згодом застосовуватиме його під час практики, уникатиме багатьох невдач, пов'язаних із інтуїтивним прийняттям рішень при експлуатації елементів енергетичних установок, а відтак здобуття навичок енергетичного аналізу є важливою складовою реалізації компетентнісного підходу у підготовці майбутніх суднових механіків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс з підготовки і дипломування моряків та несення вахти (ПДНВ).
2. Галузевий стандарт вищої освіти України. Освітньо-професійна програма підготовки бакалавра. Галузь знань 0701 Транспорт і транспортна інфраструктура. Напрям підготовки 6.070104 Морський та річковий транспорт. Київ: МОНМС, 2012. - 24 с.
3. Горбов В.М. Енциклопедія суднової енергетики. – Миколаїв: НУК, 2010. – 624 с.
4. Овсянников М.К., Петухов М.К. Судовые дизельные установки. Справочник. - Л.: Судостроение, 1986. - 424 с.
5. Возницкий И.В., Чернявская Н.Г., Михеев Е.Г. Судовые двигатели внутреннего сгорания (конструкция, теория и эксплуатация). - М.: Транспорт, 1979. - 416 с.
6. Самсонов В.И., Худов Н.И. Двигатели внутреннего сгорания морских судов. - М.: Транспорт, 1990. – 368 с.
7. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Л.: Судостроение, 1977. - 392 с.

ДО ПИТАННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ВИКЛАДАЧІВ ПРОФЕСІЙНОГО НАВЧАННЯ ВОДІЇВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Разлівінських Ю.О.
Херсонський державний університет (Україна)

Відповідно до листа Міністерства освіти і науки України «Методичні рекомендації щодо викладання трудового навчання в 5-9 10-11 класах 11-річної загальноосвітньої школи в 2012-2013 навчальному році» учні старших класів, незалежно від профілю навчання (крім технологічного) освоюють навчальний предмет технології.

У межах технологічного профілю здійснюється профільна та професійна підготовка старшокласників «Водій автотранспортних засобів категорії «В» та «С».

Виходячи з цього, навчальний план підготовки майбутніх вчителів технологічної освіти (спеціалізація «Автосправа»), передбачає як технічну, так і методичну підготовку фахівців, яка здійснюється у процесі вивчення курсу «Методика викладання дисциплін автосправи».

Мета курсу «Методика викладання дисциплін автосправи» – підготовка майбутніх вчителів технології спеціалізації «Автосправа» до організації та проведення занять з дисциплін автосправи при підготовці водіїв категорії «В» і «С» шляхом формування у студентів системи відповідних методичних знань, вмінь та навичок.

Завдання курсу.

Теоретичні:

- сформувати в студентів методичні знання з підготовки до занять з дисциплін автосправи в умовах автошкіл та навчальних курсів;
- навчити студентів правильно складати необхідну для проведення занять з дисциплін автосправи навчальну документацію;
- вивчити державні стандарти підготовки водіїв категорії «В» і «С» та навчальні посібники з дисциплін автосправи;
- мати чіткі уявлення про характер та зміст роботи викладача дисциплін автосправи.

Практичні:

- сформувати вміння правильно організувати та проводити заняття з дисциплін автосправи;
- сформувати вміння організації та проведення позакласної роботи за фахом;
- сформувати вміння здійснювати при викладанні занять з дисциплін автосправи міжпредметні зв’язки з іншими дисциплінами, вірно проводити трудове виховання.

Значна роль у здійсненні та вдосконаленні методичної підготовки майбутніх викладачів з автосправи відводиться виконанню практичних робіт, які сприяють формуванню методичних вмінь та навичок проведення занять з автосправи, навичок самостійної роботи, умінню працювати зі складним устаткуванням, закріпленню теоретичних знань з цього курсу.

На підставі вивчення літературних джерел та власного досвіду викладання ми пропонуємо наступну організацію та технологію вивчення курсу «Методика викладання дисциплін автосправи». Розглянемо це на прикладі теми «Вивчення та аналіз державних стандартів підготовки водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С», робочих навчальних планів і програм для середніх шкіл, міжшкільних навчально-виробничих комбінатів (МНВК), автошкіл».

Мета роботи – ознайомитися з змістом і структурою державних стандартів, типових і робочих навчальних планів і програм з підготовки водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С» в школах, МНВК, автошколах.

Зміст і послідовність виконання роботи.

1. Ознайомитися з призначенням, змістом і структурою державних стандартів підготовки водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С», типових і робочих навчальних планів і програм для середніх шкіл, МНВК, автошкіл тощо.

2. Вивчити освітньо-кваліфікаційну характеристику робітника: структуру, основні знання ті вміння, якими повинен опанувати спеціаліст даної кваліфікації.

3. Установити, які розділи і теми та у якому обсязі містять у собі типові і робочі плани і програми предметів професійно-теоретичної, професійно-практичної підготовки та лабораторно-практичних занять з автосправи.

4. Ознайомившись з змістом і структурою державних стандартів, типових і робочих навчальних планів і програм з автосправи для середніх шкіл, МНВК, автошкіл, зробити їхній аналіз, який охоплює наступні питання:

а) чи достатньо повний зміст пояснюючих записок стандартів, робочих навчальних планів і програм?

в) чи достатньо повно охоплюють стандарти, робочі навчальні плани і програми з автосправи підготовку відповідних робітників?

г) чи відповідають досліджувані документи сучасному рівню розвитку науки і техніки, вимогам школи?

д) які додаткові форми занять і чому ви рекомендуєте включити до вищезазначених документів?

4. Згідно отриманого від викладача індивідуального завдання установити:

а) які технічні відомості і в якому обсязі містить у собі той або інший предмет навчання з автосправи;

б) виконання яких видів лабораторно-практичних робіт даного предмету і в якому обсязі передбачено державними стандартами підготовки водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С», типовими і робочими навчальними планами і програмами з предметів автосправи для закладів системи загальної середньої освіти, МНВК, автошкіл тощо.

Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.

2. Стислий зміст досліджуваних державних стандартів підготовки водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С», типових і робочих навчальних планів, пояснювальних записок, освітньо-кваліфікаційних характеристик водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С».

3. Результати аналізу державних стандартів підготовки водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С», типових і робочих навчальних планів для середніх шкіл, МНВК, автошкіл, пояснювальних записок, освітньо-кваліфікаційних характеристик водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С».

Контрольні питання

1. З якою метою здійснюється аналіз державних стандартів підготовки водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С», типових і робочих навчальних планів для середніх шкіл, МНВК та автошкіл, пояснювальних записок, освітньо-кваліфікаційних характеристик водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С»?

2. Визначте дисципліни, які входять до переліку предметів професійно-теоретичного навчання та професійно-практичної підготовки водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С» в умовах середніх шкіл, МНВК, автошкіл тощо.

3. Які розділи входять до державних стандартів підготовки водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С».

4. Які види і форми занять і в якому обсязі передбачаються досліджуваним нормативними документами?

5. У якому співвідношенні за часом знаходяться різні види і форми занять професійно-теоретичної і професійно-практичної підготовки водіїв автотранспортних засобів категорії «В» та «С».

Список літератури для аналізу

1. Державний стандарт професійно-технічної освіти ДСПТО 8322.2. І60008 – К.: Офіційне видання, 2006. - 45с.

2. Типовий навчальний план і програми з професійно-технічного навчання на базі міжшкільного навчально – виробничого комбінату та загальноосвітнього навчального закладу. Професія – водій автотранспортних засобів. Кваліфікація – водіння автотранспортних засобів категорії «В». - Київ, 2010.

Отже, впровадження у навчальний процес вищезазначеної технології дає можливість для удосконалення методичної підготовки майбутніх викладачів автосправи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Беспалько В.П. Методика обучения автоделу в средней школе / В.П.Беспалько, В.Ф.Евграфов, М.И.Ерецкий. – М.: Просвещение, 1982 – 176 с.

2. Боровських Ю.І. Будова автомобілів / Ю.І. Боровських, Ю.В. Буральов, К.А.Морозов. – К: Вища школа, 1991. – 288 с.

3. Галкин Е.В. Методика лабораторно-практических занятий по тракторам и автомобилям / Е.В, Галкин. – М.: Высш. школа,1983. – 296 с.

4. Державний стандарт професійно-технічної освіти ДСПТО 8322.2. І60008 – 2006.

5. Дзюба П.Я. Программированное пособие по устройству автомобіля / П.Я.Дзюба.- К.: Урожай, 1985 - 576 с.

6. Жаров М.С. Методика теоретического обучения по предмету «Тракторы и автомобили» / М.С. Жаров. - М.: Высш.шк., 1982. – 280 с.

7. Кальней В.А. Основы методики трудового и профессионального обучения / В.А. Кальней. - М.: Просвещение, 1987. - 190 с.

8. Кругликов Г.И. Методика профессионального обучения с практикумом / Г.И. Кругликов. - М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 288 с.

9. Мишин В.К. Программированные задания для закрепления и контроля знаний по устройству автомобиля / В.К.Мишин. – М.: ДОСААФ, 1978. - 112 с.

10. Правила дорожнього движения. Официальное издание. - К.: Издательство «Арий», 2010. – 94с.

11. Скакун В.А. Методика преподавания специальных и общетехнических предметов (в схемах и таблицах) / В.А Скакун.- М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 44 с.

12. Типовий навчальний план і програми з професійно-технічного навчання на базі міжшкільного навчально – виробничого комбінату та загальноосвітнього навчального закладу. Професія – водій автотранспортних засобів. Кваліфікація – водіння автотранспортних засобів категорії «В» і «С». - Київ, 2010.

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ВАГИ ДИСПЕТЧЕРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ З ПОЗИЦІЙ ЇХ СТАВЛЕННЯ ДО РИЗИКУ

[1]Рева О.М., [1]Борсук С.П., [2]Шульгін В.А., [3]Насіров Ш.Ш.
[1]Національний авіаційний університет (Україна)
[2]Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету (Україна)
[3]Головний центр Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS, м. Баку (Республіка Азербайджан)

Вступ. Сучасні норми організації обслуговування повітряного руху (ОПР), зокрема норми ешелонування для різних режимів польоту змінюються згідно вимог до підвищення ефективності управління повітряним рухом (УПР), зміною правил експлуатації повітряного простору та взаємодії між учасниками процесу ОПР. Зміни норм ешелонування, хочА і базуються на певних нормативних документах, часто залишають неврахованими особливості психофізіологічного сприйняття диспетчерами деяких складових процесу УПР. Це призводить до підвищення ймовірності виникнення потенційної небезпечної ситуації, яку вони не завжди зможуть взяти під контроль.

Актуальність досліджень. Враховуючи вплив людського чинника на безпеку польотів (БП). вже тривалий час здійснюється широкий спектр відповідних досліджень, у тому числі, з вивчення психофізіологічних особливостей операторів авіаційної галузі, зокрема пілотів. Однак, незрівнянно менше уваги приділяється дослідниками особливостям професійної діяльності диспетчерів УПР, хоча вони теж віднесені до «операторів переднього краю» [1], яки разом з членами льотного екіпажу складають «останній рубіж оборони» у забезпеченні БП [2]. Таким чином, штучно створюються певні хибні ланки у безперервному ланцюгу забезпечення належного рівня БП. Тому вважаємо актуальною тематику даної роботи.

Постановка задачі. Виконання професійних обов’язків, особливо стандартних операційних процедур здійснюється диспетчерами УВД з різним ставленням до необхідності їх неухильного виконання, що може сприяти і реально сприяє виникненню ризику і зниженню реального рівня БП. Тому задачею нашого дослідження є виявлення ставлення студентів – майбутніх диспетчерів УПР до ризику.

Результати досліджень. Для вирішення цієї задачі був застосований досвід побудови по обмеженому числу точок оціночних функцій корисності для вирішення закритих задач прийняття рішень [3, 4], який був адаптований для потреб авіаційної галузі у працях [5-8].

