

Міністерство освіти і науки України
Херсонська державна морська академія
Одеський національний морський університет
Національний університет «Одеська морська академія»
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова
Державний університет інфраструктури та технологій
Литовська морська академія (Литовська Республіка)
Akademia Morska w Szczecinie (Республіка Польща)
Batumi State Maritime academy (Грузія)
Крюїнгова компанія «Marlow Navigation» (Республіка Кіпр)

МАТЕРІАЛИ

12-ї Міжнародної науково-практичної конференції

***СУЧАСНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ НА
ТРАНСПОРТІ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЇХ
ОБСЛУГОВУВАННЯ
СЕУТТОО-2021***



Херсон – 2021

Науковий комітет:

Білогуб О.В. – д.т.н., проф., НТУ «ХАІ»;
Білоусов Є.В. – д.т.н., доц., ХДМА;
Варбанець Р.А. – д.т.н., проф., ОНМУ;
Волков В.П. – д.т.н., проф., ХНАДУ;
Горбов В.М. – к.т.н., проф., НУК;
Грицук І.В. – д.т.н., проф., ХДМА;
Гутаревич Ю.Ф. – д.т.н., проф., НТУ;
Даки О.А. – д.т.н., доц., ДІВТ;
Єпіфанов С.В. – д.т.н., проф., НТУ «ХАІ»;
Каграманян А.О. – к.т.н., доц., УДУЗТ;
Клец Д.М. – д.т.н., проф., ХНАДУ;
Колегаєв М.О. – к.т.н., проф., НУ «ОМА»;
Кравченко С.О. – д.т.н., с.н.с., НТУ «ХП»;
Мельник О.В. – к.т.н., доц., ДУІТ;
Монастирський Ю.А. – д.т.н., проф., КНУ
Наглюк І.С. – д.т.н., проф., ХНАДУ;
Парсаданов І.В. – д.т.н., проф., НТУ «ХП»;
Подригало М.А. – д.т.н., проф., ХНАДУ;
Поливянчук А.П. – д.т.н., проф., ХНУ
міського господарства імені О.М.
Бекетова;
Рева О.М. – д.т.н., проф., НАУ;
Рожков С.О. – д.т.н., проф., ХДМА;
Рябуха І.М. – д.п.н., доц., ХДМА;
Сараєв О.В. – д.т.н., проф., ХНАДУ;
Сахно В.П. – д.т.н., проф., НТУ;
Сербін С.І. – д.т.н., проф., НУК;
Симоненко Р.В. – к.т.н., доц., ДП
«ДержавтотрансНДІпроект»;
Сьомін О.А. – к.т.н., доц., ДУІТ;
Тимошевський Б.Г. – д.т.н., проф., НУК;
Ткач М.Р. – д.т.н., проф., НУК;
Тулученко Г.Я. – д.т.н., проф., НТУ «ХП»;
Чередніченко О.К. – д.т.н., доц., НУК;
Шарко О.В. – д.т.н., проф., ХДМА;
Шостак В.П. – к.т.н., проф., НУК;
Шумило О.М. – к.т.н., проф., ОНМУ;
Щедролосєв О.В. – д.т.н., проф., НУК;
Klyus Oleh – prof. dr hab. inż, Akademia
Morska w Szczecinie (Республіка Польща);
Podprygora Olena – директор науково-
виробничої компанії «Modern Multi Power
Systems» s.r.o. (Чехія);
Rima Mickienė – Deputy director for
academic affairs at Lithuanian Maritime
Academy (Литовська республіка);
Teona Dzeladze – Ph.D, Associate Professor
Batumi State Maritime academy (Грузія)

Організаційний комітет:

Голова – Василь ЧЕРНЯВСЬКИЙ, ректор ХДМА
Заступники голови – Андрій БЕНЬ, проректор з НІПР ХДМА
Олександр АКИМОВ, в.о. декана факультету суднової енергетики.
Володимир САВЧУК, зав. кафедри експлуатації суднових енергетичних установок.
Вчений секретар конференції – Дмитро ЗІНЧЕНКО, доцент кафедри експлуатації
суднових енергетичних установок.
Технічний секретар – Дар'я КУРНОСЕНКО, завідувач лабораторії кафедри
експлуатації суднових енергетичних установок.

Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 12-а Міжнародна науково-практична конференція, 06-08 вересня 2021 р.
– Херсон: Херсонська державна морська академія.

У матеріалах 12-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» представлені тези, які присвячені проблемам експлуатації, виробництва та проектування енергетичних установок та устаткування на транспорті, а також підготовці спеціалістів у сфері транспортної енергетики й устаткування.

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| СЛОВО ГОЛОВИ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО КОМІТЕТУ КОНФЕРЕНЦІЇ, РЕКТОРА ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ ЧЕРНЯВСЬКОГО ВАСИЛЯ ВАСИЛЬОВИЧА..... | 12 |
| СЕКЦІЯ 1. ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ТРАНСПОРТІ..... | 13 |
| Маулевич В.О., Варбанець Р.А. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ MAN B&W ТИПУ ME З ЕЛЕКТРОННИМ КЕРУВАННЯМ НА НИЗЬКОСІРЧАНОМУ ПАЛИВІ..... | 14 |
| Самарін О.Є., Зінченко Д.О. ЗНИЖЕННЯ ТЕРТЯ У ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВІЙ ГРУПІ КРЕЙЦКОПФНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА..... | 16 |
| Самарін О.Є., Дзигар А.К. ЗАПОБІГАННЯ ЗНОШУВАННЮ ШИЙОК КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ..... | 20 |
| Самарін О.Є., Манжелей В.С. АВТОНОМНИЙ ПОРШНЕВИЙ КОМПРЕСОР..... | 23 |
| Самарін О.Є., Кавун В.І. ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВА ГРУПА ДВОТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ..... | 27 |
| Матвеев В.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАСКАДНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ГХФУ..... | 30 |
| Варбанець Р.А., Залож В.І., Тарасенко Т.В. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН ВНУТРІШНЬОГО ПЛАВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ DEPAS D4.0H..... | 33 |
| Терлич С.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЛІДУ АВІАНЕСУЧОГО СУДНА НА ДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ СУПУТНІХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ..... | 37 |
| Врублевський Р.Є. ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА 6S50MC-C СУДНА ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ..... | 43 |
| Мальчевський В.П., Варбанець Р.А. АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУМІШЕЙ ОЗОНОБЕЗПЕЧНИХ ТА ПРИРОДНИХ | |

| | |
|--|-----------|
| ХОЛОДОАГЕНТІВ У СИСТЕМІ ОХОЛОДЖЕННЯ ПАЛИВА СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ..... | 46 |
| Наговський Д.А., Дощенко Г.Г. НАЛАШТУВАННЯ СУДНОВИХ АВТОМАТИЧНИХ РЕГУЛЯТОРІВ НАПРУГИ UNITROL..... | 47 |
| Барибін М.А., Фалендиш А.П., Клецька О.В., Іванченко Д.А., Джус В.С. ПІДХОДИ ДО НОРМУВАННЯ ПАЛИВА НА ТРАНСПОРТІ..... | 50 |
| Литвин С.М. АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТУ ДВИГУНІВ ЗАСТАРІЛИХ ЧИ МАЛОПОШИРЕНИХ МОДЕЛЕЙ..... | 53 |
| Авраменко Н.Н., Растегина Г.И. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ БЕСЩЁТОЧНЫХ СУДОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В РЕЖИМАХ УПРАВЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОМ МОЩНОСТИ..... | 55 |
| Bulgakov M. Satulov A. INCREASING THE SERVICE LIFE OF SHIP DIESEL INJECTORS..... | 60 |
| Рябушенко О.В., Наглюк І.С., Чжен Івей. АНАЛІЗ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ АВАРІЙНОСТІ ПІСЛЯ ЗНИЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ДОЗВОЛЕНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ УКРАЇНИ..... | 62 |
| Будашко В.В., Шевченко В.А., Марфела Д.І. НАУКОВІ АСПЕКТИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СИНХРОНІЗАЦІЄЮ СУДНОВИХ ГЕНЕРУЮЧИХ АГРЕГАТІВ..... | 66 |
| Бабій М.В., Бусняк М.А. ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК З ОРГАНІЧНИМ ТЕПЛОНОСІЄМ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ..... | 72 |
| Сараєва І.Ю., Воробйов О.М., Себко Д.П. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ..... | 76 |
| Поваляєв С.І., Сараєв О.В. ЕНЕРГЕТИЧНА СКЛАДОВА ПРОЦЕСУ ПЕРЕКИДАННЯ АВТОМОБІЛЯ..... | 80 |
| Дзыгарь А.К., Котов А.И. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОСЕРНИСТЫХ СУДОВЫХ ТОПЛИВ С МОМЕНТА ВСТУПЛЕНИЯ В СИЛУ ОГРАНИЧЕНИЙ ИМО 2020, КОНВЕНЦИИ МАРПОЛ, ДОП. 6..... | 83 |

| | |
|---|------------|
| Курносенко Д.В., Савчук В.П., Бойко М.О., Вислоцький С.С. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАСЛЯНИХ ФІЛЬТРІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ..... | 89 |
| Карпенко В.О., Воропай О.В., Нескреба Е.Є. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОМОБІЛЬНОЇ ШИНИ НА ТРИВАЛІСТЬ СТАРТОВОГО РУХУ.. | 93 |
| Богатчук І.М., Прунько І.Б., Козак Ф.В., Богатчук М.І., Новаківський С.А. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ НОРМ ВИТРАТ ПАЛИВА ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПЕРЕСУВНИХ ПАРОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК ППУА..... | 96 |
| СЕКЦІЯ 2. ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ТРАНСПОРТІ, НЕТРАДИЦІЙНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ..... | 99 |
| Худяков І.В., Грицук І.В., Агєєв М.С., Погорлецький Д.С., Черненко В.В. СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК СУДЕН ЗМІШАНОГО РАЙОНУ ПЛАВАННЯ «РІКА-МОРЕ»..... | 100 |
| Проценко В.О., Маринченко Д.О. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МЕХАНІЗМУ ПЛУНЖЕРНОЇ РУЛЬОВОЇ МАШИНИ YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2..... | 106 |
| Головань А.І., Гончарук І.П. МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КОНТРОЛЮ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОРЕМОНТНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ..... | 109 |
| Щедролюєв О.В. ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ДИЗЕЛЬНИХ НАЛИВНИХ СУДЕН.. | 113 |
| Настасенко В.А., Свиридов В.И., Андреев А.А. ВОДОРОД КАК НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЕ ТОПЛИВО, ПРОБЛЕМЫ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ..... | 115 |
| Горбов В.М., Личко Б.М., Мітєнкова В.С. АНАЛІЗ КОНФІГУРАЦІЇ СУДНОВИХ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК..... | 118 |
| Gorbov V.M., Cherednichenko O.K., Mitienkova V.S. DECREASING CARBON DIOXIDE EMISSION FROM LPG CARRIERS BY APPLICATION OF THERMOCHEMICAL RECUPERATION..... | 121 |

| | |
|--|------------|
| Колебанов О.К., Селіверстова С.Р., Селіверстова Ю.І. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИ СИСТЕМИ НА СУДАХ З ЕЛЕКТРОРУХОМ..... | 124 |
| Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Худяков І.В., Білай А.В. ТЕПЛОВА ПІДГОТОВКА СУДНОВОГО ДВИГУНА ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛООВОГО АКУМУЛЯТОРА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ..... | 128 |
| Коробко В.В., Шевцов А.П. РОЗРОБКА ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ТЕРМОАКУСТИЧНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК..... | 131 |
| Кузнецов В.В. ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОМПАКТНОСТИ СУДОВЫХ УТИЛИЗАЦИОННЫХ КОТЛОВ..... | 135 |
| Король Ю.М., Корнелюк О.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА И CFD МОДЕЛИРОВАНИЯ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЫСТРОХОДНЫХ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ..... | 139 |
| Лебедь О.М. ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ПРИ РОБОТІ СУДНОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ..... | 143 |
| Лебедь О.М. КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ НА СУДОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВКАХ..... | 145 |
| Лебедь О.М. ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ СУДОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК..... | 147 |
| Шарко О.В. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОЦІНКИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСУ ЕЛЕМЕНТІВ ВАЛОВОЇ ЛІНІЇ ТАНКЕРУ..... | 149 |
| Сагін С.В., Матейко О.В. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДЕГАЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ТАНКІВ НАФТОГАЗОВОЗІВ..... | 182 |
| Сагін С.В., Кривий М.О. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАЩЕННЯ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ПІД ЧАС ГРАНИЧНИХ РЕЖИМІВ ТЕРТЯ..... | 154 |
| Сагін С.В., Руснак Д.Ю. ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ ВАЖКИХ ПАЛИВ..... | 157 |
| Сагин С.В., Мадей В.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ДИЗЕЛЯХ..... | 160 |

| | |
|---|------------|
| Сагін А.С., Заблоцький Ю.В. ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ВИСОКОГО ТИСКУ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ..... | 163 |
| Столярик Т.А. УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИМИ ПОТЕРЯМИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ВО ВРЕМЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ..... | 166 |
| Марьянов Д.Н. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ ПЕРЕВОЗКИ БУРИЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ НА СУДАХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РАБОТУ НЕФТЯНЫХ ПЛАТФОРМ..... | 170 |
| Московко О.О. СХЕМА УТИЛИЗАЦІЇ ПОТЕНЦІАЛУ КРІОГЕННИХ ВЕР ПРОЦЕСУ РЕГАЗИФІКАЦІЇ АМІАКУ В СЕУ ТЕРМОАКУСТИЧНИМИ ТЕПЛОВИМИ МАШИНАМИ..... | 174 |
| Котов В.В., Лебедь О.М. КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ХИТАВИЦІ СУДНА..... | 178 |
| Литош О.В. ЕЛЕКТРИЧНІ ВТРАТИ ГЕРМЕТИЧНИХ КОМПРЕСОРНИХ АГРЕГАТИВ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ..... | 180 |
| Коряк О.О. КІНЕМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ШАРНІРА НЕРІВНИХ КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ..... | 183 |
| Жук О.К., Рожков С.О. СИСТЕМИ БЕРЕГОВОЇ ЗАРЯДКИ ДЛЯ АКУМУЛЯТОРНИХ СУДЕН..... | 187 |
| СЕКЦІЯ 3. РОБОЧІ ПРОЦЕСИ, ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ..... | 191 |
| Ткачук М.М., Кравченко С.О., Шуть О.Ю., Ткачук М.А., Грабовський А.В. ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНІ МЕТОДИ ЗМІЦНЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ЕФЕКТИ..... | 192 |
| Белоусов Е.В., Марченко А.П., Савчук В.П., Белоусова Т.П., Рыбальченко Н.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГАЗОПОДАЮЩЕГО МОДУЛЯ НА ПРОЦЕСС ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В МАЛООБОРОТНОМ ГАЗОДИЗЕЛЬНОМ ДВИГАТЕЛЕ..... | 196 |
| Євсєєва Н.О., Курилов М.С., Сухонос Р.Ф. ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА З ГБО ВСТАНОВЛЕННЯМ ВАРІАТОРА КУТА ВИПЕРЕДЖЕННЯ ЗАПАЛЮВАННЯ..... | 201 |

| | |
|---|-----|
| Шалапко Д.О. ВПЛИВ ВОДНЕВИХ ДОМШОК НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА..... | 203 |
| Шумило О.М., Кононова О.М., Бараболя К.Ю. ЗАСТОСУВАННЯ КРИВОЇ ВТОМИ НОВОЇ ФОРМИ ПРИ ОЦІНЦІ МІЦНОСТІ СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ.... | 206 |
| Палагін О.М. ІНЕРЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІД ЧАС РУХУ ВСЕРЕДИНИ ОБ'ЄМУ РІДИНИ, ЩО ПРИЗВОДЯТЬ ДО ПОСИЛЕННЯ ХИТАВИЦІ СУДНА..... | 209 |
| Шульженко О.О., Соколов О.М., Гаргін В.Г., Ніколенко А.С., Стрельчук В.В., Кузьменко Є.Ф., Белявіна Н.М. ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ АЛМАЗНИХ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ КОМПОЗИТІВ ПРИ НРНТ СПІКАННІ АЛМАЗНИХ ПОРОШКІВ З НЕТРАДИЦІЙНИМИ АКТИВУЮЧИМИ ДОБАВКАМИ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ МАТЕРІАЛУ..... | 212 |
| Ивченко Т.И., Смирнов И.В., Лопата А.В., Лопата Л.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ..... | 217 |
| Курносенко Д.В., Савчук В.П., Тулученко Г.Я., Білоусова Т.П. ПРО МОЖЛИВОСТІ МОНОТОННОЇ ПОЛІНОМІАЛЬНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ВТРАТ НАПОРУ В ТРУБОПРОВОДІ..... | 220 |
| Савчук В.П., Зінченко Д.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МОТИЛЕВИХ ПІДШИПНИКІВ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА З ВИКОРИСТАННЯМ МАСТИЛ РІЗНИХ ІНДЕКСІВ В'ЯЗКОСТІ SAE..... | 223 |
| Коновалов Д.В., Кобалава Г.О., Максимов В.І., Хаджадж Ю.М. ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ СУДНОВИХ МАЛООБЕРТОВИХ ДВИГУНІВ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕРМОПРЕСОРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ..... | 226 |
| Кобалава Г.О., Коновалов Д.В., Карпов М.О., Адамович Є.В. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ В ТЕРМОПРЕСОРІ СИСТЕМИ ПРОМІЖНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ КОМПРЕСОРІВ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК..... | 230 |
| Єгоров П.А., Шарапата А.С. ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІЇ ЗМІНИ У ЧАСІ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО ДІЮТЬ НА БАЛКОПОДІБНІ ЕЛЕМЕНТИ КОНСТРУКЦІЙ, ЗА НЕТОЧНИМИ ВИХІДНИМИ ДАНИМИ..... | 234 |

| | |
|---|------------|
| СЕКЦІЯ 4. ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ І ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ, ЙОГО ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ..... | 238 |
| Швиденко І.К., Рященко О.І. ЗАСТОСУВАННЯ ГІС/ДЗЗ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНКИ НАФТОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ У ЧОРНОМУ МОРІ..... | 239 |
| Шарко О.В., Марасанов В.В., Алексенко В.Л., Степанчиков Д.М., Шарко А.О. АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИЙ СПОСІБ КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ НАЯВНОСТІ ЗАХИСНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ..... | 243 |
| Український Є.О., Українська Т.А., Захаренко Н.С., Грицук І.В. ОСОБЛИВОСТІ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У ЗМІННИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ..... | 246 |
| Кравцова Л.В., Камінська Н.Г. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ У ДОСЛІДЖЕННІ КІБЕРБЕЗПЕКИ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ.... | 250 |
| Агеев М.С., Лопата В.Н., Скалига Н.Н., Соловых Е.К. РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ БЫСТРОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ..... | 254 |
| Погорлецький Д.С. ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ..... | 257 |
| Зайцева Т.В., Кравцова Л.В., Безбах О.М., Волошинов С.А. ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РОЗВ'ЯЗУВАННІ ЗАДАЧ З КУРСУ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУДЕН..... | 259 |
| Булгаков М.П., Дерменжи М.П. ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТУ AVL BOOST У ДОСЛІДЖЕННЯХ ТА НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ..... | 264 |
| Курносенко Д.В., Савчук В.П., Акімов О.В., Котов А.І. ПРИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОВНОПОТОЧНИХ МАСЛЯНИХ ФІЛЬТРІВ ТИПУ SPIN-ON ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ СИСТЕМ МАЩЕННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ..... | 266 |

| | |
|---|------------|
| СЕКЦІЯ 5. ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ..... | 270 |
| Рева О.М., Камишин В.В., Сагановська Л.А. ПРАПОР КАТАСТРОФ «ГІСТЕРЕЗИС» ЯК МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗВИТКУ / РУЙНАЦІЇ ЗНАНЬ, УМІНЬ, НАВИЧОК..... | 271 |
| Ben A.P., Nosov P.S., Zinchenko S.M. FORMAL-LOGICAL APPROACHES TO DESCRIPTION OF HUMAN FACTOR INFLUENCE ON THE VESSEL CONTROL..... | 274 |
| Ponomaryova V.P., Dyagileva O.S., Nosov P.S. APPROACHES TO THE AUTOMATION OF MARITIME EDUCATIONAL PROCESSES PLANNING SYSTEM. | 277 |
| Mariia Masonkova, Olena Dyagileva, Pavlo Nosov. DEVELOPMENT OF THE IDENTIFICATION SYSTEM OF CADETS' QUALIFICATION CHARACTERISTICS REGARDING STAKEHOLDER REQUIREMENTS..... | 280 |
| Кісєтов Ю.В., Кукліна О.Ю. ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ 3D МОДЕЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ СЕУ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ..... | 283 |
| Шарко М.В., Любчук О.К. ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ І ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ В ТУРИЗМУ..... | 286 |
| Мосін М.С. ОРГАНІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТЮ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ..... | 288 |
| Аппазов Е.С., Круглий Д.Г., Бушуєв П.І., Кузьменко П.Л. ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ІНТЕРАКТИВНИХ СИСТЕМ –ГОЛОВНИЙ ЧИННИК ПРИ ПІДГОТОВЦІ ВИСОКОКВАЛІФІКОВАНИХ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ..... | 291 |
| Васильченко Г.Ю., Знамеровська Н.П., Татарінцева Ю.Г. ФОРМУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ КОМПЕТЕНЦІЙ ФАХІВЦІВ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК В ПРОЦЕСІ ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ В ДИСТАНЦІЙНІЙ ФОРМІ..... | 293 |
| Волошинов С.А., Попова Г.В. ОЦІНКА ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ МОРСЬКИХ ФАХІВЦІВ ЗАСОБАМИ VR-ТЕХНОЛОГІЙ..... | 297 |
| Волкова А.С. СИМУЛЯТОР ЯК ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ НАВЧАННЯ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ МОРСЬКОЇ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ..... | 300 |

| | |
|--|-----|
| Акімов О.В., Нагрибельний Я.А, Барильник-Кураков І.Л., Кухтіна В.П. ПРІОРИТЕТНІ ОБЛАСТІ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ ПРОГРАМНИХ ЗАХОДІВ РЕАГУВАННЯ НА ПАНДЕМІЮ COVID-19 ТА ХРОНІЧНІ ПРОБЛЕМИ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І ТОРГІВЛІ КРАЇН, ЩО РОЗВИВАЮТЬСЯ..... | 305 |
| Богдан Ю.О., Богомолова І.В., Сатулов А.І. МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕСТУВАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ В МЕЖАХ ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 307 |
| Знамеровська Н.П., Васильченко Г.Ю., Татарінцева Ю.Г. ПРОБЛЕМИ ІНЖЕНЕРНО-ГРАФІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ ІНЖЕНЕРІВ –МЕХАНІКІВ. | 310 |

СЛОВО ГОЛОВИ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО КОМІТЕТУ КОНФЕРЕНЦІЇ, РЕКТОРА ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ ЧЕРНЯВСЬКОГО ВАСИЛЯ ВАСИЛЬОВИЧА

Шановні колеги!

Збірка тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» (СЕУТТОО – 2021) – це результат спільних зусиль провідних науковців та їх молодих послідовників, які об'єдналися для аналізу сучасного стану й тенденцій розвитку транспортної енергетики.

Ефективність роботи транспортної галузі є необхідною складовою сталого розвитку, адже транспорт забезпечує рух товарно-матеріальних потоків, підтримує мобільність робочої сили, задовольняє потреби населення в перевезеннях і, таким чином, сприяє соціально-економічному поступу як окремих країн, так і світового господарства в цілому. У зв'язку з цим дедалі актуальнішими стають наукові дослідження у сфері виробництва й використання енергетичних установок на транспорті. Підвищення рівня енергетичної безпеки, досягнення державної енергонезалежності, підготовка фахівців, здатних якісно обслуговувати складне обладнання в умовах постійних науково-технічних змін, – ці та інші проблеми потребують всебічного аналізу й серйозного наукового пошуку.



Херсонська державна морська академія щороку збирає науковців для обговорення новітніх розробок у сфері проектування, виробництва й експлуатації транспортних енергетичних установок. Об'єднані зусилля фахівців із різних країн сприяють інтелектуалізації транспортної енергетики, підвищенню екологічності й безпечності енергосистем. Завдяки цьому заходу зміцнюється співробітництво між науковими установами й закладами освіти, виникають нові творчі зв'язки, молодь долучається до найбільш актуальних досліджень у транспортній галузі.

Програма конференції включає пленарне засідання і роботу в секціях, де обговорюються питання експлуатації енергетичних установок і допоміжного обладнання, проблеми енергозбереження і створення нетрадиційних енергетичних систем, особливості робочих процесів, динаміки та міцності транспортного і технологічного обладнання, проблеми проектування енергетичних установок, питання щодо підготовки спеціалістів для транспортної галузі.

Переконаний, що розробки, які містяться у цій збірці, допоможуть зробити транспортні енергосистеми більш продуктивними й екологічними, сприятимуть зміцненню науково-технічного потенціалу України та формуванню нової генерації талановитих науковців.

Бажаю усім сил і натхнення, плідної праці та вагомих здобутків!

З повагою, ректор ХДМА

Василь ЧЕРНЯВСЬКИЙ

Секція 1

ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ MAN B&W ТИПУ ME З ЕЛЕКТРОННИМ КЕРУВАННЯМ НА НИЗЬКОСІРЧАНОМУ ПАЛИВІ

Маулевич В.О., Варбанець Р.А.
Одеський національний морський університет, Україна

Вступ. Для флоту, що працює в регіонах Світового океану, з 1 січня 2020 року набули чинності нові вимоги Міжнародної морської організації (ІМО) за вмістом сірки у судовому паливі не більше 0,5% (VLSFO). Ці обмеження та перехід до нових видів палива призвели до ряду проблем пов'язаних, перш за все, з надійною та ефективною роботою дизеля, а по-друге, з реалізацією якісної діагностики технічного стану і параметричного аналізу робочого процесу під час експлуатації.

Актуальність досліджень. Постійною вимогою операторів суден є отримання мінімальних загальних експлуатаційних витрат, і особливо мінімально можливого споживання палива при будь-якому навантаженні і в даних умовах експлуатації, що, в свою чергу, повинно відповідати всім нормам по обмеженню викидів в атмосферу.

Двигуни фірми MAN-B&W серії ME (Electronically controlled), що характеризуються своєю економічністю та надійністю в роботі, представляють собою "інтелектуальний двигун", керування яким здійснюється за допомогою адаптивних автоматичних систем управління усіма вузлами, що дозволяє підтримувати ефективність двигуна та його робочі параметри у зазначених межах. У той же час, при використанні нових видів палива, такі двигуни та їх експлуатаційники стикаються з низкою питань та проблем, рішення яких і присвячена наша робота.

Постановка задачі. Завдання, поставлене діючими вимогами роботи дизельних двигунів на низко-сірчаному паливі, є розробка алгоритмів і вдосконалення правил технічної експлуатації дизельних двигунів на номінальних та часткових режимах, одночасно забезпечуючи високу ефективність та безперебійну роботу.

Результати досліджень. В двигунах серії ME досягнення високоякісного керування досягається завдяки гнучкості та багатофункціональності в роботі всіх систем двигуна, а саме: управління подачею палива та випускним клапаном, турбонаддувом, системою охолодження та змащення циліндрів, гарантуючи при цьому запобігання перевантаженню і виникнення несправностей в роботі.

Використання нових видів палива тягне за собою внесення серйозних коригувань до налаштувальних параметрів робочого процесу та оптимізації роботи двигуна, заміну циліндрового мастила на необхідне лужне число, регулювання параметрів системи охолодження, особливий контроль за очищенням і підготовкою палива. Обов'язковою вимогою, в той же час, є виконання індиціювання в реальному часі та постійний моніторинг параметрів робочого процесу, реалізація частих перевірок стану циліндра-поршневої групи та здійснення контрольних вимірювань зношування, інспекція усіх систем та вузлів, і, при необхідності, організація негайних заходів щодо уникнення серйозних пошкоджень двигуна або його повного виводу з ладу.

Висновки. Проаналізовано особливості експлуатації судових двигунів MAN B&W типу ME з електронним керуванням на низко-сірчаному паливі та визначено оптимальні алгоритми і правила їх технічної експлуатації на номінальних та часткових режимах.

ЛІТЕРАТУРА

1. MAN ME Engine. Operating Manual. – Copenhagen, Denmark 2012. – 607 p.

2. MAN ME Training course. Training documentation. – Copenhagen, Denmark, 2014.
3. MAN Service Letter Collection [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.imo.org/>.
4. MAN Service Experience 2006 – 2019 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.imo.org/>.
5. Lanchukovsky V.I. Safe Operation of Marine Power Plants. Marine Engineering Practice Series. London: IMarEST, 2009. – 155 p.
6. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания / И. В. Возницкий. – М.: Моркнига, 2007. – 284 с.
7. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания / И. В. Возницкий, А. С. Пунда. – М.: Моркнига, 2008. – 470 с.

ЗНИЖЕННЯ ТЕРТЯ У ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВІЙ ГРУПІ КРЕЙЦКОПФНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Самарін О.Є., Зінченко Д.О.

Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Відомо циліндропоршневу групу судового чотиритактного дизеля, що складається з циліндрової втулки, у яку встановлено поршень з компресійними і маслоснімальними кільцями [1]. Недоліком вказаної циліндропоршневої групи є те, що для забезпечення герметичності на поршні встановлена значна кількість компресійних кілець, які створюють тертя між циліндровою втулкою і поршнем, що призводить до втрати потужності і збільшення витрати палива. Для знімання надлишків масла з циліндрової втулки на поршні додатково встановлено маслоснімальне кільце, що також збільшує тертя. При перекладенні поршень періодично притискається до циліндрової втулки нормальною силою, що додатково збільшує тертя між поршнем і втулкою та призводить до збільшення втрат потужності і витрати палива.

Також відомо циліндропоршневу групу судового двотактного дизеля, що складається з циліндрової втулки, у яку встановлено поршень з напрямним штоком [1]. Недоліком циліндропоршневої групи судового двотактного дизеля є те, що для забезпечення герметичності на поршні встановлена значна кількість компресійних кілець, які створюють тертя між циліндровою втулкою і поршнем, що призводить до втрати потужності і зношування циліндрової втулки і компресійних кілець. Крім того, для зменшення тертя компресійні кільця і циліндрова втулка змащуються циліндровим маслом через спеціальну лубрикаторну систему, що збільшує експлуатаційні витрати і трудомісткість обслуговування двигуна.

Актуальність досліджень. Значна частина потужності дизельного двигуна іде на подолання сил тертя, що виникають на третєвих поверхнях. Нацбільші втрати виникають у циліндропоршневій групі, що зумовлено поганими умовами мащення, пов'язаними з високими температурами.

Крім того, при роботі двигуна циліндрове масло вигорає і втрачається, що призводить до його значної витрати [2, 3].

Таким чином, зниження тертя у циліндропоршневій групі крейцкопфного дизельного двигуна є актуальним завданням.

Постановка завдання. З метою зменшення вказаних недоліків пропонується створити таку циліндропоршневу групу крейцкопфного дизельного двигуна, у якій відсутнє тертя між поршнем і циліндровою втулкою, а герметизація зазору між поршнем і циліндровою втулкою забезпечується лабіринтним ущільненням.

Рішення задачі. Поставлена задача вирішується тим, що поршень виконано з верхнього та наступних дисків, кількість яких визначається для конкретного двигуна індивідуально, встановлених у циліндрову втулку з мінімально допустимим зазором, які у верхній частині мають гострі кромки і западини, а у нижній частині – фаски, при чому зазор між фаскою одного диску і гострою кромкою наступного диску значно більша, ніж зазор між диском і циліндровою втулкою.

Виконання поршня з верхнього та наступних дисків, кількість яких визначається для конкретного двигуна індивідуально, дозволяє набирати необхідну кількість дисків так, щоб запобігти прориванню газів у підпоршневу порожнину.

Встановлених верхнього та наступних дисків у циліндрову втулку з мінімально допустимим зазором дозволяє зменшити проникнення газів між дисками і циліндровою втулкою.

Виконання у верхній частині дисків гострих кромок дозволяє відсікати гази від зазору між дисками і циліндровою втулкою і зменшувати потік газів від одного диску до наступного.

Виконання у верхній частині дисків западин дозволяє розташувати камеру згоряння у верхньому диску і порожнини у наступних дисках.

Виконання у нижній частині дисків фаски дозволяє забезпечити прохід газів у порожнини 9.

Виконання зазору між фаскою одного диску і гострою кромкою наступного диску значно більше, ніж зазору між диском і циліндровою втулкою дозволяє направити гази переважно у порожнину.

На рис.1 показано циліндропоршневу групу крейцкопфного дизельного двигуна.

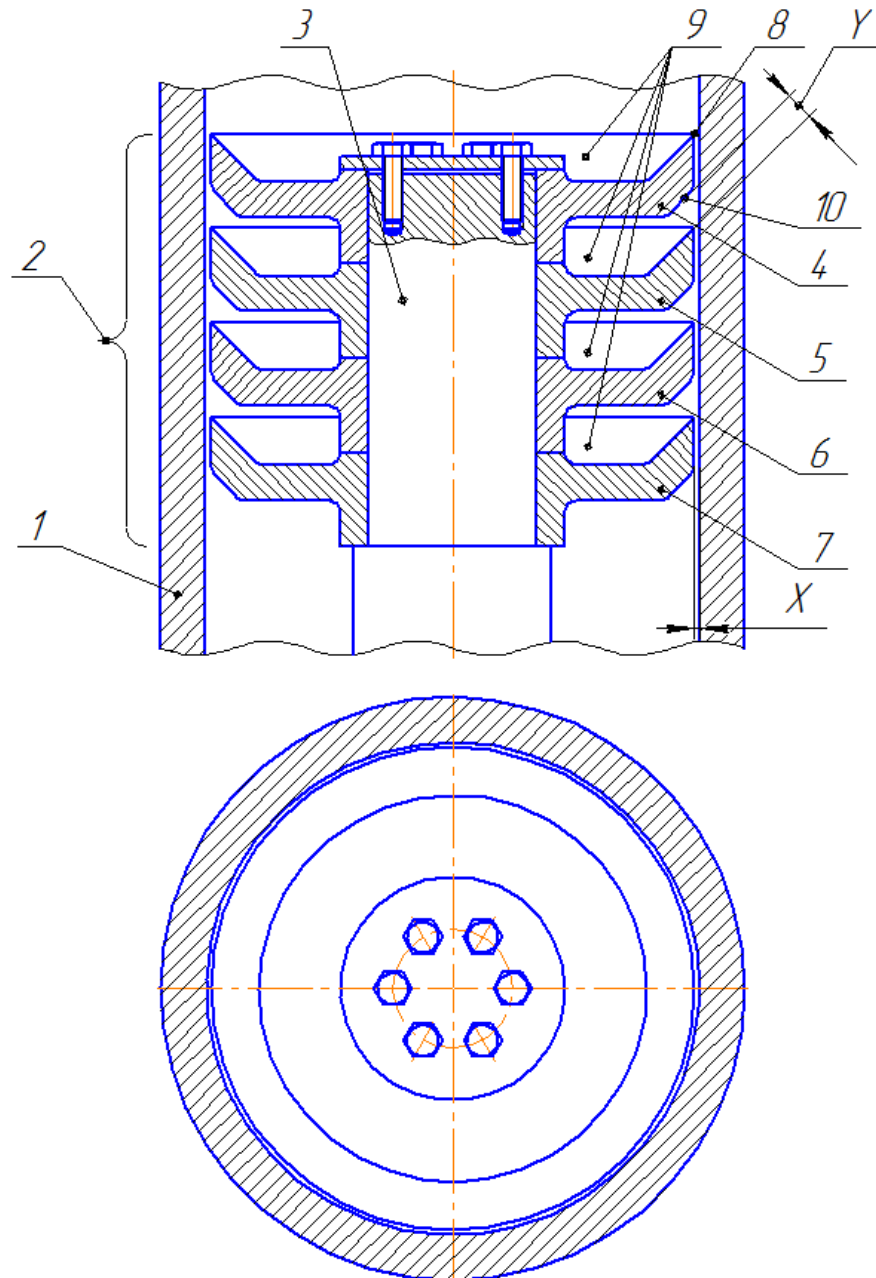


Рисунок 1 – Циліндро-поршнева група крейцкопфного дизельного двигуна: 1 – циліндрова втулка; 2 – поршень; 3 – напрямний шток; 4, 5, 6, 7 – диски; 8 – гострі кромки; 9 – западини; 10 – фаски; X, Y – зазори

Циліндропоршнева група крейцкопфного дизельного двигуна складається з циліндрової втулки 1, у яку встановлено поршень 2 з напрямним штоком 3. Поршень 2 виконано з верхнього 4 та наступних дисків 5, 6, 7, кількість яких визначається для конкретного двигуна індивідуально, встановлених у циліндрову втулку 1 з мінімально допустимим зазором X , які у верхній частині мають гострі кромки 8 і западини 9, а у нижній частині – фаски 10, при чому зазор Y між фаскою 10 одного диску 4 і гострою кромкою 8 наступного диску 5 значно більша, ніж зазор X між диском 4 і циліндровою втулкою 1 [4, 5 6].

Циліндропоршнева група крейцкопфного дизельного двигуна працює наступним чином.

При згорянні палива у циліндровій втулці 1 і западині 9 верхнього диску 4 утворюються гази, які під тиском діють на верхній диск 4 поршня 2. Частина газів через гостру кромку 8 і зазор X між циліндровою втулкою 1 і верхнім диском 4 та зазор між фаскою 10 верхнього диску 4 і гострою кромкою 8 наступного диску 5 проникає у западину 9 наступного диску 5, де тиск газів спочатку падає, а потім піднімається пропорційно до кількості проникаючих через зазори X та Y газів.

При цьому частина газів з меншим тиском і у меншій кількості через гостру кромку 8 і зазори X та Y між циліндровою втулкою 1 і диском 5 проникає у западину 9 наступного диску 6, де тиск газів спочатку також падає, а потім піднімається пропорційно до кількості проникаючих через зазори X та Y газів.

Далі цикл повторюється і гази потрапляють до наступного диску 7 при зменшеному тиску і кількості відпрацьованих газів [7, 8].

У кінці такту випускний клапан відкривається і тиск відпрацьованих газів падає, що припиняє їх проникнення через зазори X та Y .

При відкритті продувних вікон циліндрова втулка 1 і западини 9 заповнюються продувним повітрям, а поршень 2 починає рухатись угору.

При цьому у циліндровій втулці 1 піднімається тиск і частина продувного повітря через гостру кромку 8 і зазори X та Y проникає у западину 9 наступного диску 5, де тиск продувного повітря спочатку падає, а потім піднімається пропорційно до його кількості, що проникає через зазори X та Y .

При цьому частина повітря з меншим тиском і у меншій кількості через гостру кромку 8 і зазори X та Y між циліндровою втулкою 1 і наступним диском 5 проникає у западину 10 диску 6, де тиск повітря спочатку також падає, а потім піднімається пропорційно до кількості проникаючого через зазори X та Y повітря.

Далі цикл повторюється і стиснене повітря потрапляє до наступного диску 7.

Висновки та рекомендації. Підвищене тертя між поршнем і циліндровою втулкою призводить до зменшення механічного ККД дизельного двигуна і його ефективної потужності, що передається до гребного гвинта.

Інтенсивне тертя між поршнем і втулкою збільшує їх зношування, а отже вимагає періодичної зупинки двигуна з метою заміни компресійних кілець і циліндрової втулки, що зменшує ефективність використання дизеля.

Запропонована модернізація дозволяє підвищити ефективність використання дизельного двигуна і зменшити витрати на запасні частини і обслуговування.

Модернізація може бути виконана в умовах виробника двигуна, а встановлена силами машинної команди при виконанні ремонтно-профілактичних робіт на судні.

Запропоноване технічне рішення є універсальним і може бути застосоване на судах з дизельними крейцкопфними двигунами різної потужності.

Застосування модернізованої циліндропоршневої групи усуває тертя між циліндровою втулкою і поршнем, що дозволяє зменшити механічні втрати у двигуні і відмовитись від використання циліндрового масла, що збільшить потужність і довговічність дизеля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Возницкий И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания, том.1: М. Моркнига, 2008. – 283 с.
2. Возницкий И.В. Современные двухтактные малооборотные двигатели. СПб.: Моркнига, 2006.
3. Возницкий И.В. MAN B&W Двигатели модельного ряда МС 50-98. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание. Моркнига, 2008. – 263 с.
4. Пат. 143635 Україна, МПК F16J 1/00, F16J 10/04 (2006/01), F16J 15/44 (2006/01). Циліндро-поршнева група крейцкопфного дизельного двигуна / Самарін О.Є.; заявник і патентовласник Херсонська державна морська академія – № и 2019 00557; заявл. 30.01.20; опубл. 10.08.20, Бюл. №15.
5. Инструкции для дизелей типа 50-98 МС. Компоненты и обслуживание. Издание 8С. Часть 1 MAN B&W Diesel A/S. Копенгаген, Дания – 241 с.
6. Инструкции для дизелей типа 50-98 МС. Компоненты и обслуживание. Издание 8С. Часть 2 MAN B&W Diesel A/S. Копенгаген, Дания – 249 с.
7. Instruction HYUNDAI-MAN B&W Diesel engines operation. 349 p.
Инструкции для дизелей типа 50-98 МС. Эксплуатация. Издание 40С. Часть V,VI MAN B&W Diesel A/S. Копенгаген, Дания – 339 с.

ЗАПОБІГАННЯ ЗНОШУВАННЮ ШИЙОК КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ

Самарін О.Є., Дзигар А.К.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Відомо підшипник ковзання з товстостінними вкладишами, що складається з двох напівкільцевих вкладишів з ребордами, вкритих з внутрішньої сторони антифрикційним шаром [1].

Недоліком вказаного підшипника ковзання є те, що товстостінні вкладиші антифрикційним шаром труться по валу, що призводить до його зношування і необхідності ремонту або заміни. Крім того, товстостінні вкладиші, які тримають свою форму, не рівномірно прилягають антифрикційним шаром до валу, що посилює зношування валу, а також сприяє протіканню масла.

Також відомо підшипник ковзання з тонкостінними вкладишами, що складається з двох напівкільцевих вкладишів пластинчастої форми, вкритих з внутрішньої сторони антифрикційним шаром [2].

Недоліком вказаного підшипника ковзання є те, що тонкостінні вкладиші антифрикційним шаром труться по валу, що призводить до його зношування і необхідності ремонту або заміни.

Актуальність досліджень. Одним з головних елементів двигуна внутрішнього згоряння є його колінчастий вал. Строк служби валу визначається придатністю протистояти зношуванню мотильових і рамових шийок. Для збільшення тривалості роботи валу вал виготовляється з додаванням легуючих присадок або проходить спеціальну термічну обробку. Але, не дивлячись на проведені заходи, шийки валу зношуються і їх необхідно відновлювати або міняти сам вал на новий [3].

Таким чином, зменшення витрат на заміну або ремонт колінчастого валу є актуальним завданням.

Постановка завдання. З метою зменшення вказаних недоліків пропонується створити такий підшипник ковзання, у якому відсутнє тертя між валом і антифрикційним шаром вкладишів при обертанні, що усуває зношування валу у процесі роботи [4].

Рішення задачі. Поставлена задача вирішується тим, що напівкільцеві вкладиші пластинчастої форми антифрикційним шаром сполучаються з муфтою, виконаною з двох напівмуфт з ребордами, в які вкручено з'єднувальні гвинти, при чому зовнішній діаметр муфти дає можливість ковзання по антифрикційному шару напівкільцевих вкладишів пластинчастої форми, а внутрішній діаметр забезпечує жорстке кріплення муфти на валу без можливості повертання [4].

Сполучення напівкільцевих вкладишів пластинчастої форми антифрикційним шаром з муфтою усуває тертя між вкладишами і валом.

Виконання муфти з двох напівмуфт з ребордами, в які вкручено з'єднувальні гвинти забезпечує можливість монтажу муфти на валу.

Виконання зовнішнього діаметру муфти відповідного розміру забезпечує можливість ковзання по антифрикційному шару напівкільцевих вкладишів пластинчастої форми.

Виконання внутрішнього діаметру муфти відповідного розміру забезпечує жорстке кріплення муфти на валу без можливості повертання [4, 5, 6].

На рис.1 показано підшипник ковзання.

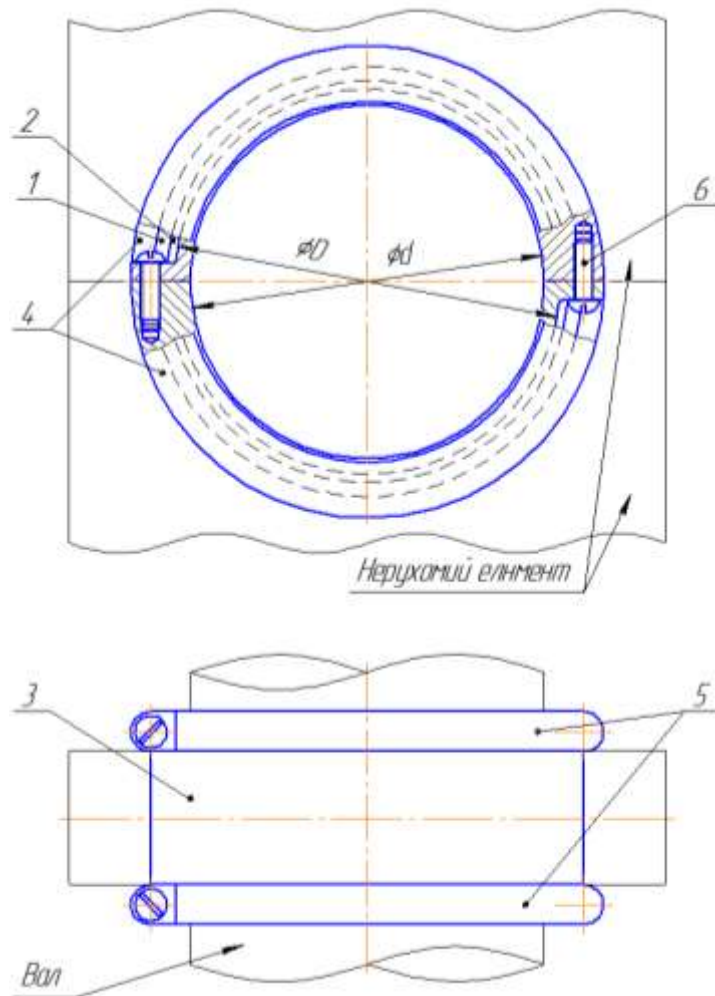


Рисунок 1 – Підшипник ковзання: 1 – напівкільцеві вкладиші пластинчастої форми; 2 – антифрикційний шар, 3 – муфта; 4 – напівмуфта; 5 – реборди; 6 – з'єднувальні гвинти; D – зовнішній діаметр муфти; d – внутрішній діаметр муфти

Підшипник ковзання, що складається з двох напівкільцевих вкладишів пластинчастої форми 1, вкритих з внутрішньої сторони антифрикційним шаром 2, який відрізняється тим, що напівкільцеві вкладиші пластинчастої форми 1 антифрикційним шаром 2 сполучаються з муфтою 3, виконаною з двох напівмуфт 4 з ребордами 5, в які вкручено з'єднувальні гвинти 6, при чому зовнішній діаметр D муфти 3 дає можливість ковзання по антифрикційному шару 2 напівкільцевих вкладишів пластинчастої форми 1, а внутрішній діаметр d забезпечує жорстке кріплення муфти 3 без можливості повертання.

Підшипник ковзання працює наступним чином [4, 7, 8].

Перед застосуванням підшипника ковзання, муфта 3 одягається на вал і в реборди 5 напівмуфт 4 вкручуються з'єднувальні гвинти 6, що, завдяки внутрішньому діаметру d, забезпечує жорстке кріплення муфти 3 на валу без можливості повертання.

Напівкільцеві вкладиші пластинчастої форми 1 з антифрикційним шаром 2 монтуються у нерухомому елементі і одягається на муфту 3, яка, завдяки зовнішньому діаметру D, забезпечує ковзання по антифрикційному шару 2 напівкільцевих вкладишів пластинчастої форми 1.

У процесі обертання вала у нерухомому елементі відбувається поступове зношування напівкільцевих вкладишів пластинчастої форми 1 з антифрикційним шаром 2 і напівмуфт 4 з ребордами 5 муфти 3, які замінюються на нові. При цьому вал, на якому була закріплена муфта

3, і нерухомий елемент, у якому були змонтовані напівкільцеві вкладиші пластинчастої форми 1 з антифрикційним шаром 2 не замінюються.

Висновки та рекомендації. Тертя між підшипниками і шийками колінчастого валу призводить до поступового зношування останніх і зміни їх геометричної форми, що сприяє збільшенню зазорів у з'єднаннях і зменшенню тиску масла у системі мащення.

Це призводить до необхідності заміни як підшипників, так і заміни або ремонту колінчастого валу, що вимагає значних витрат [4].

Запропонована модернізація підвищити строк служби колінчастого валу і зменшить витрати на його відновлення.

Виготовлення складових елементів може бути виконане в умовах виробника двигуна, а їх встановлення може бути здійснене силами машинної команди при проведенні ремонтно-профілактичних робіт на судні.

Запропоноване технічне рішення є універсальним і може бути застосоване на судах з дизельними двигунами різної потужності.

Застосування муфти усуває тертя між вкладишами підшипника ковзання і валом, що запобігає зношуванню останнього і необхідності його ремонту або заміни, а також зменшує витрати на запасні частини і трудомісткість обслуговування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Возницкий И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания, том.1: М. Моркнига, 2008.-283с.
2. Возницкий И.В. Современные двухтактные малооборотные двигатели. СПб.: Моркнига, 2006.
3. Возницкий И.В. MAN B&W Двигатели модельного ряда МС 50-98. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание. Моркнига, 2008. – 263с.
4. Пат. 143639 Україна, МПК F16С 17/00. Підшипник ковзання/ Самарін О.Є.; заявник і патентовласник Херсонська державна морська академія – № u 2020 00563; заявл. 30.01.20; опубл. 10.08.20, Бюл. №15.
5. Инструкции для дизелей типа 50-98 МС. Компоненты и обслуживание. Издание 8С. Часть 1 MAN B&W Diesel A/S. Копенгаген, Дания – 241с.
6. Инструкции для дизелей типа 50-98 МС. Компоненты и обслуживание. Издание 8С. Часть 2 MAN B&W Diesel A/S. Копенгаген, Дания – 249с.
7. Instruction HYUNDAI-MAN B&W Diesel engines operation. 349р.
8. Инструкции для дизелей типа 50-98 МС. Эксплуатация. Издание 40С. Часть V,VI MAN B&W Diesel A/S. Копенгаген, Дания – 339с.

АВТОНОМНИЙ ПОРШНЕВИЙ КОМПРЕСОР

Самарін О.Є., Манжелей В.С.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Відомо поршневі компресор, що складається з циліндра, у якому розташовано компресійний поршень, впускний і випускний клапан, з'єднаний через триходовий кран з повітряним ресивером, що має манометр і запобіжний клапан [1].

Недоліком вказаного поршневого компресора є те, що компресор має додаткові рухомі елементи, наприклад колінчастий вал з підшипниками і шатун, що збільшує масу і габаритні розміри компресора, а також підвищує витрати енергії для його роботи.

Крім того, для приводу компресора необхідно встановити окремих додатковий двигун, який також має додаткові рухомі елементи і на роботу якого також витрачається значна частина енергії.

Актуальність досліджень. Сучасний поршневий компресор має значну кількість рухомих елементів, на нереміщення яких витрачається значна частина потужності привідного двигуна. Крім того, сам привідний двигун має значну масу і рухомі елементи [2, 3].

Скорочення витрат на привід компресора і зменшення його габаритних розмірів і маси є актуальним завданням.

Постановка завдання. З метою зменшення вказаних недоліків пропонується створити такий поршневий компресор, у якому відсутні додаткові рухомі елементи, а циліндр використовується як для приводу компресора, так і для стикання повітря [4].

Рішення задачі. Поставлена задача вирішується тим, що компресійний поршень жорстко закріплено на середній частині штоку, що може рухатись у двох напрямних, встановлених у циліндрі, при чому на обох кінцях штоку закріплено робочі поршні, а на обох торцях циліндру встановлено кришки, на кожній з яких є паливна форсунка, пусковий клапан, з'єднаний через регулюючий клапан і триходовий кран з повітряним ресивером, що має підкачувальний насос, і випускний клапан, з'єднаний з турбіною газотурбокомпресора, компресор якого з'єднано з ресивером продувального повітря і продувними вікнами, виконаними у циліндрі [5].

Жорстке закріплення компресійного поршня на середній частині штоку, що може рухатись у двох напрямних, встановлених у циліндрі, дозволяє забезпечити усмоктування повітря у циліндр і стикання його між поршнем і напрямними з подальшим витисненням його через випускний клапан у повітряний ресивер.

Закріплення на обох кінцях штоку робочих поршнів і встановлення на обох торцях циліндру кришок дозволяє стискати повітря до температури самозаймання.

Встановлення на кожній кришці паливної форсунки дозволяє подавати паливо у циліндр.

Встановлення на кожній кришці пускового клапану, з'єданого через регулюючий клапан і триходовий кран з повітряним ресивером, забезпечує подачу стиснутого повітря у циліндр і запуск однопоршневого компресора.

Встановлення на повітряному ресивері підкачувального насосу дозволяє підняти тиск повітря у ресивері перед запуском однопоршневого компресора до необхідної величини [5, 6].

Встановлення випускного клапану, з'єданого з турбіною газотурбокомпресора, компресор якого з'єднано з ресивером продувального повітря і продувними вікнами, виконаними у циліндрі дозволяє використовувати енергію відпрацьованих газів для роботи газотурбокомпресора і продування циліндру через продувні вікна.

На рис.1 показано поршневий компресор при запуску, на рис.2 показано поршневий компресор у роботі.

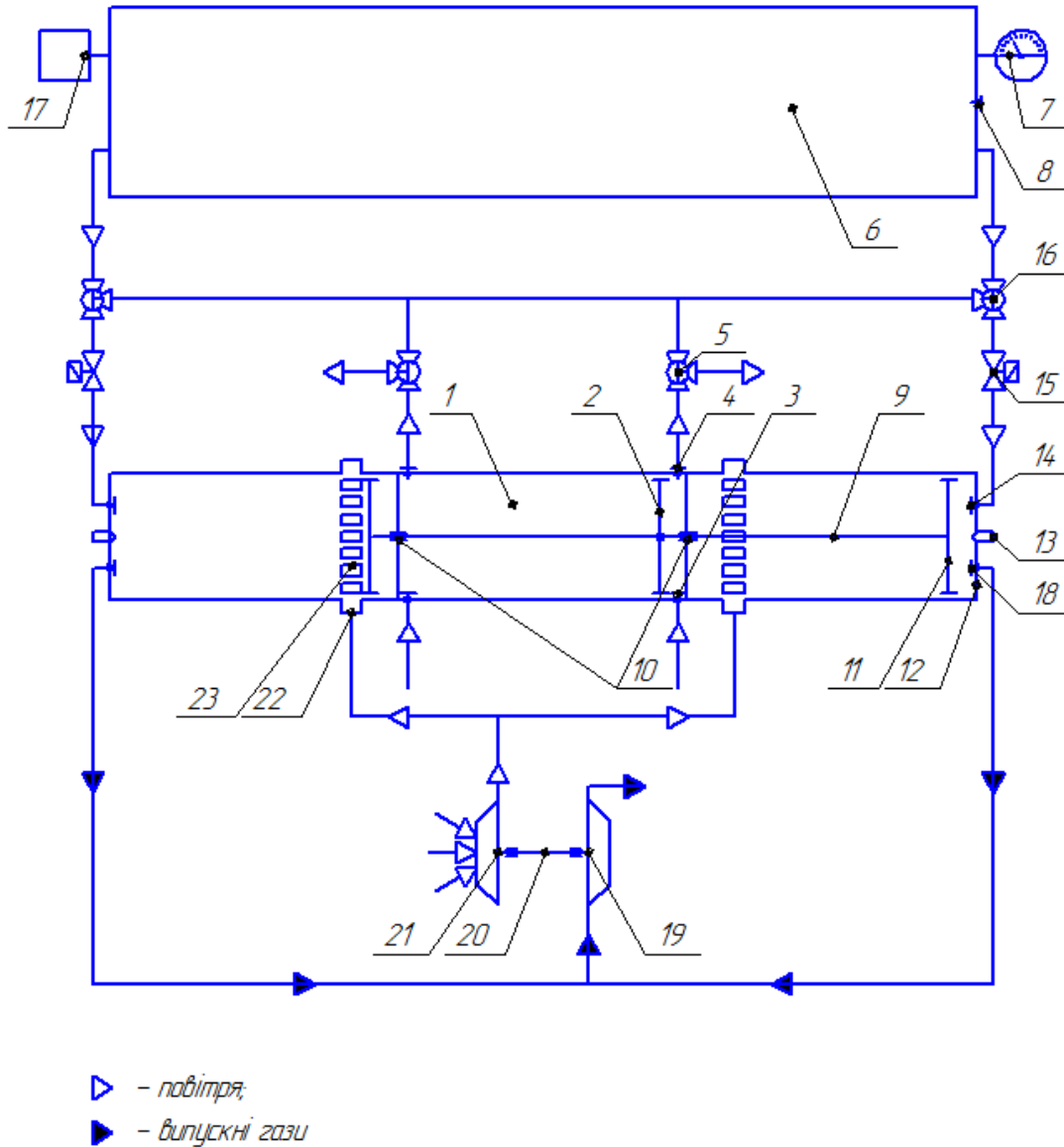


Рисунок 1 – Поршневий компресор при запуску: 1 – циліндр; 2 – компресійний поршень, 3 – впускний клапан; 4 – випускний клапан; 5 – триходовий кран; 6 – повітряний ресивер; 7 – манометр; 8 – запобіжний клапан; 9 – шток; 10 – напрямні елементи; 11 – робочий поршень; 12 – кришка; 13 – паливна форсунка; 14 – пусковий клапан; 15 – регулюючий клапан; 16 – триходовий кран; 17 – підкачувальний насос; 18 – випускний клапан; 19 – турбіна; 20 – газотурбокомпресор; 21 – компресор; 22 – ресивер продувного повітря; 23 – продувні вікна

Поршневий компресор складається з циліндра 1, у якому розташовано компресійний поршень 2, впускний 3 і випускний клапан 4, з'єднаний через триходовий кран 5 з повітряним ресивером 6, що має манометр 7 і запобіжний клапан 8. Компресійний поршень 2 жорстко закріплено на середній частині штоку 9, що може рухатись у двох напрямках 10, встановлених у циліндрі 1, при чому на обох кінцях штоку 9 закріплено робочі поршні 11, а на обох торцях циліндру 1 встановлено кришки 12, на кожній з яких є паливна форсунка 13, пусковий клапан 14, з'єднаний через регулюючий клапан 15 і триходовий кран 16 з повітряним ресивером 6, що має підкачувальний насос 17, і випускний клапан 18, з'єднаний з турбіною 19

газотурбокомпресора 20, компресор 21 якого з'єднано з ресивером продувного повітря 22 і продувними вікнами 23, виконаними у циліндрі 1.

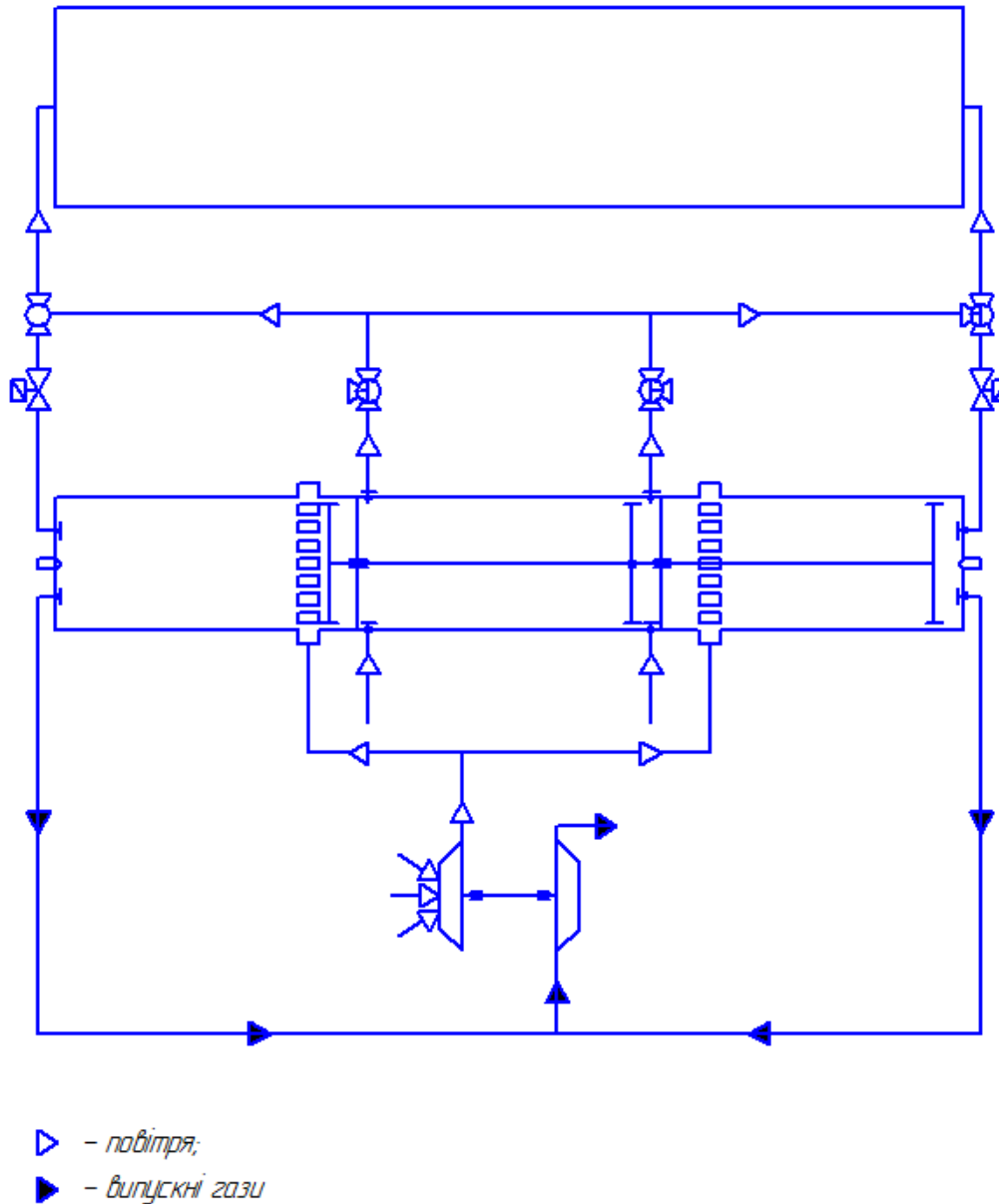


Рисунок 2 – Поршневий компресор у роботі

Поршневий компресор працює наступним чином.

Перед запуском поршневого компресора необхідно перевірити тиск у повітряному ресивері 6 по манометру 7. У разі необхідності, довести тиск у повітряному ресивері 6 до необхідного показника за допомогою підкачувального насосу 17.

Встановити триходовий кран 5 у режим випуску повітря в атмосферу, а триходовий кран 16 встановлюється у режим подачі стиснутого повітря з повітряного ресивера 6 через регулюючий клапан 15 до пускового клапана 14 і циліндра 1 [5, 7].

При подачі пускового сигналу на регулюючий клапан 15 стиснуте повітря поступає до пускового клапана 14 зі сторони одного з робочих поршнів 11, який починає рухатись до свого крайнього положення, яке знаходиться за продувними вікнами 23. При цьому у циліндрі 1 з протилежним робочим поршнем 11 повітря стискається між поршнем 11 і кришкою 12, його

температура піднімається до температури самозаймання і в циліндр 1 через форсунку 13 подається паливо, що займається і тисне на цей поршень 11. Поршні 11 разом зі штоком 9 і компресійним поршнем 2 рухаються у зворотному напрямку. Пусковий клапан 14 автоматично відключається і при досягненні поршнем крайнього положення через форсунку 13 вприскується паливо і цикл повторюється.

Випускні гази через випускний клапан 18 подаються на турбіну 19 газотурбокомпресора 20 і розкручують її разом з компресором 21, який усмоктує повітря і подає його у циліндр 1 через ресивер продувного повітря 22 і продувні вікна 23.

Для гарантованого запуску поршневого насоса повітря з повітряного ресивера 6 подається по черзі зі сторони одного і другого робочих поршнів 11 до тих пір, поки компресор запусниться [5].

Після цього триходовий кран 5 і 16 встановити у режим подачі повітря до ресивера 6. Свіже повітря усмоктується у циліндр 1 компресійним поршнем 2 через впускний клапан 3 і, при зворотному ході після стискання між компресійним поршнем 2 і однією з напрямних 10, витискається компресійним поршнем 2 через випускний клапан 4 у повітряний ресивер 6. При досягненні максимально допустимого тиску у повітряному ресивері 6 відкривається запобіжний клапан 8 і зайве повітря виходить у атмосферу.

Висновки та рекомендації. Усунення значної кількості рухомих елементів зменшує трудомісткість обслуговування компресора і кількість необхідних запасних частин для заміни зношених елементів.

Запропонована модернізація автономності використання компресора.

Новий компресор може бути виготовлений тільки в умовах спеціалізованого виробництва, а змонтований і запущений підготовленими спеціалістами.

Запропоноване технічне рішення є універсальним і може бути застосоване на для різних споживачів стиснутого повітря, а особливо в умовах відсутності електропостачання або як аварійний компресор.

Застосування модернізованого поршневого компресора усуває додаткові рухомі елементи і дозволяє використовувати циліндр як для приводу компресора, так і для стискання повітря, що зменшує габаритні розміри і масу компресора, а також знижує витрати палива на привід.

ЛІТЕРАТУРА

1. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов . - 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.
2. Возницкий И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания, том.1: М. Моркнига, 2008.-283с.
3. Возницкий И.В. Современные двухтактные малооборотные двигатели. СПб.: Моркнига, 2006.
4. Возницкий И.В. MAN B&W Двигатели модельного ряда МС 50-98. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание. Моркнига, 2008. – 263с.
5. Пат. 145015 Україна, МПК F04B 35/00, F16J 1/00, F16J 10/02. Поршневий компресор/ Самарін О.Є.; заявник і патентовласник Херсонська державна морська академія – № u 2020 03921; заявл. 30.06.20; опубл. 10.11.20, Бюл. №21 Инструкции для дизелей типа 50-98 МС. Компоненты и обслуживание. Издание 8С. Часть 1 MAN B&W Diesel A/S. Копенгаген, Дания – 241с.
6. Инструкции для дизелей типа 50-98 МС. Компоненты и обслуживание. Издание 8С. Часть 2 MAN B&W Diesel A/S. Копенгаген, Дания – 249с.
7. Instruction HYUNDAI-MAN B&W Diesel engines operation. 349p.

ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВА ГРУПА ДВОТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ

Самарін О.Є., Кавун В.І.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Відомо циліндропоршневу групу судового чотиритактного дизеля, що складається з циліндрової втулки, у яку встановлено поршень [1].

Недоліком вказаної циліндропоршневої групи є те, що вихід випускних газів і наповнення циліндра свіжим зарядом повітря відбувається при окремих тактах роботи дизеля, що зменшує його питому потужність.

Найбільш близьким до запропонованої є циліндропоршнева група судового двотактного дизеля, що складається з циліндрової втулки, у яку встановлено поршень [2].

Недоліком вказаної циліндропоршневої групи є те, що при продуванні циліндра свіже повітря перемішується з випускними газами, що призводить до зменшення подачі палива і зниження потужності дизеля.

Актуальність досліджень. Значна частина потужності двотактного двигуна втрачається через наявність продувних вікон в циліндровій втулці, що призводить до появи втраченого об'єму і відповідно втраченої потужності [3].

Розробка системи продування двотактного двигуна без втрати об'єму є актуальним завданням.

Постановка завдання. З метою зменшення вказаних недоліків пропонується створити таку циліндропоршневу групу двотактного дизеля, у якій процес виходу випускних газів і процес наповнення циліндра свіжим зарядом повітря відокремлені один від одного.

Рішення задачі. Поставлена задача вирішується тим, що у циліндровій втулці розміщено дистанційне кільце і газовий поршень, який має повітряні отвори, закриті клапанами, а також ребра жорсткості [4, 5].

Розміщення у циліндровій втулці дистанційного кільця обмежує рух газового поршня у сторону кришки циліндра, що забезпечує необхідний об'єм для камери згоряння.

Розміщення у циліндровій втулці газового поршня дозволяє відокремити випускні гази від продувального повітря.

Наявність повітряних отворів у газовому поршні забезпечує перекачування продувального повітря у камеру згоряння при русі поршня до верхньої мертвої точки.

Закриття повітряних отворів клапанами забезпечує проходження продувального повітря у камеру згоряння і запобігає проникненню відпрацьованих газів у під поршневий простір.

Наявність на газовому поршні ребер жорсткості забезпечує проходження продувального повітря під газовий поршень при досягненні ним продувних вікон, а також жорсткість і міцність газового поршня при меншій масі. Крім того, ребра жорсткості виконують функцію напрямних елементів і не дозволяють газовому поршню повертатись у циліндрі.

На рис. 1 показано положення поршня і газового поршня у верхній мертвій точці, на рис. 2, а) показано продування циліндра свіжим повітрям, на рис. 2, б) показано стискання повітря у циліндрі і його потрапляння у камеру згоряння.

Циліндропоршнева група двотактного дизеля складається циліндрової втулки 1 з продувними вікнами 2, у середині якої розміщено поршень 3 і яка закрита кришкою циліндра 4 з випускним клапаном 5. У циліндровій втулці 1 розміщено дистанційне кільце 6 і газовий поршень 7, який має повітряні отвори 8, закриті клапанами 9, а також ребра жорсткості 10 [4, 6].

Циліндропоршнева група двотактного дизеля працює наступним чином.

У кінці робочого такту відкривається випускний клапан 5 і випускні гази вільно виходять з циліндрової втулки 1.

При досягненні поршнем 3 продувних вікон 2, продувне повітря потрапляє через них між ребер жорсткості 10 під газовий поршень 7, який починає рухатись угору до впирання у дистанційне кільце 6 [4, 7].

Після проходження поршнем 3 продувних вікон 2 і їх перекриття, починається процес стискання повітря у циліндровій втулці 1. При цьому у газовому поршні 7 відкриваються клапани 9 і продувне повітря через повітряні отвори 8 потрапляє у камеру згоряння між газовим поршнем 7 і кришкою циліндра 4.

Після подачі палива відбувається його займання і клапани 9 закриваються. Гази тиснуть на поршень 3, який починає рухатись униз. Відбувається робочий такт двигуна.

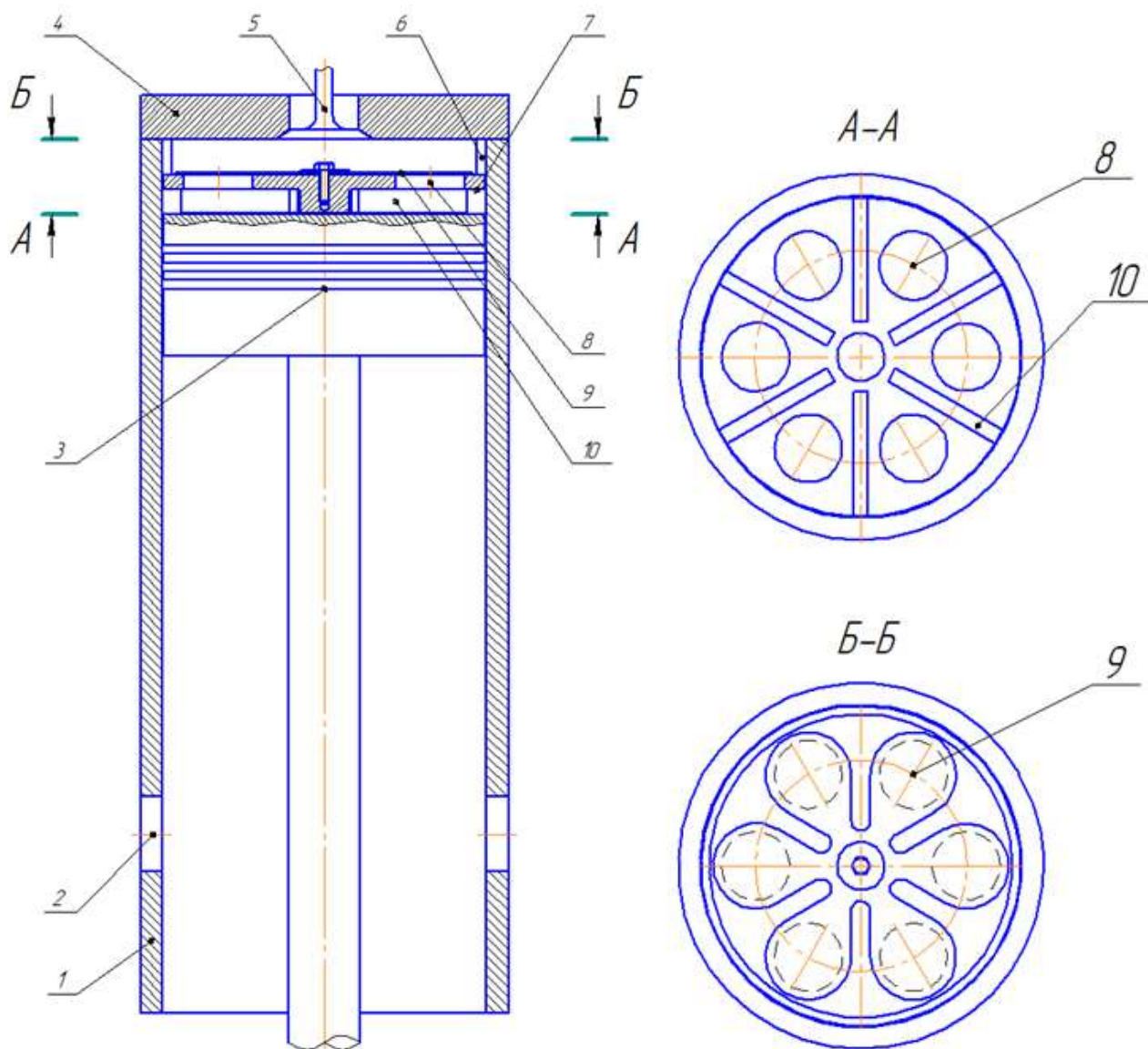


Рисунок 1 - Положення поршня і газового поршня у верхній мертвій точці: 1 – циліндрова втулка; 2 – продувні вікна; 3 – поршень; 4 – кришкою циліндра; 5 – випускний клапан; 6 – дистанційне кільце; 7 – газовий поршень; 8 – повітряні отвори; 9 – клапани; 10 – ребра жорсткості

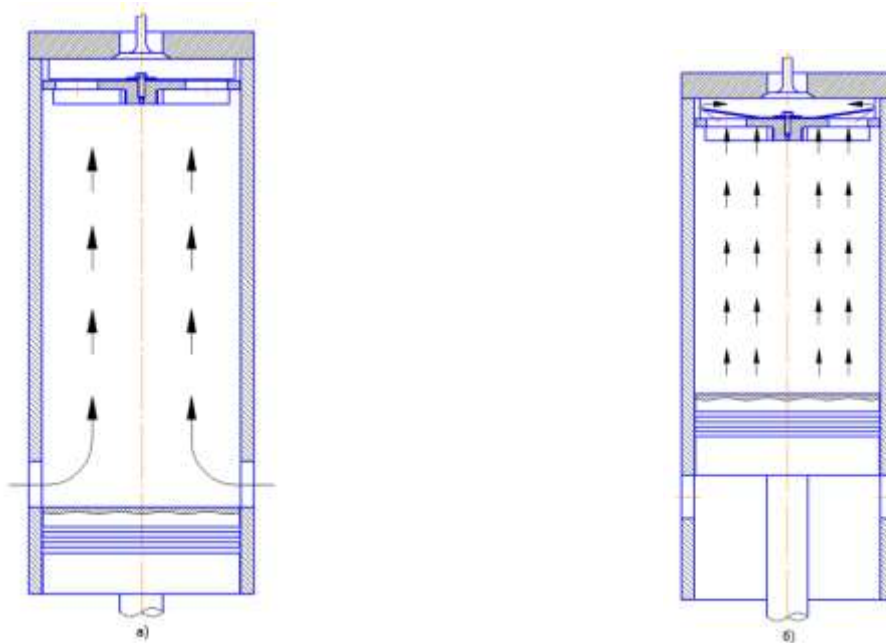


Рисунок 2 – Робочі процеси у циліндрі дизеля: а - продування циліндра свіжим повітрям; б - стискання повітря у циліндрі і його потрапляння у камеру згоряння

Висновки та рекомендації. Запропонована модернізація підвищити ефективність використання і потужність дизельного двигуна.