До досліджень були залучені 132 студенти спеціальності «Керування повітряним рухом» Національного авіаційного університету (м. Київ) та Кіровоградської льотної академії (м. Кіровоград). Випробуваним пропонувалося розв’язати штучну професійну ситуацію, яка описується лотереєю, в якій з рівними шансами 50%-50% можна виграти і ситуацію впевненої катастрофи від зіткнення повітряних суден (ПС), коли відстань між ними дорівнює S=0, та впевненого забезпечення БП, коли відстань між ПС дорівнює нормі ешелонування повітряного простору: $S=S_{норми}$. Завдання полягає у виборі еквіваленту зазначеної лотереї, тобто такої відстані між ПС, коли при УПР студентові було б байдуже, чи отримати її напевно, чи прийняти участь в лотереї, де з рівними шансами можна отримати результат, що його абсолютно влаштовує і не влаштовує. Приймається, що цей еквівалент має корисність, що дорівнює 0,5: $S=S_{0,5}$, тобто $u(S_{0,5})=0,5$/ Причому зрозуміло, що корисність u(S) для граничних значень діапазону відстаней норми ешелонування складає величину: $u(S_0=0)=0$б а $u(S_1=S_{норми}=1)$.

Далі отримане значення еквіваленту лотереї $S_{0,5}$ застосовується у двох нових лотереях, еквівалент яких має певну корисність і знаходиться з вибору у межах відповідних відстаней: $S=S_{0,25}=L[0, S_{0,5}]$ та $S=S_{0,75}= L[S_{0,5}, S_{норми}]$, де L – умовна позначка віртуальної лотереї, з якої визначається відповідні їх еквіваленти.

По отриманих в такий спосіб п’яти точкам (S_0=0, $S_{0,25}$, $S_{0,5}$, $S_{0,75}$, S_1=$S_{норми}$) й будується шукана оціночна функція корисності-безпеки відстані мід ПС для досліджуваної норми ешелонування.

Вводиться поняття надбавки за ризик:

$$\pi(S) = S_{0,5} - \overline{S} = \begin{cases} > 0 & - \textit{схильність до ризику} \\ < 0 & - \textit{несхильність до ризику} \\ = 0 & - \textit{байдужість до ризику} \end{cases}, \quad (1)$$

де □(*S*) – «середній виграш» лотереї:

$$\overline{S} = \frac{1}{2}(S_0 + S_1), \quad (2)$$

Взагалі опитування включало в себе наступні 20-ти кілометрові норми ешелонування:

- ПС прямують одним маршрутом та на одному рівні, встановленому маршрутами УПР в диспетчерських районах ACC (Area Control Center районний диспетчерський центр), APP (APP Approach Control диспетчерське обслуговування заходу на посадку);
- диспетчерські райони (CTA (Control Area - диспетчерський район), TMA (Terminal Control Area, – вузловий диспетчерський район), коли ПС прямують на одному ешелоні на треках що перетинаються, незалежно від кута перетину треків;
- боковий інтервал в диспетчерських районах (CTA, TMA) при перетині рівня зустрічних треків, в момент перетину рівня (без урахування повздовжнього інтервалу) при умові відсутності сходження треків;
- повздовжній інтервал в диспетчерських районах (CTA, TMA) при перетині рівня на попутних треках в момент перетину рівня при умові відсутності сходження треків.

Рис. 1 наочно ілюструє індивідуальну оціночну функцію корисності, побудовану за результатами опитування студента № 1 по першій нормі ешелонування.

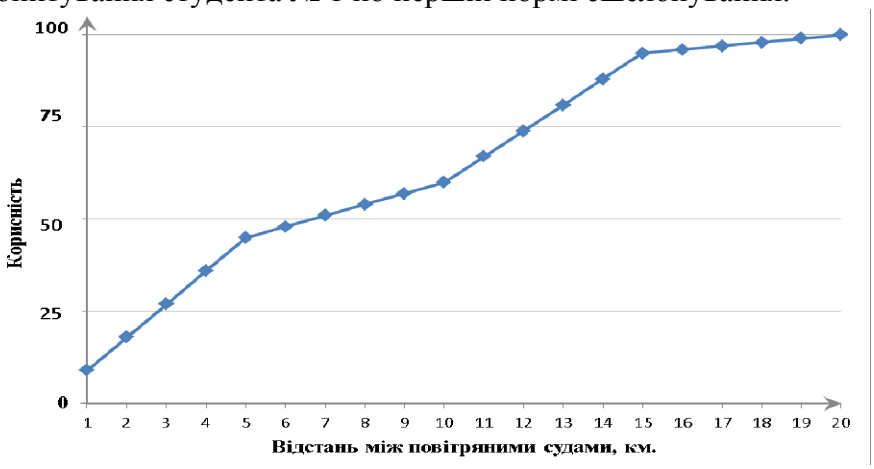


Рисунок 1. Графік оціночної функції першого опитуваного.

Результати розподілу результатів опитування по схильності операторів до ризику наведено у табл. 1.

Отже, в результаті досліджень встановлено, що студенти-диспетчери УПР, байдужі (Б), схильні (С) та несхильні до ризику (НС) співвідносяться між собою у такій пропорції:

Б : НС : С □ 34 : 61 : 421 □ 1 : 1,8 : 12,4 □ 6,6% : 11,8% : 81,6% (3)

Враховуючи, з урахуванням [9; 10], що прагнення грати в лотерею, тобто ризикувати, може розглядатися з позицій прояву мотивації досягнення успіху, а несхильність до ризику – як мотивація на запобігання невдачі, то можна констатувати, що наши наукові результати свідчать саме про прагнення студентів- диспетчерів уникнути необхідності опинитися в ризикованій ситуації при виконанні професійних обов’язків.

Таблиця 1. Відношення до ризику для 20-ти кілометрових відстаней

Норма ешелонування	Ставлення до ризику, *n*			Співвідношення осіб з різним ставленням до ризику
	Байдужий	Схильний	Несхильний	
1	2	3	4	5
I	20	6	103	С : Б : НС □ 1 : 3,3 : 17,2
II	3	12	114	Б : С : НС □ 1 : 4 : 38
III	3	22	104	Б : С : НС □ 1 : 7,3 : 34,7
IV	8	21	100	Б : С : НС □ 1 : 2,6 : 12,5
□	34	61	421	Б : С : НС □ 1 : 1,8 : 12,4

Висновки. З огляду на отримані та подані нові наукові результати можна стверджувати, що абсолютна більшість диспетчерів УПР (81,6%) виявляються несхильними до ризику, що переконливо свідчить про їх мотиваційне прагнення запобігти невдачі при виконанні професійних обов'язків.

Привертає увагу, що для I норми ешелонування меншість складають не байдужі, а схильні до ризику студенти-диспетчери. При цьому випробувані з нелінійним мисленням складають 93,4 % загального їх числа, що потребує пильної уваги при організації їх особистісно-орієнтованого навчання і потребує подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП): Doc. ICAO 9859 – AN / 474. – Монреаль, Канада, 2009.

2. Рева А.Н. Человеческий фактор и безопасность полетов : (Проактивное исследование влияния) : монография / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухамбетов; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы, 2006. – 242 с.

3. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях предпочтения и замещения: пер. с англ./ Р.Л. Кини, Х. Райфа ; под. ред. И.Ф. Шахнова. - М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.

4. Надёжность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. – Т.3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – 328 с.

5. Рева О.М. Алгоритмизація процедури визначення ставлення авіаційного оператора до ризику / О.М. Рева, П.Ш. Мухтаров, С.І, Корж, С.В. Недбай // Авіаційно-космічна техніка і технологія: наук.-техн. ж. – Х.: Національний аерокосмічний ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2012. – № 1 (88). – С. 109-114.

6. Рева, А.Н. Теоретическая модель выявления основной доминанты деятельности авиационного оператора в условиях риска / А.Н. Рева, П.Ш. Мухтаров, С.В. Недбай // Elmi məcmuələr: Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin, - Baki, Oktyabr - Dekabr 2012. – Child № 4. – С. 64-73.

7. Рева О.М. Парадокс психологічної домінанти діяльності авіадиспетчера в умовах стохастичного ризику / О.М. Рева, Т.Ф, Шмельова // Проблемы развития систем аэронавигационного обслуживания воздушных судов (Аэронавиация и авионика – 98): м-лы междун. науч.-техн. конф. – К.: КМУГА, 1998.– С. 135.

8. Рева О.М. Динаміка основної домінанти прийняття рішень авіадиспетчером при ускладненні умов діяльності / О.М. Рева, П.Ш. Мухтаров, Б.М. Мирзоєв, В.І. Вдовиченко, Ш.Ш. Насіров // Сучасні інформаційні та іннова-ційні технології на транспорті (MINNT - 2014): зб. м-лів VI міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 180-річчю з дня заснування Херсонської державної морської академії, – Херсон, 27-29 травня 2014 р., - Херсон: ХДМА, 2014. - С. 86-89.

9. Козелецкий, Ю. Психологическая теория решений: пер. с польск. Г.Е. Минца, В.Н. Поруса / Ю. Козелецкий; под ред. Б.В. Бирюкова. - М.: Прогресс, 1979. - 504 с.

10. Камишин, В.В. Методи системного аналізу у кваліметрії навчально-виховного процесу: монографія / В.В. Камишин, О.М. Рева. – К.: Інформаційні системи, 2012. – 270с.

ПРОБЛЕМИ СИСТЕМНО-ІНФОРМАЦІЙНОЇ КВАЛІМЕТРІЇ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ОЦІНКИ КОМПЕТЕНТНОСТІ ТИХ, ХТО НАВЧАЄТЬСЯ

[1]Рева О.М., [2]Камишин В.В.
[1]Національний авіаційний університет (Україна)
[2]Інститут обдарованої дитини Національної Академії Педагогічних Наук України (Україна)

Вступ. Сучасне уявлення про організацію підготовки фахівця будь-якої галузі у будь-якому закладі освіти зводиться до формування відповідних компетенцій. Запропоноване в європейському проекті TUNING «... поняття компетенцій містить знання й розуміння (теоретичне знання академічної галузі, здатність знати й розуміти), знання як діяти (практичне й оперативне застосування знань до конкретних ситуацій), знання як бути (цінності як невід'ємна частина способу сприйняття й життя з іншими в соціальному контексті)» [1].

Єврокомісія виділяє 8 ключових компетенцій, якими має опанувати кожний європеєць: 1) у галузі рідної мови; 2) у сфері іноземних мов; 3) математична та фундаментальна природничо-наукова та технічна; 4) комп'ютерна; 5) навчальна; 6) міжособистісна, міжкультурна, соціальна та громадянська; 7) підприємництва; 8) культурна.

Орієнтуючись на наведене, Міністерство освіти і науки (МОН) України визнало, що підготовку відповідного фахівця потрібно організовувати таким чином, щоб забезпечувався всебічний розвиток особистості. Засобом формування особистості мають стати сучасні освітні інформаційні технології (ІТ), продуктом діяльності – особистість випускника ВНЗ, який має бути не лише професійно компетентним, але мати активну життєву позицію, високий рівень громадянської свідомості, бути компетентним при розв'язанні будь-яких завдань, що висуває життя [2]. Розвиваючи поняття «компетенція», МОН України зазначає, що воно містить не лише когнітивну й операційно-технологічну складові, але й мотиваційну, етичну, соціальну, поведінкову сторони. Отже, йдеться про узагальнений, інтегральний підхід до понять «знання», «вміння», «навички».

Вкажемо, що вищеперелічені ключові компетенції єврокомісії диференційовані МОН України за 20-ма складовими. Зрозуміло, що порівняльний аналіз ефективності організації та проведення навчально-виховного процесу (НВП) з формування цих компетенцій у різних ВНЗ неможливо проводити без їх відповідної кваліметрії, тому що активне впровадження об'єктивного тестового контролю вирішує проблему оцінки знань, вмінь та навичок, однак поза межами аналізу залишається кваліметрія компетенцій соціально-гуманітарного змісту.

Нормативно встановлено, що галузеві стандарти вищої освіти мають розробляються з урахуванням компетентнісного підходу, наслідком чого стало проведення значної кількості відповідних досліджень [3-5 та ін.], що сприяє подальшому позитивному зрушенню якості підготовки фахівців. Проте й досі не розв'язано питання кваліметрії та ефективного порівняння більшості компетенцій, що сприяє появі певних «хибних ланок» у безперервному ланцюгу вдосконалення НВП. Причому взагалі не розглядається питання формування узагальненої (інтегрованої, агрегованої) оцінки компетентності студентів по усьому спектру компетенцій, що в них мають формуватися, хоча тільки цій оцінці притаманна системна властивість емерджентності [6-8].