Модернізація може бути виконана в умовах виробника двигуна, а встановлена силами машинної команди при виконанні ремонтно-профілактичних робіт на судні.

Запропоноване технічне рішення є універсальним і може бути застосоване на судах з дизельними крейцкопфними двигунами різної потужності.

Застосування корисної моделі відокремлює процес виходу випускних газів і процес наповнення циліндра свіжим зарядом повітря один від одного, що усуває перемішування випускних газів і продувального повітря і дозволяє підвищити потужність дизеля за рахунок збільшення циклової подачі палива.

ЛІТЕРАТУРА

1. Возницкий И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания, том.1: М. Моркнига, 2008.-283с.
2. Возницкий И.В. Современные двухтактные малооборотные двигатели. СПб.: Моркнига, 2006.
3. Возницкий И.В. MAN B&W Двигатели модельного ряда МС 50-98. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание. Моркнига, 2008. – 263с.
4. Пат. 145014 Україна, МПК F16J 1/00, F16J 10/00. Циліндро-поршнева група двотактного дизеля/ Самарін О.Є.; заявник і патентовласник Херсонська державна морська академія – № u 2020 03919; заявл. 30.06.20; опубл. 10.11.20, Бюл. №21
5. Инструкции для дизелей типа 50-98 МС. Компоненты и обслуживание. Издание 8С. Часть 1 MAN B&W Diesel A/S. Копенгаген, Дания – 241с.
6. Инструкции для дизелей типа 50-98 МС. Компоненты и обслуживание. Издание 8С. Часть 2 MAN B&W Diesel A/S. Копенгаген, Дания – 249с.
7. Instruction HYUNDAI-MAN B&W Diesel engines operation. 349р.
8. Инструкции для дизелей типа 50-98 МС. Эксплуатация. Издание 40С. Часть V,VI MAN B&W Diesel A/S. Копенгаген, Дания – 339с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАСКАДНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ГХФУ

Матвеев В.В.

Херсонская государственная морская академия, Украина

15 октября 2016 года в г. Кигали (Руанда) на XXVIII Сессии Сторон Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой (Монреальский протокол) принята Кигалийская поправка к Монреальскому протоколу, предусматривающая поэтапное сокращение производства и потребления гидрофторуглеродов (ГФУ). Как известно, ГФУ, широко используемые в настоящее время в оборудовании для кондиционирования воздуха, в холодильной технике и других сферах, относятся к парниковым газам со значительным потенциалом глобального потепления (ПГП).

С точки зрения международного права, Кигалийская поправка является обязательным международным соглашением (договором).

В отличие от самого Монреальского протокола и предыдущих поправок к нему, направленных на поэтапное прекращение производства и потребления озоноразрушающих веществ (ОРВ), Кигалийской поправкой декларируется новая цель - смягчение глобального изменения климата. Меры, предусмотренные поправкой, должны обеспечить снижение роста глобальной температуры приблизительно на 0,5 °С.

Кигалийской поправкой вводятся меры регулирования в отношении ГФУ. С этой целью в группу I Приложения С Монреальского протокола добавляется 100-летний ПГП для ряда ГХФУ, а в текст Протокола вводится новое Приложение F, включающее ГФУ. Таким образом, в рамках поправки все расчеты (включая базовый уровень) будут производиться не в тоннах озоноразрушающей способности, а в тоннах ПГП (в эквиваленте диоксида углерода).

Для Украины меры по сокращению потребления ГФУ (в процентах базового уровня), предусмотренные Кигалийской поправкой, составляют: 2019 – 2023 гг. – 90 %; 2024 – 2028 гг. – 60 %; 2029 – 2033 гг. – 30 %; 2034 – 2035 гг. – 20 %; с 2036 г. – 15 %.

Для понимания ситуации можно привести следующую информацию: в ЕС уровень безопасной эмиссии диоксида углерода на душу населения равен 1,1 тонн/год. В реальности, эмиссия равна 7,3 тонн/год. Если говорить о фреоне, то утечка 1 кг R404 равна эмиссии 4 тонн CO₂.

Популярные в Украине фреоны R134, R404, R507 не содержат молекулу хлора и, соответственно, не являются озоноразрушающими. По данному показателю их коэффициент равен нулю. Эти фреоны относятся к другой категории - ГФУ (гидрофторуглероды). То есть их выброс в атмосферу обладает ярко выраженным парниковым эффектом, они существенно влияют на глобальное потепление и степень их воздействия оценивается по показателю Global Warming Potential. В законодательстве они обозначаются как фторированные парниковые газы. Поэтому закон не предусматривает полную замену оборудования до 2021 года, если оно функционирует на ГФУ хладагентах.

Основные штрафные санкции относящиеся к нарушению правил недопущения и предотвращения утечки и выброса озоноразрушающих веществ и фторированных парниковых газов. Они предусматривают штраф должностных лиц от ста до двухсот необлагаемых минимумов доходов граждан (1700 – 3400 грн). Утечка хладагента, попадающего под категорию «контролируемого вещества», должна быть устранена не позднее 14 дней с момента ее возникновения.

До настоящего времени ГХФУ-22 широко используется как хладагент в холодильном оборудовании и системах. Технические достижения в области альтернативных природных

хладагентов, такие как каскадные холодильные системы на основе аммиака/CO₂, обеспечили четкое решение, позволяющее произвести замену ГХФУ-22 в системах холодоснабжения для промышленных и торговых предприятий. Эффективность каскадных холодильных систем на основе аммиака/CO₂ на 15% выше, чем у традиционных систем на основе ГХФУ-22.

Система на основе CO₂ является экологически безопасной и энергосберегающей. Объем заправки аммиаком эффективно сокращается до менее 20% по сравнению с традиционной системой, а эффективность может быть повышена на более чем 10%. Наряду с этим пользователи получают выгоду от экономии эксплуатационных расходов. Температурный диапазон охлаждения, обеспечиваемый промышленным оборудованием, составляет -50 °С~5 °С.

Этот демонстрационный проект был завершен в 2013 году, а в 2016 году получил дополнительное финансирование от МСФ на эксплуатационные расходы.

Проект позволил отказаться от использования 250 тонн ГХФУ-22 и сократить объемы выбросов парниковых газов (ПГ), эквивалентные 425000 тонн CO₂. Согласно оценкам, будущие продажи таких систем увеличатся на более чем 150 блоков в год, что позволит ежегодно ликвидировать 375 тонн ГХФУ-22 и сокращать объемы выбросов ПГ, эквивалентные 637500 тоннам CO₂.

Этот проект позволит компаниям прекратить использовать ГХФУ и, тем самым, сделать еще один шаг вперед, необходимый для реализации государственного плана достижения углеродной нейтральности, а также поможет данной стране сократить потребление ГХФУ в своих пределах. В данном проекте используется двухступенчатая система на основе аммиака/CO₂, первичный контур охлаждения которой планируется заправлять аммиаком в уменьшенном объеме. Жидкий CO₂ циркулирует в качестве вторичного хладагента, но при подкритическом давлении, что уменьшает затраты на монтажные работы и практически сводит к нулю сопутствующий риск, связанный с давлением. Ожидается, что эта двухступенчатая система на основе аммиака/CO₂ будет смонтирована по следующей схеме рис.1:

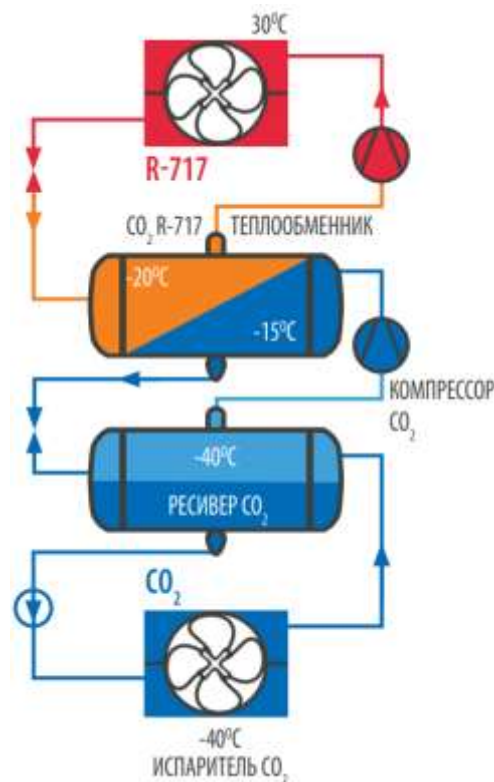


Рисунок 1 – Схема каскадной холодильной установки

Системы CO₂ на старте стоят достаточно дорого. Точно дороже систем с привычными для нас хладагентами. Но у них есть свои плюсы: 1 кг CO₂ порядка 12 раз дешевле 1 кг олефина, то есть обслуживание системы будет значительно экономичней. Второй момент – с учетом широкого применения и растущей конкуренции, где появляется все больше разных решений для CO₂, стоимость постепенно понижается.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://rau.ua/ru/news/ekologicheskaya-revolyuetsyia/>
2. Монреальский протокол про речовини, що руйнують озоновий шар, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_215#Text
3. DUNHAM – DUSH. Отказ Украины от применения озоноразрушающих веществ. Переход на энергосберегающие и экологические чистые технологии. <https://db-ua.com.ua/otkaz-ot-primeneniya-ozonorazrushayushhix-veshhestv/>
4. Финальная версия Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу на всех шести официальных языках ООН (A C E F R S) <http://conf.montreal-protocol.org/meeting/mop/mop-28/final-report/English/MOP28-Dec1.docx>
5. Часто задаваемые вопросы, относящиеся к Кигалийской поправке к Монреальскому протоколу (документ Секретариата по озону) http://ozone.unep.org/sites/ozone/files/pdfs/FAQs_Kigali-Amendment.pdf
6. Решение XXVIII/1: дополнительная поправка к Монреальскому протоколу <http://conf.montreal-protocol.org/meeting/mop/mop-28/final-report/English/MOP28-Dec2.pdf>
7. Решение XXVIII/2: решение, касающееся Поправки о сокращении производства и потребления гидрофторуглеродов <http://conf.montreal-protocol.org/meeting/mop/mop-28/final-report/English/MOP28-Dec2.pdf>
8. Отчет и документы XXVIII Совещания Сторон Монреальского протокола: <http://conf.montreal-protocol.org/meeting/mop/mop-28/final-report/SitePages/Home.aspx>

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН ВНУТРІШНЬОГО ПЛАВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ DEPAS D4.0H

¹Варбанець Р.А., ²Залож В.І., ²Тарасенко Т.В.

¹Одеський національний морський університет, Україна

²Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Сучасні реалії ринку морських та внутрішніх перевезень пов'язані з низкою негативних факторів, які значно вплинули на спроможність учасників процесу інвестувати в оновлення та модернізацію складу свого флоту, впровадження інноваційних проектів та рішень, метою яких є значне прискорення термінів досягнення так званого рівня *zero emission* – нульової емісії шкідливих викидів до атмосфери від роботи суден торговельного флоту як на морських, так й на внутрішніх водних шляхах. На даний час існують такі розробки та новітні рішення зокрема й для дунайського судноплавства. Але насамперед можливість практичної реалізації навіть точкового, не масштабного, оновлення складу флоту оцінюється будь-яким судновласником з позицій економіки перевезень, потрібної суми інвестування, термінів окупності, потужності та/або кількості отриманого тоннажу тощо.

Актуальність дослідження. Результати одного з нещодавно завершених європейських проектів *GRENDDEL* [1] (*Green and Efficient Danube Fleet*), якій повністю відповідав концепції *European Green Deal*, свідчать про те, що основна думка сконцентрована навколо якомога швидшого досягнення мети – повного позбавлення шкідливих викидів від роботи суден. Успішному проектуванню та навіть одиничній реалізації таких інноваційних проектів сприяє їх фінансування Європейським Союзом. При цьому дійсно складається враження, що єдине рішення – це впровадження цих передових проектів у реальні умови та повне позбавлення емісії. Але якщо розглядати дану проблематику з позицій судновласників, які в умовах пандемічних обмежень, падіння ринку перевезень та зменшення фрахтових ставок іноді значно обмежені в фінансуванні навіть поточного ремонту та технічного обслуговування існуючого флоту – стає зрозуміло, що до появи механізмів їх державної підтримки це не виявляється можливим. У той же час зберігається прагнення до покращення екологічності та енергоефективності. Тому найкращим способом досягнення цієї мети на сьогодні залишається пошук способів підвищення енергоефективності існуючого флоту, що також призведе до покращення екологічних показників роботи внутрішнього водного транспорту.

Постановка задачі. Однією з важливих задач експлуатації засобів транспорту є підвищення ефективності контролю технічного стану транспортних дизелів. Моніторинг та параметрична діагностика робочого процесу є основою контролю технічного стану.

Результати діагностування головних дизелів т/х «Борис Макаров». Діагностика та подальше вдосконалення характеристик робочого процесу двигуна є одним із варіантів вирішення ККД силової установки. Так, під час рейсу на т/х «Борис Макаров» (власник – Українське Дунайське пароплавство), були проведені діагностичні роботи головних та допоміжних двигунів із використанням системи *DEPAS D4.0H*. Вибір оптимального навантажувального режиму експлуатації та діагностика двигуна ґрунтуються на аналізі індикаторних діаграм тиску газів в робочих циліндрах. Розрахунок індикаторної потужності, яка характеризує навантажувальний режим і на базі якої визначаються показники енергоефективності, також здійснюється за допомогою аналізу індикаторних діаграм [4, 5]. Паралельно з індикаторними діаграмами, отриманими під час експлуатації, можуть розглядатися діаграми паливоподачі і газорозподілу, які підвищують достовірність

діагностики. В результаті аналізу індикаторних діаграм розраховується середній індикаторний тиск (MIP) і індикаторна потужність (N_i), яка надалі використовується в управлінні режимами експлуатації двигунів, в розрахунках питомих показників, а також в розрахунках коефіцієнтів енергоефективності морських суден по рекомендаціях *IMO*.

Індиціювання дизелів проводилося за допомогою системи параметричної діагностики *D4.0H*, розробленої на кафедрі «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету. Перед індиціюванням були задані вихідні параметри ГД, які необхідні для розрахунку індикаторного тиску та індикаторної потужності циліндрів. В якості головних двигунів встановлені 2 дизеля марки *8NVD48A-2U* фірми «*SKL*» (Німеччина). Дизелі чотиритактні, рядні, реверсивні, тронкові, простої дії, з газотурбінним надувом і автоматизованим дистанційним керуванням. Основні характеристики:

- номінальна потужність 852 кВт;
- частота обертання 375 об/хв;
- кількість циліндрів 8;
- діаметр циліндра 320 мм;
- хід поршня 480 мм;
- ступінь стиснення $\varepsilon = 13,25$;
- середній ефективний тиск 0,9 МПа;
- питома ефективна витрата палива 220 г/(кВт год).

На рис. 1 наведено зведені індикаторні діаграми лівого головного двигуна ГД1 т/х «Борис Макаров», зняті при роботі на основному експлуатаційному режимі.

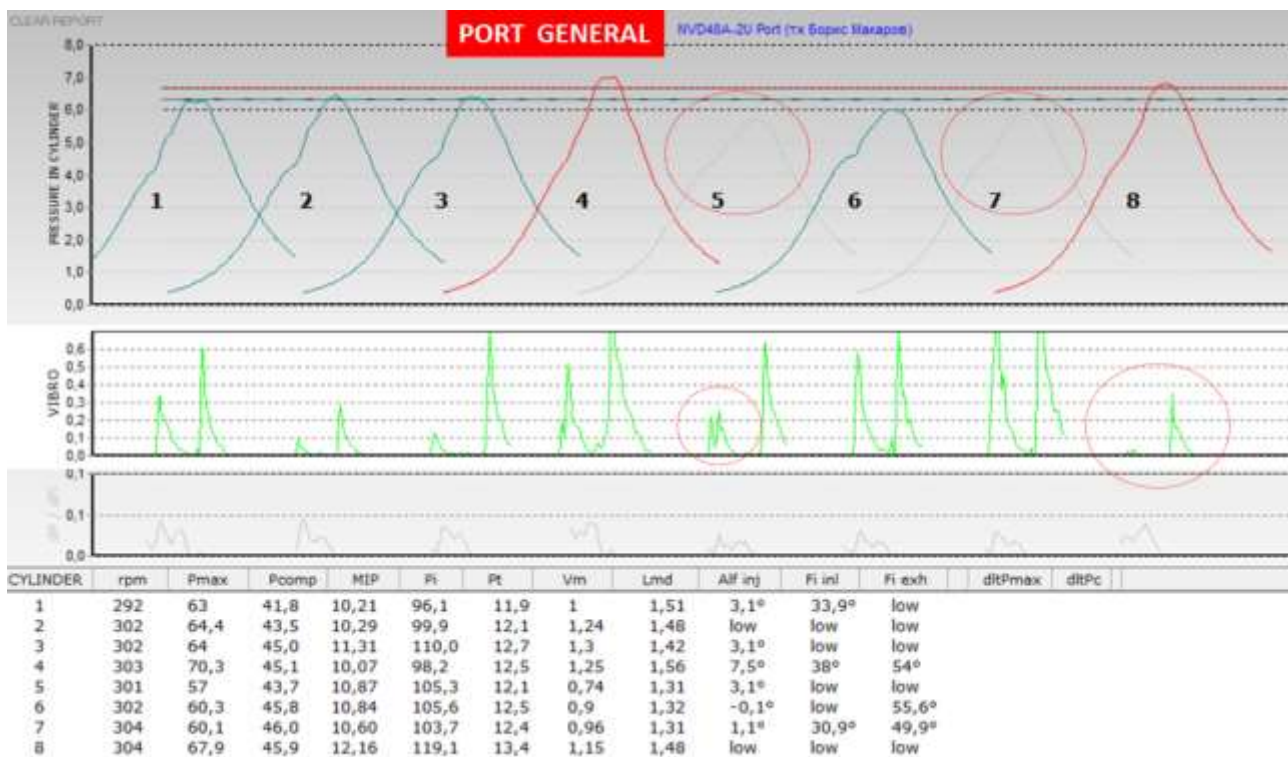


Рисунок 1 – Зведені індикаторні та вібраційні діаграми лівого головного двигуна ГД1 NVD48A-2U т/х "Борис Макаров" 10.01.2020 за результатами випробувань

За результатами діагностування ГД1 були зроблені наступні висновки:

- циліндр 4: збільшена циклова подача на 2-3 індекси, ревiзiя клапанiв;
- циліндр 5: дефект форсунки;
- циліндр 6: ревiзiя впускних клапанiв;

- циліндр 7: перевірити стан шайби і кут впорскування, ревзія плунжерної пари;
- циліндр 8: ревзія форсунок.

На рис. 2 наведено зведені індикаторні діаграми правого головного двигуна ГД2 т/х «Борис Макаров», зняті при роботі на основному експлуатаційному режимі.

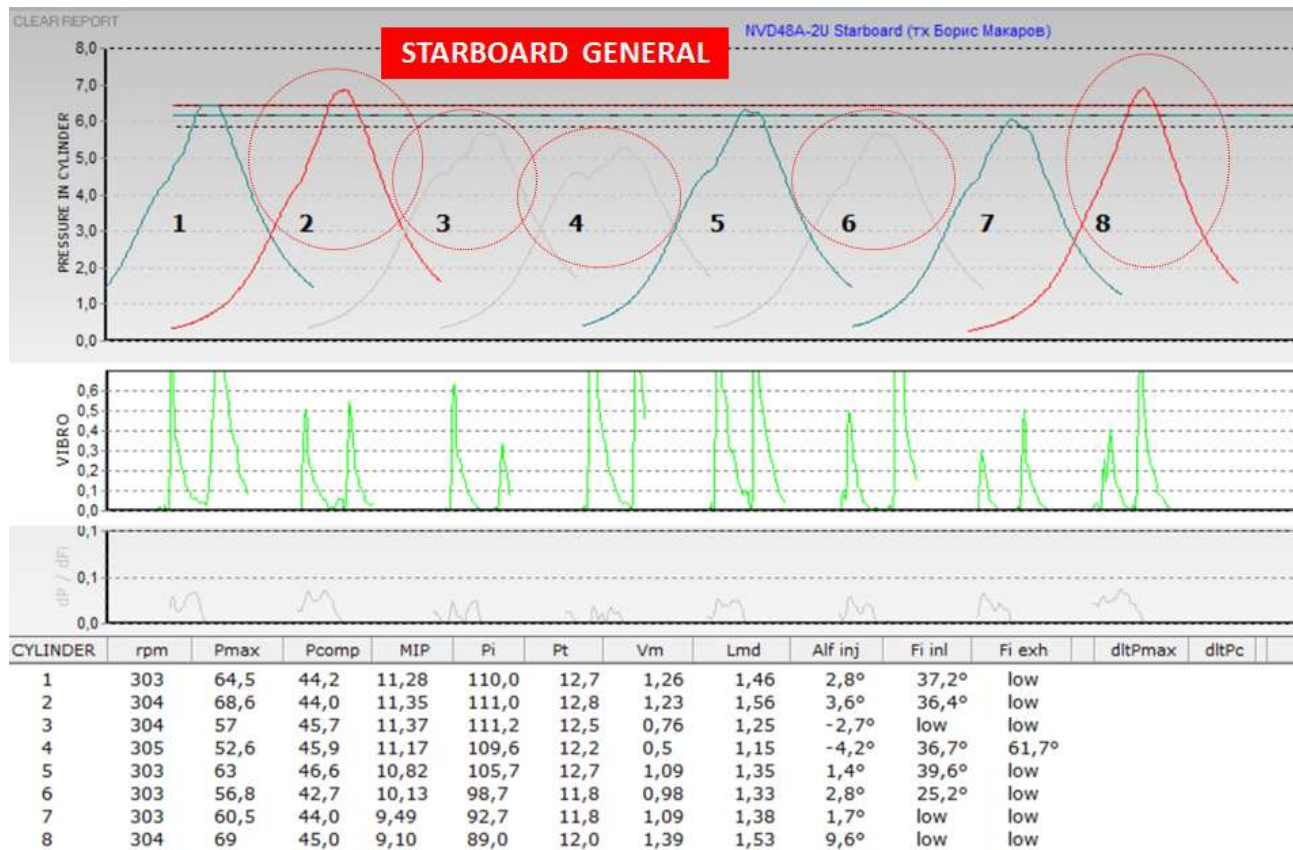


Рисунок 2 – Зведені індикаторні та вібраційні діаграми правого головного двигуна ГД2 NVD48A-2U т/х "Борис Макаров" 10.01.2020 за результатами випробувань

За результатами діагностування ГД2 були зроблені наступні висновки:

- циліндр 2: збільшена циклова подача на 2 індекси;
- циліндр 3: пізній кут впорскування, форсунка у задовільному стані, перевірити кут шайби, ревзія плунжерної пари паливного насосу високого тиску;
- циліндр 4: пізній кут впорскування, форсунка у задовільному стані, скорочений кут впорскування, ревзія плунжерної пари паливного насосу високого тиску, ревзія випускного клапану;
- циліндр 5: ревзія випускного клапану;
- циліндр 6: зменшена циклова подача на 2-3 індекси, ревзія впускного клапану;
- циліндр 8: ревзія форсунок.

Після визначення параметрів робочого процесу (див. рис. 3) і побудови зведених індикаторних діаграм (рис. 1, 2) на основному експлуатаційному режимі необхідно усунути виявлені дефекти ЦПГ, ПА і МГР. Потім необхідно вирівняти циліндрові потужності регулюванням циклових подач палива по циліндрах. Після балансування потужностей необхідно провести контрольне індиціювання.

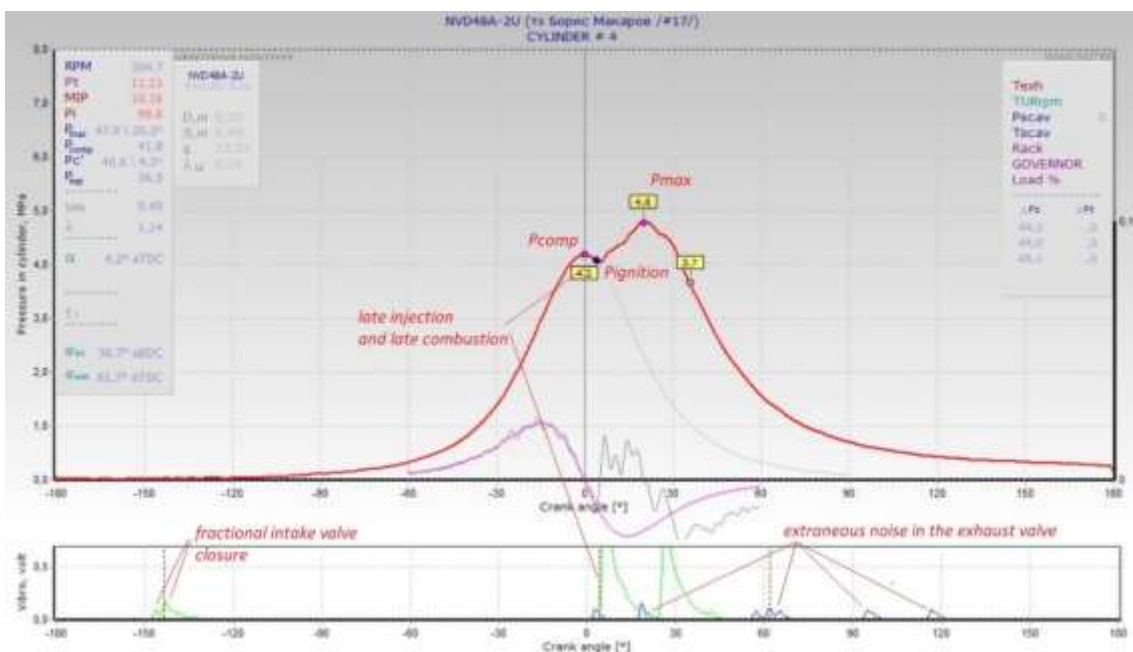


Рисунок 3. Приклад індикаторної діаграми циліндра №4 ГД2 системи DEPAS D4.0H за результатами випробувань на т/х "Борис Макаров"

Висновки. Досвід роботи з системою показує, що постійний контроль технічного стану головних і допоміжних двигунів (рис. 3) своєчасне усунення дефектів паливної апаратури і її регулювання спільно з регулюванням механізму газорозподілу дає хороші результати:

- підтримується рівномірний розподіл навантажень по циліндрах і температурах випускних газів;
- зменшується загальна теплонапруженість деталей циліндро-поршневої групи, усуваються перегрів окремих циліндрів і вимушене зниження потужності двигуна;
- запобігаються аварійні ситуації, зокрема, такі як пожежі в підпоршневих (однією з основних причин загоряння в підпоршневих є неякісний розпил палива, його підмішування в циліндрове масло і, отже, зниження температури спалаху масла);
- своєчасне усунення дефектів і регулювання ГД і ДГ дозволяє додержувати паспортні режими експлуатації, планову швидкість судна і мати резерв потужності двигунів.

ЛІТЕРАТУРА

1. GRENDEL - GRENDEL: The Final Event Of A Fruitful Transnational Cooperation): web-site. URL: <http://www.interreg-danube.eu/news-and-events/project-news/5625>. (Accessed: 05.03.2021)
2. Марченко А.П., Парсаданов, И.В., Прохоренко, А.А., Савченко, А.В., Осетров, А.А., & Мешков, Д.В. Особенности процесса сгорания в дизеле при работе на водотопливной эмульсии // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – №. 1. – С. 3-10. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2016.1.01>.
3. Varbanets R.A., Zalozh V.I., Shakhov A.V., Savelieva I.V., Piterska V.M. Determination of top dead center location based on the marine diesel engine indicator diagram analysis. Diagnostyka. Polish society of technical diagnostics. 2020. №21(1). P. 51–60. DOI: <https://doi.org/10.29354/diag/116585>.
4. Варбанец Р.А., Беленький П.Н., Яровенко В.А., Ваганов А.И., Александровская Н.И. Определение основных параметров рабочего процесса и результаты диагностики главных дизелей теплохода «Greifswald» // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2015. №2. С. 31-41 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-osnovnyh-parametrov-rabochego-protsessa-i-rezultaty-diagnostiki-glavnyh-dizeley-teplohotda-greifswald>.
5. Варбанец Р. А. и др. Определение параметров рабочего процесса и диагностика главных среднеоборотных дизелей т/х «GREIFSWALD» // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. – №. 1. – С. 63-68. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/17891>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЛІДУ АВІАНЕСУЧОГО СУДНА НА ДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ СУПУТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Терлич С.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

Вступ. В наш час вже відомо, що турбулентність в атмосфері є одним з основних факторів ризику для авіації. Великі вихори, які виникають при обтіканні складного рельєфу берегової місцевості та стаціонарних берегових споруд, а також як і атмосферний супутній слід за авіанесучим судном (АС), є серйозною загрозою для літальних апаратів (ЛА), що здійснюють зліт або посадку. Слід зазначити, що у сучасному суднобудуванні все більш проєктів передбачають можливість посадки, базування і навіть обслуговування гелікоптерів: крупні транспортні судна – для лоцманського сервісу, промислові – для риболовства та інспекції, патрульні – для візуальної розвідки та постановки гідроакустичного обладнання. Одним із шляхів підвищення безпеки польоту є створення моделюючих систем і комплексів, які реалістично відображають вплив турбулентних течій на ЛА.

Актуальність дослідження. Історія авіаційних катастроф описує багато прикладів, в яких причиною фатального результату стала неготовність екіпажу ЛА до ситуації потрапляння в зони турбулентності ясного неба (ТЯН). До таких ситуацій можна віднести: потрапляння в вихровий слід за рухомим судном, зрушення вітру, атмосферні вихори. При цьому в залежності від обставин, ЛА, що потрапляє в нього, може відчувати сильні збурення підйомної сили, моментів крену, ризику та тангажуючого моменту. Поперечний перетин вихрового сліду небезпечний з точки зору динамічних навантажень і можливого пошкодження конструкції ЛА. Відомі випадки втрати двигуна в результаті попадання у вихровий слід [1]. Саме обмеження по вихровій безпеці в основному визначають мінімальні дистанції між ЛА при посадці і, в підсумку, пропускну здатність летовища. Зліт і посадка на палубу авіаносного корабля є найскладнішими режимами пілотування. При здійсненні таких операцій льотчик відчуває сильні навантаження, тому достовірне моделювання цих режимів є одним із важливих завдань сучасної корабельної аеродинаміки та теорії безпеки польотів.

Дослідження передбачає розв'язання наступних **задач**:

- моделювання обтікання надводної частини судна повітряним потоком і формування когерентних структур від його корпусу і надбудов (рубок, щогл, спеціальних пристроїв) під час руху судна, його швартуванні або стоянці на якорі;
- врахування впливу хитавиці судна на формування та еволюцію когерентних структур атмосферного супутнього сліду;
- оцінка параметрів впливу збуреного потоку від судна на ЛА (на прикладі гвинтокрилу).

Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні та створенні нових, комплексних підходів до моделювання впливу атмосферної турбулентності за судном на аеродинамічні характеристики ЛА та оцінки цих характеристик:

- отримати нові знання про характеристики течії в атмосферній зоні авіанесучих суден, структуру та еволюцію атмосферного супутнього сліду за ними з урахуванням впливу профілю вітру, атмосферної турбулентності та хитавиці;
- визначенні аеродинамічних характеристик дослідженої моделі гвинтокрилу, який здійснює рух у збуреній течії, яку створюють авіа несучі судна.

Методи та технології. Під час дослідження було застосовано сіткові методи розв'язання початково-крайових задач прикладної аеродинаміки (RANS: Reynolds-averaged Navier–Stokes) [2] та технології штучних нейронних мереж [3].

Достовірність результатів обґрунтовується верифікацією розрахункових методів за допомогою методу максимумів тиску [4] та отриманих на його базі критеріїв, проведенням попередніх прикладних розрахунків за достатністю кількості вузлів розрахункових сіток і розмірів розрахункової області, вибору топології розрахункових сіток, оцінці апроксимації та збіжності.

Основний текст. Поверхня гвинтокрилу моделюється сукупністю чотирикутних панелей з розподіленими на них джерелами і вихорами постійної інтенсивності в межах панелі. Несучі елементи фюзеляжу, консолей, механізації моделюється панелями із шматково-лінійним по хорді розподілом завихреності та шматково-постійним розподілом джерел і стоків. Гвинтокрил умовно поміщено у "заморожене" поле швидкостей, яке обчислене за допомогою рішення крайової задачі для рівняння Рейнольдса

$$\rho \frac{\partial \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = \rho \bar{f}_i + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[-\bar{p} \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \bar{u}'_i \bar{u}'_j \right], \quad (1)$$

де $\rho \frac{\partial \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j}$ – змінення кількості руху газу;

$\rho \bar{f}_i$ – дія зовнішніх сил;

$\bar{p} \delta_{ij}$ – сили тиску;

$\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)$ – дія зусиль за рахунок в'язкості;

$-\rho \bar{u}'_i \bar{u}'_j$ – турбулентні напруження.

Параметри повітряного потоку на поверхні води будуть істотно впливати на течії навколо корабля. Слід зазначити, що існуючі публікації на цю тему описують в основному тільки випадки потенційного профілю вітру, коли вертикальна силова складова відсутня ($\text{rot } \vec{v}_z = 0$), де характеристики турбулентності можна отримати виключно шляхом чисельного моделювання задачі у нестационарній постановці [5], для чого необхідні великі обчислювальні потужності, ніж ті які наведено у даному дослідженні.

Урахування впливу хитамиці, стійкості на курсі та керованості корабля виконано у спрощеній постановці [6]. Таке рішення прийняте через те, що пряме чисельне моделювання цього явища вимагає використання технологій сіток, які деформуються та реалізації початково-крайових умов при розв'язанні нестационарної задачі для системи рівнянь Нав'є-Стокса осередненою за Рейнольдсом (URANS: The Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes), тому час розрахунків значно збільшується. При цьому може бути знижена точність розрахунків та існує ймовірність відсутності можливості створити достатньо повної бази за відносно короткий час.

Саме це дає можливість **розв'язанню багатодисциплінарної задачі**, яка об'єднує методи теорії корабля, динаміку атмосфери (сіткові методи), аеродинаміку ЛА (на прикладі гвинтокрилу) у збуреному потоці (панельні методи), чисельні методи розв'язання початково-крайових задач (методи скінченого об'єму та граничних елементів), прикладну математику та технології штучних нейлонових мереж (ШНМ).

Блок-схема запропонованого методу та його інтеграції у програмне забезпечення наведено на рисунку 1.

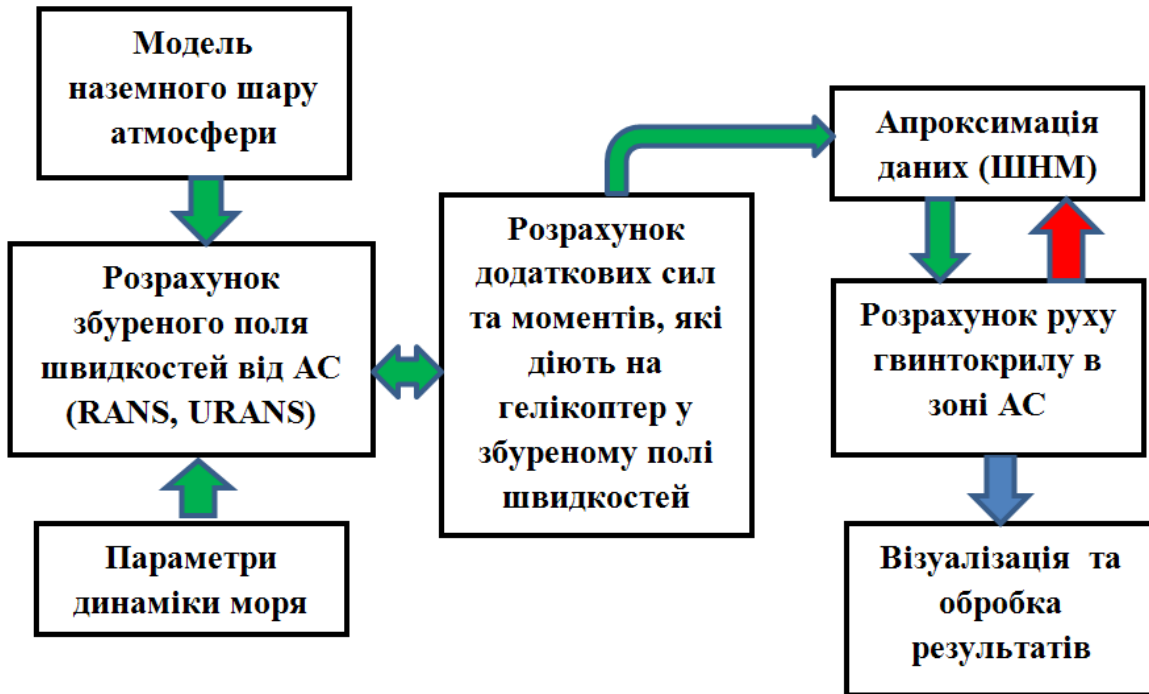


Рисунок 1 – Обчислювальний модуль розрахунку руху гвинтокрилу в турбулентній зоні корабля

При розв’язанні моделювання задачі вихорового сліду допомогою дискретних вихорів у даному дослідженні застосовано вихори Ренкіна, профіль швидкості яких схематично зображено на рисунку 2, з ядром сталої завихреності ω_0 , радіусу a , що виключає особливості у центрі вихора. Для внутрішніх точок вихора справедливе рівняння [7]

$$u - iv = \frac{\omega}{2\pi i} \int_0^a \int_0^{2\pi} \frac{r_0 dr_0 d\theta_0}{z - r_0 e^{i\theta_0}} = -\frac{\omega}{2\pi} \int_0^a r_0 dr_0 \int_{K(r_0)} \frac{dz_0}{z_0(z - z_0)}, \quad (2)$$

де $K(r_0)$ – окружність із радіусом r_0 , вздовж неї $d\theta_0 = \frac{dz_0}{iz_0}$, $(z_0 = r_0 e^{i\theta_0})$, внутрішній інтеграл

складатиме $\frac{2\pi i}{z}$, тоді рівняння (2) матиме вигляд

$$u - iv = \frac{\omega \pi r^2}{2\pi iz} = -\frac{1}{2} \omega r i e^{-i\theta}. \quad (3)$$

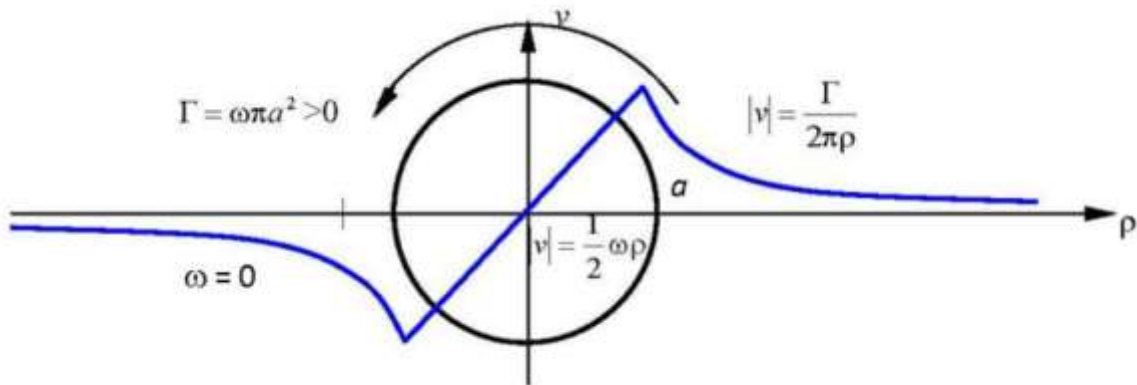


Рисунок 2 – Профіль швидкості (вихор Ренкіна)

Якщо точка $z = re^{i\theta}$ знаходиться поза колом радіусу a , то внутрішній інтеграл

$$\int_{K(r_0)} \frac{dz_0}{z_0(z-z_0)} = \frac{1}{z} \int_{K(r_0)} \left[\frac{1}{z_0} + \frac{1}{z-z_0} \right] dz_0 =$$

$$= \frac{1}{z} \left[\ln z_0 \Big|_{K(r_0)} - \ln(z-z_0) \Big|_{K(r_0)} \right] = \frac{1}{z} [2\pi i - 0]$$

звідки $u - iv = -\frac{\omega}{2\pi} \frac{a^2}{2} \frac{2\pi i}{z} = \frac{\omega \pi a^2}{2\pi i z} = \frac{\Gamma}{2\pi i} \frac{1}{z} = -\frac{\Gamma}{2\pi r} ie^{-i\theta}$, тобто те саме, як для точкового вихора,

який має таку ж циркуляцію. Напрямок швидкості визначається множником $-ie^{-i\theta}$. При $\Gamma > 0$ вектор швидкості направлений у сторону зростання θ (перпендикулярно до r).

Збурена швидкість V у будь-якій точці M простору на відстані r від відрізка AB потенційного вихора (рис. 3) визначено за залежністю Біо-Савара [8]

$$V_M = \frac{\Gamma}{4\pi r} (\cos \beta_1 + \cos \beta_2),$$

де Γ – задана циркуляція швидкості;

β_1 та β_2 – кути, під якими видимі кінці відрізка AB з точки M .

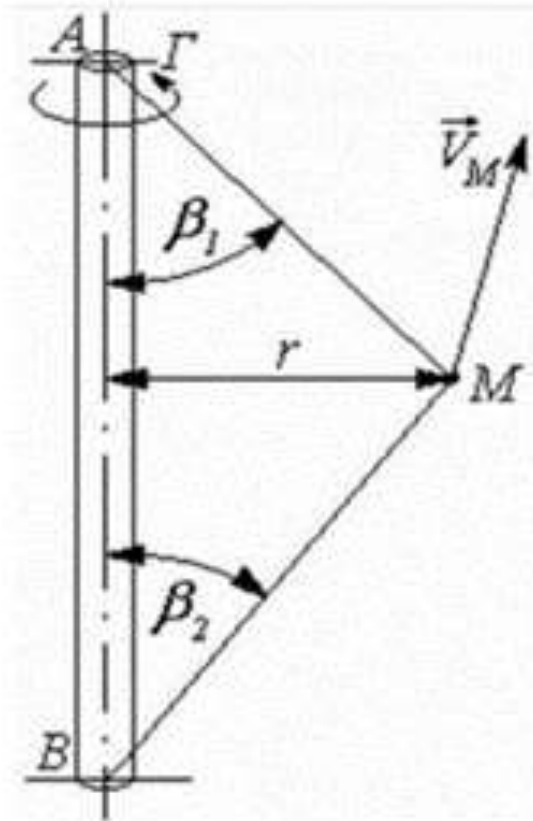


Рисунок 3 – Поле швидкостей потенційного вихора

У програмному комплексі CARWAT змодельовано динаміку вихорового сліду поблизу поверхні моря. Слід складається з N вихорів та такої ж кількості дзеркально-відображених вихорів, які моделюють умови непротікання. Візуалізацію здійснено у блоці GRAF (рис. 4 та рис. 5).

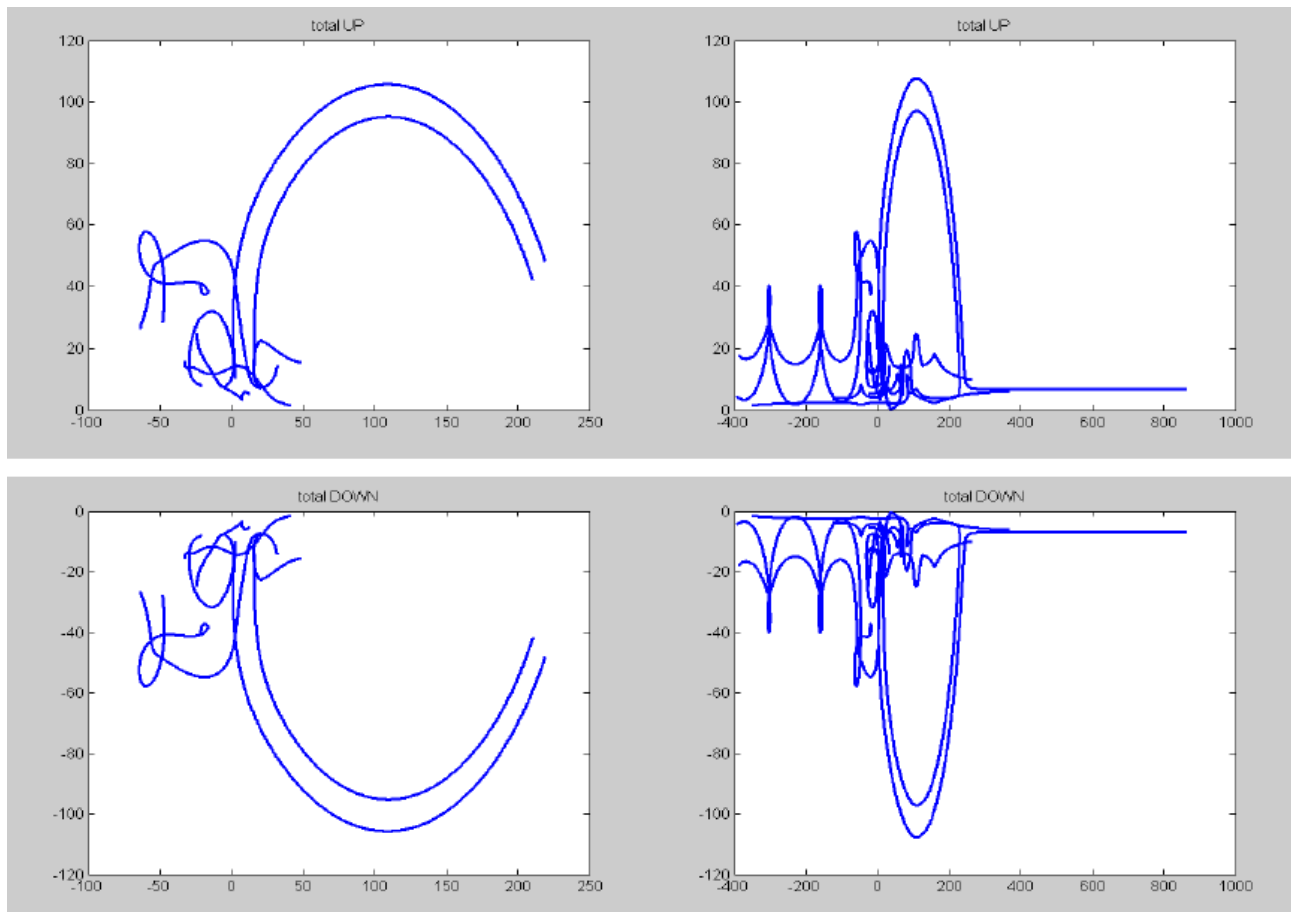


Рисунок 4 – Положення вихорів у сліді за кораблем (ліворуч із диссапацією 20 секунд, праворуч – 100 секунд)

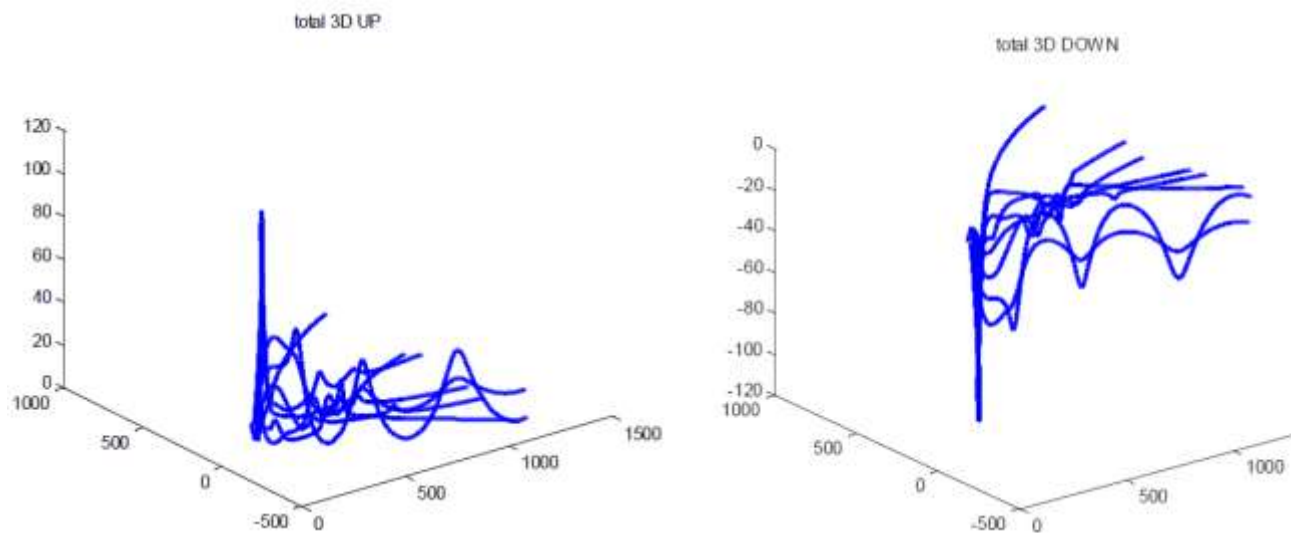


Рисунок 5 – Положення сліду у вихорі за кораблем із диссапацією 100 секунд 3D

Резюме та перспективи. Отриманий результат не враховує в'язкої структури вихорів і «оцінкою зверху» ступеня небезпечності вихорового сліду для ЛА у супутньому сліді корабля. З іншої сторони вихоровий слід, який отримано сітковим методом, у силу високої схемової в'язкості враховуючи рихлу структуру вихорів дозволяє дати «оцінку знизу». Зокрема на рис. 7

спостерігається сплиття віхорового кластера (вихорів протилежного знаку) на значну висоту відносно поверхні моря.

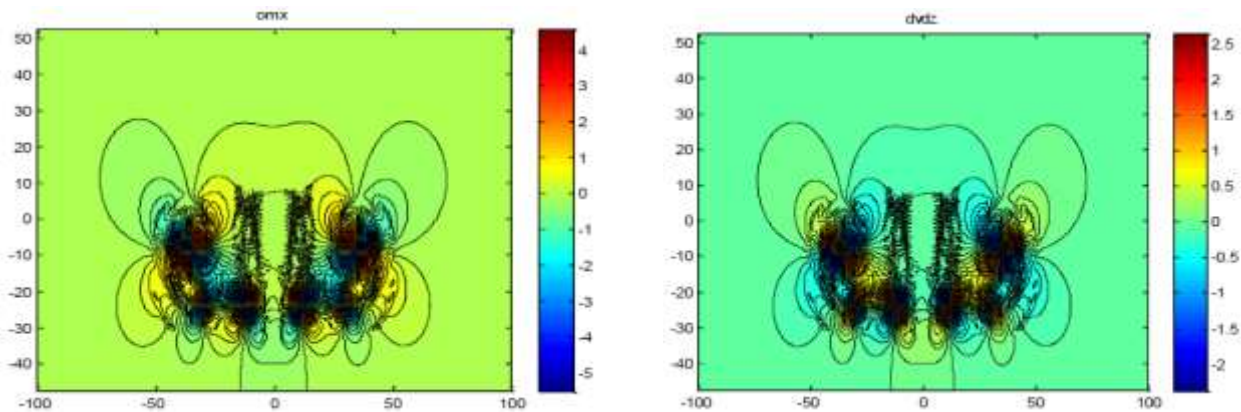


Рисунок 7 – Поле $\frac{dv}{dz}$ ліворуч та поздовжньої компоненти (праворуч) завихороності; розроблено у блоці CohrStr (CARWAT) методом RANS

ЛІТЕРАТУРА

1. Вышинский В.В., Кузнецов О.А. Проблемы вихревого следа для аэропортов с пересекающимися полосами // Труды ЦАГИ. 2002. Вып. 2655. С. 28-35.
2. Коптев А.В. Структура решений уравнений Навье-Стокса: Некоторые актуальные проблемы современной математики и математического образования // Герценовские чтения — 2014. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2014. С. 71–74.
3. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. - М.: Диалектика, 2019. – 1104 с.
4. Медведева Н.П. Экспериментальная баллистика. Часть I (Методы измерения давления) Учебное пособие. – Томск: Том. ун-т, 2006.– 172с.
5. Vyshinsky V.V. Studies on vortex wake evolution and flight safety problems // SAE Paper 96-5562. 1996. P. 1-11.
6. Корняков А.А., Босняков И.С., Судаков Г.Г. «Расчет поля скоростей в окрестности корабля при его движении, наличии градиентного ветра и качки» // Труды Московского физико-технического института. Т. 7. № 1 (25). 2015. С. 28-35.
7. Лукьянов П.В. Диффузия изолированного квазидвумерного вихря в слое устойчиво стратифицированной жидкости // К.: Прикладна гідромеханіка. – 2006.– Т. 8. – (80), №3.– С. 63-77.
8. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений // М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2008. – 368 с.

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА 6S50MC-C СУДНА ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ

Врублевський Р.Є.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. В останні роки в світі спостерігається зростання пошкоджень суднових двигунів через алюмосилікати, навіть незважаючи на те, що бункерне паливо відповідає специфікації суднового палива ISO 8217, а обробка палива є стандартною процедурою і застосовується для всіх суден. Міжнародна організація по стандартизації (ISO) опублікувала переглянуте видання своїх специфікацій ISO 8217 для суднового палива, в яких як і раніше зберігається обмеження в 60 мг/кг для каталітичних штрафів. Якими б винятковими не були результати, вони підкреслюють потенціал ще більшої невизначеності і, отже, ризику, який необхідно враховувати: аналіз FOBAS стверджує, що «Al + Si в концентрації 75 мг/кг може бути важко зменшити, але може бути керованим; проте Al + Si на рівнях до 139 мг/кг виявиться надзвичайно важким для зниження до прийнятних рівнів для входу в двигун (<15 мг/кг). Вміст у паливі абразивного матеріалу Al + Si в великих кількостях може привести до пошкодження паливних насосів, форсунок і компонентів циліндрів.

Основна частина. Існує гостра необхідність у підвищенні ефективності очищення палива на борту через збільшення кількості алюмосилікатів у паливі та збільшення числа зареєстрованих випадків пошкодження двигуна.

Проте, серйозне пошкодження двигуна, яке, як було доведено, пов'язане з алюмосилікатами, часто спостерігається на судах, які ніколи не бункерувалися некондиційним паливом. Це викликано природним осадженням алюмосилікатів у резервуарних системах судна, яке в сукупності з хитавицями судна в погодних умовах викликає періодичні високі концентрації алюмосилікатів, які направляються з бункерних резервуарів у двигун.

Отже, існує необхідність в безперервному та автоматичному очищенні танків та відстійників через осадження алюмосилікатів. Протягом багатьох років були випущені інструкції щодо компонування системних резервуарів суден, що містять важливі палива, що запобігають концентрацію алюмосилікатів і, тим самим, підвищують загальну ефективність розділення.

Ключові особливості:

– контроль витрати до 110 % від витрати палива двигуном у будь-який час і рециркуляція 10 % додаткового палива з танка назад у відстійник.

– переливна труба паливного танка повинна опускатися до дна бака для безперервного очищення дна бака.

– дно відстійників та паливних танків мають похиле дно для полегшення збору і видалення осілих каталітичних дрібних частинок.

При пошуку несправностей у випадках сильного зносу необхідно перевірити систему очищення резервуарів, включаючи розташування труб і резервуарів. У багатьох випадках, коли дрібні частинки, що застрягли на поверхні футеровки, викликали високий знос, вищенаведені прості, але важливі правила проектування або порушувалися, або повністю ігнорувалися. Загальна ефективність очищення суден сьогодні часто виявляється занадто низькою. Вимога MDT полягає в тому, що система очищення повинна забезпечувати зниження вмісту до 60 мг/кг алюмосилікатів в бункерному паливі до максимального значення 15 ppm перед входом у двигун. Паливо, заправлене в бункер з вмістом алюмосилікатів нижче 60 мг/кг алюмосилікатів,

має бути відповідно знижене перед впуском двигуна. Це означає, що загальна ефективність очищення повинна бути не менше 80...85 %. Дослідження, проведене DNV Petroleum Services у 2009 році на основі їх служби перевірки паливної системи (FSC), показало, що в середньому системи очищення палива видаляють 72 % алюмосилікатів із бункерного палива. Тому потрібна підвищена увага і загальне поліпшення суднової системи очищення палива.

Модернізація паливної системи двигуна 6S50MC-C

У паливну систему судна «BALTIC COMMANDER I» входять (рис. 1): танки для зберігання запасів палива, витратні цистерни, паливоперекачувальні насоси для перекачки палива з танків у витратні цистерни, комплекс паливопідготовки, паливопідкачувальні насоси для подачі палива до паливних насосів високого тиску, форсунки. У комплекс паливопідготовки входять: сепаратори в комплекті з насосами і підігрівниками, витратні цистерни з нагрівальним пристроєм, фільтри грубого і тонкого очищення палива, відстійні цистерни.

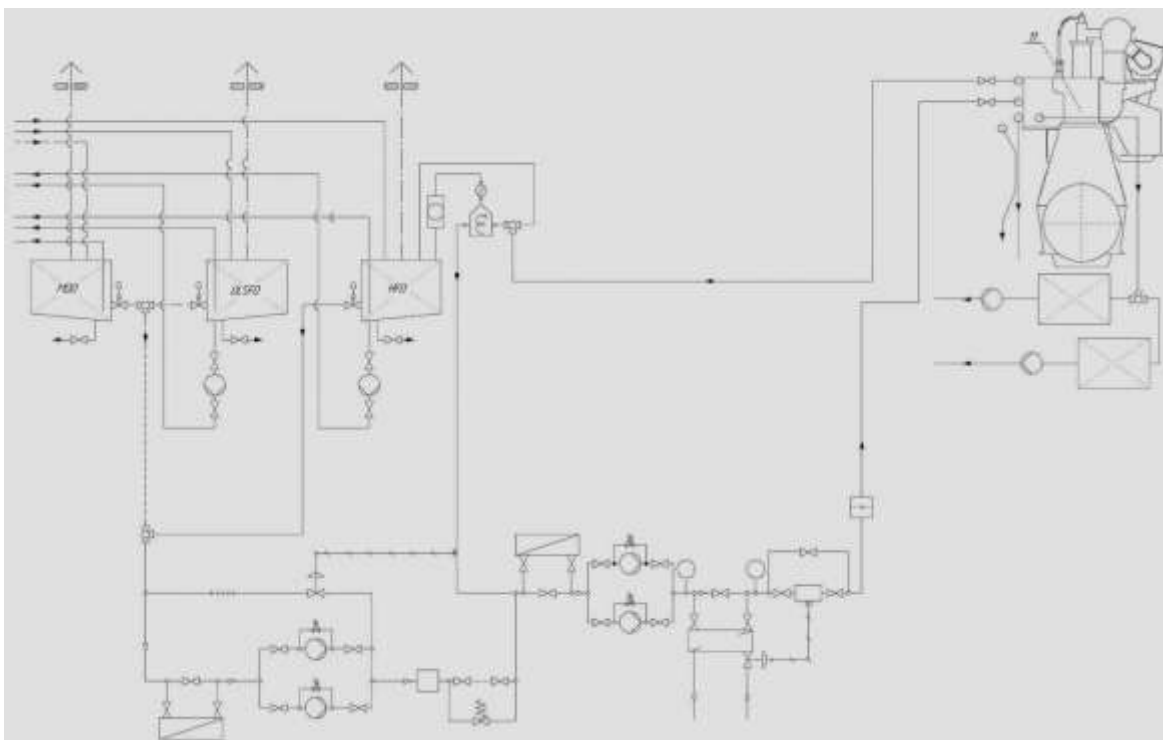


Рисунок 1 – Паливна систему судна «BALTIC COMMANDER I» до модернізації

Для підвищення ефективності очищення палива і, таким чином, видалення більшої кількості алюмосилікатів із мазуту необхідно модернізувати паливну систему судна.

Елементи модернізації паливної системи судна «BALTIC COMMANDER I»

1. Упровадження автоматичної системи витрати танку та сепаратора, щоб забезпечити оптимальну ефективність очищення при всіх навантаженнях двигуна. Система ATS забезпечить постійне, але мінімально можливе перепоповнення паливного танка. Величина переливу визначається цільовим показником повної циркуляції паливного танка за 72 години при 100 % споживанні.

2. Упровадження системи управління сепараторами на основі пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором. Управління сепаратором дозволить оптимізувати ефективність сепаратора шляхом управління потоком і температурою подачі в залежності від витрати з сервісного бака.

3. Впровадження системи контролю обробки палива, Catguard від NanoNord, із чотирма автоматичними точками і однією точкою відбору проб із ручним керуванням. Catguard

автоматично вимірює рівень вмісту алюмосилікатів у різних точках відбору проб. Якщо на вході в двигун досягається заздалегідь встановлений рівень сигналу тривоги, можна в екстреному порядку переключитися на більш чисте паливо з бака.

4. Встановити для захисту двигуна фільтр тонкої очистки (10 мкм) перед двигуном.

Схема модернізованої паливної системи судна «BALTIC COMMANDER I» представлена на рис. 2.

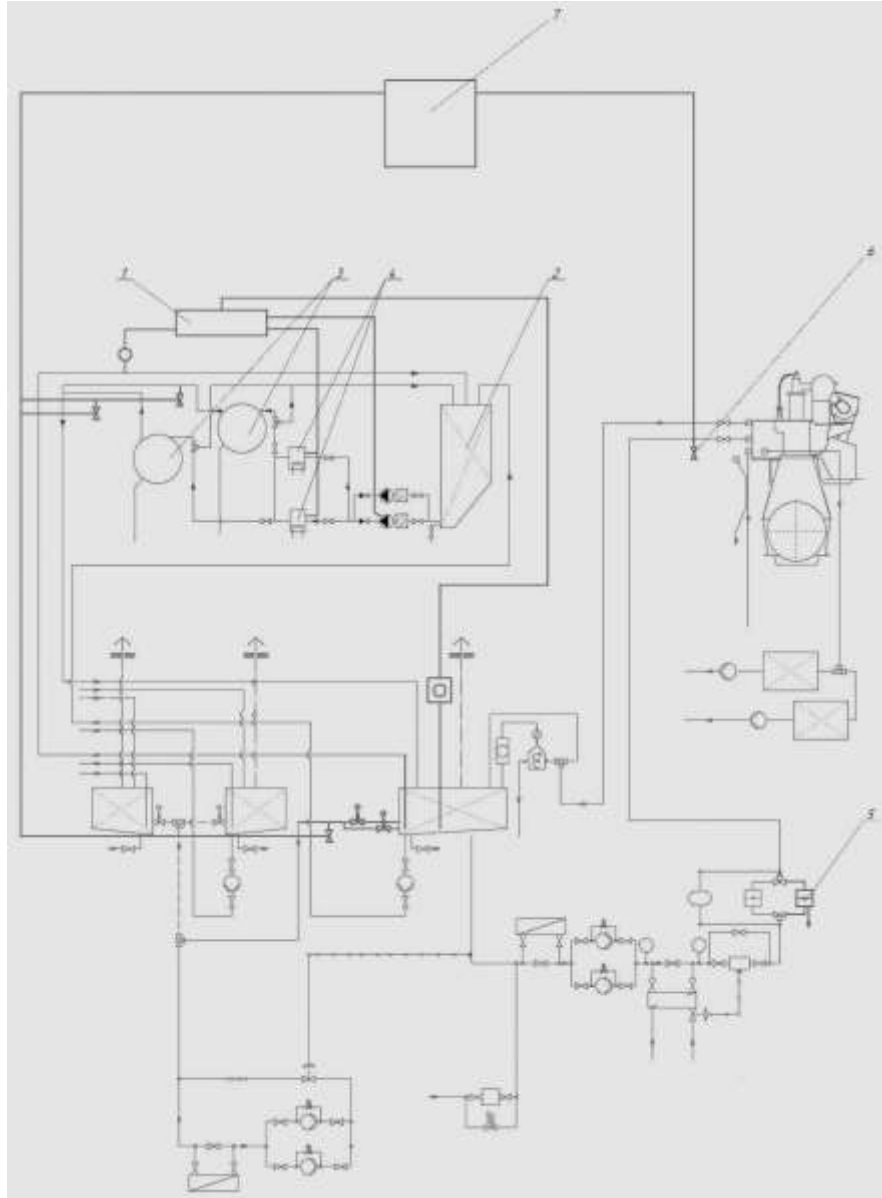


Рисунок 2 – Схема модернізованої паливної системи судна «BALTIC COMMANDER I»: 1 – система PID управління сепараторами; 2 – відстійний танк; 3 – сепаратор; 4 – нагрівач; 5 – фільтр 10 мкм; 6 – пробовідбірний клапан; 7 – система контролю обробкою палива

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУМІШЕЙ ОЗОНОБЕЗПЕЧНИХ ТА ПРИРОДНИХ ХОЛОДОАГЕНТІВ У СИСТЕМІ ОХОЛОДЖЕННЯ ПАЛИВА СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ

Мальчевський В.П., Варбанець Р.А.
Одеський національний морський університет, Україна

Вимоги міжнародної морської організації, урядових агенцій з захисту довкілля та інших неурядових груп націлені на зменшення при експлуатації дизельних двигунів викиду у навколишнє середовище шкідливих речовин. Серед цих речовин найбільш небезпечними є окисли сірки (SO_x), азоту (NO_x) та тверді частки. У відповідності із зазначеними вимогами відбувається активний перехід на палива із наднизьким вмістом сірки.

Використання вказаних палив в морських дизелях пов'язане з низкою труднощів, тому що ці двигуни, як-правило, розроблені для експлуатації на паливах з високою в'язкістю та змащувальною здатністю. Значення в'язкості для палив із наднизьким вмістом сірки при звичайній температурі повітря у машинному відділенні здебільшого знаходяться у районі нижньої допустимої границі для дизельних двигунів. Найбільші складності мають місце тоді, коли при підвищенні температури палива перед двигуном значення в'язкості становляться нижче допустимого інтервалу.

Для забезпечення надійної роботи двигуна температуру палива необхідно постійно підтримувати такою, при якій буде забезпечуватися необхідне значення в'язкості палива. Для цього конструкція двигуна передбачує наявність системи охолодження палива з водяним охолоджувачем і чіллером для відведення тепла від води. У роботі запропоновано використання нових перспективних сумішей холодоагентів R125/R290 та R134a/R290 азеотропних складів, для яких були складені єдині рівняння стану для розрахунку термодинамічних властивостей у характерних точках циклу холодильної установки.

Для аналізу ефективності використання у якості робочих речовин нових сумішей холодоагентів були розраховані показники ефективності роботи холодильної установки чіллера на їх базі та на базі штатного холодоагенту R134a. У результаті аналізу було виявлено, що найбільші значення ефективного холодильного коефіцієнту відповідають установці на базі холодоагенту R134a, однак значне збільшення повної холодопродуктивності та ефективного ККД спостерігалось для установки на базі досліджуваних сумішей.

НАЛАШТУВАННЯ СУДНОВИХ АВТОМАТИЧНИХ РЕГУЛЯТОРІВ НАПРУГИ UNITROL

Наговський Д.А., Дощенко Г.Г.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Надійне електропостачання на судні – один із факторів безпеки мореплавства. Суднова електроенергетична система має основну та аварійну ланки живлення. Найбільший інтерес викликає робота основної ланки енергозабезпечення судна в реальному часі.

Актуальність досліджень. Від параметрів якості постачання електроенергії на судні залежить робота обладнання та стан вантажів. Навантаження на генераторну установку постійно змінюється, що зумовлює перепади та провали напруги, тощо. Швидка, точна та правильна реакція системи управління збудженням генераторів – є непростим завданням, з урахуванням норм безпеки, особливо при високій питомій нарузі (6600 В та вище). Тому, створення набору налаштувань для регулятора збудження судового генератора в залежності від характеру навантаження та швидкості його зміни в часі носить актуальний характер.

Постановка задачі. Отже, з огляду на актуальність теми, має місце створення наборів налаштувань автоматичного регулятора напруги (АРН) синхронного генератора на прикладі продукту Unitrol.

Результати досліджень. При роботі генератора, в залежності від навантаження обидві його обмотки – 3-фазна обмотка статора і обмотка збудження на роторі, нагріваються. Тому їх опір, R і $R_{ог}$ відповідно, збільшується. Це призводить до зниження напруги генератора.

Дійсно, збільшення опору обмотки статора призводить до збільшення повного опору Z обмотки статора і падіння напруги на ньому, тому напруга генератора зменшується [1]:

$$U = E - I_z. \quad (1)$$

Збільшення опору обмотки ротора призводить до зменшення струму збудження генератора:

$$I_e = \frac{U_e}{R_{ог}}, \quad (2)$$

де U_e – напруга збудження генератора.

Тому зменшується магнітний потік збудження генератора Φ , його ЕРС і напруга [1,3]:

Зогляду на це, доцільно використовувати вимірювання нагріву та динаміки нагріву обмоток для отримання налаштувань управління збудженням. Якщо звернутись до [2], то можна побачити ряд параметрів, які вже присутні в програмному забезпеченні АРН. Тому, для компенсації зменшення напруги генератора внаслідок нагрівання обмоток можливо використовувати вузли температурної корекції, що входять до складу АРН. При підвищенні температури обмоток такі вузли збільшують струм збудження і магнітний потік Φ генератора, в результаті його ЕРС і напруга стабілізуються:

$$U = E - I_z = const. \quad (3)$$

Регулювання використовується згідно рис.1, враховуючи управління за реактивною складовою (рис.2).

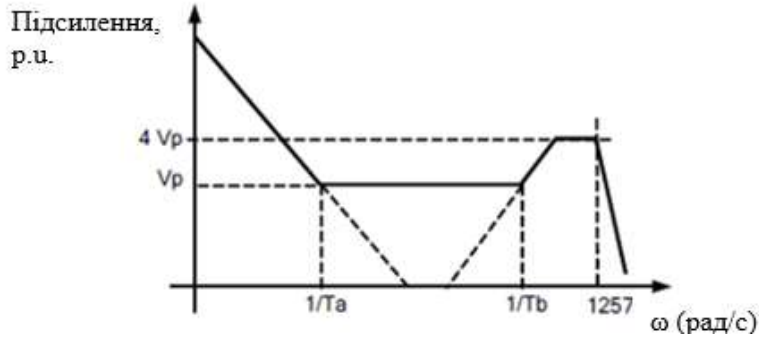


Рисунок 1. Регулювання параметрів АРН

На рис. 1. V_p – пропорційна ланка, $T_b(c)$ – диференційна постійна часу; $T_a(c)$ – інтегральна постійна часу

Тож, жорсткість характеристики, а отже і точність, швидкість та складність управління залежить від швидкості та амплітуди зміни навантаження, яке опосередковано має вплив на термічний стан обмоток. Тому слід використовувати ці дані для інтегральної складової.



Рисунок 2. Управління за реактивною складовою

Звернувшись до моделей в [1,2], з'ясовано, що при ступінчастій зміні збурення, наприклад опора навантаження, напруга на виході генератора миттєво змінюється на величину:

$$\Delta U(t=0) = u(p \rightarrow \infty) = \alpha_1 \chi + \alpha_2 \rho, \quad (3)$$

а в новому сталому режимі роботи системи воно відрізнятиметься від початкового (заданого) значення на величину статичної помилки:

$$\Delta U(t \rightarrow \infty) = u(p=0) = \frac{(\gamma_3 + \gamma_3 k) \cdot v + \alpha_1 \chi + \alpha_2 \rho}{1 + k_p \cdot k_{33} \cdot k_3} \quad (4)$$

Характер перехідного процесу в системі регулювання виразу і величина статичної помилки залежать від співвідношення коефіцієнтів посилення і постійних часу, які, у свою чергу, залежать від режиму роботи і характеру навантаження генератора. Значення коефіцієнтів k_3 , k_{33} і постійних часу T_3 , T_{33} визначаються станом магнітних систем генератора

і збудника. Для сталого режиму роботи, при різкій зміні навантаження, параметр $T_b(c)$, зогляду моделі [2], необхідно встановлювати в значення 3.

Висновки. Для забезпечення правильного налаштування АРН на прикладі продукту Unitrol, необхідно, щоб коефіцієнти зворотних зв'язків спирались на температурні показники обмоток генератора. Для забезпечення адекватної реакції системи збудження згідно моделі управління [2], її диференційний коефіцієнт при різкому збільшенні навантаження не повинен перевищувати значення '3'.

ЛІТЕРАТУРА

1. Проблеми автоматичного регулювання напруги суднових синхронних генераторів / Д.А.Наговський, Науковий вісник НЛТУ України: Львів. – 2015. – №25.9. – С.229 – 233.
2. ABB UNITROL 1020 User Manual. Meyer Werft GmbH, 2010. – 1309 p.
3. Устройство защиты от перенапряжения для судовых дг. // Ю.В.Щербаков, Д.А.Наговський, Матеріали IV Всеукраїнської студентської наукової конференції «Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавання». – Херсон:ХДМА. – 2014. – С. 411 – 413.

ПІДХОДИ ДО НОРМУВАННЯ ПАЛИВА НА ТРАНСПОРТІ

¹Барибін М.А., ²Фалендиш А.П., ²Клецька О.В., ²Іванченко Д.А., ³Джус В.С.

¹Український державний університет залізничного транспорту, Україна

²ДВНЗ Приазовський державний технічний університет, Україна

³Львівська філія ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, Україна

Вступ. Робота транспортних систем будь-якої країни базується на використанні енергетичних ресурсів. Паливо, як джерело хімічної енергії, є важливим елементом в енергобалансі без якого неможливе функціонування транспортних засобів та допоміжної інфраструктури. Тверде, рідке чи газоподібне – воно відноситься до невідновлювальних джерел, тому ощадне використання є першочерговим завданням. Важливим фактором в умовах зміни клімату є відповідність екологічним вимогам держави та раціонального використання споживаного обсягу.