Актуальність. Отже, якщо орієнтуватися на рекомендації МОН України, то інтегровану оцінку компетентності студента по усьому спектру компетенцій, що в нього мають формуватися впродовж навчання у ВНЗ, можна уявити таким чином:

$$\varphi_{C_j} = \bigcap_{i=1}^{n=6} \varphi^{i}_{C_j} = \varphi^{OT}_{C_j} \bigcap \varphi^{C}_{C_j} \bigcap \varphi^{K}_{C_j} \bigcap \varphi^{M}_{C_j} \bigcap \varphi^{\Pi}_{C_j} \bigcap \varphi^{E}_{C_j}, \qquad (1)$$

де φ_{C_j} – позначка інтегрованої оцінки компетентності j-го студента (C_j) по усьому спектру компетенцій;

$\varphi^{i}_{C_j}$ – частинна оцінка компетентності j-го студента по і-тій компетенції;

$\varphi^{OT}_{C_j}$, $\varphi^{C}_{C_j}$, $\varphi^{K}_{C_j}$, $\varphi^{M}_{C_j}$, $\varphi^{П}_{C_j}$, $\varphi^{E}_{C_j}$ – частинні оцінки компетентності j-го студента при демонстрації відповідно операційно-технологічної, соціальної, когнітивної, мотиваційної, поведінкової та етичної компетенцій;

$\bigcap$ – позначка операції логічного множення (кон'юнкції), яка охоплює в інтегрованій оцінці компетентності частинні оцінки усіх компетенцій, що демонструються студентом.

Особливість застосування саме кон'юнкції, а не диз'юнкції полягає у тому, що в такому випадку вимагається сформованість в студента будь-якого, нехай самого незначного рівня компетентності з кожної досліджуваної компетенції.

Зрозуміло, що для того, щоби формула (1) «працювала», необхідно, з одного боку, щоби усі оцінки частинних компетенцій були однорідними, отриманими в тій самій шкалі і мали як кількісне, так і відповідне якісне наповнення. З іншого боку, порушується питання знаходження для вказаної операції логічного множення адекватної функції агрегування окремих оцінок. При цьому слід вказати, що на сьогодні найбільш розповсюдженими є процедури кількісно-якісної (бально-рейтингової) оцінки когнитивної компетенції тих, хто навчається. Найбільш вдалими, на наш погляд, є наукові результати щодо кваліметрії інших компетностей отримані лише для поведінкової компетенції у вигляді систем переваг студентів на множині характерних рис недисциплінованості, а також мотиваційної компетенції шляхом виявлення основних навчальних домінант та рівнів домагань студентів на множині показників та характеристик об’єкту НВП [8-10].

Постановка задачі. Враховуючи наведене та результати досліджень [6; 8; 11-16], ***метою*** цієї публікації є вибір шкали виміру рівня компетентності студентів з будь-якої компетенції прийнятної розмірності, а також розробка процедури отримання інтегральної оцінки компетентності студентів по усьому спектру компетенцій.

Результати досліджень. З порівняльного аналізу ефективності шкал кваліметрії для потреб дидактики та правил формування оціночних шкал за допомогою методології нечіткої математики випливає, що вказане формування має відбуватися за загальною тенденцією «... – дуже погано – погано – нейтрально (як у більшості випкадків) – добре – дуже добре – ...» [6-8; 17-18]. В такому випадку найбільш прийнятною для потреб досліджень слід вважати 9-тибальну шкалу стенайнів, яка будується за ще більш простим принципом «погано – нейтрально (як у більшості випкадків) – добре»(рис. 1).

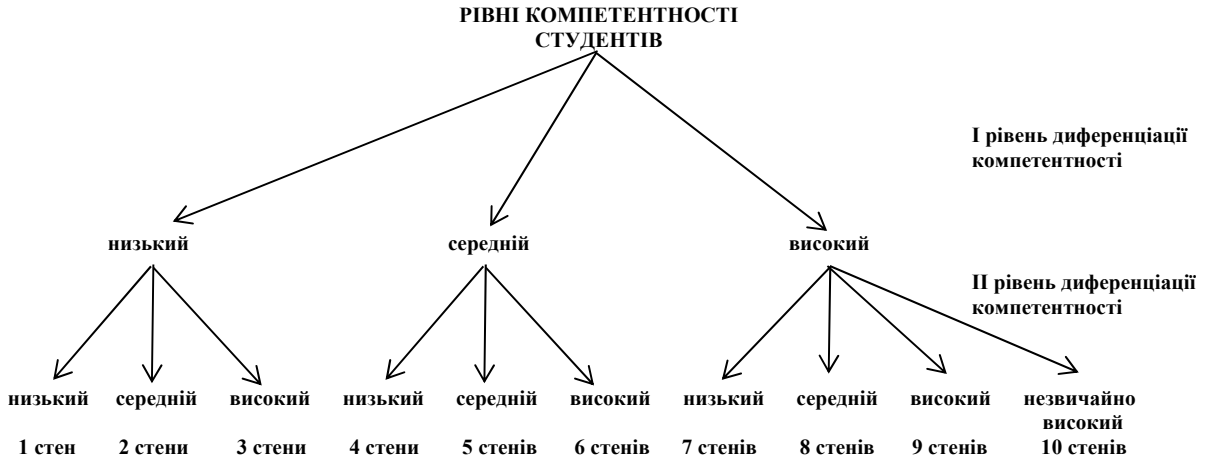


Рисунок 1. Формування розмірності шкали стенів оцінювання рівня компетентності студентів

Здатність науково-педагогічних працівників експлікувати свої думки щодо досянутого студентом рівня компетентності з кожної компетенції, яка має в нього формуватися під час навчання, й пояснює можливість застосування шкали стенайнів. При цьому ця сама здатність дозволяє на другому кроці диференціації ступеня розвитку в студента деякого рівня компетентності з певної компетенції додати до категорії «високого рівні компетентності» (рис. 1) ще одну оцінку, яка визначає незвичайно високий рівень компетентності. Отже, йдеться про перехід до 10-тибальної шкали стенів, яка є відомою і популярною у практиці психолого-педагогічних досліджень [7; 8; 19].

З досвіду досліджень [6; 8; 11; 14-16] витікає, що найбільш прийнятним для агрегації частинних оцінок рівнів компетентності студентів слід вважати мультиплікативний підхід, який в контексті наших досліджень реалізується за допомогою функції бажаності Харингтона:

$$\varphi_{C_j} = \sqrt[n=6]{\prod_{i=1}^{n=6} \varphi^{i}_{C_j}} = \sqrt[n=6]{\varphi^{OT}_{C_j} \cdot \varphi^{C}_{C_j} \cdot \varphi^{K}_{C_j} \cdot \varphi^{M}_{C_j} \cdot \varphi^{\Pi}_{C_j} \cdot \varphi^{E}_{C_j}} . \qquad (2)$$

Спеціально зауважимо, що знаходження узагальнених показників, у тому числі виду (2) відноситься у системному аналізі до проблем вирішення однокрокових задач прийняття рішень з векторним показником ефективності [6]. У праці [11] доведено, що формули виду (2) дозволяють отримати кількісний, однозначний, єдиний і універсальний показник сформованого рівня компетентності студентів. Враховуючи, ще й притаманні їй властивості адекватності, ефективності і статистичної чутливості, узагальнену функцію бажаності–агрегації (2) дійсно можна застосовувати в якості критерію оптимизації.

Разом з тим оцінки рівнів компетентності, визначені у 10-тибальній шкалі стенів мають яскраво виражений якісний зміст [8; 13; 18]. Тому реалізація процедури знаходження середньогеометричного частинних бальних оцінок рівнів компетентності студентів згідно формули (2) недоречна, оскільки це виходило б за дозволений для шкали стенів спектр математичних перетворень. Виходячи з особливостей шкал вимірювань у дидактиці [6-8; 18], слід провести дефазифікацію якісних лінгвістичних бальних оцінок, поставивши їм у відповідність «зважені» коефіцієнти їх бажаності:

$$\varphi^{i}_{C_j} \to \alpha^{i}_{C_j} : \quad 0 \le \alpha^{i}_{C_j} \le 1; \quad \sum_{i=1}^{n=6} \alpha^{i}_{C_j} = 1 . \qquad (3)$$

В такому випадку вираз (2) перетвориться на такий:

$$\varphi_{C_j} = \sqrt[n=6]{\prod_{i=1}^{n=6} \alpha^{ik}_{C_j}} , \qquad (4)$$

де $\alpha^{ik}_{C_j}$ – коефіцієнт бажаності k-тої оцінки шкали стенів, яку отримав j-тий студент, демонструючи компетентність з i-тої компетенції.

Оскільки ступінь прийнятності оцінок 10-тибальної шкали стенів має яскраво виражену структуру переваг

$$\tilde{T}_{10} \succ \tilde{T}_9 \succ \tilde{T}_8 \succ \tilde{T}_7 \succ \tilde{T}_6 \succ \tilde{T}_5 \succ \tilde{T}_4 \succ \tilde{T}_3 \succ \tilde{T}_2 \succ \tilde{T}_1 , \qquad (5)$$

де $\tilde{T}_k$ – умовна позначка k-тої оцінки шкали;

$\succ$ – позначка переваги однієї оцінки над іншою.

Враховуючи умову (5) та результати досліджень [6; 8], можна дійти висновку, що найбільш прийнятним для встановлення коефіцієнтів бажаності оцінок є математичний метод розстановки пріоритетів, відомий також як задача «про лідера» [8; 12-16; 20]. Багатокрокове застосування цього методу, коли на кожній наступній ітерації значення коефіцієнтів бажаності уточнюються, дозволило отримати відповідні результати, яки ілюструє рис. 2. Для подальшого застосування вибираємо значення коефіцієнтів бажаності оцінок, що були отримані на 4–тій ітерації, оскільки в такому випадку отримуємо максимальну їх диференціацію при прийнятій точності обчислень.

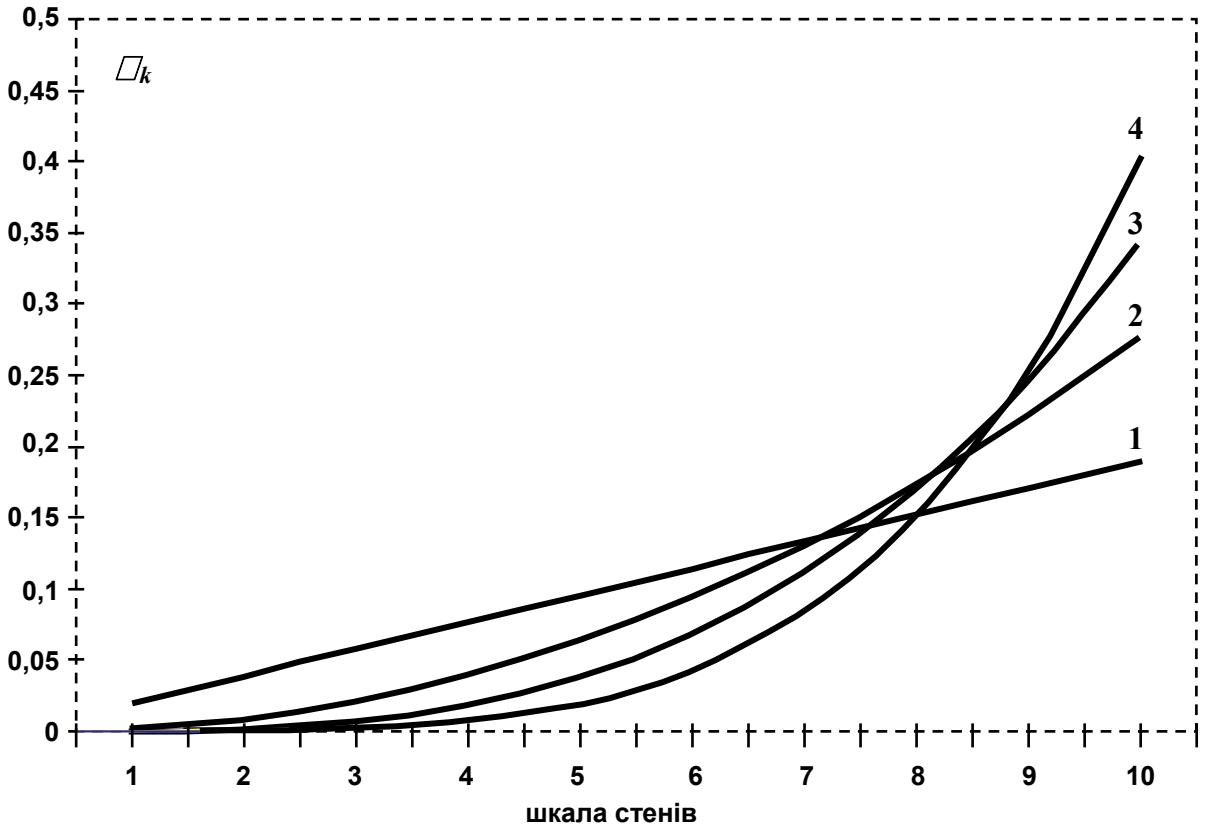


Рисунок 2. Динаміка ітераційних уточнень значень коефіцієнтів бажаності оцінок шкали стенів: №№ 1 – 4 – номери ітерацій застосування методу розстановки проритетів

Для ілюстрації ефективності запропонованої процедури системно-інформаційної кваліметрії узагальненої компетентності тих, хто навчається, розглянемо таки приклад.