Актуальність досліджень. Тому, паливно-енергетична складова, як основний компонент собівартості одиниці продукції транспорту, вимагає проведення детального обліку витрат об'єму споживання ресурсів. Аналіз вітчизняного та закордонного досвіду, нормативних документів та правових актів є основою роботи працівників енергоменеджменту, дії яких спрямовані на пошук прихованих можливостей в мінімізації кошторисної вартості продукції транспорту та відповідності технічних характеристик вимогам стандартів та підзаконних актів. Складання тягово-енергетичного паспорту, розділення витрат за напрямками експлуатації, раціональне використання тягових властивостей оточуючого середовища та рухомого складу, оптимізація графіків руху й методик обробки повинно стати пріоритетним напрямком в дослідженнях [1-3].

Постановка задачі. Проаналізувати та визначити підходи до нормування палива, встановити критерії оптимальності математичних моделей нормування витрати палива на транспорті, встановити перелік нормативних документів та законів по нормуванню.

Результати досліджень. Розгляд будь-якого транспортного засобу чи об'єкту стаціонарної енергетики полягає у енергетичному дослідженні (проведенні енергоаудиту) співробітниками енергетичного менеджменту на предмет відповідності існуючим нормативним документам країни експлуатації в цілому, та підприємства в частковому випадку, перелік яких наведено на рисунку 1.

Наступним кроком повинно стати вибір оптимального метода нормування палива з метою отримання довірчих даних в ході обчислень. Важливим елементом при виборі подібних методик є вплив факторів нормоутворення (рисунок 2). Аналіз існуючих методик показав що найбільш точні математичні моделі отримуються внаслідок систематичного перегляду методології розрахунку чи коефіцієнтів впливу тягово-енергетичних паспортів рухомого складу та обладнання стаціонарної або переносної енергетики. Розвиток науково-технічного прогресу, направлений на уніфікацію стандартизованих конструкційних рішень силового обладнання, та оптимізація способів обліку дають змогу розглядати рівняння тягово-енергетичного паспорту різних видів транспорту як єдиного для усієї лінійки, при наявності в їх конструкції оговорених елементів. Фізична суть мінімальних значень витрати палива полягає у оптимальному використанні технічних особливостей рухомого складу та особливостей навколишнього середовища при мінімальних витратах на переміщення вантажу чи пасажирів з виконанням графіку руху. При цьому ймовірність знаходження об'єму реальних витрат енергії на тягу при експлуатації стає нескінченно малою величиною, поясненням якого є наявність людського фактору в управлінні експлуатованою одиницею.

Вирішенням цього питання є впровадження мікропроцесорного управління в режимізації роботи силового обладнання для наближення:

$$P(G_{\min}(t = t_n) \Leftrightarrow G_{\min}(S = S_n)) \rightarrow 0 \forall G_{\min}(t_n; S_n) \rightarrow \min^T, \quad (1)$$

де $G_{\min}(t_n; S_n)$ – витрати палива в момент часу t_n та протягом пройденої відстані S_n , кг; \min^T – відповідно мінімальні витрати палива в момент часу t_n та протягом пройденої відстані S_n , кг.

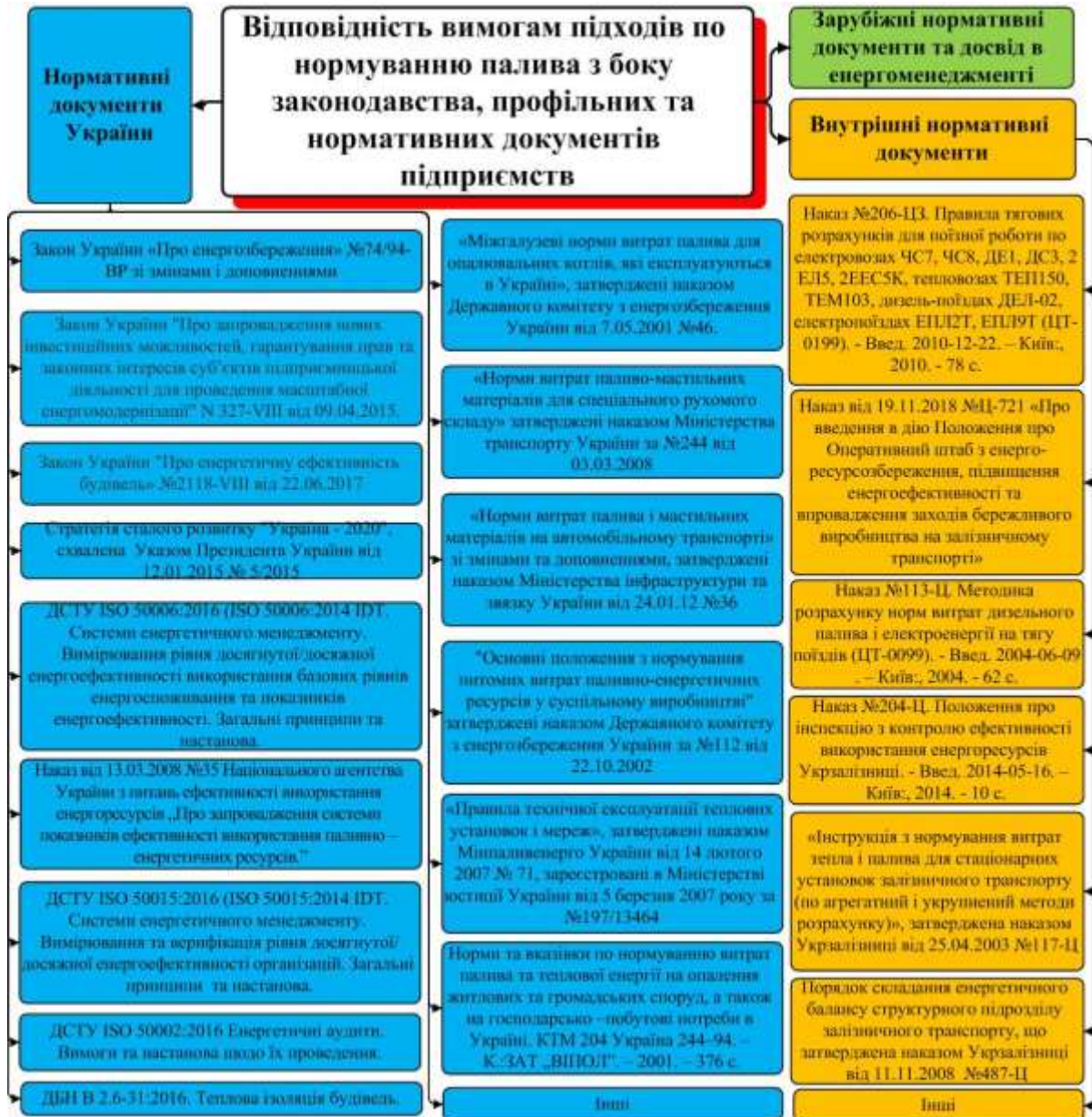


Рисунок 1 – Схематичне зображення переліку основних існуючих нормативних документів з нормування витрат палива на транспорті

Для наближення кривої обраної математичної моделі до значень реального об’єкта пропонується лінеаризоване сходження дотичних кривих по заданих точках дотику, загальний вид рівняння якого визначається за виразом [4]:

$$T \frac{dx}{dt} = \xi - \lambda, \quad (2)$$

де T_x – постійна об'єкту; $\frac{dx}{dt}$ – параметр впливу на об'єкт з прив'язкою до часу; ξ – вихідне значення об'єкту діагностування; λ – величина зміни вихідних параметрів.

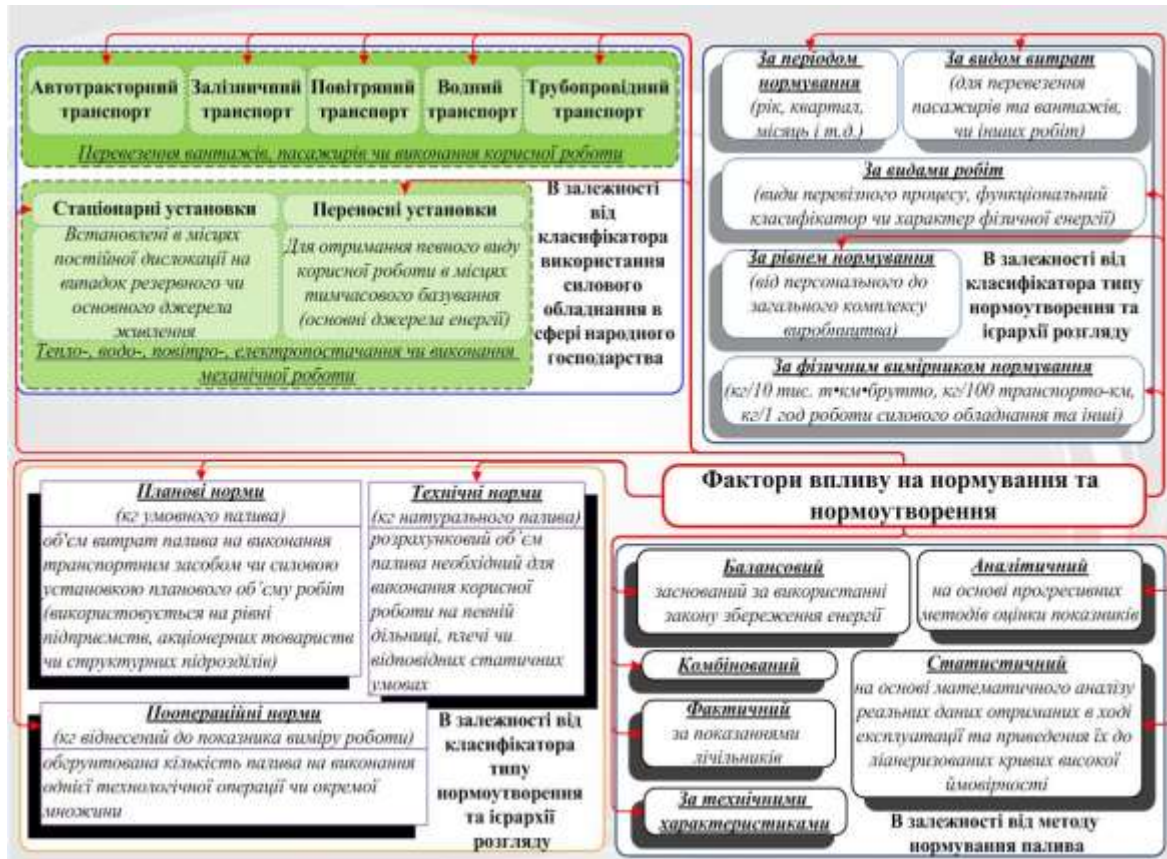


Рисунок 2. Схематичне зображення факторів впливу та підходів до нормування палива на транспорті

Висновки. Вибір раціонального підходу до нормування палива на транспорті дозволить визначити величини, виконувати статистичний пошук витрат паливно-мастильних матеріалів в системі енергобалансу підприємства та розробити рекомендації по економній експлуатації рухомого складу чи силового обладнання обслуговуючому персоналу [1-3, 5].

ЛІТЕРАТУРА

1. Barybin M., Falendysh A., Hatchenko V., Kletska O., Kiritseva E. Determination of rational locomotive operating modes and resource costs based on information from global positioning systems // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering International Scientific Conference Energy Efficiency in Transport (EET 2020). Volume 1021, February 2021, pp 1-8.
2. Інформаційно-розрахунковий комплекс «Тягові розрахунки» та математичні методи пошуку основних параметрів руху поїзда як основи оптимізації витрат ресурсів на тягу [Текст] / М.А. Барибін, А.П. Фалендиш, В.О. Гатченко, О.В. Клецька, О.В. Кіріцева // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2020. -№4. -С.15-27.
3. Модель визначення характеристик режимних карт ведення поїзда / М.А. Барибін, А.П. Фалендиш, В.О. Гатченко, О.В. Клецька, О.В. Кіріцева // Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології». –К.: ДУІТ. 2020. –Вип.36. - С.132-142.
4. Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа. –М.: Дрофа, 2003. 703 с.
5. Осипов С.И., Осипов С.С. Основы тяги поездов. Учебник для студентов техникумов и колледжей жеззнодорожного транспорта Москва: УМК МПС России, 2010. 592 с.

АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТУ ДВИГУНІВ ЗАСТАРІЛИХ ЧИ МАЛОПОШИРЕНИХ МОДЕЛЕЙ

Литвин С.М.
ТОВ «Мотортех», Україна

Вступ. Після розвалу СРСР на території держав, що утворилися на його уламках залишилася значна кількість дизельних і газових двигунів різних моделей. Одночасно, внаслідок послаблення митного контролю, на територію цих держав, і на Україну також, хлинув потік енергетичних установок різних типів і виробників, що, внаслідок збільшення кількості типорозмірів двигунів, викликало ускладнення виконання технічного обслуговування, ремонтних робіт та забезпеченню витратними матеріалами і запасними частинами даних двигунів. Як наслідок це призвело до збільшення часу проведення ремонтів двигунів в зв'язку з дефіцитом запасних частин та витратних матеріалів або потребувало створення понаднормових запасів ЗіП для ремонту двигунів. Як наслідок відбулося зростання собівартості експлуатації двигунів застарілих чи рідкісних моделей.

Актуальність досліджень. Аналіз досвіду експлуатації ряду двигунів застарілих чи малопоширених моделей показав, що більшість даних двигунів, наприклад двигуни ЧН25/34 виробництва заводу ім. 25 Жовтня (Україна), S та L275 виробництва ЧКД «Шкода» (Чехословачина) та двигуни інших виробників (Дойц, SKL, Катерпіллар, «Двигатель Революции», «Дальдизель», тощо) досить часто не відпрацювали свого ресурсу, мають хороші ресурсні показники та ремонтпридатність, як правило, вже змонтовані та оснащені відповідною інфраструктурою, а персонал що їх обслуговує має певний досвід та навички їх експлуатації і тому їх заміна на більш сучасні в більшості випадків не має економічного підґрунтя. Але питання виконання технічного обслуговування, ремонтних робіт та забезпеченню витратними матеріалами і запасними частинами даних двигунів застарілих чи рідкісних моделей мають певні особливості в організаційному плані. Це пов'язано з відсутністю можливості швидкого забезпечення ремонту двигунів запасними частинами потрібної номенклатури, їх надто високою вартістю із за дефіцитності, а часто і низькою якістю, що пов'язане з широким застосуванням запасних частин, що вже були у вжитку або виробляються в обмеженій кількості.

Рішення задачі. Для зменшення негативного впливу вищеназваних факторів ремонт виконується в три етапи:

- а) розбирання двигуна і проведення його дефектації;
- б) замовлення та придбання, по результатам дефектації, запасних частин чи проведення конструкторсько-технологічних робіт з метою виготовлення альтернативних запчастин в умовах власного чи спеціалізованого виробництва та їх виготовлення, відновлення запасних частин, що підлягають відновленню і придатні для цього; забезпечення ремонту спеціалізованим інструментом та пристосуваннями;
- в) проведення ремонту (складання двигуна) і проведення післяремонтних випробувань.

Під час етапу а) проводиться розбирання двигуна, очищення деталей та вузлів від бруду, нагару та інших відкладень. Після очищення проводиться дефектація деталей та вузлів, визначення залишкового ресурсу та придатності їх для подальшої експлуатації, визначення непридатних для подальшої роботи елементів двигуна. Підсумком даного етапу є відомість дефектації з визначенням деталей придатних для відновлення та тих що треба придбати чи виготовити. Важливим елементом даного переліку є інформація стосовно ущільнюючих матеріалів і виробів – О – кільця, паронітові, картоні чи гумові прокладки, їх креслення. Одночасно визначається перелік спеціальних інструментів та пристосувань потрібних для

подальшого ремонту, визначається можливість заміни їх універсальним інструментом чи використання його елементів. Наприклад, динамометричних ключів, знімачів, домкратів, масло насосних станцій, тощо.

Під час етапу б) виконується забезпечення ремонту запасними частинами та потрібним спеціалізованим інструментом та пристосуваннями. Визначається можливість використання альтернативних запасних частин, для чого виконуються, за потреби, проектні роботи чи до спеціалізованого підприємства передається зразок деталі яку потрібно виготовити. Проводиться відновлення деталей, що підлягають відновленню – наприклад, проводиться пере заливання бабітових підшипників і втулок, відновлення пошкоджених чи зношених поверхонь шляхом нанесення покриття – антифрикційного, зміцнюючого чи захисного, тощо. Паралельно виконується забезпечення наступного ремонту спеціалізованим інструментом та пристосуваннями шляхом його придбання чи виготовлення. Підсумком даного етапу є забезпечення ремонту запасними частинами, спеціалізованим інструментом та пристосуваннями згідно дефектаційної відомості.

На етапі в) проводиться складання двигуна з використанням придбаних та відновлених запасних частин і його випробування. Для складання застосовується як універсальний так і спеціалізований інструмент придбаний чи виготовлений на етапі б). В ході проведення випробувань проводиться регулювання двигуна та його обкатка, а після проводиться усунення виявлених дефектів, протічок моторного масла та інших експлуатаційних рідин. Визначається перелік запчастин потрібних для забезпечення технічного обслуговування двигуна в міжремонтний період.

Наряду з проведенням ремонту важливе значення має і технічне обслуговування двигуна в міжремонтний період та забезпечення його витратними матеріалами. Дане питання має також певні особливості, що пов'язані зі зміною номенклатури паливо-мастильних та інших витратних матеріалів. Наприклад, для двигателя 6S275 повинне застосовуватися моторне масло ДТ11 по ГОСТ5304 яке на даний час малопоширене в зв'язку з чим в експлуатації досить часто взамін нього використовують масло М14Г2К. Масло М14Г2К на відміну від ДТ11 більше схильне до утворення емульсії при змішуванні з водою що ставить підвищені вимоги до роботи системи охолодження. Другий приклад, ряд споживачів для уникнення розмерзання двигунів міняють охолоджуючу рідину – воду на тосоли чи антифризи, які досить часто приводять до виходу двигуна з ладу із-за пошкодження ущільнень. Тому така заміна недопустима або потребує ремонту двигуна з встановленням ущільнень відповідної якості.

Висновки та рекомендації. Проведення ремонту в три етапи, незважаючи на зростання календарного часу проведення ремонту дозволяє зменшити собівартість ремонту за рахунок скорочення витрат на запасні частини та витрат робочого часу на проведення власне ремонту, підвищує якість ремонту. З метою подальшого скорочення витрат на експлуатацію бажано вивести з експлуатації, після використання наявних запчастин та витратних матеріалів, двигуни що зустрічаються дуже рідко чи зняті з виробництва або які немає можливості забезпечити альтернативними запасними частинами. В кожному конкретному випадку дане питання вирішується індивідуально для кожного споживача і кожного конкретного двигуна.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ БЕСЩЁТОЧНЫХ СУДОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В РЕЖИМАХ УПРАВЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОМ МОЩНОСТИ

¹Авраменко Н.Н., ²Растегина Г.И.

¹Херсонская государственная морская академия, Украина

²Морской профессиональный колледж
Херсонской государственной морской академии, Украина

Введение. При параллельной работе судовых синхронных генераторов зачастую возникают проблемы в распределении реактивных мощностей, что в результате приводит к не экономному расходу топлива, значительным электромагнитным потерям, нарастанию температуры статора и даже может быть причиной обесточивания судна. При этом защита зачастую отключает исправный генератор.

В целях более безопасной эксплуатации судовых электростанций, повышения надежности и срока службы электрооборудования, экономного расхода топлива современные автоматические регуляторы напряжения (АРН) снабжены цифровым модулем или дополнительным блоком управления коэффициентом мощности $\cos \varphi$ (PF), который в режиме параллельной работы генераторов обеспечивает распределение реактивной мощности по коэффициенту мощности.

Актуальность исследований. В настоящее время в учебной и справочной литературе хорошо раскрыты вопросы условий и методов включения на параллельную работу судовых синхронных генераторов, методов распределения активной нагрузки, а вот информация о распределении реактивной нагрузки приведена для устаревших систем автоматического регулирования напряжения щеточных синхронных генераторов. Отсутствует обобщенная и систематизированная информация о распределении реактивной нагрузки современными цифровыми и аналоговыми АРН бесщеточных генераторов по закону регулирования $\cos \varphi$.

Постановка задачи. Выполнить анализ работы систем автоматического регулирования напряжения бесщеточных судовых синхронных генераторов в режиме параллельной работы. Определить законы распределения реактивных нагрузок, которые реализуются в современных электростанциях, в том числе в энергосберегающих режимах при неравномерном распределении активных нагрузок, разобраться в особенностях схемной реализации этих законов. Выработать рекомендации по внедрению в учебный процесс занятий по вопросам распределения реактивных нагрузок в современных электростанциях.

Результаты исследований. В качестве источника электроэнергии на судах используют синхронные генераторы, которые снабжены системой возбуждения и автоматического регулирования напряжения, которая в режиме одиночной работы генератора обеспечивает стабилизацию выходного напряжения генератора, а в режиме параллельной работы дополнительно обеспечивает распределение реактивной нагрузки.

В настоящее время в судовой электроэнергетике существуют несколько подходов к распределению реактивной нагрузки между параллельно работающими синхронными генераторами:

1) выравнивание реактивных мощностей работающих генераторов при всех режимах работы

$$Q_{Г1} = Q_{Г2} = \dots = Q_{Гn},$$

где $Q_{Г1}$; $Q_{Г2}$; ...; $Q_{Гn}$ – реактивные мощности 1-ого, 2-ого, n-ого работающих генераторов;

2) выравнивание коэффициента мощности всех работающих генераторов

$$\cos \varphi_{Г1} = \cos \varphi_{Г2} = \dots = \cos \varphi_{Гn},$$

где $\cos \varphi_{Г1}$; $\cos \varphi_{Г2}$; ...; $\cos \varphi_{Гn}$ – коэффициенты мощности 1-ого, 2-ого, n-ого работающих генераторов;

3) поддержание коэффициента мощности на заданном уровне независимо от колебаний напряжения и нагрузки (применяется при параллельной работе генератора с неустойчивыми шинами);

4) поддержание реактивной мощности на заданном значении при колебаниях в системе напряжения и нагрузки.

Наибольшее распространение получили первые два метода распределения реактивных нагрузок.

Для выполнения функции автоматического распределения реактивных нагрузок по какому-либо закону в автоматический регулятор напряжения должен подаваться сигнал по току и по напряжению.

На современных судах нашли применение как аналоговые, так и цифровые системы автоматического регулирования напряжения. Большинство из аналоговых АРН снабжены реактивными компенсаторами, которые в режиме параллельной работы способны автоматически только выравнять реактивные мощности работающих генераторов по статическому или астатическому закону. Реактивные компенсаторы, реализующие статический закон выравнивания реактивных нагрузок, имеют схему, представленную на рисунке 1.

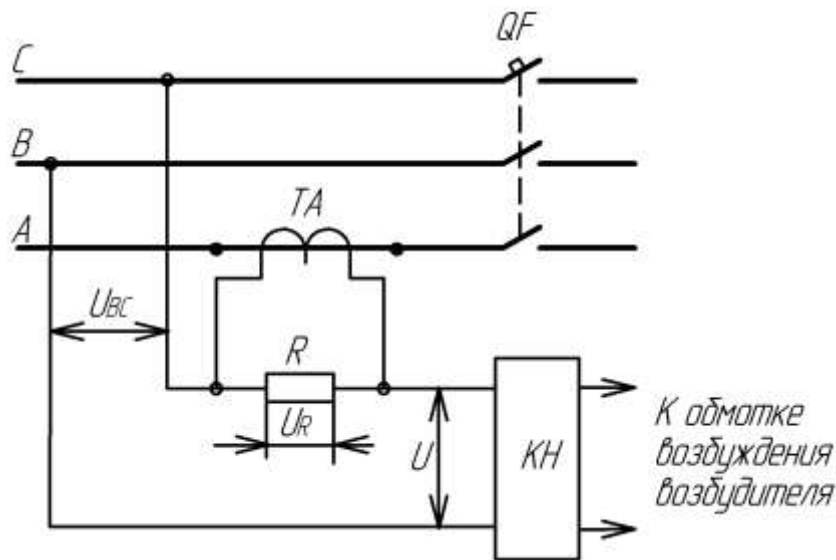


Рисунок 1 – Схема статического реактивного компенсатора

Напряжение, подаваемое на корректор напряжения КН (регулятор напряжения) $U = U_{BC} + U_R$, определяет ЭДС генератора. Неравномерность распределения реактивных нагрузок в таких схемах вызвана неодинаковым статизмом внешних характеристик синхронных генераторов. Статические реактивные компенсаторы применяют при статизме внешних характеристик СГ (3...4) %, при этом достигается устойчивое распределение реактивных нагрузок. При меньшем статизме устойчивость распределения нарушается и тогда применяют уравнивательные соединения между вторичными обмотками трансформаторов тока, которые подают сигнал в корректор (см. рис. 2) [1]. Компенсаторы, использующие уравнивательные связи, называются астатическими.

Рассмотрим работу астатического компенсатора при параллельной работе двух генераторов (см. рис. 2). Чтобы обеспечить выравнивание реактивного тока по астатическому закону, для каждого генератора установлен трансформатор тока (ТА1, ТА2), причем, ток вторичной обмотки первого трансформатора должен совпадать с током вторичной обмотки

второго трансформатора при одинаковой нагрузке. Трансформаторы тока соединены между собой. При равномерном распределении реактивных нагрузок между генераторами ток, протекающий через нагрузочные резисторы $R1$ и $R2$ автоматических регуляторов напряжения АРН1 и АРН2 генераторов, будет равен нулю, поскольку вторичные токи трансформаторов I_1 и I_2 будут компенсировать друг друга. При неравномерном распределении реактивных нагрузок токи I_1 и I_2 уже не будут компенсировать друг друга, поэтому в нагрузочных резисторах появится уравнивающий ток, который создаст падение напряжения на этих резисторах. В результате АРН недогруженного генератора увеличит ток возбуждения, а перегруженного – уменьшит. Процесс перераспределения реактивных нагрузок закончится, когда нагрузки на генераторах выровняются, а падение напряжения на нагрузочных резисторах будет равно нулю.

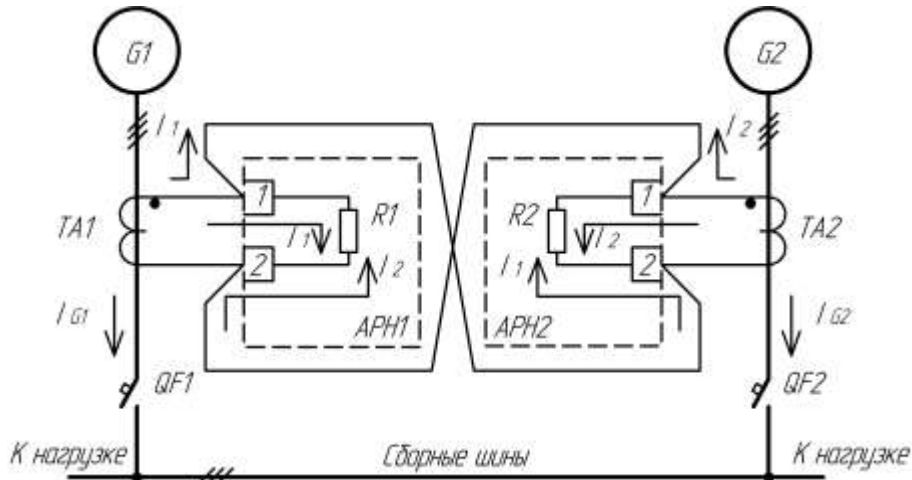


Рисунок 2 – Схема астатического реактивного компенсатора

Второй метод распределения реактивных нагрузок по закону выравнивания коэффициента мощности всех работающих генераторов может быть реализован цифровыми, а также некоторыми аналоговыми системами возбуждения и автоматического регулирования напряжения, в которых присутствует модуль регулятора $\cos \phi$ (PF), или предусмотрено внешнее подключение этого модуля.

На рисунке 3 представлена структурная схема аналогового регулятора напряжения при работе в режиме стабилизации $\cos \phi$ с алгоритмом ПИД регулирования.

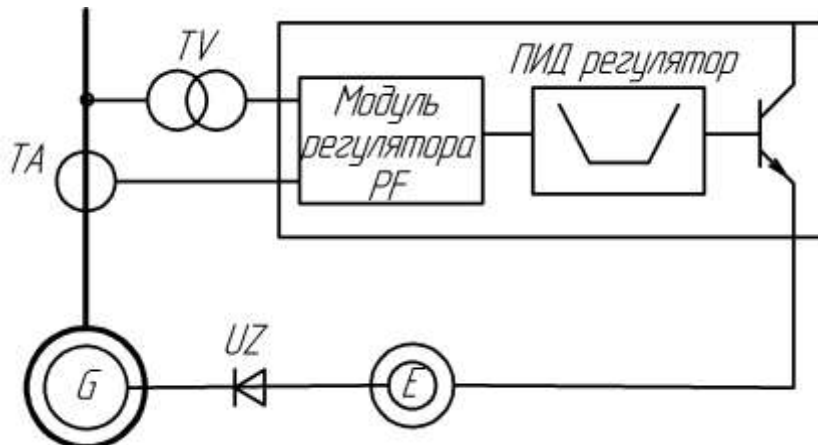


Рисунок 3 – Структурная схема регулятора напряжения при работе в режиме стабилизации $\cos \phi$ с алгоритмом ПИД регулирования

В настоящее время на судах начинают применяться цифровые автоматические регуляторы напряжения – контроллеры генераторов. Они представляют микропроцессорные АРН с использованием полупроводниковой технологии IGBT. Все операции производятся через панель управления, которая расположена на агрегате.

При параллельной работе генераторов для распределения реактивной нагрузки по заранее заданному закону все АРН должны работать в автоматическом режиме и иметь одинаковые настройки их контроллеров. Распределение нагрузки осуществляется через порты RS-485 с использованием собственного протокола.

Регуляторы передают свои значения через шину RS485 (см. рис.4), а другие регуляторы используют эту информацию для расчета собственной уставки, чтобы уровень напряжения на шине поддерживался на уровне 100%, а собственная реактивная нагрузка соответствовала заданному закону. Для этой системы связи система-мастер не требуется.

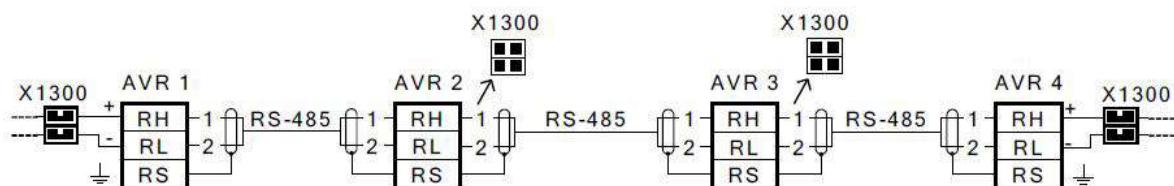


Рисунок 4 – Подключение АРН по интерфейсу RS-485 [2]

В целях экономии топлива и уменьшения выброса CO_2 в атмосферу в настоящее время в режиме длительного перехода судна между портами используют энергосберегающий режим работы электростанции, при котором активная нагрузка между параллельно работающими генераторами распределяется неравномерно. Из условий устойчивости работы судовых синхронных генераторов, а также экономичности в режиме параллельной работы реактивная нагрузка между этими генераторами должна распределяться пропорционально активной нагрузке, т. е. по закону выравнивания их коэффициентов мощности. При переводе генераторов электростанции на ручной режим управления активную нагрузку можно вручную переводить с одного генератора на другой, при этом реактивная нагрузка должна распределяться автоматически по закону выравнивания их коэффициентов мощности.

Это подтверждает эксперимент, выполненный на тренажере-симуляторе машинного отделения «Kongsberg» MC90-V (MD111).

Исследования проводим в режиме параллельной работы дизельгенераторов DG1 и DG2, каждый из которых работает сначала в автоматическом режиме, а затем в режиме ручного управления. На рисунках 5 представлена схема тренажера при ручном управлении генераторами и неравномерном распределении активных нагрузок, при этом на экран монитора выведены дополнительно два окна с текущими параметрами регуляторов напряжения, слева DG1, справа DG2. Вверху каждого окна представлена структурная схема регулятора, справа настройки PID-регулятора, внизу – осциллограммы переходных процессов. Внешний вид монитора в режиме автоматического управления в данной статье не показан, но анализ показаний приборов приведен ниже.

При установке генераторов в режим автоматического управления активная и реактивная нагрузки между генераторами распределились равномерно, коэффициент мощности генераторов практически одинаковый. Числовые результаты приведены в таблице 1.

При установке генераторов в режим ручного управления и переводе частично активной нагрузки со второго на первый генератор, реактивная нагрузка начинает перераспределяться автоматически по закону стабилизации коэффициента мощности. Числовые результаты приведены в таблице 1.

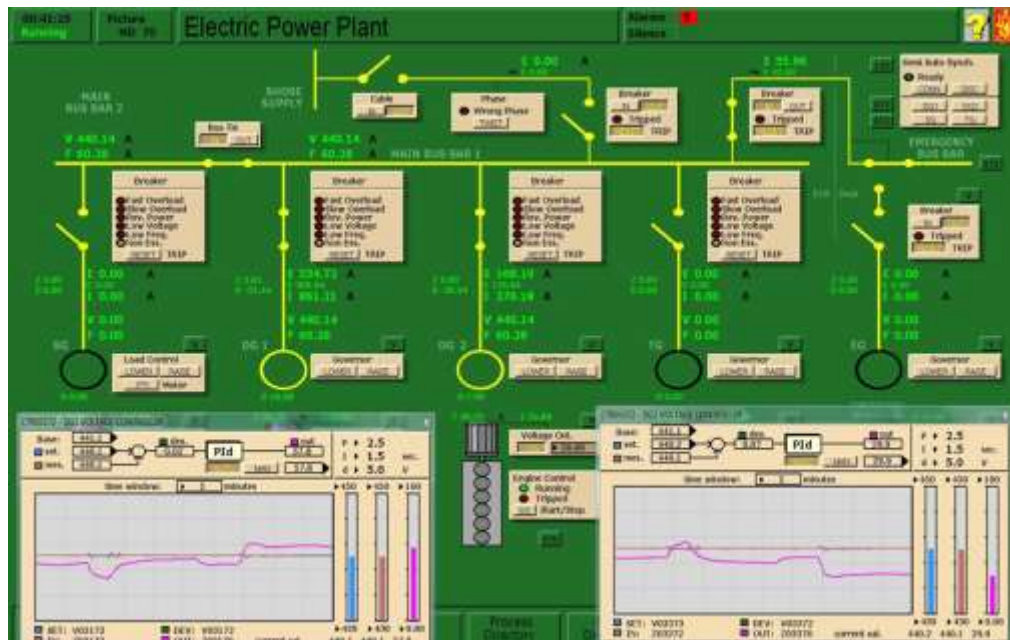


Рисунок 5 – Схема тренажера в режимі ручного управління і неравномерном розподіленні активної навантаження

Таблиця 1 – Результати експериментів по розподіленню навантаження між генераторами

| № генератора | Ном. мощность кВт | Режим работы | Текущие параметры | | |
|---------------|-------------------|--------------|------------------------|---------------------------|-------|
| | | | Активная мощность, кВт | Реактивная мощность, кВАр | cos φ |
| Эксперимент 1 | | | | | |
| DG1 | 800 | автомат. | 344 | 253 | 0,8 |
| DG2 | 800 | автомат. | 341 | 251 | 0,81 |
| Эксперимент 2 | | | | | |
| DG1 | 800 | ручной | 534 | 380 | 0,81 |
| DG2 | 800 | ручной | 168 | 126 | 0,8 |

Експеримент підтвердив наші розсудження о законі розподілення реактивної навантаження між паралельно працюючими СГ с сучасними мікропроцесорними АРН при рівномірному або неравномірному розподіленні активних навантажень – управління реактивними навантаженнями виконується по закону вирівнювання коефіцієнта потужності всіх генераторів.

Висновки. Исследования, проведенные на симуляторе «Kongsberg», дают нам право утверждать, что управление процессом распределения реактивных мощностей по коэффициентам мощности – это современный метод повышения безопасности плавания и исключения режимов обесточивания судна.

Рекомендуем введение в учебный процесс колледжей, академий, тренажерных центров и курсов повышения квалификации обязательного изучения современных регуляторов АРН с управлением по коэффициенту мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергиенко Л.И., Миронов В.В. Электроэнергетические системы морских судов/ Л.И. Сергиенко, В.В. Миронов. – М.: Транспорт, 1991. – 264 с.
2. Rami Rajamäki. Load Sharing Communication between Different Engine/Generator Controllers. - UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, 2015. – 62 p.

INCREASING THE SERVICE LIFE OF SHIP DIESEL INJECTORS

Bulgakov M. Satulov A.
Kherson State Maritime Academy, Ukraine

Introduction. Operating experience and statistics show that the least durable part of a diesel engine is the fuel equipment, which accounts for most of all engine failures. This is confirmed by the short average service life of fuel equipment elements. At the same time nozzle sprays which share according to various estimates from 30% to 90% of all failures on the engine most often fail. In this case, its main node – a conical seal fails in more than 30% of all cases. The average failure time for different sprayers ranges from 500 to 4000 hours [1]. It is connected with design features, with manufacturing technology, features of installation and operation of sprays.

Problem Statement. Taking into account all of the above, the task of increasing the resource of the sprayer and its locking group is important and relevant.

Research results. When operating on heavy fuel, the sprayer temperature rises compared to diesel operation due to the overall heating of the fuel. In addition, at full load modes, when the fuel does not cool down in the pipelines, heating can increase from fuel modulation when pumping through the channels of the fuel system and the nozzle.

However, the thermal mode of operation of the atomizer has very narrow optimal limits of reliable operation on heavy fuels. In the case of too high heating of the atomizer (more than 180 ° C), fuel decomposition begins and intensive coking of the nozzle openings occurs.

It is known that some chromium-nickel-molybdenum steels for atomizers containing up to 4.5% of these alloying elements, in contrast to steels with nitriding, begin to change their hardness at heating temperatures above 200 ° C. Therefore, to operate on heavy fuel, the injector atomizer must be cooled. At the same time, when the nozzle is overcooled below 110 ° C, moisture condenses from the cylinder on the nozzle of the atomizer, as a result of which, when operating on sulphurous fuel, the atomizer begins to corrode intensively from the outside and which leads to its destruction. So, if the fuel system should provide high-quality fuel atomization, then the reliability and support of the long-term operation of the atomizer should be provided by the injector cooling system.

According to experimental studies and operating experience, the optimum temperature of the nozzle of a medium speed diesel engine should be 140 ... 180 ° C [1]. Such conditions in modern medium-speed diesel engines are usually provided by a special nozzle cooling system with circulation of diesel fuel or oil, which makes it possible to regulate the sprayer temperature.

The need to maintain a certain cooling temperature of the injector parts is explained by the fact that for each type of engine an even narrower temperature limit is set in this range, depending on the air humidity and the type of fuel used.

Circulation in the pump line is one of the ways to improve prestart operations and diesel starting when operating on heavy fuel oil. The pumping operations before start-up provide for the replacement of the cooled fuel in the cavities of the pump line with heated fuel with the viscosity required for normal operation.

Ideally, the priming system should remove fuel from the entire pump line, including the high pressure fuel pump, high pressure line, and injector. In practice, such variants of the pumping system do not yet exist due to the excessive complexity of the fuel injection equipment. In the known structures, one high-pressure fuel line is most often pumped, it has the largest volumes of internal cavities in comparison with other elements of the pump line.

Another reason for overheating and coking of the spray nozzles is the penetration of gases from the engine cylinder directly under the spray needle. This phenomenon occurs when the gas pressure exceeds the fuel pressure under the nozzle needle. Despite the fact that the opening pressure

of the needle is usually 1.5 ... 2 times higher than the pressure in the cylinder, this is possible with oscillatory phenomena of the fuel in the high-pressure pipeline and when the needle bounces under the action of elastic forces, it causes fuel spikes (Fig. 1) [2].

In such cases, carbon deposits appear on the nozzle needle, which increases in volume during operation, moves along the guide path, hardens and leads to a hangup of the needle with all the consequences for the engine [3].

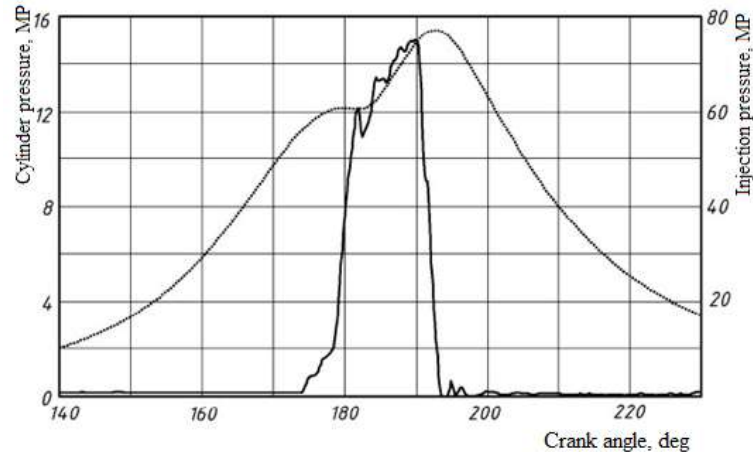


Figure 1. Oscillogram of fuel pressure in the injector and gas pressure in the cylinder

Violation of the sealing properties of the atomizer, which is diagnosed at the crimping stand as "poor injection", manifests itself on the engine in the form of an increased temperature of exhaust gases, increased smoke and increased fuel consumption. Further operation leads, as a rule, to coking of the nozzle openings and to jamming of the needle [4]. One of the main reasons for coking is the unfavorable nature of the fuel supply process, especially in its final phase.

Conclusions. The analysis of the design characteristics of the nozzle sprays and their conical seals allows us to conclude that there are unrealized design and technological reserves in increasing the resource. The workmanship of the cone seals of the nozzles is of paramount importance here. It was found that the maximum lift of the needle, the energy of the compressed spring of the nozzle, the diameter of the base of the locking group and its angle, the width of the sealing band and its total roughness, affect the performance of the conical seal of the spray. Moreover, these parameters are interrelated and it is possible to optimize the characteristics to obtain a conical seal design with an increased resource.

LITERARY SOURCES

1. Кузькин В.Г., Толмачев А.В. Снижение ударных нагрузок при посадке иглы распылителя форсунки. Сб. Эффективность эксплуатации технических систем.- Олыитын 1999. С.256-260

2. Булгаков М.П. Підвищення ресурсу форсунок суднових дизелів/ М.П. Булгаков / Матеріали міжн. наук.-практ. конф. Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 11-а Міжнародна науково-практична конференція. – Херсон.; Вид-во Херсонська державна морська академія, 2020. – С. 151-153

3. Brady, R.N. Diesel Fuel Systems [Text] / R.N. Brady// Preston Publishing Incorporated, 1991. - P. 564.

4. Segin S.V., Solodovnikov V.G. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines. Modem Applied Science; Published by Canadian Center of Science and Education. 2015. Vol. 9. № 5. P. 269-278.

АНАЛІЗ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ АВАРІЙНОСТІ ПІСЛЯ ЗНИЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ДОЗВОЛЕНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ УКРАЇНИ

Рябушенко О.В., Наглюк І.С., Чжен Івей
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Вступ. Встановлення обмежень швидкості руху транспортних засобів на вулицях і дорогах населених пунктів є одним з базових принципів організації дорожнього руху та головним інструментом забезпечення необхідних показників його ефективності та безпеки. Зміна встановлених обмежень швидкості подекуди використовується в якості організаційного рішення з метою зниження рівня небезпечності ділянки дороги або частини вулично-дорожньої мережі міста. Загальна ж зміна встановлених обмежень швидкості для великого регіону або держави в цілому є неординарним явищем і тому представляє неабиякий інтерес для дослідження. Аналіз зміни статистики аварійності та смертності в ДТП після встановлення нових обмежень швидкості може стати вагомим підтвердженням вірності або помилковості прийнятої концепції управління швидкісним режимом.

Аналіз публікацій. В великій кількості робіт, присвячених впливу швидкісного режиму на дорогах на рівень аварійності та дорожньо-транспортного травматизму, доводиться факт зростання ймовірності виникнення ДТП зі збільшенням швидкості руху автомобіля [1-4]. Також велика кількість досліджень присвячені аналізу впливу швидкості руху на тяжкості наслідків ДТП для окремих категорій учасників руху, перш за все пішоходів [5,6]. Спостерігається зростання ймовірності травмування або смерті потерпілого в ДТП при збільшенні швидкості руху автомобіля.

У ряді досліджень вплив швидкісного режиму на безпеку дорожнього руху встановлюється в результаті аналізу статистики ДТП до і після зміни встановлених обмежень швидкості на певній сукупності автомобільних доріг або в цілому регіоні [7,8]. У звіті Європейської ради з транспортної безпеки [9] наведені дані про зміни показників аварійності та смертності в ДТП для ряду країн, де в період з 1985 по 1989 рік були встановлені нові обмеження швидкості.

Результати найбільш значущих досліджень зазначеної проблеми в стислому вигляді наведені в таблиці 1.

Постановка задачі. Відзначаючи значну кількість опублікованих досліджень з питання впливу зміни обмеження швидкості на безпеку дорожнього руху, досить актуальними залишаються дослідження зміни показників аварійності та смертності в ДТП після зміни обмежень швидкості для таких великих країн, як Україна. Таким чином, доцільно проаналізувати досвід України як останньої з великих європейських країн, де відбулося зниження обмеження швидкості руху в містах з 60 до 50 км/год. Оскільки відповідні зміни вступили в силу з 1 січня 2018 року, нові правила діють більше трьох років, що дає можливість на основі аналізу статистичних даних ДТП оцінити ефективність впровадженого заходу для цілей підвищення безпеки дорожнього руху.

Методика дослідження. При дослідженні питання впливу обмежень швидкості на показники безпеки дорожнього руху часто використовується методика, яка полягає в порівнянні статистичних даних ДТП за періоди часу до і після зміни обмежень швидкості. В даному дослідженні використовувалися офіційні статистичні дані щодо аварійності та смертності на дорогах України, які публікуються на офіційному сайті Департаменту патрульної поліції України (<http://patrol.police.gov.ua/statystyka/>). Для виявлення можливої зміни у сталому тренді показників безпеки дорожнього руху був проведений аналіз статистики

за останні 10 років. Потрібно зауважити, що на даний момент на сайті патрульної поліції представлена статистика ДТП лише починаючи з 2017 року. Дані за більш ранні періоди також були видалені з сайту Державної служби статистики (<http://www.ukrstat.gov.ua>), тому для аналізу використовувалися наявні у авторів статистичні дані ДТП, які раніше офіційно публікувалися.

Таблиця 1. Статистичні характеристики масивів даних швидкостей руху автомобілів, що потрапили в ДТП

| Автори | Рік | Основні висновки за тематикою дослідження |
|--|------|--|
| Kloedon CN, McLean AJ, Moore VM, Ponte G. | 1997 | Ризик ДТП зростає зі збільшенням швидкості за експоненціальним законом. |
| L. Aarts | 2006 | |
| Ali J. Ghandour, Huda Hammoud, Samar Al-Hajj | 2020 | |
| D. C. Richards | 2010 | При збільшенні швидкості руху транспортних засобів з 30 до 40 миль/год ризик загибелі пішоходів зростає якнайменше в 3,5 рази. |
| Fieldwick, R. and Brown R.J. | 1987 | У зоні обмеження швидкості 60 км/год ризик потрапляння в ДТП з жертвами подвоюється зі збільшенням швидкості на кожні 5 км/год. |
| Levinson King R. | 2015 | Значне зниження кількості людей, які отримали травми в ДТП, після зниження обмеження швидкості з 40 км/год до 30 км/год. Зниження тяжкості травм у потерпілих в ДТП. |
| Anderson RW, McLean AJ, Farmer MJ, Lee BH, Brooks CG | 2016 | Зниження дозволеної швидкості з 60 до 50 км/год призводить до зменшення частки аварій зі смертельними наслідками на 13%. |
| A. Pettit, M. A. Haynes, S. Choy | 1992 | Зниження обмеження швидкості з 60 до 50 км/год призвело до зниження числа смертельних ДТП з пішоходами на 20%. |
| D. Mohan. | 2016 | Країни, де обмеження швидкості в містах складає 60 км/год, можуть знизити кількість жертв в ДТП на 25% після зниження обмежень до 50 км/ч. |
| Hussain Q, Feng H, Grzebieta R, Brijs T, Olivier J. | 2019 | Збільшення швидкості транспортного засобу на 1 км/год підвищує ризик загибелі пішохода в середньому на 11%. |

Результати досліджень. Перш за все, слід відзначити значні передумови, що були в Україні для поліпшення показників безпеки дорожнього руху після зменшенні обмеження швидкості. До них можна віднести як дані чисельних досліджень (табл. 1) так і досвід інших країн у вирішенні завдання підвищення безпеки руху шляхом встановлення швидкісних обмежень.

За даними статистики, серед причин виникнення ДТП перевищення безпечної швидкості знаходиться на першому місці. За 2020 рік перевищення безпечної швидкості було встановлено серед причин для 33,6 % пригод, тоді як перевищення встановленої швидкості - тільки для 2,2% випадків.

Найбільший ефект від зниження обмеження швидкості в населених пунктах з 60 до 50 км/год можна було очікувати для найуразливіших учасників дорожнього руху, якими є

пішоходи і велосипедисти. Якщо розглянути розподіл даних про кількість подій та потерпілих за видами ДТП, можна побачити, що за загальною кількістю ДТП наїзд на пішохода знаходиться на четвертому місці. У той же час наїзд на пішохода займає перше місце за кількістю загиблих і друге місце за кількістю поранених. Тому очікуваний ефект від зниження обмежень швидкості в першу чергу мав проявитися в зміні кількості загиблих.

На першому етапі було проаналізовано ступень зміни абсолютних показників безпеки дорожнього руху, таких, як загальна кількість ДТП, кількість загиблих та поранених за періоді з 2010 по 2020 роки (рис. 1).

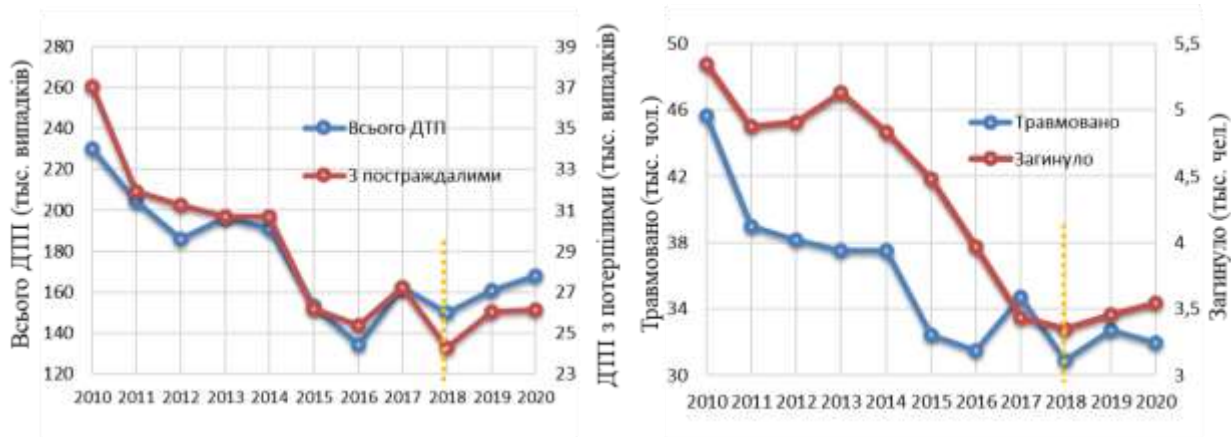


Рисунок 1 – Зміна абсолютних показників аварійності в Україні за 10 років

На наведених графіках протягом досліджуваного періоду в цілому можна спостерігати незначний тренд до зменшення абсолютних показників аварійності. Починаючи з 2018 року, тобто після зменшення обмеження швидкості для населених пунктів, не спостерігалось зменшення як кількості ДТП, так і числа загиблих та травмованих. Навпаки, за останні три роки можна констатувати зникнення загального понижуючого тренду, особливо це стосується кількості загиблих.

На другому етапі досліджень для досліджуваного періоду були розраховані коефіцієнти тяжкості, які відображають в різних поєднаннях співвідношення загиблих в ДТП, поранених в ДТП і загальної кількості пригод:

$$K_T = \frac{C_3}{N_\Sigma} \quad (1)$$

$$K_T' = \frac{C_3 + C_{II}}{N_\Sigma} \quad (2)$$

$$K_T'' = \frac{C_3}{C_{II}} \quad (3)$$

де N_Σ - загальна кількість ДТП; C_3 - кількість загиблих; C_{II} - кількість поранених.

Розраховані таким чином значення коефіцієнтів тяжкості ДТП за період з 2010 по 2020 р. представлені на рисунку 2. Як і у випадку з абсолютними показниками аварійності, можна констатувати відсутність стійкого зниження показників тяжкості ДТП за період з 2018 по 2020 р. порівняно з періодом 2010 - 2017 р. Зменшення коефіцієнту K_T' можна дослідити лише за

два останніх роки, в той час, як незначне зменшення коефіцієнтів K_T та K_T'' спостерігалося у 2017 р., тобто, ще до зміни обмежень швидкості. Після 2017 року останні коефіцієнти майже не змінилися.

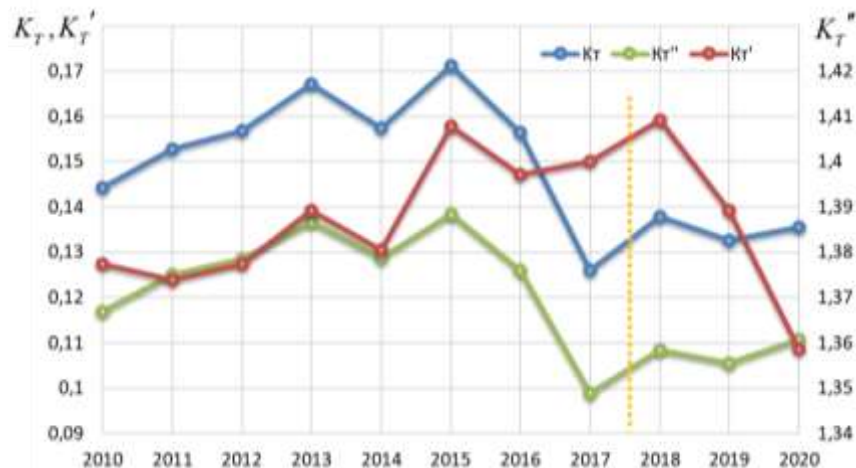


Рисунок 2 – Зміна коефіцієнтів тяжкості ДТП в Україні за 10 років

Висновки. За результатами проведених досліджень в цілому можна констатувати, що незважаючи на наявні передумови та оптимістичні очікування, в Україні після зменшення встановленого обмеження швидкості руху транспортних засобів в населених пунктах з 60 до 50 км/год не відбулося статистично значущого зменшення показників аварійності та смертності в ДТП.

Однак, слід відзначити, що твердження про неефективність впровадженого урядом заходу щодо зменшення швидкісних обмежень буде необґрунтованим. Перш за все - через відсутність даних про зміну фактичних швидкостей руху автомобілів в межах населених пунктів після встановлення обмеження 50 км/год. Можна припустити, що в умовах відсутності ефективної системи контролю перевищення встановленої швидкості в містах України, фактичний швидкісний режим руху на дорогах набув дуже незначної зміни.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kloeden CN, McLean AJ, Moore VM, Ponte G. *Travelling Speed and the Risk of Crash Involvement* (NHMRC Road Accident Research Unit, The University of Adelaide, 1997) p. 72.
2. CN Kloeden, G Ponte, J McLean. *Travelling speed and risk of crash involvement on rural roads* (Road Accident Research Unit, Adelaide University, SOUTH AUSTRALIA 5005, 2001) p. 46.
3. L. Aarts, Ingrid van Schagen, *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), **215–224** (2006).
4. Ali J. Ghandour, Huda Hammoud, Samar Al-Hajj, *Int J Environ Res Public Health*, **17**(11), **4111** (2020).
5. R. Fieldwick, R.J. Brown, *Traffic Eng. and Control*, Vol. 28, **635-640** (1987).
6. A.N. Pettitt, M.A. Haynes, S. Low Choy, *Factors affecting fatal road crash trends* (Dept. of Transport and Communications, Federal Office of Road Safety, Canberra, 1992) p. 73.
7. *Reducing injuries from excess and inappropriate speed* (European Transport Safety Council, Working Party on Road Infrastructure, Brussels, 1995) p. 123.
8. L. Fridman, R. Ling, L. Rothman, M.S.Cloutier, C. Macarthur, B. Hagel & A. Howard, *BMC Public Health*, Vol. 20, **56** (2020).
9. *Reducing Speeding in Europe*. European Transport Safety Council, 2019, see <https://etsc.eu/reducing-speeding-in-europe-pin-flash-36/>

НАУКОВІ АСПЕКТИ СИНТЕЗУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СИНХРОНІЗАЦІЄЮ СУДНОВИХ ГЕНЕРУЮЧИХ АГРЕГАТІВ

Будашко В.В., Шевченко В.А., Марфела Д.І.

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Дослідження присвячено побудові принципів і синтезу методики ефективного управління процесами синхронізації генераторних агрегатів (ГА), що знаходяться у складі розподілених МП-систем управління складними судновими технічними системами і комплексами (СТС і К). Поставлені завдання синхронізації, побудовані моделі процесів, баз даних і визначені конфігурації систем. На основі використання результатних функцій запропоновано опис моделей основних перетворювачів на базі використання принципу відносного руху об'єктів. На прикладі ГА, проведено аналіз функціонування елементів управління СТС і К, запропоновано використання інтегральних критеріїв оптимізації і принципів дуального управління. Показані практичні способи управління синхронізацією ГА. Розв'язано задачу швидкодіючого управління частотою синхронізованих об'єктів на основі принципів припасування. Це дозволило визначити з упередженням часу моменти включення ГА при детермінованій і стохастичній постановці завдання синхронізації. Наведені результати експериментальних досліджень процесів синхронізації ГА і доведена ефективність запропонованого управління ГА.

Вступ. Використання мікропроцесорної техніки (МП) у судновій електроенергетиці передбачає автоматизацію процесів управління, контролю й захисту суднових технічних систем і комплексів (СТС і К). Важливою і невід'ємною частиною кожного з цих процесів є вимірювання електроенергетичних параметрів, які, наприклад, необхідні для забезпечення ефективної автоматичної синхронізації генераторних агрегатів (ГА), а саме: величини і характеру струмів навантаження у всіх фазах, напруги, частоти струму, фазового куту φ зсуву між струмом і напругою, напрямку потужності й інших.

Відомо, що на сучасному морському судні більшість систем вимірювання електроенергетичних параметрів пов'язані з функціонуванням аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), і поряд із проблемою забезпечення надійності і точності, є проблема забезпечення необхідної швидкодії вимірів. Розв'язання цього завдання вимагає пошуку нових шляхів – на базі системного підходу з обліком відомих цифрових способів вимірювання. У загальному виді завдання виміру параметрів електричної енергії у n -фазній системі пов'язане з визначенням безлічі величин $\{I_1, \dots, I_n, U_1, \dots, U_n, f, \varphi\}$ відповідно до обраного критерію швидкодії, де I_1, \dots, I_n і U_1, \dots, U_n амплітудні значення фазних струмів і лінійних напруг.

У якості базових величин при визначенні вихідного стану оберемо лінійні напруги генератора. Для n -фазної системи число можливих станів системи складе $C_{PLod} = 2n$ для непарного числа фаз і буде дорівнювати $C_{PLev} = n$, якщо кількість фаз у системі парне. У свою чергу, число неможливих станів у n -фазній системі визначається вираженням $C_{ILod} = 2^n - 2n$ для непарного числа фаз і $C_{ILEv} = 2^n - n$ – для парного. Оскільки система трифазна, то число можливих станів дискретних сигналів, що відображають півперіоди синусоїд, буде дорівнювати шести. Однозначні набори 0–0–0 і 1–1–1 у симетричній трифазній системі неможливі. Можливі набори станів для послідовності чергування лінійних напруг U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} позначимо C_1, \dots, C_6 так, щоб порядковий номер стану збігався з його двійковим кодом, тобто $C_1 - 001$ ($U_{AB}=0; U_{BC}=0; U_{CA}=1$); $C_2 - 010$; $C_3 - 011$; $C_4 - 100$; $C_5 - 101$; $C_6 - 110$. Кожний стан визначає єдиний можливий за критерієм швидкодії шлях (алгоритм) розв'язання завдання виміру.

Наприклад, якщо вихідний стан – S_4 , тому найближчим за часом є зміна стану біта U_{BC} . Тому програма виміру визначає момент переходу U_{BC} з «0» у «1» і записує все вихідне слово, у якому маскуються всі біти, крім U_{BC} і I_A . Аналіз значень цих битів дозволяє визначити напрямок потужності генератора. При цьому, якщо U_{BC} переходить:

$$\left. \begin{array}{l} \text{від } 0 \text{ до } 1, \text{ а } I_A = 0, \\ \text{від } 1 \text{ до } 0, \text{ а } I_A = 1 \end{array} \right\} - \text{генераторний режим;} \quad \left. \begin{array}{l} \text{від } 0 \text{ до } 1, \text{ а } I_A = 1, \\ \text{від } 1 \text{ до } 0, \text{ а } I_A = 0 \end{array} \right\} - \text{руховий режим.}$$

Для підвищення швидкодії виміру активної й реактивної потужності ГА відмовимося від операцій, пов'язаних з їх розрахунками за значеннями і фазою струму. Досягти цього можна формуванням імпульсу на вимір струму навантаження у момент зміни стану битів спеціально обраних напруг: для $I_A \rightarrow U_{BC}$; для $I_B \rightarrow U_{CA}$; для $I_C \rightarrow U_{AB}$. У цьому випадку, моменти виміру активних струмів будуть проводитися відповідно для струмів I_A, I_B, I_C . Практична можливість застосування такого підходу залежить від швидкодії й принципу роботи АЦП.

При розв'язанні завдання багатомірного виміру параметрів електроенергії (струмів, потужності, напруги й ін.), з міркувань економічності і згідно з обраними критеріями точності та швидкодії, принципово придатні АЦП із погрішністю від 0,05 до 1 % при максимальній частоті перетворення 30 МГц.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження буде розв'язок поставленого завдання як деяку сукупність розв'язків безлічі взаємозалежних підзадач, з яких доцільно виділити наступні:

- розробка й обґрунтування алгоритмів обробки вхідної інформації й управління, аналіз їх якісних характеристик;
- вибір МП-комплекту (або визначення властивостей, характеристик і фактичних можливостей вже обраного МП-комплекту) для побудови АСУ ЕЕС чи агрегатного мікропроцесорного комплексу (АМПК);
- визначення характеристик процесів обміну між об'єктом і обчислювачем, розробка відсутніх (або раціональних за рядом критеріїв) пристроїв сполучення (апаратних засобів);
- розробка, налаштування і налагодження програмної частини;
- випробування і перевірка взаємодії всього комплексу апаратних і програмних засобів.

Теоретична частина. Для опису станів синхронізованих об'єктів, представлених безліччями $P = \{PR, CHV\}$ й CHS_{SY} , уведемо безлічі незалежних $X(N_x N_m)$ і залежних $Y(N_y N_m)$ змінних, де N_x і N_y їх нумерації. Цілком закономірно, що кожній змінній $X(j, i)$ повинен відповідати певний датчик $d(j, i)$, а між ними повинен існувати перетворювач $P = \{PR, CHV\}$ такий, що забезпечує

$$d(j, i) \xrightarrow{P(j, i)} X(j, i).$$

Визначимо набір дискретних і аналогових параметрів і відповідних їм перетворювачів, необхідних для формування безлічі незалежних змінних $X(N_x N_m) = \bigcup X(j, i)$.

Опишемо безліч $X(N_x, N_m)$ і перетворювачі, його формуючі, схемою:

$$\begin{aligned} d(1, i) &\xrightarrow{CNV_{sw}} X(1, i); d(1, i) \in SWG(i); \\ d(2, i) &\xrightarrow{CNV_{\omega}} X(2, i); d(2, i) \cong U(\omega), U(\omega) = k_1 \omega_D; \\ d(3, i) &\xrightarrow{CNV_U} X(3, i); d(3, i) \cong U_B(G), U_B(G) = k_2 I_B; \\ d(4, i) &\xrightarrow{CNV_U} X(4, i); d(4, i) \cong U(i) = U_i \sin(\omega_i t + \theta_i); \\ d(5, i) &\xrightarrow{CNV_{\omega}} X(5, i); d(5, i) \cong U(i) = U_i \sin(\omega_i t + \theta_i); \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} d(6,i) &\xrightarrow{PR_\theta} X(6,i); d(6,i) \cong U(i) = U_i \sin(\omega_i t + \theta_i); \\ d(7,i) &\xrightarrow{CNV_i} X(7,i); d(7,i) \cong I(i) = I_i \sin(\omega_i t + \theta_i - \phi_i); \\ d(8,i) &\xrightarrow{PR_\phi} X(8,i); d(8,i) \cong I(i) = I_i \sin(\omega_i t + \theta_i - \phi_i); \\ d(9,i) &\xrightarrow{PR_\delta} X(9,i); d(9,i) \cong \delta(i) = \omega_i t + \omega_c + \delta_0, \end{aligned}$$

де $X(1,i)$, $X(2,i)$ і $X(3,i)$ – предикати, причому такі, що: $X(1,i) = I$, якщо i -й ГА підключений до шин ГРЩ; $X(2,i) = I$, якщо i -й ГА вийшов на номінальні оберти, тобто $\omega_i = \omega_H$; $X(3,i) = I$, якщо i -й ГА збуджений, тобто $U_B(G) = U_H$; $X(4,i)$, $X(5,i)$, $X(6,i)$, $X(7,i)$, $X(8,i)$, $X(9,i)$ – результати перетворень апаратним способом CNV або програмним – PR , представлені у вигляді цифрових кодів (ω_c – синхронна частота, δ_0 – початковий кут зрушення). Ці коди відображають, відповідно: амплітудні значення лінійних напруг $X(4,i)$, частоту $X(5,i)$, кут зрушення між лінійними напругами $X(6,i)$, амплітудні значення фазних струмів $X(7,i)$, фазовий кут навантаження $X(8,i)$ й кут, що характеризує зсув ротору i -го ГА щодо синхронної вісі $X(9,i)$, без обліку асиметрії до моменту синхронізації.

Отриманої безлічі незалежних змінних недостатньо для повного опису станів синхронізованого об'єкта синхронізації. Мова йде про такі характеристики, як різниця напруг, частота ковзання, величина різниці кутів зсуву роторів щодо синхронної вісі, зрівняльного струму, тривалості процесу синхронізації. Одержати їх можемо шляхом перетворення CNV на безлічах $X(N_x, N_m)$ и $X(N_x, N_l)$:

$$\begin{aligned} &\bigcup_{OS} (X(1,1), \dots, X(1,m), P_{OS}, t \rightarrow STS_{OS}(j)); \\ &\bigcup_{SY} (X(1,i), X(2,i), X(3,i), P_{SY}, t \cong (X(1,i) \& X(2,i) \& X(3,i)) \rightarrow STS_{SY}(i)) \\ &\bigcup_{\Delta U} (X(4,i), X(4,j), P_1, t) \xrightarrow{P_1} Y(1,i); Y(1,i) \cong \Delta U(i); \\ &\bigcup_{TS} (X(5,i), X(5,j), P_2, t) \xrightarrow{P_2} Y(2,i); Y(2,i) \cong T_s(i); \\ &\bigcup_{\alpha} (X(9,i), X(9,j), P_3, t) \xrightarrow{P_3} Y(3,i); Y(3,i) \cong \alpha(i); \tag{2} \\ &\bigcup_{\Delta_y} (X(7,i), X(7,j), P_4, t) \xrightarrow{P_4} Y(4,i); Y(4,i) \cong \Delta_y(i); \\ &\bigcup_{TSY} (CNT(SY), P_5, \tau_c, t) \xrightarrow{P_5} Y(5,i); Y(5,i) \cong T_{SY}; \\ &STS_{OS}(j) \& STS_{SY}(i) \xrightarrow{P_{CNT}} CNT(SY), \end{aligned}$$

де $\bigcup_{OS}, \bigcup_{SY}, \bigcup_{\Delta U}, \bigcup_{TS}, \bigcup_{\alpha}, \bigcup_{\Delta_y}, \bigcup_{TSY}$ – результатні функції: $P_{OS}, P_{SY}, P_{CNT}, P_1, \dots, P_5$ – алгоритми перетворювачів, причому P_{OS}, P_{SY} й P_{CNT} – представлені у явному виді, P_2 і P_3 – визначені у П, а інші – P_4 , і P_5 поки у неявному виді; $STS_{OS}(j)$; $STS_{SY}(i)$ і $CNT(SY)$ – предикати, причому такі, що: якщо $STS_{OS}(j) = I$, тоді розглянутий ГА ставиться до об'єкта синхронізму, якщо $STS_{SY}(i) = I$, тоді до синхронізованого об'єкту і якщо $CNT(SY) = I$, тоді лічильник часу процесу у роботі; $Y(1,i), Y(2,i), Y(3,i), Y(4,i), Y(5,i)$ – результати перетворень P_1, \dots, P_5 , що породжують, відповідно: $Y(1,i)$ – величину різниці напруг $\Delta U(i) = U_i - U_j$; $Y(2,i)$ – величину періоду ковзання $T_s(i) = 1/\omega_s(i)$; $Y(3,i)$ – величину різниці кутів зсуву роторів синхронізованих об'єктів щодо синхронної вісі – $\alpha_i = \delta_i - \delta_j$; $Y(4,i)$ – величину зрівняльного струму при підключенні i -го ГА до об'єкту синхронізму – $\Delta_y(i)$ і $Y(5,i)$ – поточний час процесу синхронізації T_{SY} (у цифрових кодах).

Таким чином, використання безлічей X –незалежних і Y –залежних змінних, а також виконаний синтез математичних моделей перетворювачів П інформації процесу синхронізації дозволили сформуванню безлічі $CHS_{OS} = (X(1,i), \dots, X(9,i), Y(1,i), \dots, Y(5,i), CHS_{SY} = (X(1,i), \dots, X(9,i),$ й набір предикатів – $STS_{\text{ПІ}} = (VLT(i), SFR(i), FRQ(i), PHS(i), TSY(i))$, що описують стану об'єкта синхронізму, синхронізованого об'єкту і технологічного процесу синхронізації, відповідно. До опису $CHS_{\text{АП}}, CHS_{\text{МП}}$ підійдемо з обліком прийнятої раніше конфігурації дворівневої розподіленої МП АСУ.

Отримані у такий спосіб предикати $INC(i), DCR(i)$ й залежна змінна $Y(IMP)$ дозволяють визначити функції формування предикатів, що задають керуючі впливи $RTI(i)$ – "Побільшати", $RTD(i)$ – "Зменшити" частоту синхронізованого об'єкту, тобто

$$\begin{aligned} \cup_{RTI}(INC(i), F_{CNV}(Y(IMP), \tau_0, P_{RTI})) &\rightarrow RTI(i); \\ \cup_{RTD}(DCR(i), F_{CNV}(Y(IMP), \tau_0, P_{RTD})) &\rightarrow RTD(i) \end{aligned}$$

де F_{CNV} – функція контролю часу витікання імпульсу припасування [11-17] з дискретністю τ_0 , а її обчислювальний алгоритм має вигляд:

$$\cup_{CNV}(Y(IMP), \tau_0) \cong (\Delta Y(IMP)t - 1(t+1) = 0),$$

причому, t – попередній, $t+1$ – поточні такти технологічних циклів.

Результатну функцію \cup_{PNT} , за якою визначається у цифровому виді час очікування точки оптимуму синхронізації – $Y_{IMP}(i)$ за параметрами $X(5, j), X(5, i), Y(3, i)$, запишемо поки у неявному виді:

$$\cup_{PNT} = (X(5, j), X(5, i), Y(3, i), PR_{PNT}) \rightarrow Y_{PNT}.$$

Завдання синхронізації у детермінованій постановці найменш складні й найбільш зручні у випадках, коли невисокі зміни частоти.

Пропонований стохастичний підхід до вирішення завдань синхронізації дозволяє досліджувати процес синхронізації при русі об'єкту синхронізму по заданій траєкторії зі стохастичними флуктуаціями щодо його завдання під впливом зовнішніх факторів. Очевидна складність реалізації завдання управління синхронізованим об'єктом при його русі за непередбаченою траєкторією з випадковими параметрами, наприклад, при несправності приводного двигуна або його органів управління.

Систему рівнянь, що описує рух синхронізованого об'єкта, доповнимо набором стохастичних характеристик завдання управління, тобто

$$\begin{aligned} (T_{GA}p + 1)\omega^* &= k_{GA}l^*; \\ (T_1p^2 + T_2p + 1)l^* &= k_{RG}(T_3p + 1)\omega^*; \\ p\omega_3 &= k_{GM}t_{IMP}; \\ r_{SY}^{-(k)} &= r_{OS}^{-(k)} + r_S^{-(k)}; \end{aligned} \tag{2}$$

$$X\omega_{OS}(t) = (M\omega_{OS}(t), D\omega_{OS}(t), K\omega_{OS}(\tau)),$$

де $M\omega_{OS}(t)$, $D\omega_{OS}(t)$ і $K\omega_{OS}(\tau)$ – математичне очікування, дисперсія і кореляційна функція випадкової величини $X\omega_{OS}$, що описує зовнішнє збурювання за частотою обертання об'єкту синхронізму.

Отримана у такий спосіб система стохастичних рівнянь дозволяє вирішувати завдання синхронізації з урахуванням характеру зовнішніх збурювань. При цьому хід розв'язку завдань синхронізації, у загальному виді, можна описати наступною схемою алгоритму (ЛСА):

$$S_H A_1 A_2 P_1 \uparrow^1 P_3 A_4 A_5 A_8 \downarrow^3 A_7 \omega \uparrow^2 \downarrow^1 A_6 \omega \uparrow^3 \downarrow^2 S_K \quad (3)$$

де S_H і S_K – початковий і кінцевий оператори; A_2 – визначення завдання управління і його стохастичних характеристик; A_3 – визначення глибини прогнозу; A_4 – прогнозування змін параметрів завдання; A_5 – корегування завдання управління; A_6 і A_8 – розв’язки завдання управління у детермінованій і стохастичній постановці; A_7 – вивід команд управління; P_1 – перевірка умови необхідності стохастичного підходу до розв’язку завдань; A_1 – введення даних.

У зв’язку з викладеним, оптимальна стратегія управління процесом синхронізації, зокрема вирівнювання частот синхронізованих об’єктів і визначення моменту подачі випереджального імпульсу на включення генераторного автомату, пов’язана з розробкою ефективних способів виміру технічних показників об’єктів управління й визначення їх змін у процесі експлуатації. Розв’язок поставленого завдання виконаємо із застосуванням теорії дуального управління, та скористаємося властивостями встановленої відповідності між моделлю переходу $\omega_{SY}(H) \xrightarrow{t_{MP}} \omega_{SY}(K_M)$ й величинами $s(M)$, $\tau_s(M)$, $n_{внб}(M)$.

Властивість 1. Існують співвідношення $\gamma_m/\gamma_n = \text{const}$, $\gamma_0/\gamma_n = \text{const}$ величини, що визначають, коефіцієнтам припасування $K_n = ctg\gamma_m/ctg\gamma_n$ і $K_0 = ctg\gamma_0/ctg\gamma_n$ відповідно.