Нехай маємо двох студентів, яки отримали по окремих компетенціях однакові сумарні оцінки відповідної компетентності (табл. 1).

Таблиця 1. Ілюстрація ефективності застосування коефіцієнтів бажаності бальних оцінок та застосування мультиплікативного підходу для визначення інтегрального показника компетентності студентів

Оцінювана компетенція, k	Результати оцінювання компетентності			
	Студент А		Студент Б	
	бальна оцінка по шкалі стенів	коефіцієнт бажаності оцінки, $\alpha_{\tilde{T}_k}$	бальна оцінка по шкалі стенів	коефіцієнт бажаності оцінки, $\alpha_{\tilde{T}_k}$
Операційно-технологічна	6	0,0486	10	0,4029
Соціальна	5	0,0229	7	0,0921
Когнітивна	9	0,2606	9	0,2606
Мотиваційна	6	0,0486	4	0,0092
Поведінкова	6	0,0486	4	0,0092
Етична	7	0,0921	5	0,0229
□	39	0,5214	39	0,7969
Середнє значення узагальненої компетенції	6,5	0,0869	6,5	0,1328
Середнє геометричне значення узагальненої компетенції	–	0,0631	–	0,0515

Отже, дійсно, як можна побачити з табл. 1, студенти продемонстрували нібито однакову сумарну компетентність по сукупності контрольованих компетенцій, оскільки набрали однакову суму балів. Разом з тим, якщо перейти від бальних оцінок шкали стенів до відповідних коефіцієнтів бажаності цих оцінок, то маємо суттєву різницю у показниках узагальненої компетентності випробуваних: демонстрована середня компетентність

студента В майже у півтора рази краща за показники студента А.

Однак, адитивний підхід, що був застосований при обчисленні середніх значень рівнів компетентностей студентів, передбачає можливість компенсації малих значень одних показників компетентностей великими значеннями по іншим. Незрівняно більш обережним є мультиплікативний підхід. Як можна побачити з табл. 1, вже узагальнений показник компетентності студента А, в якості якого ми приймаємо середнєгеометричне занчення частинних показників рівнів компетентностей студентів по досліджуваним компетенціям, має 10% перевагу над відповідним показником для студента В. Отже, йдеться про запобігання так званої помилки І роду, коли або умовно відкидається дійсно прийнятне значення інтегрованого показника компетентності, тобто можливе штучне його заниження.

Висновки. Виходячи з отриманих аналітичним шляхом і поданих нових наукових результатів, вкажемо на такі найбільш важливі положення. Як з позицій системного аналізу, так і з погляду забезпечення ефективних процедур кваліметрії компетентностей студентів надзвичайно важливим є отримання їх інтегрованих оцінок, яким і лише яким притаманна системна властивість емереджентності. В цьому випадку мова йде про вирішення однокрокових задач прийняття рішень з векторним показником ефективності.

Уперше запропоновано і реалізовано процедури кваліметричної оцінки рівнів компетентності студентів по спектру компетенцій, що мають в них формуватися під час навчання в ВНЗ, за допомогою 10-тибальної шкали стенів. Ще більш однорідні оцінки, пристосовані для будь-яких математичних перетворень, булт отримані шляхом привласнення стенам відповідних коефіцієнтів бажаності. Враховуючи природну пріоритетність оцінок шкали зазначені коефіцієнти обчислені за допомогою математичного методу розстановки пріоритетів. Доведено, що найбільш прийнятним для агрегації частинних оцінок компетентностей студентів в узагальнений показник є мультиплікативний підхід, реалізований за допомогою функції бажаності Харінгтона. Надана ілюстрація ефективності пропонованого підходу і його перевагу перед адитивним узагальненням чакстинних оцінок, що дало змогу запобігти прояву помилок І-ІІ роду, тобто ситуація, коли результати демонстрованої узагальненої компетентності або занижаються (помилка І роду), або завищуються (помилка ІІ роду).

Подальші дослідження процесів кваліметрії компетентностей студентів вважаємо за доцільне проводити шляхом адаптації і застосування методів теорії розпізнавання образів для формування кваліфікаційних «масок» для кожної досліджуваної компетенції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tuning Project // http//www/let.rug.nl/TuningProject/index.Htm.
2. Комплекс нормативних документів для розроблення складових системи галузевих стандартів вищої освіти / Міністерство освіти і науки Україні. Інститут інноваційних технологій і змісту освіти. – К. : Ліга Закон, 2008. – 75 с.
3. Шишов, С. Понятие компетентности в контексте качества образования / С. Шишов // Дайджест-парк. – 2002. – №3. - С. 20-21.
4. Пометун, О. І. Компетентнісній підхід – найважливіший орієнтир розвитку сучасної освіти / О. І. Пометун // Рідна школа. – 2005. – №1. – С. 65-69.
5. Тімець, О. В. Формування фахової компетентності майбутнього вчителя географії як обов’язкової складової його професійного розвитку / О. В. Тімець // Науковий вісник Чернівецького національного університету. – Чернівці : Рута, 2007. – Вип. 362. – С. 161-168.
6. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. - Т. 3. Эффективность технических систем / под общ. ред В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.
7. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ : учеб. пособ. / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М. : Высшая школа, 1989. – 367 с.

8. Камишин, В. В. Методи системного аналізу у кваліметрії навчально-виховного процесу: монографія / В. В. Камишин, О. М. Рева. – К.: ІОД НАПН України, 2012. – 270 с.

9. Камишин, В. В. Визначення групової системи переваг учасників навчально-виховного процесу за допомогою медіани Кемені / В. В. Камишин // Освіта та розвиток обдарованої особистості: щомісячний науково-методичний журнал. – К., 2014. – № 3 (22). – С. 55–60.

10. Камишин В. В. Рекомендації та алгоритми управління навчальним процесом з урахуванням основних домінант та рівнів домагань студентів / В. В. Камишин // Освіта та розвиток обдарованої особистості: щомісячний науково-методичний журнал. – К., 2014. – № 4 (23). – С. 52 – 59.

11. Адлер, Ю. П. Планирование єксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 278 с.

12. Блюмберг, В. А. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов / В. А. Блюмберг, В. Ф. Глущенко. – Л.: Лениздат, 1982. – 160 с.

13. Камишин, В. В. Процедура фазифікації / дефазифікації балів шкал оцінювання / В.В. Камишин, О.М. Рева, Л.М. Макаренко, О.М. Медведенко // Електроніка та системи управління: науковий журнал. – К.: НАУ, 2012. - №3 (33). – С.53-62 (164).

14. Камышин, В. В. Совершенствование шкалы Харрингтона для интегральной оценки академической одаренности / В. В. Камышин, А. Н. Рева // Обдаровані діти – інтелектуальний потенціал держави : м-ли Міжнар. наук.-практ. конф., - 26-30 вересня 2013 року, смт. Гаспра, АР Крим. - К.: Інститут обдарованої дитини, 2013. – С. 23-33.

15. Камишин, В. В. Разработка методических рекомендаций для педагогов по интегральной оценке академической и интеллектуальной одаренности обучающихся / В. В. Камышин // Научное обеспечение системы повышения квалификации кадров. – Челябинск: ЧИППКРО, 2013. – № 3–4 (16–17). – С. 108–118.

16. Камышин, В. В. Мультипликативный подход к интегральной оценке уровней учебных достижений студентов в «облегченной» шкале ECTS / В.В. Камышин // Образование личности: науч.-метод. ж, 2014. - № 2. – С. 88-99.

17. Шапиро, Д. И. Принятие решений в системах организационного управления: Использование расплывчатых категорий / Д. И. Шапиро. - М.: Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.

18. Камишин, В. В. Шкали кваліметрії у дидактиці / В. В. Камишин // Освіта та розвиток обдарованої особистості: щомісячний науково-методичний журнал. – К.: 2014. – № 1 (20). – С. 50–60.

19. Анастази, А. Психологическое тестирование: пер. з англ. В 2-х кн. / А. Анастази; под ред. К. М. Гуревича, В. И. Лубовского. – Кн. 1. – М. : Педагогика, 1982. – 320 с.; Кн. 2. – М. : Педагогика, 1982. – 336 с.

20. Берж, К. Теория графов и ее применение: пер. с. франц. / К. Берж. - М.: ИЛ, 1962. – 320 с.

ЕВОЛЮЦІЯ ТЕОРІЇ КОМПЕТЕНЦІЙ: СВІТОВИЙ ДОСВІД

Савіна Г.Г.
Херсонський національний технічний університет, Україна

Вступ. На сьогодні вимоги до високоякісної продукції та якості обслуговування змушують підприємства звернути увагу на стиль виконання роботи, який дозволяє забезпечувати перевагу на ринку. З огляду на це важливу роль в політиці та практиці управління персоналом на підприємстві приділяють компетенціям.

Постановка задачі. З огляду на зростаючу популярність теорії компетенцій, слід зауважити, що загальноприйнятого визначення поняття «компетенція» досі не існує. Невизначеність серед різноманітності підходів до обґрунтування сутності компетенцій турбує як працівників, що є об'єктами компетентністного менеджменту, так і фахівців, що розробляють методи навчання і управління, заснованих на компетенціях. Крім того, у вітчизняній практиці фахівці з управління персоналом часто використовують поняття «компетенція» та «компетентність». Це пояснюється бажанням підкреслити використання прогресивних навчальних методів та сучасних управлінських інструментів. Однак, відсутність чіткого розуміння різниці між зазначеними поняттями унеможливлює прийняття адекватних управлінських рішень, а відтак – знижує ефективність використання персоналу. Доцільно сутність понять «компетенція» та «компетентність» розглянути в їхньому еволюційному розвитку.

Результати дослідження. Найбільшого розвитку та практичної реалізації теорія компетенцій досягла у країнах з розвинутою економікою, що обумовлено посиленням ролі персоналу у системі резервів підвищення ефективності виробництва за умов стрімкого зростання науково-технічного прогресу. У закордонних наукових публікаціях широко представлено три підходи до визначення понять «компетенція», а саме:

- американський (поведінковий);
- європейський (функціональний);
- цілісний (конструктивістський).

Часто з метою адаптації до умов соціально-економічного середовища застосовують інтегрований підхід.

Американський підхід спрямований на виявлення поведінкових характеристик компетенції. У межах даного підходу досліджують особистісні риси, які визначають успішність діяльності [1].

Фундаментальними є дослідження Р. Уайта [2], який застосував поняття «компетенція» для опису особливостей індивідуальності, які пов'язані з ефективним виконанням роботи та високим рівнем мотивації. Послідовник даного підходу Макклелланд [3] розробляв тести, що дозволяли прогнозувати ефективність у роботі на протилежність тестам інтелекту, внаслідок чого ним було описано характеристики, властиві найкращому виконанню роботи як «компетенції» та апробовано цей підхід у консалтинговій фірмі Hay McBer. Його послідовник Р. Боятцис зробив значний внесок у загальне визначення поведінки успішних керівників [4]. Дослідження авторів переважно включають визначення поведінки успішних керівників. Підхід, розроблений Макклелландом та Боятцисом, спрямований на досягнення ефективності діяльності та зорієнтований на пошук поведінки, якою не володіє середньостатистичний керівник.

У Великобританії використовують функціональний підхід, що розглядає визначення компетенції відносно властивостей самої діяльності. Тобто досліджують головні елементи діяльності, які повинні бути виконані, щоб результат, який задовольняє вимогам, вважати досягнутим. У даному випадку працівники виявляють компетентність настільки, наскільки їх діяльність досягає чи перевершує описані стандарти.

Англійський підхід до проблеми компетенцій з'явився як відповідь на незадовільну підготовку менеджерів у 80-ті роки та позначився на створенні відповідних стандартів.

Англійська школа компетенцій спрямована на вивчення характеристик діяльності та їх виконання.

На відміну від англійської школи, американська зосереджує увагу на працівниках, які виконують цю діяльність.

Протиставлення поведінкового та функціонального підходів так само відоме, як протиставлення компетенції до компетентності, процесу щодо результату, поведінкових компетенцій стосовно професійних [1].

У Франції розробка компетентністного підходу почалася у 1993 р., коли національне бюро працевлаштування ANPE (Agence nationale l'emploi) вирішило змінити кваліфікаційний довідник та описати кваліфікаційні вимоги з використанням поняття «компетенції». Однак, підприємства різних видів економічної діяльності, не бажаючи миритися з шаблоном даного довідника, прийняли систему індивідуальної оцінки компетенцій працівників, що сприяло більш гнучкому опису вимог, але іноді зумовлювало небезпеку системи гарантій зайнятості населення.

Значною мірою право громадян Франції на незалежну оцінку компетенцій (bilan de competences), що було прийнято у 90-х рр., забезпечило можливість індивідуального розвитку в межах професії.

У Німеччині розвиток компетентністного підходу має більш цілісний індивідуально-орієнтований характер. Разом із особистісними та соціальними компетенціями розглядають предметні та професійні, що обумовлює створення універсальної теорії компетентнісного навчання.

Значним проривом у розвитку теорії компетенцій стало використання конструктивістського підходу (constructivist approach). Це дозволяє вирішити задачу пошуку досконалого визначення компетенції, враховуючи можливість існування декількох взаємодоповнюючих визначень. Конструктивістський підхід не спрямований на опис поняття, сутність якого дуже важко зрозуміти. У даному випадку науковці намагаються зосередити увагу на індивідуальних ситуаціях та потребах задля побудови життєздатного визначення поняття «компетенція». Конструктивістське бачення компетентнісного навчання повинно допомагати використовувати наявні знання, вміння, компетенції під час вирішення нових проблем у нових умовах. Процес використання набутих компетенцій в ситуаціях, мало схожих з ситуаціями, для яких ці компетенції призначалися, прийнято називати дальнім перенесенням (far transfer) [1].

Parry розглядає компетенцію як групу знань [5]. Наявність знань, вмінь та навиків ще не роблять людину компетентною. Тільки інтеграція цих елементів в єдине ціле може складати компетентність. Слід зазначити, що в наведеному визначенні компетенція пов'язана з дією в загальному сенсі та не концентрує увагу на досягненні високого рівня її виконання. Прагматизм Parry виявляється в обмеженні кола компетенцій тими, що отримані внаслідок навчання, хоча світовою науковою спільнотою це визначення розглянуте, як доволі зручне для використання на практиці.

Підхід Parry до визначення поняття «компетенція» прагматичним шляхом виявляється у спрямуванні уваги на вимір компетенції. Відмінністю даного визначення є можливість прогнозування поведінки або дії. З наведеного вище визначення виходить, що компетенція має сенс тільки поруч з оцінюванням.

Отже, поняття «компетенція» можна розглядати як якісну характеристику персоналу, що причинно пов'язана з ефективною діяльністю працівника, зорієнтованою на отримання економічного ефекту підприємством та може бути надбана або розвинута шляхом навчання.

На думку Боятциса елементами компетенції можуть бути мотиви, особливості, навики, особисте бачення та соціальна роль. Таким чином автор визначає компетенцію як можливість людини, яка описує, на що людина здатна (але не обов'язково робить) незалежно від ситуації та обставин.

Результатом вивчення та адаптації світового досвіду щодо підходів до понять

«компетенція» та «компетентність» до українських реалій стали численні вітчизняні публікації, у яких вбачається подібність до визначених у закордонних працях думок з цього приводу. Зокрема, у працях Т. Чернової [6] та О. Гури [7] компетентність розглядається як здатність використовувати і поєднувати уміння, знання і навички в умовах виникнення складних непередбачуваних ситуацій, які постійно змінюються. З позиції Л. Семіва [8] компетентність – це спроможність кваліфіковано впроваджувати діяльність, виконувати завдання або роботу. При цьому поняття «компетентність» містить набір знань, навичок і ставлень, що дають змогу особистості ефективно діяти або виконувати певні функції, спрямовані на досягнення певних стандартів у професійній галузі або певній діяльності. О. Обривкіна [9] вважає, що компетентність – це спроможність кваліфіковано здійснювати діяльність у конкретній сфері професійного вектора. Причому важливе значення у даному аспекті відводиться як попередньо набутим теоретичним знанням, так і практичним вмінням та навичкам.

Висновки. Враховуючи наведене вище, можна констатувати, що специфічною здатністю людини ефективно виконувати конкретну діяльність у певній предметній галузі є: вузькоспеціальні знання; предметні навички; способи мислення, відповідальність за свої дії; задані навички (вимога виконувати певні індивідуальні завдання), використання знань та умінь на робочому місці на рівні встановлених вимог (стандартів) до цієї роботи, здатність відповідально виконувати обов’язки і досягати запланованих результатів, знаходити вирішення у нестандартних ситуаціях, застосовувати знання і вміння у нових умовах виробничої діяльності. Отже, набутий світовий досвід розуміння сутності понять «компетенції» та «компетентності» є корисним науковим надбанням для вітчизняних дослідників зазначеної проблематики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стуф. А. Что есть компетенция? Конструктивистский поход как выход из замешательства / А. Стуф, Р.Л. Мартенс, Дж. Дж. ван Мериенбоер / перевод с англ./http://www.ht.ru/press/articles/print/art26.htm.

2. White R. W. Motivation reconsidered: The concept of competence [Text] / by . W. White // Psychological Review. – Vol. 66(5). – Sep. 1959. – P. 297-333 // APA PsycNET: American Psychological Accociation. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://psycnet.apa.org/index.cfm?fa=buy.optionToBuy&id=1961-04411-001.

3. McClelland D. C. Testing for Competence Rather Than for «Intelligence» [Text] / by D. C. McClelland // American Psychologist. – 1973. – Vol. 28. – No. 1. – P. 1-14.

4. Боятцис Ричард. Компетентный менеджер. Модель эффективной работы. Изд-во: «Hippo Publishing Ltd». — 2008.

5. Parry S.B. (1996). The quest for competencies: competency studies can help you make HR decision, but the results are only as good as the study. Training, 33. – P. 48-56.

6. Чернова Т. Ю. Розвиток професійної компетентності заступника директора з навчально-виробничої роботи професійно-технічного навчального закладу: метод. рекомендації / Т. Ю. Чернова. – Хмельницький: ХНУ, 2010. – 98 с.

7. Гура О.І. Психолого-педагогічна компетентність викладача вищого навчального закладу: теоретико-методологічний аспект: моногр. / О. І. Гура. – Запоріжжя: ГУ «ЗІДМУ», 2006. – 332 с.

8. Семів Л. К. Управління персоналом в умовах економіки знань: моногр. / кол. авт.; за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. Л. К. Семів. – К.: УБС НБУ, 2011. – 406 с.

9. Обривкіна О.М. Підвищення педагогічної майстерності викладачів економічного профілю університету: теоретико-прикладний аспект: навч.-метод. посіб. / О. М. Обривкіна. – Ірпінь: Національний університет ДПС України, 2011. – 236 с.

КОМПЕТЕНТНІСНИЙ ПІДХІД ЯК ОСНОВА У ВИВЧЕННІ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ У ВИЩОМУ НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ

Тимощук Ю.В.
Херсонська державна морська академія (Україна)

В даний час тема компетентнісного підходу в системі вищої освіти стає принципово важливою і активно обговорюваною. Це пов'язано з тим, що вона включає нову освітню парадигму, вектор якої спрямований у бік гуманізації.

Цілий ряд чинників зумовлюють актуалізацію компетентнісного підходу в освіті. Сюди можна віднести проблеми навколишнього середовища у зв'язку з переходом до постіндустріального суспільства, динамізм життєвих процесів, колосальне збільшення інформаційних потоків та ін. Зросла професійна мобільність, з'явилися нові професії, змінилися вимоги до них – вони стали більш інтегрованими, менш спеціальними.

У силу цих обставин з'явилася необхідність формування особистості, яка вміє жити в нових умовах. Час диктує якості такої особистості: відповідальність, стресостійкість, творчий потенціал, здатність вживати конструктивні та компетентні дії в різних видах життєдіяльності. Стає ясним, що для успішної професійної діяльності вже недостатньо отримати вищу освіту і на тому зупинитися – виникає потреба поповнювати свої знання, додавати, можливо, інформацією зовсім з іншої області.

Затребуваність концепції компетентнісного підходу у сфері вищої професійної освіти визначили актуальність і мета даної доповіді.

Вважається, що одним з перших компетентнісний підхід запропонував шотландський дослідник Дж. Равен [1], основні поняття в розумінні компетентнісного підходу – компетенція і компетентність.

Існує безліч трактувань цих слів, а саме:

1. словник Webster's Online Dictionary стверджує, що саме слово competence в англійській мові з'явилося до 1590 року ("Competence" was first used in popular English literature: sometime before 1590) [2].
2. в інтернет-енциклопедії Wikipedia.org, створюваної спільними зусиллями багатьох людей, competency трактується як компетенція у вузькому сенсі, а competence - як загальна компетенція, тобто компетентність.
3. В україномовній версії цієї енциклопедії даються такі визначення термінів компетентність і компетенція [3]:

− "Компетентність" (від англ. Competence) – сукупність компетенцій; наявність знань і досвіду, необхідних для ефективної діяльності в заданій предметній області.

− "Компетенція загальна" – це здатність застосовувати знання, вміння, успішно діяти на основі практичного досвіду при вирішенні завдань загального роду, також, певною широкої області;

− "Компетенція професійна" – здатність успішно діяти на основі практичного досвіду, вміння і знань при вирішенні завдань професійного роду діяльності;

− "Компетенція (управління персоналом)" – це особистісна здатність фахівця (співробітника) вирішувати певний клас професійних завдань. В управлінні персоналом частіше під компетенцією розуміють формально описані вимоги до особистісних, професійних та ін. якостей кандидата на вступ або до групи співробітників компанії;

− "Компетенція (юридичний термін)" – сукупність юридично встановлених повноважень, прав і обов'язків конкретного органу або посадової особи; визначає його місце в системі державних органів (органів місцевого самоврядування);

− "Компетенція міжкультурна" – здатність успішно спілкуватися з представниками інших культур;

− "Компетенція ключова" – сукупність конкурентних переваг організації, її головний козир в конкурентній або гіперконкурентній боротьбі.

У Берні на симпозіумі (1996 р.) за програмою Ради Європи було визначено, що для реформ освіти істотним є визначення ключових компетенцій, які повинні придбати навчаються як для успішної роботи, так і для подальшої освіти. Так само було підкреслено, що диплом не може бути гарантією отримання роботи. Багато молодих людей, закінчуючи навчальний заклад, не мають уявлення важливих компетенціях які їм будуть потрібні у майбутньому трудового життя: комунікативна компетенція, здатність працювати в колективі, творчість, допитливість, толерантність [4-9].

Радою Європи та Європейським парламентом у грудні 2006 року був прийнятий список ключових компетенцій, якими повинні володіти молоді європейці: «Вміння спілкуватися рідною та іноземною мовами; математична компетентність і базові компетенції в галузі науки і техніки; IT грамотність; здатність вчитися все життя; соціальні і громадянські компетенції; сенс ініціативи та підприємництва, а також здатність життя в полікультурному світі» [10].

Перераховані компетенції описують набір вимог до випускника освітнього закладу, які дозволять йому або продовжити навчання, або приступити до роботи. Безсумнівно, що сьогодні для реалізації компетентнісного підходу в освіті потрібна опора на міжнародний досвід, з урахуванням необхідної адаптації до традицій і потреб країни.

Теоретико-методологічною основою феномена компетентнісного підходу є роботи провідних зарубіжних та українських вчених з напрямку формування навчальної компетенції: Т.І. Баришнікова, Г.М. Бурденюк, О.Ю. Зверлова, Р.М. Грановська, Ю.А. Конаржевский, Н.Ф. Коряковцева, Є.І. Пасів, Е.С. Полат, М.М. Поташник, Г.К. Селевко, Е.Н. Соловова, Т.Ю. Тамбовкина, Т.Ю. Тернових, А.В. Мареничів, І.А. Зимова, А.В. Хуторський, Н.І. Чернова, О.Н. Щеголева, Б. Оскарсон, У. Тучкова, М.В. Бернавсквя, О.С. Виноградова, Я.Є. Кузнецов, P. Bimmel, G. Neuner, K. Kleppin, S. Neuner, U. Rampillon та ін.