Властивість 2. Існує точка $M(\omega_M, t_M)$, причому така, що

$$\omega_M = \omega_{SY}(H) + \frac{1}{2}\omega_s(H) \quad \text{і} \quad t_M = t_H + \frac{1}{2}t_p.$$

Видно, що $t_p = \omega_s(H) \cdot ctg\gamma_M$, або, враховуючи "Властивість 1" і відповідність $\gamma_n \cong s(M)$, одержимо

$$t_p = \frac{K_n \omega_s(H)}{s(M)}. \quad (4)$$

У процесі експлуатації САЕЕС, у міру виробітку ресурсу системи управління, апаратури сполучення й автоматичного вимикача, їх часові показники τ_{yc} , τ_{p1} , τ_{p2} , τ_{AB} – змінюються, що приводить до істотних змін $t_{cp.ц}$ і, як наслідок, до помилок у розрахунках $t_{cp.ц}$. Оскільки при цьому більшу вірогідність мають останні k – включень із n , що передують розрахункам величини $t_{cp.ц}(n+1)$, те для визначення останньої можна скористатися формулою

$$t_{cp.ц}(n+1) = \frac{\sum_{i=n-k}^n (\tau_{AB}(i) + \tau_{p1}(i) + \tau_{p2}(i) + \tau_{yc}(i))}{k} \quad (5)$$

Таким чином отримують математичні вираження, що лежать у основі визначення оптимального моменту включення генераторного автомата синхронізованого об’єкта в умовах детермінованої постановки завдань управління процесом синхронізації ГА.

Висновки. 1. Поставлені завдання синхронізації ГА, побудовані моделі процесів їх баз даних і визначені основні можливі конфігурації систем управління. На основі використання результатних функцій запропоновано опис моделей основних перетворювачів на базі використання принципу відносного руху об’єктів. 2. Показані практичні способи розв’язку завдань управління синхронізацією ГА і визначені основні етапи створення системи управління. 3. Розв’язано задачу швидкодійного управління частотою синхронізованих ГА на основі принципів припасування. Це дозволило визначити з упередженням часу моменти включення ГА при детермінованій і стохастичній постановці завдання синхронізації. 4. Описано критерії оптимізації при дуальному управлінні процесом синхронізації ГА. Зв’язано закон управління, який задовольняє умові екстремуму, що є показником якості (показником досяжності поставленої мети) і враховує вимоги обмеження керуючих впливів,

якості електроенергії, а також можливі зміни технічних характеристик об'єктів синхронізації у процесі експлуатації. 5. Побудовані основні моделі управління процесу синхронізації ГА, моделі бази даних і конфігурації системи управління, описано моделі основних перетворювачів з використанням результатних функцій та проведено детальний аналіз основних елементів системи управління на базі принципу відносного руху об'єктів. 6. Запропоновано використання стохастичного підходу при вирішенні завдань синхронізації, що дозволило досліджувати процес синхронізації при русі об'єкту синхронізму по заданій траєкторії зі стохастичними флуктуаціями щодо його завдання під впливом зовнішніх факторів. 7. Наведені експериментально отримані процеси зміни параметрів генераторного агрегату в умовах збурень під динамічним навантаженням, показані процеси невдалої їх синхронізації з використанням стандартних алгоритмів управління синхронізатором і процеси вдалої синхронізації ГА - з використанням запропонованих алгоритмів дуального управління синхронізатором, що підтверджує достовірність основних отриманих наукових результатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Boyko, A. Synthesis and research of automatic balancing system of voltage converter fed induction motor currents [Text] / A. Boyko, V. Budashko, Y. Yushkov, N. Boyko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V. 1(2). – P. 22-34. Doi:[10.15587/1729-4061.2016.60544](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.60544).
2. Budashko, V. The synthesis of control system to synchronize ship generator assemblies [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – V. 1. – № 2(109). – P. 45-63. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2021.225517](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225517).
3. Budashko, V. Solving a task of coordinated control over a ship automated electric power system under a changing load [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – V. 2. – № 2(110). – P. 54-70. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2021.229033](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229033).
4. Budashko V., Shevchenko V. Synthesis of the Management Strategy of the Ship Power Plant for the Combined Propulsion Complex. IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), 2018, pp. 106-109.
5. Budashko, V. Thrusters physical model formalization with regard to situational and identification factors of motion modes [Text] / V. Budashko // International journal of energy and environment. – 2020. – V. 14. – P. 5-8, ISSN: 2308-1007. Doi: [10.46300/91012.2020.14.2](https://doi.org/10.46300/91012.2020.14.2).
6. Myrhorod, V. Multi-parameter Diagnostic Model of the Technical Conditions Changes of Ship Diesel Generator Sets [Text] / V. Myrhorod, I. Hvozdeva, V. Budashko // 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), Kremenchuk, 21-25 Sept. 2020, Ukraine: IEEE. Pp. 1-5. Doi: [10.1109/PAEP49887.2020.9240905](https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240905).
7. Pipchenko A. D., Shevchenko V. A. Vessel heading robust automatic controller for varying conditions. Marine Intellectual Technologies, 2018, Issue 4(42), V. 4, pp. 208-214.
8. Шевченко В. А. Способ решения задач управления процессом пуска и остановки дизель-генератора в системах управления судовыми электростанциями / В. А. Шевченко // Наукові праці: науково-методичний журнал. Серія "Комп'ютерні технології". – 2018. – Вип. 305. – Т. 317. – Видав. ЧДУ ім. П. Могили. – С. 23-29.
9. Шевченко В. А. Алгоритм быстрой оценки параметров судовых электроэнергетических систем / В. А. Шевченко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2018. – № 3(244). – С. 136-141.

ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК З ОРГАНІЧНИМ ТЕПЛОНОСІЄМ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Бабій М.В., Бусняк М.А.

Херсонська державна морська академія, Україна

Завданням суднової енергетичної установки будь-якого судна, незалежно від його призначення, є забезпечення всіх споживачів енергією (механічною, електричною, тепловою). Саме за забезпечення суднових споживачів тепловою енергією на судні відповідає суднова котельна установка. Залежно від використовуваного теплоносія, на сьогоднішній день, відомими є парова котельна установка або котельна установка з органічним теплоносієм (термомасляна). Тобто, в паровій котельній установці в якості теплоносія використовується вода / пароводяна суміш, а в котельній установці з органічним теплоносієм – мінеральне або синтетичне масло. Застосування органічних теплоносіїв в суднових котельних установках є альтернативою паровій системі і ефективним рішенням завдяки підвищеним температурам термомасел в межах 150...350°C при низькому робочому тиску (рис. 1). Це дозволяє широко застосовувати термомасла для різних споживачів тепла в судновій енергетиці.

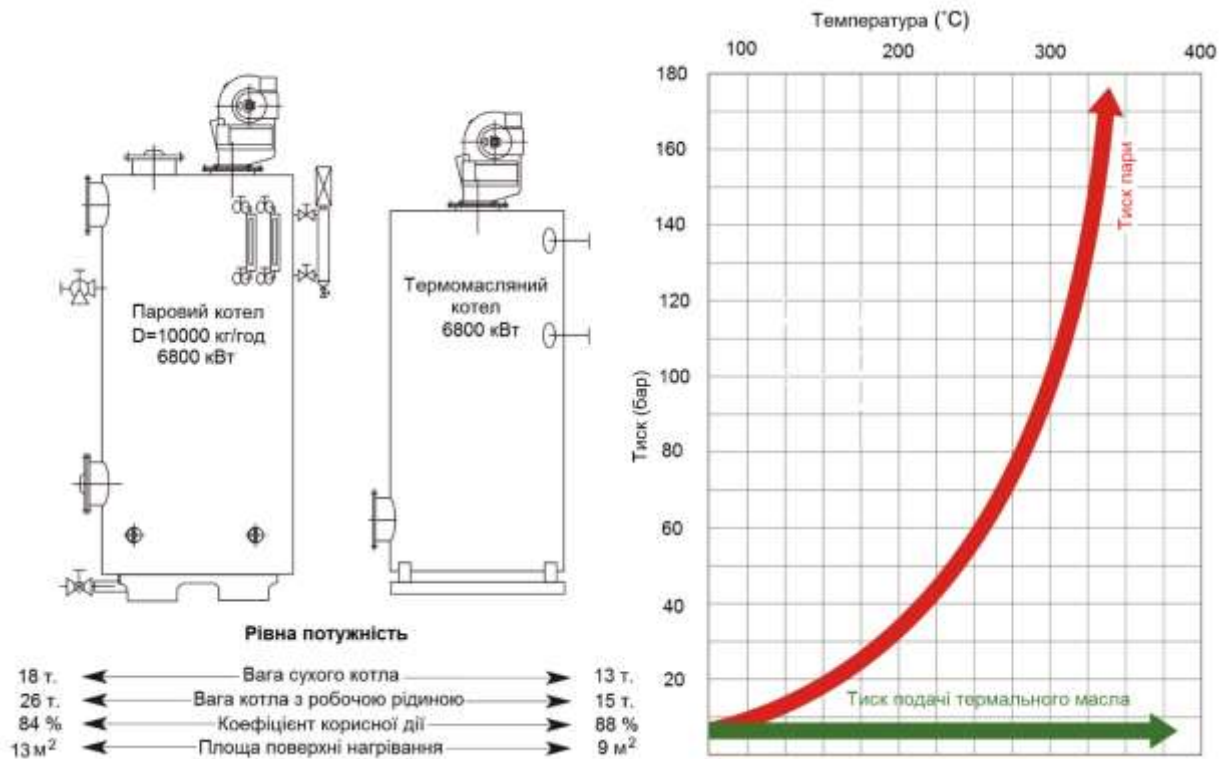


Рисунок 1 – Порівняння масо-габаритних та ефективних показників суднового парового та термомасляного котла [1]

З метою визначення основних переваг та недоліків котельних установок з органічним теплоносієм для прогнозування перспективності їх використання, виконаємо порівняння їх з паровими котельними установками за основними техніко-економічними показниками, що представлені в табл. 1.

Головною перевагою води, як теплоносія, у порівнянні з органічним теплоносієм є його більш висока теплоємність. Однак розглянувши інші параметри, що зазначені в табл. 1, можна

зробити висновки, що дана перевага не є надзвичайно переконливою у порівнянні із зазначеними недоліками. Розглянемо їх більш детально.

Таблиця 1 – Порівняння основних параметрів котельних установок з різними типами теплоносія

| Параметр | Парова котельна установка | Котельна установка з органічним теплоносієм |
|--|--|---|
| Теплоносій | вода /пароводяна суміш | мінеральне / синтетичне масло |
| Теплоємність теплоносія, кДж / кг × °С | 4,218 | 1,870 |
| Тиск в системі теплопостачання | підвищується з ростом температури теплоносія | не перевищує 1 МПа |
| Температура застигання теплоносія | 0 °С | мінус 40...55°С |
| Втрати на продувку теплоносія | присутні | відсутні |
| Втрати від випаровування теплоносія | присутні | відсутні |
| Корозійні процеси від контакту з теплоносієм | присутні | відсутні |
| Система розморожування теплоносія | присутня | відсутня |
| Пожежонебезпечність теплоносія | відсутня | висока |
| Початкова вартість теплоносія | низька | висока |
| Фазові перетворення теплоносія | присутні | відсутні |
| Термічна стійкість теплоносія | висока | низька |
| Трудомісткість та вартість технічного обслуговування | висока | відносно невисока |

У термомасляних котельних установках органічний теплоносій циркулює в замкнутих контурах обігріву з використанням циркуляційних насосів. Властивості термомасел зберігаються протягом багатьох років роботи практично без втрат (за умови дотримання температурного режиму його експлуатації). Це зменшує вартість обслуговування та витрати на експлуатацію всієї термомасляної системи (рис. 2).

Для порівняння: в суднових парових котлах безповоротні втрати пари і води (в якості теплоносія) навіть при належному дотриманні всіх норм і правил складають понад 5% [2].

В системах з органічним теплоносієм забезпечується:

- збереження рідкого стану теплоносія при всіх робочих температурах, що спрощує управління системою і дозволяє поєднувати теплову енергію джерел, що працюють зі змінними навантаженнями. Так наприклад, в загальний контур циркуляції теплоносія можуть бути введені теплообмінники, встановлені за різними нагрівачами (автономним або утилізаційними котлами та іншими нагрівачами) [3];

- низька температура застигання, що забезпечує безпеку експлуатації системи в умовах низьких температур зовнішнього повітря (мінус 40...55°С);

- простота і надійність системи. Мінімум теплотехнічного обладнання (відсутні сепаратор пари, конденсатор, засоби забезпечення і контролю водопідготовки та ін.) в поєднанні з можливістю повної автоматизації підвищує надійність функціонування системи теплопостачання в цілому;

- відсутність корозійної активності до матеріалів зі сталі та, як наслідок, відсутність необхідності в хімічній підготовці теплоносія (рис. 3);

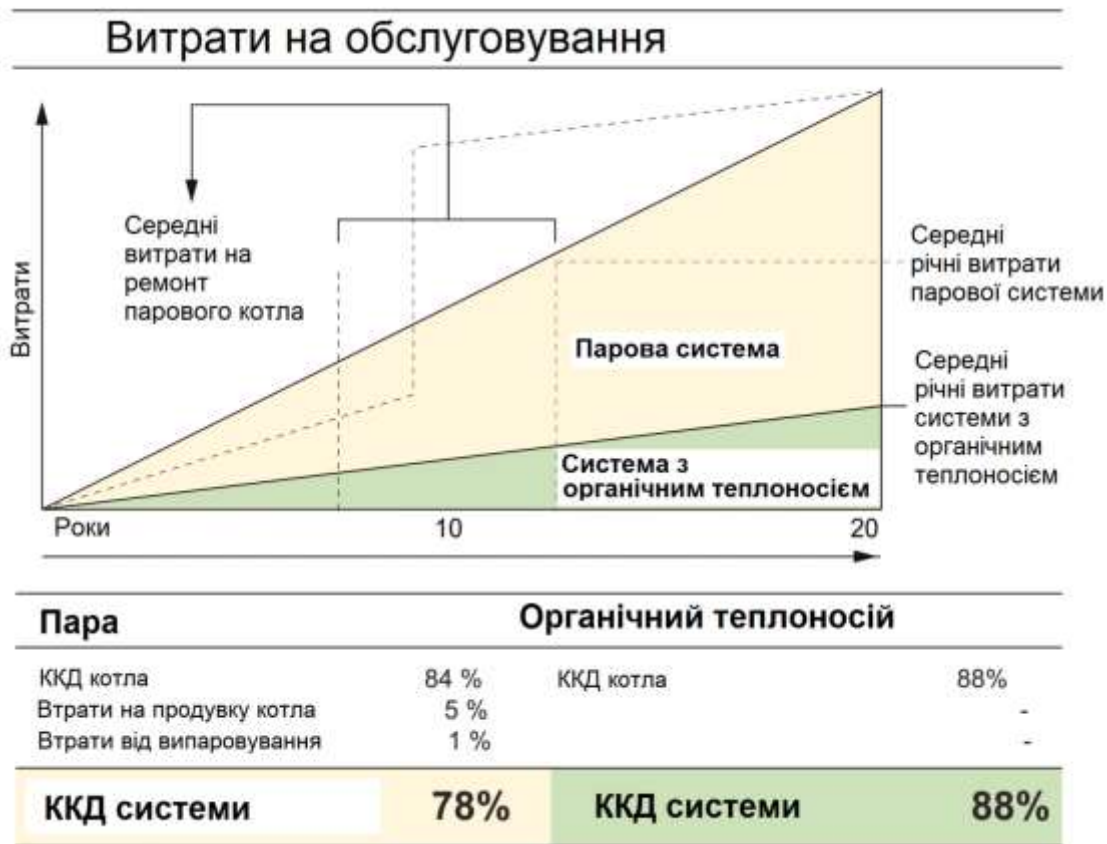


Рисунок 2 – Порівняння витрат на ремонт та обслуговування парової системи та з органічним теплоносієм [1]



Рисунок 3 – Вплив корозійних процесів на стан трубопроводу: а – парова система; б – система з органічним теплоносієм [1]

- екологічна безпека. Виключені шкідливі викиди в навколишнє середовище при нормальній експлуатації, оскільки теплоносій циркулює в замкнутому контурі;

- висока теплотехнічна ефективність. Теплоносій не зазнає фазових перетворень в процесі роботи (перепад між початковою і кінцевою температурами термомасла – близько 40 °С), що дає можливість використовувати його без додаткових тепловтрат. У пароводяній системі, на відміну від системи з органічним теплоносієм, мають місце суттєві безповоротні втрати тепла (з охолоджувальною заборотною водою в конденсаторі, на підігрів живильної води, з продувочною водою та ін.).

Можливість використання високотемпературного органічного теплоносія в рідкому стані дозволяє доводити робочу температуру термомасел до 250 °С і вище при малому тиску, який визначається гідравлічним опором обладнання і трубопроводів системи.

У традиційному водяному теплообміннику при температурі 300 °С потрібно підтримувати тиск на рівні 9 МПа для запобігання закипання води.

Тиск в системах теплопостачання з органічним теплоносієм відповідає гідравлічним втратам в системі і не перевищує 1 МПа.

Найбільш суттєві переваги органічного теплоносія у порівнянні з пароводяним теплоносієм, пов'язані з теплотехнічною ефективністю органічного теплоносія при малому робочому тиску в системі, що представлено на рис. 1.

При використанні водяного теплоносія в температурному діапазоні 180...200 °С потрібно створення тиску в контурі понад 1 МПа, що вимагає збільшення товщини стінок корпусів обладнання, арматури і трубопроводів, а це, в свою чергу, веде до підвищення їх металоемності і вартості, а також до прийняття спеціальних заходів щодо забезпечення герметичності системи.

При використанні органічного теплоносія в суднових системах теплопостачання знижуються трудомісткість і вартість їх технічного обслуговування, зменшується термін окупності за рахунок виключення недоліків (втрат), що властиві паровим системам, спрощується технічна експлуатація. Існує також можливість виробництва водяної пари низького тиску за допомогою включеного в термомасляну систему парогенератора, що генерує пар для суднових потреб.

Поряд із перевагами, термомаслам як теплоносій притаманні наступні основні недоліки:

- пожежонебезпечність;
- низька термічна стійкість;
- висока початкова вартість.

Висновки. На основі виконаного аналізу можна зробити висновки щодо високої перспективності використання термомасляних котельних установок в судновій енергетиці. Особливу привабливість дані установки знаходять на судах, що працюють в холодних широтах. Очевидним також є й те, що на судах, які мають обладнання з турбопривідними пристроями, переважним буде застосування парових котельних установок. В подальших дослідженнях слід звертати увагу до недоліків, що притаманні органічним теплоносій для пошуку варіантів мінімізації ризиків при їх використанні та підвищення їх ефективності.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://ru.scribd.com/doc/61921460/Thermal-Fluid-Heat-Technology>
2. Костылев, И.И. Повышение эффективности технической эксплуатации судовых систем теплоснабжения с органическим теплоносителем / И.И. Костылев, В.А. Петухов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2013. № 36. С. 173 –190.
3. Хорошев, В.Г. Применение органических теплоносителей в энергетических системах судов и морских сооружений / В.Г. Хорошев, Н.П. Погодин // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2020. – Т.1. – № 391. – С.165 – 174.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Сараєва І.Ю., Воробйов О.М., Себко Д.П.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Вступ. Мета роботи – удосконалити метод діагностування циліндро-поршневої групи двигуна, зробивши його більш достовірним, точним, інформативним і поглибленим.

Об'єкт дослідження – процес діагностування технічного стану деталей циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згорання.

Предмет дослідження – діагностичні параметри циліндро-поршневої групи і герметичності клапанів двигуна автомобіля.

Методи дослідження – з використанням теоретичних методів: аналізу, синтезу, моделювання і булевої алгебри, - формалізовано процес діагностування двигуна.

Актуальність досліджень. Діагностичний комп'ютер дозволяє контролювати всі електронні системи автомобіля, включаючи комплексну систему управління двигуном. Проте, існуючі діагностичні комп'ютери не дозволяють повною мірою продіагностувати механізми двигуна, зокрема, саму підвладну зносу і несправностям циліндро-поршкову групу (ЦПГ) двигуна [1-13].

Проблематика і актуальність діагностики циліндро-поршневої групи та герметичності клапанів бензинових двигунів пов'язана з труднощами при постановці технічного діагнозу, оскільки відомі методи і засоби діагностики не дають повної інформації про технічне становище ЦПГ та герметичність клапанів бензинових двигунів, внаслідок неточності і суперечності результатів діагностування, що і дало підставу для проведення наукових досліджень [14-29].

Постановка задачі. Відповідно до поставленої мети в роботі необхідно вирішити основну задачу з

удосконалення методу діагностування циліндро-поршневої групи і герметичності клапанів бензинового двигуна.

Результати досліджень. Удосконалено метод діагностування циліндро-поршневої групи та герметичності клапанів двигуна не тільки шляхом аналізу значень одного окремо взятого діагностичного параметру, але і шляхом синтезу одночасно декількох діагностичних параметрів, що дає можливість не тільки оцінити технічний стан складного об'єкта діагностування, але й локалізувати несправність серед номенклатури деталей цього об'єкту (циліндро-поршневої групи та герметичності клапанів двигуна).

Одержали подальший розвиток. Метод оцінки технічного стану деталей двигуна, які забезпечують герметичність його робочих процесів, шляхом використання операцій діагностики, вимірювання, математичної логіки над випадковими комбінаціями результатів вимірювань діагностичних параметрів. Все це дозволяє одержати об'єктивний діагностичний висновок, який не залежить від кваліфікації фахівця, про технічний стан деталей двигуна, які забезпечують герметичність його робочих процесів.

Основна частина дослідження. Проаналізовані відомі наукові праці, що розглядають проблеми діагностування автомобільних двигунів, таких учених, як Ф.М. Авдонькін, І.М. Аринин, О.В. Бажинов, О.В. Дитятьєв, Я.Х. Закин, О.І. Зелик, Л.В. Мирошников, О. Фламиш та інших. Аналіз літературних джерел показав, що кількісна характеристика наявного спектра діагностичних параметрів ЦПГ досліджена в основному для застарілих двигунів сімейства ЗМЗ й ЯМЗ, які застосовуються на автомобілях ЗІЛ, ГАЗ, МАЗ, КамАЗ, КрАЗ, КАЗ, УРАЛ, ГАЗ, УАЗ, ВАЗ.

Як показує практика технічного обслуговування й ремонту автомобільних двигунів найбільш поширеними, доступними і достовірними залишаються методи технічної діагностики ЦПГ, що дають загальну оцінку герметичності надпоршневого простору з вірогідністю, яка не перевищує 50%, за допомогою різних засобів діагностування: компресометра, компресографа, приладу К-69М, мотортестера.

При математичному моделюванні процесу постановки діагнозу зроблені наступні допущення:

- у двигуні одночасно може виникнути тільки одна несправність;
- для визначення несправності, пов'язаної із прогаром прокладки головки циліндрів, не потрібно розробки складної діагностичної системи;
- збільшення зазору між циліндром і поршнем супроводжується збільшенням зазору в стиках поршневих кілець.

Основний недолік існуючих математичних моделей полягає в тім, що складний стохастичний об'єкт діагностування, яким є ЦПГ, намагаються описати за допомогою детермінованих виразів. Як наслідок такого принципу моделювання - неоднозначність діагнозу, недостатня глибина пошуку дефекту.

У ході дослідження об'єкт діагностування розглядався у вигляді «чорного ящика» з невідомими структурними параметрами, вихідними діагностичними параметрами і параметрами, що впливають. Номенклатура структурних параметрів, які перевіряють, визначена відповідно: зазор між циліндром і поршнем, зазор у стиках поршневих кілець, зазор між поршнем і кільцем по висоті канавки, герметичність клапана. Кінцева множина діагностичних параметрів, яка встановлена в ході попереднього експерименту, містить у собі тиск картерних газів, темп наростання компресії й різницю компресії між циліндрами. Кінцевою множиною параметрів, що впливають, є: температура рідини для охолодження, кут відкриття дросельної заслінки й частота обертання колінчатого вала. Передбачається, що кінцеву множину параметрів, що впливають, у процесі діагностування можна стабілізувати.

Результати експериментальних досліджень класифіковані наступним чином: результати діагностування справних двигунів, результати діагностування двигунів з несправною ЦПГ, результати діагностування двигунів з порушенням герметичності клапанів. При виявленні несправностей здійснювалося розбирання двигунів і мікрообмір деталей. Коефіцієнт безрозбірного діагностування визначається відношенням числа контрольованих параметрів об'єкта, для яких не потрібне проведення демонтажних робіт, до їх загального числа:

$$K_{\sigma, \delta} = \frac{П_k}{П_n}, \text{ де } П_k - \text{число контрольованих параметрів даного виду діагностування; } П_n - \text{загальне}$$

число контрольованих параметрів. Коефіцієнт безрозбірного діагностування для удосконаленого методу становить 0,75.

Основні наукові положення, практичні і методичні розробки використані і впроваджені на підприємствах з ремонту та обслуговування автомобілів

Висновки

1. Запропоновано удосконалений метод діагностування герметичності робочих процесів двигуна не тільки шляхом аналізу значень одного окремо взятого діагностичного параметру, але і шляхом синтезу одночасно декількох діагностичних параметрів, що дає можливість не тільки оцінити технічний стан складного об'єкта діагностування, але й локалізувати несправність серед номенклатури деталей цього об'єкту (циліндро-поршневої групи та герметичності клапанів двигуна).

2. Удосконалений метод оцінки технічного стану деталей двигуна шляхом використання операцій діагностики, вимірювання, математичної логіки над випадковими комбінаціями результатів вимірювань діагностичних параметрів. Все це дозволяє одержати

об'єктивний діагностичний висновок, який не залежить від кваліфікації фахівця, про технічний стан деталей двигуна, які забезпечують герметичність його робочих процесів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Capteur de cliquetis pur un vehicule automobile*. Заявка 2762646 Франція, МПК F02B77/08/ Harbinger Eve; Semen's Automotive SA -№ 9705523; Заявл. 29.4.97; Опубл.30.10.98.
2. *Druckmessung in Verbrennungsmotoren* // *Maschinenwelt - Elektrotechn.*-1992-47,№ 3-С.93-Нем.
3. *Klopfsdrucksensor für Otto-Motoren*// *Messen und Prüfen*-1992-28 , № 5, С.18-19-Нем.
4. *Sensoreinrichtung in Brennkraftmaschinen*: Заявка3934118 ФРГ , МКИ G 01 L 23/24/ Fisher Gregor , Bayerische Motoren Werke AG.-№ 3934118.6; Заявл. 12.10.89; Опубл. 18.04.91.
5. *Druckaufnehmer* : Заявка4016872 ФРГ , МКИ⁵ G01L23/18,G01L23/22; Neubeck Kurt, Müller Werner, Heller Heinz, Roth Alfred, Alexander Wiegand GmbH № 4016872.7 ; Заявл. 26.05.90; Опубл.28.11.91.
6. *High pressure sensor*: Заявка 2244335 Великобритания, МКИ⁵ G01L23/08/ Glanfield Simon Kevin, STC plc-№ 9011694.8; Заявл. 24.05.90;Опубл.27.11.91.
7. *Integrated sensors today and tomorrow*/Baskett Ira, Frank Randy, Slocum Dan//*Sensors* - 1991-8 № 3-С.32,34-38,40-Англ. Место хранения ГПНТБ СССР
8. *Cylinder pressure sensor for an internal combustion engine* : Пат.5038069 США , МКИ⁵ H01L41/08/ Lukasiewicz Stanley, Anastasia Charles M., Cooper Lawrence E., Pestana Gregg W.; Texas Instruments Inc.-№ 118374; Заявл.09.11.87;Опубл.06.08.91 НКИ 310/338.
9. *Pressure sensor having baffing means*. Пат.4920805 США, МКИ⁵ G01L7/08/ Yajima Yasuhito, Watanabe Yasushi, Shibata Kazuyoshi : NGK Insulators-№ 268278 ; Заявл. 07.11.88 ; Опубл. 01.05.90 ; Приор. 27.11.87,№ 62-301147(Япония); НКИ 73/706.
10. *Япония/ Kinchi Mitsuhiro*// *Yuatsuto Kukiatsu* -1992-23.№ 26 -С.636-640.
11. *Япония/ МКИ⁴ G 01 L 23/ 22/ Такэуги Киёси, Ниссан Дзидося* -№ 63-143176, Заяв. 10.6.88 Опубл. 18.12.89// *Кокай токкекохо*. Сер.6(1)-1989-192-С.235-241.
12. *Япония/ Araki T., Takahashi J., Kobayashi E., Sakamoto S., Tads J.*// *Мицубиси Дэнки* .-1991-65-№ 9-С. 80-83.
13. *Япония/ Заявка 121353, МКИ⁴ G01L23/10/ Ивата Тосио: Мицубиси Дэнки к.к.№ 63-39910; Заявл. 22.2.88; Опубл.28.8.89// Кокай токке кохо Сер.6(1)-1989-133-с. С.247-251.*
14. *Автомобили Volkswagen "Passat". Руководство по ремонту*. – М.: Ассоциация независимых издателей, 1997. – 254с.
15. *АУДИ 100/А6. Все бензиновые и дизельные двигатели автомобилей выпуска с 1990 г. Руководство по ремонту и техническому обслуживанию*. Под ред. С.В. Афонина. – Ростов - на - Дону. 1996. – 316с.
16. *Устройство, обслуживание и ремонт автомобилей VW Passat /Изд-во «Аринас»*. – Каунас, 1996. – 161с.
17. *Устройство, обслуживание, ремонт и эксплуатация автомобилей Audi А4/ S4*. Изд-во «Роко», 2001. – 236с.
18. *Руководство по ремонту и эксплуатации Opel Omega, бензин/ Сост. В.А. Дервянко; пер. с пол. В. Мицкевич; Пер. с нем. Н.Н. Красотова*. – М: Петит, 2000. – 288с.
19. *Руководство по ремонту и эксплуатации Opel Vectra, бензин/ Сост. В.А. Дервянко; пер. с пол. В. Мицкевич; Пер. с нем. Н.Н. Красотова*. – М: Петит, 2000. – 256с.
20. *Руководство по ремонту и техническому обслуживанию автомобилей Daewoo Nexia с 1994 г. выпуска. Техно-Вокс, 2001. - 272с.*

21. *Руководство* по ремонту и эксплуатации Ford Mondeo, бензин/ Сост. В.А. Деревянко; пер. с пол. В. Мицкевич; Пер. с нем. Н.Н. Красотова. – М: Петит, 2001. – 296с.
22. *Зарубин А.Г.* Устройство, обслуживание, ремонт и эксплуатация автомобилей BMW 5 серия. Издательство «Арус», Вильнюс, 1996. – 210с.
23. *Руководство* по ремонту и эксплуатации BMW 5, бензин/дизель. Сост. В.А. Деревянко; перевод с польского В. Мицкевич; Перевод с немецкого Н.Н. Красотова. – М: Петит, 2000. – 224с.
24. *Руководство* по ремонту и эксплуатации Skoda Felicia, бензин/дизель. Сост. В.А. Деревянко. – М: Петит, 2000. – 252с.
25. *Руководство* по ремонту и эксплуатации Nissan Bluebird, бензин/дизель, 84-91 годы выпуска./Сост. В.А. Деревянко. – М: Петит, 2000. – 272с.
26. *Руководство* по ремонту и эксплуатации Mercedes 190, 190E & 190D. Сост. В.А. Деревянко. – М: Петит, 2000. – 272с.
27. *Руководство* по ремонту, эксплуатации и техническому обслуживанию Mercedes-Benz/ Двигатели - 200, 200D, 230, 250, 250D, 260, 280, 300, 300D,320. Техно-Вок 2001. - 336с.
28. *Руководство* по ремонту и эксплуатации Renault 19 бензин/дизель. Сост. В.А. Деревянко. – М: Петит, 2000. – 272с.
29. *Устройство*, обслуживание, ремонт и эксплуатация автомобилей Honda Civic и Acura Integra. Изд-во «Арус». – 2000. – 370с

ЕНЕРГЕТИЧНА СКЛАДОВА ПРОЦЕСУ ПЕРЕКИДАННЯ АВТОМОБІЛЯ

Поваляєв С.І., Сараєв О.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Вступ. Мета роботи – розробка й аналіз методики дослідження механізму перекидання дорожнього транспортного засобу (ТЗ), шляхом удосконалення розрахункових моделей.

Об'єкт дослідження – процес перекидання автомобіля.

Предмет дослідження – розрахункові параметри стійкості руху автомобіля.

Методи дослідження – з використанням теоретичних методів: аналізу, синтезу, моделювання формалізовано процес перекидання автомобіля.

Актуальність досліджень. Протягом багатьох років одним з основних методичних вказівок для аналізу ДТП була робота під загальною редакцією професора Іларіонова В.А. В цій роботі розглянуто випадки перекидання автомобіля при наїзді на бокову перешкоду, на криволінійних ділянках дороги [1]. Відповідно були розроблені математичні моделі призначені для визначення критичної швидкості ТЗ при наїзді на бічну перешкоду

$$V_{кр} = \sqrt{254 \left(\sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + h_{ц}^2} - h_{ц} \right)} \quad (1)$$

та при русі автомобіля на повороті

$$V_{кр} = 3,6 \sqrt{\frac{0,5B \pm tg \beta h_{ц}}{h_{ц} \pm 0,5tg \beta B} gR}. \quad (2)$$

де h - висота центра мас ТЗ при перекиданні, що змінюється від значення $h_{ц}$ до h_{max} ;
 B – ширина колії коліс, м.

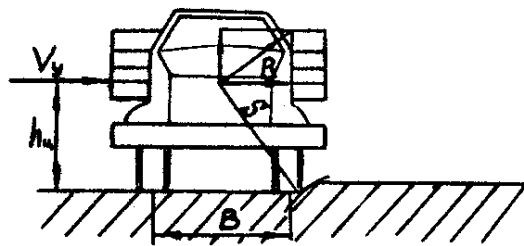


Рисунок 1 – Наїзд автомобіля на перешкоду

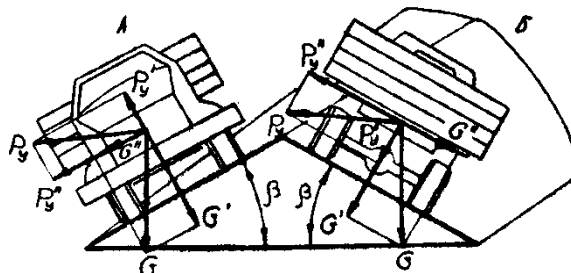


Рисунок 2 – Рух автомобіля на повороті

Більш сучасним методичним посібником з розслідування й експертизи ДТП є довідник Свтюкова С.А., Васильєва Я.В. [2], де, зокрема, розглянута класифікація причин і завдань дослідження, пов'язаних з перекиданням ТЗ. Загальним недоліком відомих експертних методів реконструкції ДТП, пов'язаних з перекиданням ТЗ, є відсутність готових математичних

моделей, що описують механізм перекидання ТЗ. Якщо перекидання ТЗ відбулося в режимі його гальмування, то завдання по моделюванню механізму ДТП різко ускладнюються, оскільки необхідно враховувати ряд додаткових факторів, що впливають на оцінку параметрів руху ТЗ [3,4], та визначити початкову швидкість перед гальмуванням [5].

Постановка задачі. Відповідно до поставленої мети в роботі необхідно вирішити основну задачу з оцінки енергетичної складової параметрів перекидання автомобіля

Результати досліджень. Розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити умови перекидання транспортних засобів та дослідити основні параметри руху транспортних засобів в процесі перекидання від початку підйому центра мас транспортного засобу до моменту його максимального підйому.

Одержали подальший розвиток. Співставлення результатів розрахунку критичної швидкості транспортних засобів з результатами, що отримані на основі закону збереження енергії, показало, що ці результати повністю узгоджуються.

Основна частина дослідження. Кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП), пов'язаних з перекиданням транспортних засобів (ТЗ) у процентному співвідношенні невелике (до 9 %), однак тяжкість їхніх наслідків значна, тому що травмування людей і значних ушкоджень ТЗ у цьому випадку неминучі. Дослідження таких ДТП пов'язане із труднощами встановлення механізму перекидання, оскільки експертні методики розрахунку не завжди використовують підготовлені математичні моделі. Перекидання ТЗ може відбуватися при втраті курсової (бічної) стійкості на криволінійній траєкторії руху, на негативних ухилах, внаслідок зіткнення або наїзду на перешкоду. Природно, для дослідження таких видів перекидань ТЗ необхідні складання й використання відмінних друг від друга математичних моделей і методик розрахунку.

Залежно від дорожньої ситуації можна виділити основні причини перекидання транспортних засобів: на повороті або при виконання маневру під дією відцентрової сили;

після зіткнення з іншим транспортним засобом; при наїзді на перешкоду, коли центр мас транспортного засобу виходить за точку опори; внаслідок бічного удару об перешкоду, наприклад, бордюру або колія колесом; при виїзді на ділянку дороги з бічним ухилом; при наявності відразу декількох з перерахованих вище факторів.

У процесі перекидання на ТЗ діють момент сил інерції, що виникає в результаті вповільнення ТЗ і момент, що створюється силою тяжіння навколо точки перекидання. Причому плече сили тяжіння змінюється від максимального значення до 0 при досягненні центром мас ТЗ крайнього верхнього положення.

Мінімальну швидкість ТЗ, при якій відбудеться його перекидання можна знайти на підставі закону збереження енергії. Відповідно до закону збереження енергії повна енергія ТЗ до перекидання дорівнює повної енергії ТЗ у момент перекидання

$$\frac{m \cdot (V \cos \gamma)^2}{2} + \frac{m \cdot (V \sin \gamma)^2}{2} + m \cdot g \cdot h_{\gamma} = \frac{m \cdot (V \cos \gamma)^2}{2} + m \cdot g \cdot h_{\max} + E_{\text{деф.1}} + E_{\text{деф.2}}, \quad (3)$$

де V – лінійна швидкість руху ТЗ перед перекиданням, м/с;

m – маса ТЗ, кг;

γ – кут наїзду на нерухому бічну перешкоду

$E_{\text{деф.1}}$ - енергія, поглинена пружною деформацією кузова (рами) ТЗ, Дж;

$E_{\text{деф.2}}$ - енергія, поглинена пружною деформацією шин ТЗ, Дж.