Аналіз літератури з проблеми показує, що компетенція розуміється комплексно, як структура, доданків з різних частин – сукупності знань, умінь і навичок, необхідних для здійснення конкретної професійної діяльності; властивостей особистості; потенційної здатності індивіда справлятися з різними завданнями. К. Кін (K.Keen) образно порівнював компетенцію з пальцями на руці (навички, знання, досвід, контакти, цінності), які координуються долонею і контролюються нервовою системою, що управляє рукою в цілому [11].

Сучасні соціально-економічні умови висувають на перший план спеціальні дисципліни і дослідження в галузі науки, техніки та інноваційних технологій. Інтеграція суспільства стрімко відбувається на всіх рівнях. Вищі навчальні заклади стають центрами наукових досліджень і навчання і відіграють важливу роль у формуванні та розвитку міжнародного науково-освітнього простору.

Компетенції представляють суму знань, умінь і особистісних якостей, які дозволяють людині здійснювати різні дії. Загальні компетенції не є мовними, вони забезпечують будь-яку діяльність, включаючи комунікативну. Комунікативні мовні компетенції дозволяють здійснювати діяльність з використанням мовних засобів.

З аналізу науково-методичної літератури, документів міжнародних організацій стає очевидним, що компетентнісний підхід спрямований: на вільне і творче мислення безпосередніх учасників процесу навчання; на формування знань і умінь, які готують випускника вузу до соціальних умов суспільства; на самостійне добування інформації, формування лідерських якостей.

Компетентнісний підхід в корені міняє традиційне уявлення про підготовку фахівця вищого навчального закладу як про просту передачу йому певної суми знань.

Якість і ефективність підготовки майбутнього фахівця визначається сформованістю компетенцій, в тому числі гуманітарних, які можуть бути забезпечені наявністю мовних, культурологічних, країнознавчих, соціокультурних знань на основі компетентнісного підходу в навчанні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Равен Дж. Компетентность в современном обществе: выявление, развитие и реализация / Пер. с англ. – М.: Когито-Центр, 2002.
2. URL: http://www.websters-online-dictionary.org.
3. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Компетенция.
4. Хуторской А.В. Ключевые компетенции и образовательные стандарты // Интернет-журнал "Эйдос", 2002 (23 апреля). – URL: http://www.eidos.ru/journal/2002/0423.htm.
5. Бермус А.Г. Проблемы и перспективы реализации компетентностного подхода в образовании // Интернет-журнал "Эйдос", 2005 (10 сентября). – URL: http://www.eidos.ru/journal/2005/0910-12.htm.
6. Зимняя, И.А. Ключевые компетенции – новая парадигма результата современного образования.//Интернет-журнал «Эйдос». – URL: http://www.eidos.ru/journal/2006/0505.htm.
7. International Bureau of Education Competency-based approaches. – URL:http://www.ibe.unesco.org/en/communities/community-of-practice-cop/competency-based-approaches.html
8. Hutmacher Walo. Key competencies for Europe // Reportof the Symposium Berne, Switzerland 27-30 March, 1996.Council for Cultural Co-operation (CDCC) a Secondary Education for Europe. Strasburg, 1997.
9. Gordon, G. Halasz, M. Krawczyk, T. Leney, A. Michel, D. Pepper, E. Putkiewicz, J. Wisniewski, Key Competences in Europe: Opening doors for lifelong learners across the school curriculum and teacher education, study undertaken for the Directorate General Education and Culture of the European Commission. – URL:http://ec.europa.eu/education/more-information/moreinformation139_en.htm
10. Keen K. Competence: What is it and how can it be developed? In J. Lowyck, P. de Potter, & J. Elen.(Eds.), Instructional Design: Implementation Issues (111–122). Brussels: IBM Education Center, 1992.
11. Европейская система уровней владения иностранным языком кафедра иностранных языков МФТИ. – URL: http://lang.mipt.ru/articles/european_levels.html.

ФАКТОРЫ И ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ В СИСТЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА

Шарко М.В.
Херсонский национальный технический университет (Украина)

Вступление. Процессы получения, накопления, преобразования и передачи информации изменили парадигму экономического развития от индустриальной к постиндустриальной, в которой знания наряду с природными ресурсами, капиталом и трудом становятся факторами обеспечения конкурентоспособности.

Актуальность исследования. Несмотря на увеличение интереса к формированию политики наращивания интеллектуального потенциала, ее становление и развитие исследованы фрагментарно, вне внимания остаются взаимосвязи обеспечения и функционирования обучения, отсутствуют характеристики условий имплементации системы управления знаниями[1-3].

Постановка задачи. Определение факторов развития компетенций в системе формирования интеллектуального потенциала.

Современное управление – это взгляд на сотрудников как на огромный дополнительный ресурс предприятия, где каждый сотрудник является уникальной творческой личностью, способной самостоятельно решать многие задачи, проявлять инициативу, делать выбор, брать на себя ответственность и принимать решения.

Результаты исследований. Интеллектуальный потенциал включает те виды ресурсов, которые не поддаются традиционным оценкам производства, а порождаются его знаниями персонала. Это понятие включает совокупность компетентностей во всем многообразии их проявления со способностями, необходимыми для обеспечения возможности генерирования новых идей.

Предлагаемая схема процесса реализации интеллектуальных знаний представлена на рис. 1.

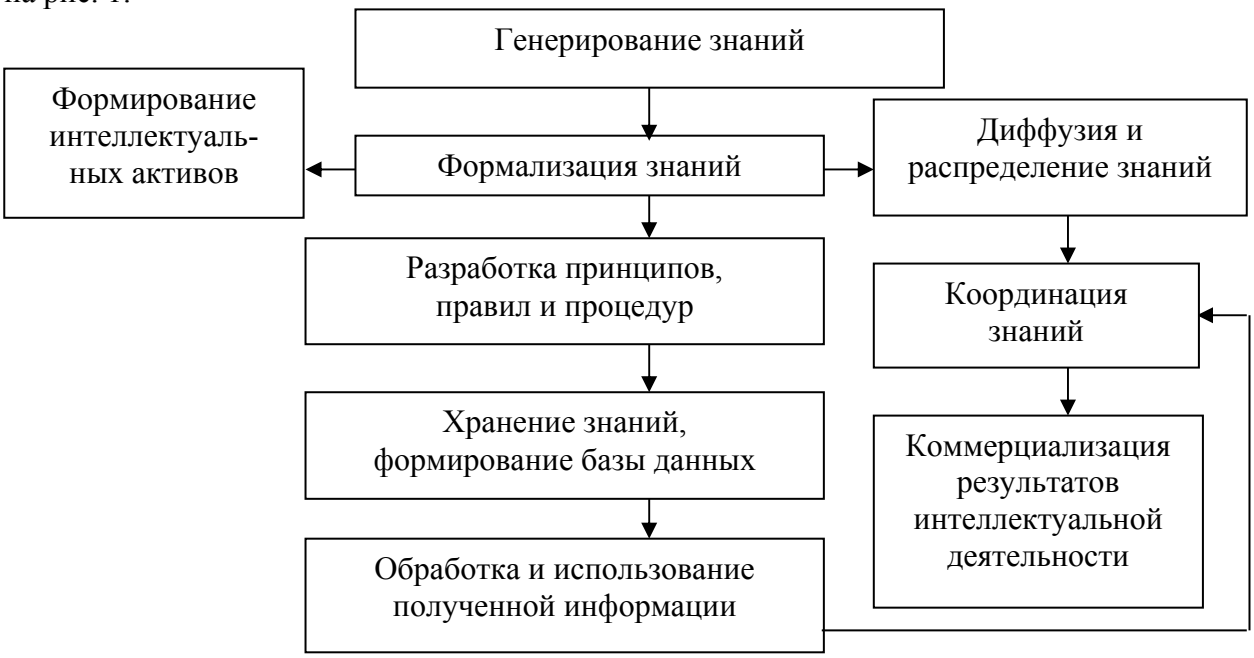


Рисунок 1. Процесс реализации интеллектуальных знаний

Рассмотренная схема иллюстрирует модель обучающего цикла, в большей степени отражающую усвоение конкретного опыта путем наблюдений и размышлений, формирования и образования абстрактных понятий и обобщений.

На основе научно обоснованной структуризации основных положений системы

достижения компетентности персонала, предложена схема взаимосвязей и взаимодействий основных блоков управления знаниями (рис. 2), в основу которой положены причинно-следственные связи определения целевой функции управления – расширение горизонтов знаний.

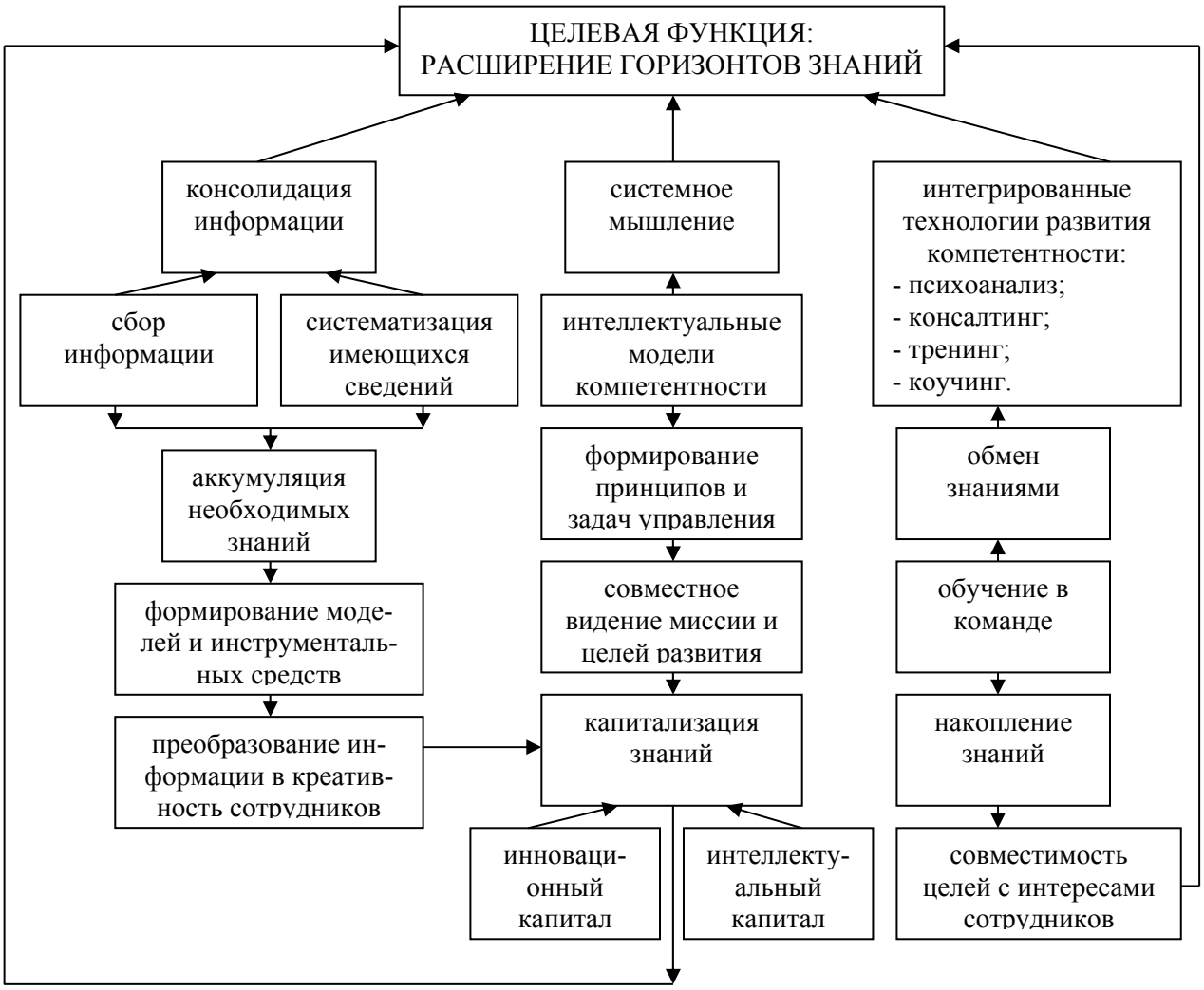


Рисунок 2. Система управления знаниями
для достижения ключевых умений и компетентности

Новизна схемы содержится в новой формулировке задачи – накапливать знания, релевантную информацию, а не разнообразные несистематизированные данные, то есть аккумулировать закономерности и принципы, которые позволяют решать производственные задачи.

Выводы. Результатом такой деятельности будут рекомендации по выбору стратегических альтернатив, мониторинг и анализ результатов управления, формирование новых знаний и компетентности персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Городянська Л.В. Управління інтелектуальним капіталом і забезпечення підприємств інтелектуальними ресурсами / Л.В.Городянська // Актуальні проблеми економіки. - 2008. - № 1. - С. 127-132.

2. Ларичева Г.В. Професійне навчання в аспекті побудови системи управління знаннями / Г.В. Ларичева // Вісник Хмельницького національного університету. - 2010. - № 6 (Т. 2). - С. 76-81.

3. Равен Дж. Компетентность в современном обществе: выявление, развитие и реализация / Дж. Равен. - М.: Когито-Центр, 2002. - 400 с.

ЗМІСТ

ВСТУП 5

ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ТРАНСПОРТІ 6

Акимов А.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ ПРИ СЖИГАНИЕ ВОДОМАЗУТНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ 7
Бабичев С.А., Стрелковская Л.А. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СУДОВЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ 10
Белоусов Е.В. СОЗДАНИЕ ЦИКЛА С КОМБИНИРОВАННЫМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ 12
Боднар Б.Є., Очкасов О.Б., Децюра А.Я., Черняєв Д.В. МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ ЗА НЕРІВНОМІРНІСТЮ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ВАЛУ 19
Гавриленко В.О., Рожков С.О. СИНТЕЗ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ ПРИ КЕРУВАННІ АВТОНОМНИМИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ 21
Гнатов А.В., Барбашова М.В., Сабокарь О.С. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ БЕСКОНТАКТНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ 28
Гребенчак Ю.М. ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ МЕТАЛУ ПАРОВИХ ТУРБІН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРЕТИНГ-УТОМИ 33
Данык В.В., Ищенко И.М. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ СИНХРОННО-АСИНХРОННЫЙ ПРИВОД ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СУДОВ С ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЕМ 35
Дулдієр О.П., Чепаліс І.В., Баденюк Д.А. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ СИСТЕМ З ОРГАНІЧНИМ ТЕПЛОНОСІЄМ 39
Єнчев С.В., Олалі М.О., Олалі Н.В. ВИКОРИСТАННЯ ВІБРОМЕТРІЇ В ЗАДАЧАХ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНИХ ГТД 41
Самарін О.Є. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НОЖІВ РІЗАЛЬНОГО АПАРАТУ 45

ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ТРАНСПОРТІ, НЕТРАДИЦІЙНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ 48

Акимов А.В. КОНТАКТНЫЙ НАГРЕВ ВОДЫ УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ В ГАЗОВЫХ КОТЛАХ 49
Аппазов Э.С., Клюев О.И., Русанов С.А., Луняка К.В. РЕШЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ТВЕРДОЕ ТЕЛО – ЖИДКОСТЬ ДЛЯ ПРЕДПУСКОВОЙ ПОДГОТОВКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 52
Богданов В.А., Богданов А.В. ОСОБЕННОСТИ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЗУТА НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ 54

Горобец В.Г., Богдан Ю.А. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРОВ УТИЛИЗАЦИИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНАНОВОК НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 57
Груздев В.В., Сторожев В.П. ПРИЧИНЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ОТКАЗОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ 59
Егоров О.И. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ И ДОПУСТИМЫХ ОШИБОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖОСЕВЫХ РАССТОЯНИЙ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ ПРИ ИХ ИДЕНТИФИКАЦИИ 63
Ивановский В.Г., Сиверин В.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕМПФЕРА ДАВЛЕНИЯ В ОТСЕЧНОЙ (ВСАСЫВАЮЩЕЙ) МАГИСТРАЛИ НА РАБОТУ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЕЙ 65
Кожухаренко Р.В. ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЛАВАННЯ ВЕЛИКОТОННАЖНИХ СУДЕН В СКЛАДНИХ НАВІГАЦІЙНИХ УМОВАХ 67
Коробко В.В. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОАКУСТИЧНИХ ТЕПЛОВИХ МАШИН В СКЛАДІ СЕУ 69
Кравченко С.А., Олейник А.К., Ткачук Н.А., Веретельник О.В. РАЗРАБОТКА ВКЛАДЫШЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПА Д100 С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЕНИЯ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ 72
Кухтов В.Г., Знайдюк В.Г. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И НОРМИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МОЛОТИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ 77
Кухтов В.Г., Лысенко С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ КЛИНОРЕМЕННЫХ ВАРИАТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ 82
Малыгин Б.В., Погорлецкий Д.С., Котыло А.В. ИСПЫТАНИЯ НАКЛАДНОГО МАГНИТНОГО АКТИВАТОРА ТОПЛИВА НА АВТОТРАНСПОРТЕ 86
Настасенко В.А. ГИДРОВОЛНОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ РАЗВИТИЯ 89
Овдій В.М. УТОЧНЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ ЧОТИРИТАКТНИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗВОРОТНО-ПОСТУПАЛЬНОЇ ДІЇ 94
Пилатов А.Ю., Вершина Г.А., Горбунов А.В., Ноженко Е.С., Муха О.В., Матус А.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭМИССИИ CO_2 В ГАЗИФИКАЦИОННОМ ЦИКЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЯ В ГАЗИФИКАТОРЕ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ 97
Проценко В.О., Авраменко О.М. НОВІ ПРИСТРОЇ, ЩО ВИКЛЮЧАЮТЬ ПАДІННЯ ВАНТАЖУ ПРИ ОБРИВІ КАНАТА 102
Редчиц Д.А. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА В ВОЗДУХЕ 107
Савчук В.П. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРЕССОВОГО СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ В ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН 112
Самарін О.Є. ВИЗНАЧЕННЯ ВІБРАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН 115
Смотров Е.А., Акшинцев Д.И., Сусленко А.Ю. К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ БАЛАНСИРОВКИ ЛИТИЕВОЙ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ 117
Тищенко А.Ю. МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ БЫТОВЫМ ТВЕТДОТОПЛИВНЫМ КОТЛОМ 121
Ткач М.Р., Тимошевский Б.Г., Проскурин А.Ю., Митрофанов А.С., Познанский А.С. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО ДВС 2Ч 7,2/6 ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОБАВОК СИНТЕЗ-ГАЗА К БЕНЗИНУ 122

Чередниченко А.К. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ВОЗДУШНО-АККУМУЛИРУЮЩИХ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ 125

РОБОЧІ ПРОЦЕСИ, ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ 127

Андрейцев А.Ю., Высоцкая Г.С. СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ 128
Варбанец Р.А., Кучеренко Ю.Н., Кырнац В.И., Шумило А.Н. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ 131
Голиков В.А., Голубев М.В. СУДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ И РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ 136
Горбатюк Є.В., Міщук Д.О., Тетерятник О.А. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНУСНОЇ ФРЕЗИ 140
Гудилко Р.Г. СПЕЦИФИКА ГОРЕНИЯ ЛЕГКОГО И ТЯЖЕЛОГО ТОПЛИВ В СМЕСИ С ВОДОЙ 144
Кругляков А.С., Тищенко Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ НАХОЖДЕНИЯ КРАТЧАЙШЕГО ПУТИ В ОРИЕНТИРОВАННОМ ГРАФЕ 148
Лаврик С.В., Пелевін Л.Є. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ ҐРУНТУ ВІДВАЛОМ ДИНАМІЧНОЇ ДІЇ 150
Литвин С.Н., Манзюк В.Н. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ 6ЧН25/34 152
Малахов А.В., Леонов В.В, Бендеберя Ф.А. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУДОВЫХ ТРОСОВ И ГИБКИХ ТРУБОПРОВОДОВ 154
Малащенко В.О., Федик В.В. АНАЛІЗ ПРИЧИН ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В ОПОРНО-ПОВОРОТНИХ ПРИСТРОЯХ КРАНІВ 157
Маслов В.О. СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ НАСОСІВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ОСВІТЛЕНОЇ ПУЛЬПИ 162
Маслов И.З. АНАЛИЗ ТЕОРИИ СТРУЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ РАЗРЫХЛЕНИЯ ГРУНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ 165
Настасенко В.О. АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ГІПЕРБОЛОЇДНИХ ЧЕРВ'ЯКІВ, СФОРМОВАНИХ ПЛАСКОЮ РЕЙКОЮ ПО НОРМАЛІ ДО ГВИНТОВОЇ ЛІНІЇ ОСНОВНОГО ЧЕРВ'ЯКА 168
Овдій В.М. ЕФЕКТИВНИЙ КРУТНИЙ МОМЕНТ У ЧОТИРЬОХТАКТНОМУ ДВИГУНІ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ 173
Pelevin Leonid, Karpenko Mykola THE HYDRAULIC QUENCER DYNAMIC OSCILLATIONS 175
Проценко В.О., Клементьєва О.Ю. КЕРУВАННЯ ЗВЕДЕНОЮ ЖОРСТКІСТЮ СТАЛЕВОГО КАНАТА ЯК СПОСІБ СИНТЕЗУ ЕФЕКТИВНИХ ПРУЖНО-ДЕМПФУЮЧИХ ЛАНОК МАШИН 180
Самарін О.Є. СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ РЕДУКТОРІВ РІЗАЛЬНО-ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО АПАРАТУ 184
Скирденко О.И. К ВОПРОСУ ОБРАБОТКИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ В МАГНИТНЫХ И В МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫХ ПОЛЯХ 187
Фомін А.В., Тетерятник О.А., Костенюк О.О. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ҐРУНТОРУЙНУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА ЇХ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ 189

Худяков И.В., Алексеев А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАТЯЖКИ МЕМБРАНЫ ОПТОВОЛОКОННОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ НА ЕЕ ГЕОМЕТРИЮ 193
Чаусовский Г.А., Колебанов А.К. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОНЯТЕЛЬНОГО СИГНАЛЬНОГО СТИМУЛА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ 196

ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ І ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ, ЙОГО ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 197

Акимов А.В., Скрипка Г.Л. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ РАБОТЫ КОТЛОВ С УМЕНЬШЕНИЕМ ЭМИССИИ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ 198
Бабій М.В., Настасенко В.О. ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗБІРНИХ ВІДРІЗНИХ РІЗЦІВ З МЕХАНІЧНИМ КРІПЛЕННЯМ БАГАТОГРАННИХ НЕПЕРЕТОЧУВАНИХ ПЛАСТИН 200
Горбов В.М., Митенкова В.С. АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА МЕТОДОВ ОЧИСТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД 204
Кривий П.Д., Дзюра В.О., Тимошенко Н.М., Кривінський П.П. ЙМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ВІДХИЛЕННЯ ВІД КРУГЛОСТІ НА ОСНОВІ ГАРМОНІЧНОГО АНАЛІЗУ І ТЕОРІЇ МАЛОЇ ВИБІРКИ 210
Кривий П.Д., Кашуба Н.П. ФОРМУВАННЯ РЕГУЛЯРНИХ СІТЧАСТИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ НА ПЛОСКИХ РОБОЧИХ ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН 212
Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Продан В.І. ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОЇ ЗОНИ ПІД ВЕРШИНОЮ СВЕРДЛА ПРИ ВИХОДІ З ТІЛА ЗАГОТОВКИ 213
Кривий П.Д., Ляшук О.Л., Тимошенко Н.М., Кривінський П.П. НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТЯГОВОГО ПЛАСТИНЧАСТОГО БЕЗВТУЛКОВОГО ЛАНЦЮГА В ЙМОВІРНОСНОМУ АСПЕКТІ 216
Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М. МОДЕЛЮВАННЯ ПОХИБКИ ФОРМИ ТОНКОСТІННИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРОБЦІ БАГАТОЛЕЗОВИМ САМОНАЛАГОДЖУВАЛЬНИМ ОСНАЩЕННЯМ З ОПТИМАЛЬНИМ ЗАТИСКОМ 218
Матвеев В.В. ABB POWER2 НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ ТУРБОНАГНЕТАТЕЛЕЙ ГЛАВНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ 219
Овчарук О.М., Проценко В.О. РУЛЬОВА МАШИНА З ВАЖІЛЬНИМ ПРИВОДОМ 222
Сеник А.А. НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ЗГОРТНОЇ ВТУЛКИ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ ФОРМИ 225
Тищенко А.Ю. МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ БЫТОВЫМ ТВЕРДОТОПЛИВНЫМ КОТЛОМ 227

НОВІ МАТЕРІАЛИ В СУДНОБУДУВАННІ І СУДНОРЕМОНТІ 232

Алексенко В.Л., Букетов А.В., Браило Н.В., Белошицкий С.А. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 233
Баглюк Г.А., Куровський В.Я. ЗАЛІЗОСКЛЯНІ КОМПОЗИТИ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВА 237
Бень А.П., Сапронов О.О., Букетова Н.М., Лещенко О.В. ФОРМУВАННЯ НАНОКОМПОЗИТІВ З ПОЛІПШЕНИМИ АДГЕЗІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ 241

Биба Є.Г., Лобода П.І., Сухарчук Д.О. СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТУ Ti-TiB-TiC, ОТРИМАНОГО СВС СИСТЕМИ TiH_2 – B_4C 243
Білий Л.М., Зінь Я.І. ВПЛИВ НАНОРОЗМІРНИХ ЧАСТИНОК ЦИНКУ ФОСФАТУ НА КОРОЗІЙНУ ТРИВКІСТЬ АЛКІДНИХ ПОКРИТТІВ 248
Боярська І.В., Савчук П.П., Кашицький В.П. ДО ПИТАННЯ ПРО ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРУВАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ..... 252
Браїло М.В., Красненький В.М., Кобельник О.С., Яцюк В.М. РОЗРОБКА МОДИФІКОВАНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ З ПОЛІПШЕНИМИ АНТИФРИКЦІЙНИМИ ТА АНТИКОРОЗІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ..... 254
Букетов А.В., Скирденко В.О., Редько О.І. ЗАСТОСУВАННЯ ЯВИЩА ЗМОЧУВАННЯ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ З МЕТОЮ ВИБОРУ НАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ 256
Букетов А.В., Акимов А.В., Браило Н.В. ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ФЕНОПЛАСТОВ..... 258
Букетов А.В., Долгов Н.А., Ляшенко Б.А., Рущицкий Я.Я. НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ В АНАЛИЗЕ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 261
Букетов А.В., Кравцова Л.В., Богдан А.П. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОВТОРНО-ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЖЕНИЯХ 263
Гарматюк Р.Т., Чихіра І.В. , Бадищук В.І. ЗАХИСТНІ ПОЛІМЕРКОМПОЗИТНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ 265
Голотенко О.С., Стухляк П.Д., Добротвор І.Г., Карташов В.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НВЧ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБРОБКИ НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ 267
Дзіняк Б.О., Субтельний Р.О., Оробчук О.М., Фуч У.В. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КООЛІГОМЕРИЗАЦІЇ НЕНАСИЧЕНИХ ВУГЛЕВОДНІВ ФРАКЦІЇ C_9 269
Долгов Н.А., Заичко К.В., Бесов А.В., Капишон Л.С. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ В ПЛАЗМЕННОНАПЫЛЕННОМ ПОКРЫТИИ ПРИ ОТСЛОЕНИИ..... 271
Дощенко Г.Г., Штанченко А.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК ДВУОКИСИ КРЕМНИЯ..... 273
Імбірович Н.Ю., Клапків М.Д., Зайчук Н.П. ОСОБЛИВОСТІ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ОКСИДОКЕРАМІЧНИХ ПОКРИТТІВ, СИНТЕЗОВАНИХ НА ОСНОВІ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 276
Малець В.М., Савчук П.П., Кашицький В.П. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ З ВИСОКОДИСПЕРСНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ 279
Маруха В.І., Середницький Я.А. ІН'ЄКЦІЙНЕ ТА ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СПОРУД І БУДІВЕЛЬ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ ПРИ ДІЇ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ..... 281
Миницкий А.В., Сосновський Л.А., Лобода П.И. К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ПОЛНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА УПЛОТНЯЕМОСТИ ЖЕЛЕЗНОГО ПОРОШКА 285
Мисковець С.В., Савчук П.П., Зайчук Н.П. ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПАРИ ТЕРТЯ БРОНЗА-СТАЛЬ В РЕЖИМІ ГРАНИЧНОГО ТЕРТЯ 287
Мініцька Н.В. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФІНІШНОГО ОБРОБЛЕННЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ 290
Мороз К.М., Микитишин А.Г., Митник М.М. ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ, МОДИФІКОВАНИХ КАРБІДОМ КРЕМНІЮ 293
Наговська І.В. ВПЛИВ ВОДНЮ ТА ВУГЛЕЦЮ НА ТЕМПЕРАТУРУ ТОЧКИ КЮРІ ІНВАРНОГО СПЛАВУ Н36 296

Наконечний Ю.І., Ярема І.Т., Колибаб'юк П.В., Антонов А.М., Бутковська Л.С. РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНЬ В ЗАМКОВІЙ ЧАСТИНІ ПЛАСТМАСОВИХ ЛОПАТОК ТУРБОДЕТАНДЕРІВ 298
Одинцов В.В., Корень Е.В. КУБИЧЕСКИЕ ДОДЕКАБОРИДЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОМПОЗИТОВ В СУДОСТРОЕНИИ И СУДОРЕМОНТЕ 299
Прокоп'юк В.А. ВПЛИВ ВОДНЮ НА ПРОЦЕС АТОМНОГО ВПОРЯДКУВАННЯ ТА ТЕМПЕРАТУРНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ЛІНІЙНОГО РОЗШИРЕННЯ СПЛАВУ Н36, ЛЕГОВАНОГО ВУГЛЕЦЕМ 302
Рокицька Г.В., Шут М.І., Рокицький М.О., Січкар Т.Г., Борбіч Ю.О., Гайдай М.Л. УЛЬТРАЗВУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІМЕРОКСИДНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ СИСТЕМИ ПХТФЕ – SnO_2 304
Русинова Н.А. ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТЕРМОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АЛМАЗА И КАРБИДА КРЕМНИЯ И ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 306
Савчук П.П., Давидюк О.І., Швець І.В., Люшук О.М. ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ ЕПОКСИДНИХ СМОЛ 310
Савчук П.П., Кашицький В.П. НАУКОВІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРИБОСИСТЕМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ 312
Садова О.Л., Кашицький В.П., Савчук П.П., Костенко О.Д. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРИБОСИСТЕМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПОЛІНАПОВНЕНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ 321
Самарін О.Є. ВПЛИВ ПОКРИТТЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРУЖИН 325
Сєліверстов І.А., Троцан Г.Н., Сєліверстова С.Р. ОЦІНКА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СКЛЕРОМЕТРІЧИХ ВИПРОБУВАНЬ 328
Смирнов І.В., Кузнецов В.Д., Чорний А.В., Клевцов К.М. ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ ШВІВ ТА ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НАНОПОРОШКІВ 330
Соколов А.Н. НОВЫЙ УЛЬТРАТВЕРДЫЙ МАТЕРИАЛ «ГИБРИДАЙТ»: ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ 334
Тотосько О.В., Левицький В.В. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ ПРИ МОДИФІКАЦІЇ ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ГІДРОУДАРОМ 337
Федоров В.В. ВПЛИВ ВОДНЮ ТА ВУГЛЕЦЮ НА ЗМІЦНЕННЯ ІНВАРНИХ СПЛАВІВ 340
Хлопик О.П., Зінь І.М. ВПЛИВ НЕОРГАНІЧНИХ ІНГІБІТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ПАСИВНОЇ ПЛІВКИ НА МЕХАНІЧНО АКТИВОВАНІЙ ПОВЕРХНІ АЛЮМІНІЮ 341
Шарко А.В., Погребняк И.Ф., Нигалатий В.Д. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ 343
Ярема І.Т., Стухляк П.Д., Наконечний Ю.І., Золотий Р.З., Антонов А.М. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАСТМАСОВИХ ЛАБІРИНТНИХ УЩІЛЬНЕНЬ У ВУЗЛАХ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ 345
Ярема І.Т., Наконечний Ю.І., Буховець В.М., Дячук Д.С., Бутковська Л.С. ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ КУЛЬОВИХ КРАНІВ Ду-50 «GROVE» (ІТАЛІЯ) 347

ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ 348

Акимов А.В., Букетов А.В. МОДЕЛЬ «ИДЕАЛЬНОГО» СТУДЕНТА МОРСКОГО ВУЗА 349
Afanasievska I.O., Syniuk A.O. COMPETENCE GOAL - TEACHING ENGLISH FOR MARINE ENGINEERS 351
Безердян С.І., БілоусоваТ.П., Тулученко Г.Я. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЗМІН ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БАЗИСІВ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ЇХ МОДИФІКАЦІЇ 353
Білоусов Є.В., Ляшкевич А.І. ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ – ШЛЯХ, СПРЯМОВАНИЙ НА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ ОФІЦЕРІВ-МЕХАНІКІВ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ 355
Бобыр В.А. КОМПЕТЕНТНОСТИ ОПЕРАТОРОВ В СУДОВЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЯХ 358
Букетов А.В. ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ПОЕТАПНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ НА КАФЕДРІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТА ЗАГАЛЬНОІНЖЕНЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ 364
Васильченко Г.Ю. ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ В ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ МЕХАНІКИ 373
Гришко Ю.В. КОПМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД ЯК ЗАСІБ ПОДОЛАННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ 377
Дендеренко О.О., Ляшенко У.І. СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ ПРИ ПІДГОТОВЦІ СУДНОВИХ МЕХАНІКІВ ЗАСОБАМИ МІЖДИСЦИПЛІНАРНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ 379
Дубовик Л.П., Кострицький В.Г. ФОРМУВАННЯ ВМІНЬ З ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ У МАЙБУТНІХ СПЕЦІАЛІСТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ 382
Знамеровська Н.П. ГРАФІЧНА ПІДГОТОВКА У КОНТЕКСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ КУРСАНТІВ (СТУДЕНТІВ) 387
Красновська І.П. ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ 392
Litikova O.I. COMMUNICATIVE METHOD IN COMPETENCY-BASED TEACHING OF MARITIME ENGINEERING ENGLISH 395
Малыгин Б.В. О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИКЛАДНОГО МАГНЕТИЗМА 397
Огиенко М.Д. ОСОБЕННОСТИ АНГЛИЙКОГО МОРСКОГО ЯЗЫКА 400
Ohorodnyk N. DEVELOPMENT OF COMPETENCY-BASED ENGLISH COURSE FOR FUTURE MARITIME SPECIALISTS 402
Пильщик С.В. СУЧАСНІ КОМУНІКАТИВНІ СТРАТЕГІЇЇ ЯК СКЛАДОВА КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ 404
Проценко В.О., Настасенко В.О. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ СУДНОВИХ МЕХАНІКІВ 406
Разлівінських Ю.О. ДО ПИТАННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ВИКЛАДАЧІВ ПРОФЕСІЙНОГО НАВЧАННЯ ВОДІЇВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ 408
Рева О.М., Борсук С.П., Шульгін В.А., Насіров Ш.Ш. ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ВАГИ ДИСПЕТЧЕРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ З ПОЗИЦІЙ ЇХ СТАВЛЕННЯ ДО РИЗИКУ 411

Рева О.М., Камишин В.В. ПРОБЛЕМИ СИСТЕМНО-ІНФОРМАЦІЙНОЇ КВАЛІМЕТРІЇ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ОЦІНКИ КОМПЕТЕНТНОСТІ ТИХ, ХТО НАВЧАЄТЬСЯ 414
Савіна Г.Г. ЕВОЛЮЦІЯ ТЕОРІЇ КОМПЕТЕНЦІЙ: СВІТОВИЙ ДОСВІД 420
Тимощук Ю.В. КОМПЕТЕНТНІСНИЙ ПІДХІД ЯК ОСНОВА У ВИВЧЕННІ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ У ВИЩОМУ НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ 423
Шарко М.В. ФАКТОРЫ И ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ В СИСТЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА 426

Відповідальний за випуск *Р.Є. Врублевський, А.В. Букетов*
Технічний редактор *М.В. Браїло*
Друк, фальцювально-палітурні роботи *В.Г. Удов*

Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Ум. друк. арк 24
Підписано до друку 22.09.14 р.
Тираж 100 прим.

Видавництво
Херсонська державна морська академія,
Просп. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000
Тел. 091-32-65-473

Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої
справи до Державного реєстру
ДК №4319 від 10.05.2012