Максимальна висота підйому центра мас ТЗ $h_{\max} = \sqrt{\left(\frac{B + III}{2}\right)^2 + (h_{\gamma})^2}$. У першому

наближенні енергією, що витрачається на пружну деформацію елементів ТЗ, можна знехтувати. Відповідно до вираження критична швидкість, при якій настає перекидання ТЗ

після удару об бічну нерухливу перешкоду, буде тим нижче, чим менше колія й ширина колеса ТЗ, і більше кут між поступальним рухом ТЗ і бічною нерухомою перешкодою. Реальна швидкість руху ТЗ перед перекиданням може значно перевищувати ту критичну швидкість, необхідну для перекидання.

Висновки. Досліджено енергетичну складову умов перекидання транспортних засобів від моменту початку підйому центра мас транспортного засобу до моменту його максимального підйому з перекиданням. Співставлення результатів розрахунку критичної швидкості транспортних засобів з результатами, що отримані на основі закону збереження енергії, показало, що результати повністю узгоджуються.

ЛІТЕРАТУРА

1. Судебная автотехническая экспертиза: в 2 ч. / под ред. научн. руков. В.А. Иларионова. – Ч. 2. – М. : Министерство юстиции СССР, 1980. – 490 с.
2. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий : монография / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев. - Санкт-Петербург : Издательство ДНК, 2004. - 280 с.
3. Saraiev, O. and Gorb, Y., "A Mathematical Model of the Braking Dynamics of a Car," SAE Technical Paper 2018-01-1893, 2018.
4. Danez S., Saraiev O. Mathematical modeling of speed change of vehicles at emergency braking. Technology audit and production reserves. – 2018. – №3/1(41) – P. 22–28.
5. Сараев, А. В. Методы исследования дорожно-транспортных происшествий с использованием современных автоматизированных средств / А. В. Сараев, С. В. Данец // Наука и техника. 2019. Т. 18, № 3. С. 256–264. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-3-256-26>
6. Янютин Е. Г., Янчевский И. В. Импульсные воздействия на упругодеформируемые элементы конструкций. – Харьков: Изд-во ХАДИ, 2001. – 184 с.
7. Поваляев С.І., Сараев О.В. Моделивання механізму перекидання транспортного засобу в процесі розвитку дорожньо-транспортної пригоди / Теорія та практика судової експертизи і криміналістики. №20. Харків: Право, 2019. С. 320-328.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОСЕРНИСТЫХ СУДОВЫХ ТОПЛИВ С МОМЕНТА ВСТУПЛЕНИЯ В СИЛУ ОГРАНИЧЕНИЙ ИМО 2020, КОНВЕНЦИИ МАРПОЛ, ДОП. 6.

Дзыгарь А.К., Котов А.И.
Херсонская государственная морская академия, Украина

Ограничение содержания серы до 0,50% создало дополнительные проблемы на судах поскольку внедрялись новый вид судового топлива, и экипаж не имел достаточного опыта топливоподготовки и использования новых топлив в начале 2020 года. Около 50% судовых двигателей в течении 2020 года перешли на использование низко сернистых топлив (Very Low Sulphur Fuel Oil – VLSFO), как одной из альтернатив соответствовать требованиям ИМО 2020, МАРПОЛ 73/78, Дополнения 6.

Основные эксплуатационные проблемы были связаны не с качеством топлива, а с недостатком информации по использованию VLSFO, характеристиками текучести, более низкой вязкостью, с засорением фильтров и проблемами очистки, недостаточным количеством VLSFO, цена которого выросла из-за спроса.



Рисунок 1 – Аварии на судах в 2020 году по причине использования топлива с содержанием серы менее 0,5%

Производители топлива стали поставлять судовое топливо с низким содержанием серы из часто несовместимых компонентов, поэтому каждая бункеровка могла быть разным топливом в зависимости от географического положения, возможностей завода и доступности компонентов. Также топливо с низким содержанием серы может производиться путем разбавления остаточных топлив (Residual Fuel) с высоким содержанием серы топливом с более низким содержанием серы, но проблема в том, что эти топлива структурно непохожи и пройдя через несколько процессов нефтепереработки, которые лишили нефть значительной части естественной стабильности и качества, что привело к проблемам с VLSFO, появилась

необходимость применения стабилизирующих добавок. Рисунки 1 и 2 указывают на основные проблемы, связанные с применением VLSFO.

Учитывая цену легких фракций топлива (DMA, DMZ, DMB Fuel Standard ISO 8217-2017) и сопоставимую цену на низкосернистое топливо (RMA, RMB, RMD, RME, RMG, RMK Fuel Standard ISO 8217-2017), а также риски использования низкосернистого топлива, много судовладельцев выбрали в качестве судового топлива легкие топлива. Установив дополнительные охладители топлива перед топливными насосами высокого давления для повышения кинематической вязкости повысили надёжность работы элементов топливной системы.



Рисунок 2 – Причины аварий на судах по причине сжигания низкосернистого топлива

Согласно статистике, представленной в техническом бюллетене компании Innospec 2020, выделяют следующие проблемы с топливом в 2020 году (рис. 3): засорение фильтров, проблемы сепарации, выпадение осадка и нестабильность топлива, износ втулок, поломка поршневых колец, низкая текучесть.



Рисунок 3 – Проблемы с топливом в 2020 году

Учитывая увеличившиеся число инцидентов на судах, использующих VLSFO, а также высокую цену на топливо, многие судовладельцы переключились на использование легких фракций топлив (MGO, MDO distillate fuel oil ISO 8217-2017) чтобы снизить риск отказов судовых двигателей, связанный с вышеуказанными причинами, а также чрезмерным износом цилиндрико-поршневой группы дизельного двигателя.

Таблица 1. Проблемы, связанные с использованием низкосернистых топлив (менее 0,5% серы) в судовых двигателях внутреннего сгорания

| | |
|---|---|
| <p>Нестабильное топливо (72% случаев)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Трудности сепарирования топлива или отказ (до 37%): выпадение шлама, расслоение(нестабильное) или старение топлива, поломки оборудования сепаратора, загруженность персонала частыми поломками и отказами сепарационного оборудования и фильтров (до 29%), финансовые потери связанные с увеличением количества шлама и расходными материалами для обслуживания сепараторов и фильтров. • Выпадение твёрдого шлама в танках запаса топлива (до 6%) и трудности с перекачкой VLSFO и очисткой бункерных танков. |
| <p>Плохое горение топлива (20% случаев)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Поломки поршневых колец (до 6%): увеличенное загрязнение несгоревшим топливом канавок поршневых колец (залегание) и поверхности головки поршня по причине плохого горения топлива. • Износ цилиндриковых втулок (до 14%): задиры и риски на рабочей поверхности, высокая температура на выпуске и повышение вероятности пожаров в подпоршневом пространстве. |
| <p>Образование парафинового шлама (8% случаев)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Низкая текучесть топлива или высокая температура застывания (до 8%): недостаточная температура в танках для хранения топлива или старение топлива и выпадение шламов. |

Информация по поставляемому на суда топливу в первой половине 2021 года показывает, что все еще есть проблемы с VLSFO. Судовые экипажи сообщают о случаях выпадения шлама, известны случаи, когда VLSFO стало негодным к использованию, в большинстве случаев были забиты топливопроводы и проблемы с очисткой топлива, что увеличило риск для судна и экипажа из-за отказов двигателей или нехватки VLSFO на морском переходе, иллюстрации на рис. 4, 5.



Рисунок 4 – Парафиновые отложения в топливном фильтре

Засорение фильтров и парафиновые отложения в танке запаса топлива.

Процент дистиллятного топлива в смеси с VLSFO значительно увеличился для снижения содержания серы менее 0,5%, а эти дистилляты получают в процессе нефтепереработки, где большая часть естественной стабильности утрачена. Старение дистиллята — это химический процесс, при котором образуется шлам под действием повышенной температуры, кислорода или катализатора, присутствующего в топливе.



Рисунок 5 – Парафиновые отложения в топливном сепараторе

Чрезмерный износ цилиндрических втулок и поломки поршневых колец:

Причин чрезмерного износа трущихся деталей цилиндрической поршневой группы дизельного двигателя несколько:

1. Снижение содержания серы до 0.5% в топливе и использование цилиндрического масла с несоответствующим топливу щелочным числом (TBN cylinder oil), и количество подаваемого цилиндрического масла (Сервисное письмо MAN SL2019-671 / JAP - Для всех двигателей MAN B&W);

2. Качество самовозгорания и горения топлива из-за повышенного показателя CCAI (Calculated Carbon Aromatic Index) max 870 согласно ISO 8217-2017. Плохое или позднее и длительное горение начинались с показателя 840 и выше. Это результат смешения компонентов остаточных топлив (Residual Fuel).

3. Присутствие алюмосиликатов в топливе при сгорании: максимальное содержание в получаемом от бункерных компаний топливе согласно ISO 8217-2017 алюмосиликаты (Aluminium plus Silicon) не должно превышать 60 мг/кг. Задача экипажа очистить на борту топливо ниже 15мг/кг, как рекомендуют изготовители судовых дизельных двигателей, что невозможно по причине устаревшего сепарационного и фильтрующего оборудования. Алюмосиликаты, участвующие в процессе нефтепереработки (Cracking process) в качестве катализатора, по твердости материала близки к алмазу и как абразив втулку цилиндра и поршневые компрессионные кольца в очень короткий период, примеры износа на рис. 6, 7, 8. Эффективная очистка топлива возможна при высокой температуре топлива (98 градусов Цельсия) и при низкой производительности сепаратора (от 25% до 40%).

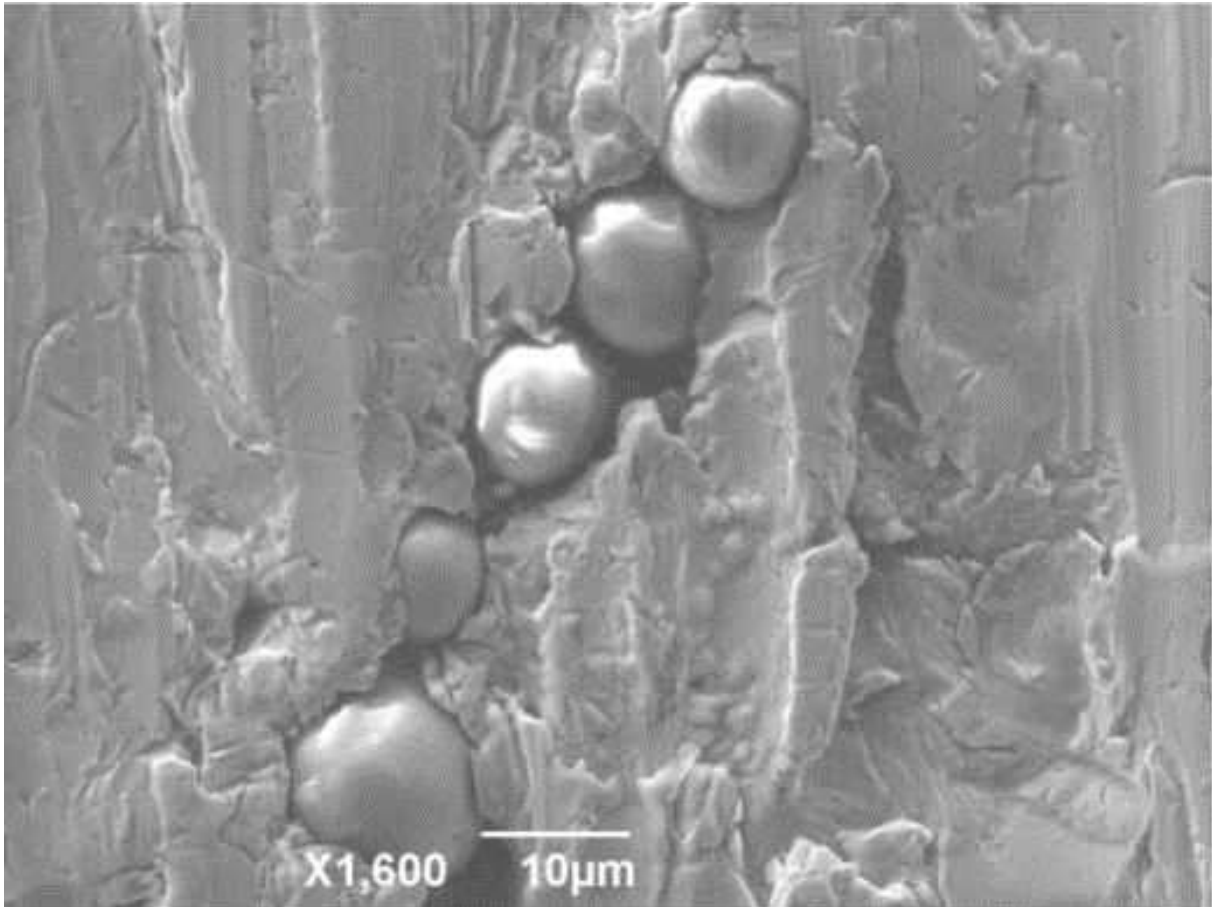


Рисунок 6 – Алюмосиликаты (Cat Fines Al+Si) в структуре материала поршневого кольца



Рисунок 7 – Абразивный износ цилиндровой втулки по причине присутствия алюмосиликатов (Cat Fines) в топливе



Рисунок 8 – Состояние поршня судового двигателя после 240 часов работы на низкосернистом топливе

Выводы:

1. Аварии на судах, повышенный износ и отказы механизмов, показывают, что судовладельцам, страховым компаниям и ИМО необходимо более строго контролировать процесс производства и поставок бункера на суда для соблюдения конвенционных требований МАРПОЛ, а лаборатории по контролю качества топлива проводить более детальный анализ отобранных проб топлива и обеспечивать экипажи судов более детальными рекомендациями по хранению, очистке и использованию топлив. Судовладельцам и техническому менеджменту необходимо обновления оборудования для топливоподготовки для более качественной очистки. Проводить обучение экипажей по новым видам топлива.

2. Стандарт топлива, ISO 8217, обновлённый в 2017 году, устарел. Появились новые виды топлив и необходимы обновление международного стандарта.

3. Необходимо усилить роль IBIA (International Bunker Industry Association) при ИМО по мониторингу поставляемого топлива на суда, рейтингу бункерных компаний, мониторингу цен на поставляемое топливо, лабораторий топлива с целью обеспечения этой информацией технической менеджмент судовладельцев и судовые экипажи.

4. Очевидно, что необходимы инвестиции судовладельцев в системы очистки выпускных газов (приблизительно 5-10 млн. долларов США / судно), учитывая надёжность работы судовых двигателей, износ деталей, цену топлива, предполагаемое ужесточение по выбросам в газах несгоревших микрочастиц топлива (Particulate matters).

ЛИТЕРАТУРА

1. MARPOL, Annex VI- Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships, Chapter 3 - Requirements for control of emissions from ships, Regulation 14 - Sulphur oxides (SOx), [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx)

2. Ship & Bunker, VLSFO: Fact Versus Fiction, Unni Einemo, Director, International Bunker Industry Association, <https://shipandbunker.com/news/world/566831-vlsfo-fact-versus-fiction>;

3. FORBES, Shipping-Gate, Why Toxic “Frankenstein Fuel” is such a danger for planet., <https://www.forbes.com/sites/nishandegnarain/2021/01/24/new-images-released-of-engine-damage-caused-by-experimental-low-sulfur-ship-fuel-vlsfo/?sh=5d92d3362a3f>

4. Offshore Energy, Chevron Marine Lubricants: Issues arising from VLSFO use have very little to do with fuel quality, by Jasmina Ovcina, <https://www.offshore-energy.biz/chevron-marine-lubricants-issues-arising-from-vlsfo-use-have-very-little-to-do-with-fuel-quality/>

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАСЛЯНИХ ФІЛЬТРІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ

Курносенко Д.В., Савчук В.П., Бойко М.О., Вислоцький С.С.
Херсонська державна морська академія, Україна

На робочі параметри систем мащення двигунів внутрішнього згорання здійснюють вплив характеристики гідравлічного опору масляних фільтрів типу «spin-on». Типова конструкція фільтрів даного типу представлено на рис. 1.



Рисунок 1 – Конструкція масляного фільтра баночного типу

Особливістю конструкції фільтрів картриджного типу є наявність зворотного (антидренажного) та перепускного клапанів. Призначення антидренажних клапанів є протидія стіканню моторного масла із фільтрів в період зупинки двигуна. Перепускні клапани призначено для розвантаження фільтруючих елементів під час пуску та роботи двигуна на холодних та відповідно в'язких маслах і для забезпечення двигуна маслом при забрудненому фільтруючому елементі. Масляний фільтр виконується в металевому корпусі, що оснащений приєднувальною різьбою чи в безкорпусному виконанні. Додатково в системах мащення встановлюють запобіжні клапани, що забезпечують підтримку заданого виробником тиску масла в напірній магістралі.

Моделювання робочих параметрів фільтрів в системах комп'ютерного моделювання найбільш ефективно здійснюється із урахуванням їх геометричних особливостей. Масляний фільтр можна розділити на 3 об'єми, які в розглядаються як окремі частини гідравлічного потоку: вхідний, зовнішній та внутрішній об'єми.

Однією із найбільш розповсюджених систем комп'ютерного моделювання (СКМ) двигунів та систем транспортних засобів є програмний продукт GT-SUITE, виробництва компанії Gamma Technologies (США). Вхідний об'єм (об'єм масла в корпусі масляного фільтра на лінії подачі) в даній СКМ розглядається як частина гідравлічного потоку, що з'єднаний із зовнішнім об'ємом фільтра через з'єднання OrificeConn. Цей елемент визначає параметри *вхідних отворів* і може бути визначений еквівалентним їх діаметром, який буде відтворювати однакову загальну площу поперечного перерізу всіх вхідних отворів до *зовнішнього об'єму*. Також можна визначити діаметр одного з вхідних отворів, якщо кількість вхідних отворів визначено параметром Number of Holes параметру OrificeConn.



Рисунок 2 – Загальний вигляд масляного фільтра М-019 виробництва компанії Промбізнес (Україна) та його об'єми типу «spin-on»

Умовні позначення щодо визначення діаметра розширення та характерної довжини кожного отвору в трьох розділювачах, що складають масляний фільтр, такі ж, як і для будь-якого іншого розділювача. Наприклад, діаметр розширення та характерна довжина двох отворів (вхідні отвори до фільтра та опорна трубка) зовнішнього об'єму визначаються:

– для отвору 1 довжина L_{c1} відповідає висоті фільтра а діаметр розширення відповідає еквівалентному діаметру D_1 , що дорівнює різниці площ кіл із діаметрами D_o та D_i

$$D_1 = \sqrt{(D_o^2 - D_i^2)};$$

– для отвору 2 довжина L_{c2} відповідає відстані від внутрішньої стінки корпусу фільтра до поверхні опорної трубки $L_{c2} = D_o - D_i$ а діаметр розширення $D_2 \approx \sqrt{\frac{4}{\pi} \left(\frac{2 \cdot D_o \cdot L_{c1}}{3} \right)}$.

Рекомендований розрахунок базується на тому, що середня площа поперечного перерізу не може бути більшою за величину $D_o \cdot L_{c1}$ і, ймовірно, близька до значення $\frac{2}{3} D_o \cdot L_{c1}$.

Підхід щодо визначення діаметра розширення та характерної довжини кожного порту в трьох потоках масляного фільтра, така ж, як і для будь-якого іншого розгалуженого потоку.

Для призначення параметрів втрати тиску на масляному фільтрі, необхідно двічі клацнути на шаблоні PressureLossConn в бібліотеці об'єктів і вибрати посилання на еталонний об'єкт FlowPDDropTable, як показано на рис. 3. За допомогою цього еталонного об'єкта падіння тиску та витрата визначатимуться у вигляді 1D таблиці. Будь-яка об'ємна або масова витрата може використовуватися.

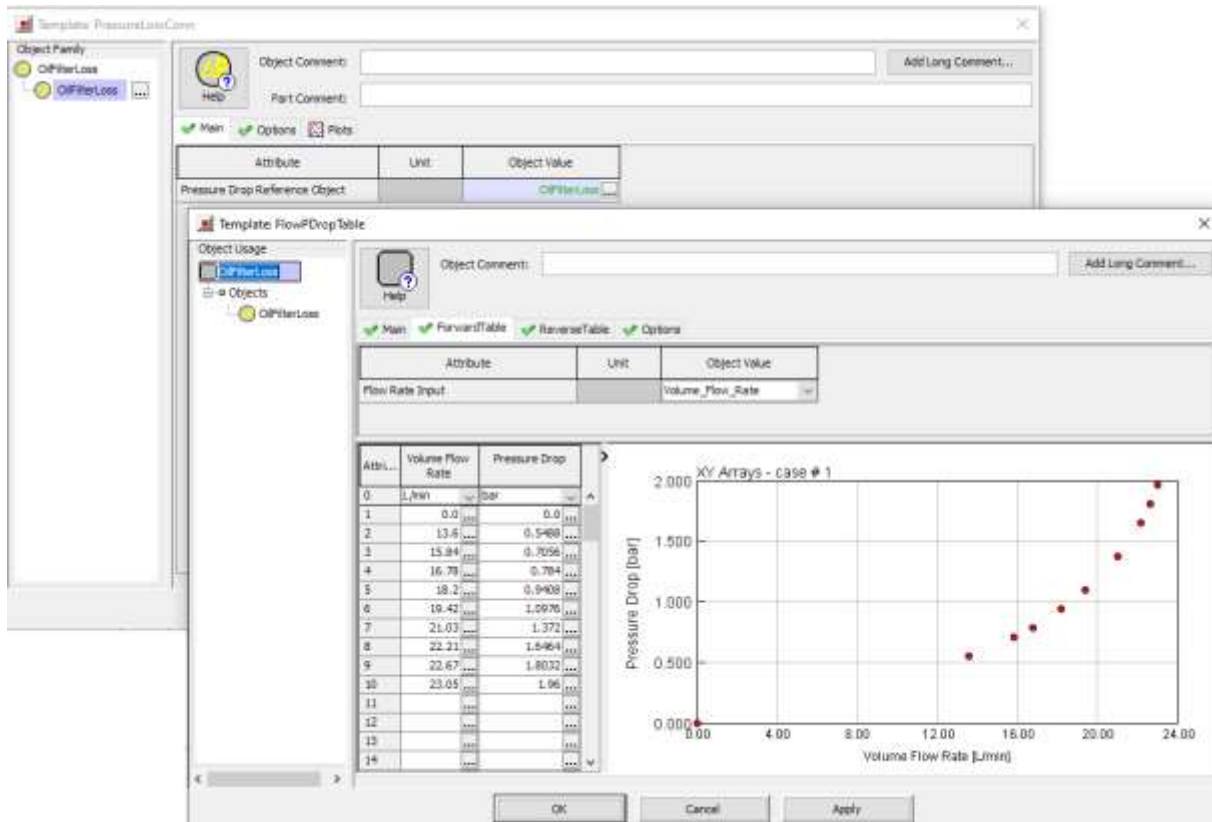


Рисунок 3 – Призначення характеристики гідравлічного опору масляного фільтра в шаблоні FlowPDDropTable

Далі моделюється об'єм масляного фільтра за допомогою об'єкту FlowSplitGeneral. Значення внутрішнього та зовнішнього об'ємів фільтра складає 878940 мм³ та 243473 мм³ відповідно.

Для моделювання опору фільтрувального паперу та внутрішніх отворів, зовнішній об'єм приєднується до внутрішнього об'єму або через з'єднувальний елемент OrificeConn, або за допомогою об'єкта Pipe з налаштуваннями діаметру та довжини. Якщо експериментальна залежність перепаду тиску від витрати є дещо лінійною, об'єкт Pipe дасть досить лінійний тренд. Однак, якщо співвідношення падіння тиску/витрата виражається квадратичною залежністю, її відтворення буде здійснюватись більш точно за допомогою з'єднання OrificeConn (рис. 4)

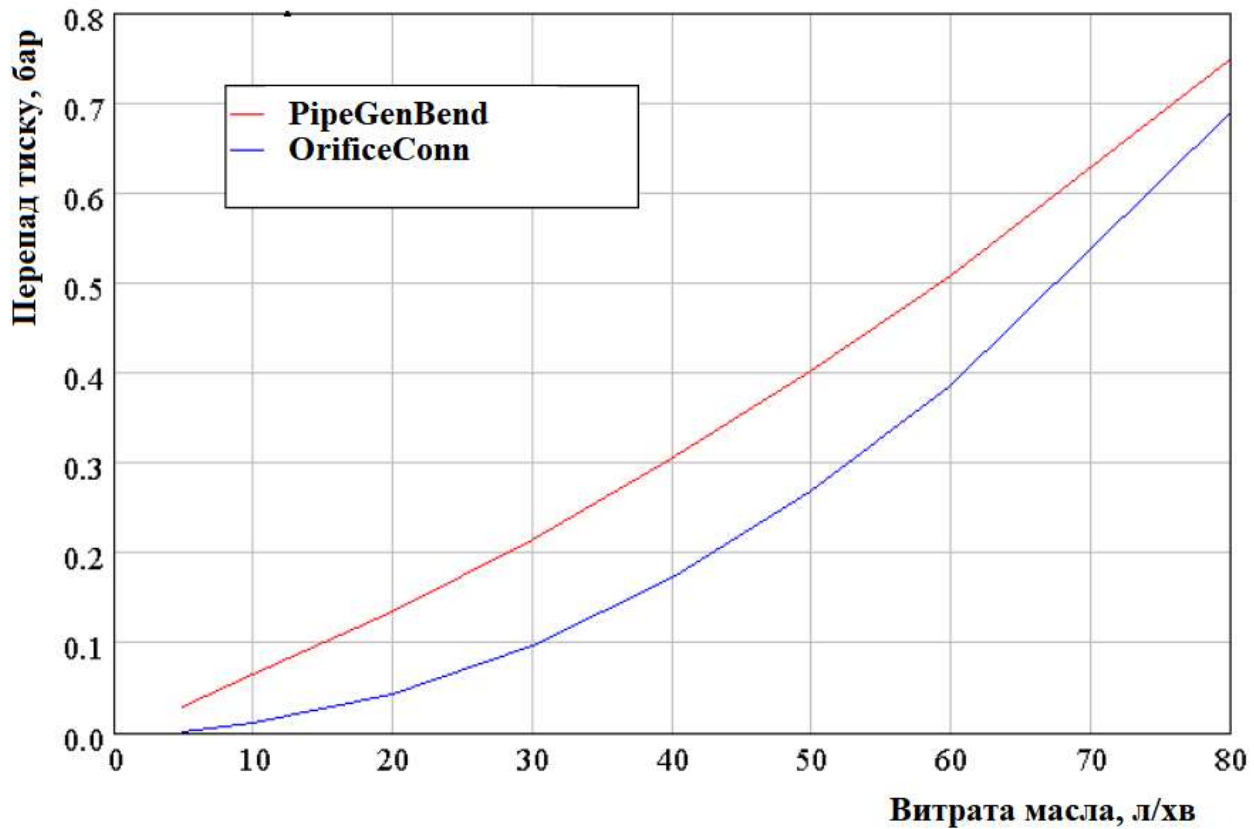


Рисунок 4 – Залежність перепаду тиску від витрати масла для двох варіантів моделей фільтру в GT-SUITE

Для можливостей моделювання умов експлуатації систем мащення при роботі фільтрів в різних умовах експлуатації доцільно мати експериментальні дані впливу змінних температур моторного масла, забруднення фільтрувального елемента та вязкісно-температурних характеристик моторних масел при їх старінні чи забрудненні паливом та водою (охладжувальною рідиною). Це надасть можливості ідентифікувати порушення умов експлуатації систем мащення та виявляти несправності на ранніх етапах їх появи.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОМОБІЛЬНОЇ ШИНИ НА ТРИВАЛІСТЬ СТАРТОВОГО РУХУ

Карпенко В.О., Воропай О.В., Нескреба Е.Є.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Вступ. Мета роботи – визначення мінімального часу руху автомобіля до стабілізації температури та внутрішнього тиску в шинах для забезпечення безпеки руху в цей період.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії автомобільних шин з дорожньою поверхнею.

Предмет дослідження – внутрішній тиск та температура газового наповнювача всередині шини

Методи дослідження – під час дослідження використовувалася сучасна система контролю тиску та температури газового наповнювача в шині з «зовнішніми» датчиками, що дозволяє в режимі реального часу фіксувати значення внутрішнього тиску. За допомогою безконтактного термометру досліджується зміна температура в протекторній та боковій зоні шини.

Актуальність досліджень. Стан шини суттєво впливає на працездатність автомобіля. Від шини залежать такі важливі експлуатаційні властивості автомобіля як стійкість, керованість, безпека, шумовипромінювання, паливна економічність, комфортабельність та ін. [1-2]. Зрозуміло, що після деякого періоду руху шини тиск в ній стабілізується та досягається оптимальна температура шини, при якій значення всіх її експлуатаційних параметрів знаходяться в межах рекомендованих виробниками. Важливо знати цей час, за який внутрішній тиск шини досягає оптимальних значень. Температура в межах України може коливатися від -30°C взимку до $+40^{\circ}\text{C}$ влітку [3]. В даній роботі проводяться дослідження саме в літній період, коли температура навколишнього середовища досягає максимальних значень. На тривалість стартового руху та величину приросту тиску в шині впливають геометричні параметри шин, тому експериментальні дослідження проводилися на шинах з різними діаметрами.

Постановка задачі. За допомогою сучасної системи контролю необхідно провести експериментальні дослідження тривалості стартового руху, а також зміни внутрішнього тиску та температури газового наповнювача всередині шин при температурах навколишнього середовища в діапазоні 25°C – 35°C (літній період). Виявити вплив геометричних параметрів автомобільної шини та умов навколишнього середовища на досліджувані параметри. Визначити період стабілізації основних експлуатаційних параметрів.

Експериментальні дослідження. Під час досліджень використовувалася сучасна система контролю тиску та температури в шинах (рис. 1), що доступна кожному автовласнику та зручна в експлуатації. Експериментальні дослідження стартового часу руху проводились на 5-ти працездатних автомобілях, обладнаних різними за типорозмірами шинами та при різних умовах навколишнього середовища. Отже досліджувалися наступні автомобілі:

- Skoda Octavia – діаметр шин 15 дюймів (R15);
- VW Caddy - (R14);
- ВАЗ 2106 - (R13);
- Peugeot 301 - (R15);
- Chevrolet Cruze - (R16).

Заїзди проводилися на трасі загального призначення, що має одну смугу руху в кожному з напрямків. Таким чином, випробування проводилися з можливістю підтримки стабільного швидкісного режиму за межами міста. Експеримент розпочинався після тривалої зупинки

автомобіля на узбіччі дороги обраного маршруту з метою встановлення в шинах температури, що відповідає температурі навколишнього середовища. Потім досліджуваний автомобіль на протязі хвилини досягав швидкості 60 км/год, ця швидкість (± 5 км/год) підтримувалась до встановлення тиску в шинах.



Рисунок 1 – Система контролю внутрішнього тиску і температури з зовнішніми датчиками

Перший досліджуваний автомобіль Skoda Octavia, обладнаний шинами діаметром 15 дюймів. Температура повітря в день проведення експерименту досягала 33°C , вологість 48%, температура дорожнього покриття – 45°C . Перед початком експерименту тиск у всіх шинах був виставлений на рівні 2,1 МПа. В результаті дослідження тиск в шинах досягнув наступних значень: передні колеса – 2,3 МПа (28 хв); задні колеса – 2,2 МПа (16 хв).

Наступні два досліджуваних автомобіля Volkswagen Caddy (R14) та ВАЗ 2106 досліджувались в один день. Температура повітря складала 26°C (рис.2 а), вологість – 62%, температура дорожнього покриття – $27,6^{\circ}\text{C}$ (рис.2 б).

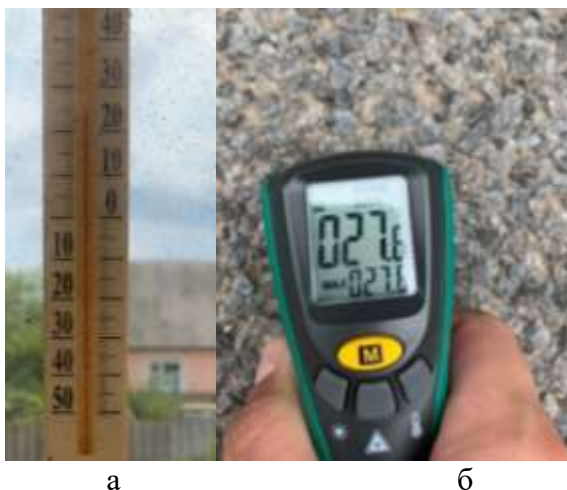


Рисунок 2 – Температура повітря навколишнього середовища та температура повітря в день досліджень

Закріплений «зовнішній» датчик внутрішнього тиску та температури зображений на рис. 3.а. Тиск в усіх колесах автомобіля Volkswagen Caddy встановлений на рівні 2 МПа (рис.3.б), а у ВАЗ 2106 був встановлений на рівні 1,8 МПа.



Рисунок 3 – Закріплений датчик тиску та температури та показники значень тиску в шинах на початку експерименту

Наступний досліджуваний автомобіль Peugeot 301 (R15). Температура повітря навколишнього середовища в день дослідження – 30°C, температура дорожнього покриття 42°C, вологість – 37%. Тиск в шинах був встановлений на рівні 2 МПа.

Останній автомобіль Chevrolet Cruze (R16), температура повітря навколишнього середовища в день дослідження 17°C, температура дорожнього покриття – 19°C. Результати досліджень: переднє праве колесо – 2,4 МПа (36 хв); переднє ліве колесо – 2,3 МПа (18 хв); задні колеса – 2,3 МПа (29 хв); температура в протекторній зоні шини – 35°C.

Висновки. В літній період найбільший вплив на тривалість стартового руху (час до стабілізації внутрішнього тиску та температури газового наповнювача всередині шин) в першу чергу має температура навколишнього середовища. Це можна пояснити тим, що влітку температура найбільш близька до оптимальних робочих температур автомобільної шини. Для шин діаметрами від R13 до R15 їх геометричні параметри мають незначний вплив.

Для автомобільних шин з діаметрами від R13 до R15 внутрішній тиск та температура газового наповнювача всередині шин підвищувалась в середньому на 5-10 відсотків (залежно від умов навколишнього середовища) за строк 15-30 хвилин. Тобто мінімальний стартовий час влітку буде становити приблизно 15 хвилин, коли експлуатаційні властивості автомобільної шини наближаються до оптимальних значень, що позитивно впливає на стійкість, керованість та безпеку руху.

При експлуатації шин з діаметрами більше R16 слід враховувати збільшення тривалості стартового часу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Войтович О.А., Ткач В.А. Вплив тиску в шинах на безпеку автотранспорту. Херсон: Вісник ХНТУ. 2017. №4. С. 33-38.
2. Перегон В.А., Карпенко В.А., Позднякова Е.И., Левченко А.Н., Загородний А.А., Баранник И.М., Коряк А.А. Колебания и виброакустика автомобильной шины. Х.: Лидер. 2017. 360 с.
3. Осадчий В.І., Бабіченко В.М., Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. Укр. геогр. журн. 2013. №4. С. 32-39.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ НОРМ ВИТРАТ ПАЛИВА ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПЕРЕСУВНИХ ПАРОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК ППУА

Богатчук І.М., Прунько І.Б., Козак Ф.В., Богатчук М.І., Новаківський С.А.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

Підвищення видобутку нафти і газу спонукало до використання передових технологій пов'язаних з депарафінізацією свердловин при видобутку нафти, підземного і наземного обладнання свердловин, а також для підігріву трубопроводів та іншого нафтопромислового обладнання [1-3].

Забезпечують депарафінізацію свердловин пересувні парогенераторні установки (ППУА), які встановлені на шасі автомобілів буква (А): КраЗ, Урал, КамАЗ та інші. Промисловість випускає установки різних модифікацій: від ППУА 1200/100 до ППУА 2500/100 де 1200... 2500 годинна продуктивність виробленої пари в кг/год. Цифра 100 означає, що пара може відпускатись споживачеві при максимальному тиску 9,81МПа і максимальній температурі 310 °С. Сучасні, ППУА виконують з можливість вироблення пари чи нагрітої води на багатьох режимах в залежності від запитів споживачів (робочі параметри можна міняти від підігріву води до отримання пари при максимальних тиску 9,81МПа і температурі 310 °С) [2].

ППУА це комплекс технічних рішень, який представляє собою мобільну міні котельню на шасі автомобіля (рисунок 1). В конструктивному виконанні установка включає: цистерну для води 1, укриття для цистерни 2, ємність для палива 3, кузов (кунг-{кузов – фургон}) 4, парогенератор 5, водяну помпу 6 для живлення парогенератора 5; вентилятор високого тиску 7 для подачі повітря в котел парогенератора 5; помпа шестерінчаста 8 для подачі палива в форсунки котла парогенератора 5; електрообладнання, контрольно-вимірювальні прилади з автоматичним керуванням технологічним процесом 9, механічний привід 10 помп 6, 8 і вентилятора 10; магістральних трубопроводів 11, рами монтажної 12.

В інструкціях з експлуатації наводиться, що витрати палива на роботу теплогенератора приймаються на годину роботи установки, а не на виконану роботу. Тут слід відмітити, що установка працює на різних режимах з різними вихідними характеристиками, а значить витрачає різну кількість палива.

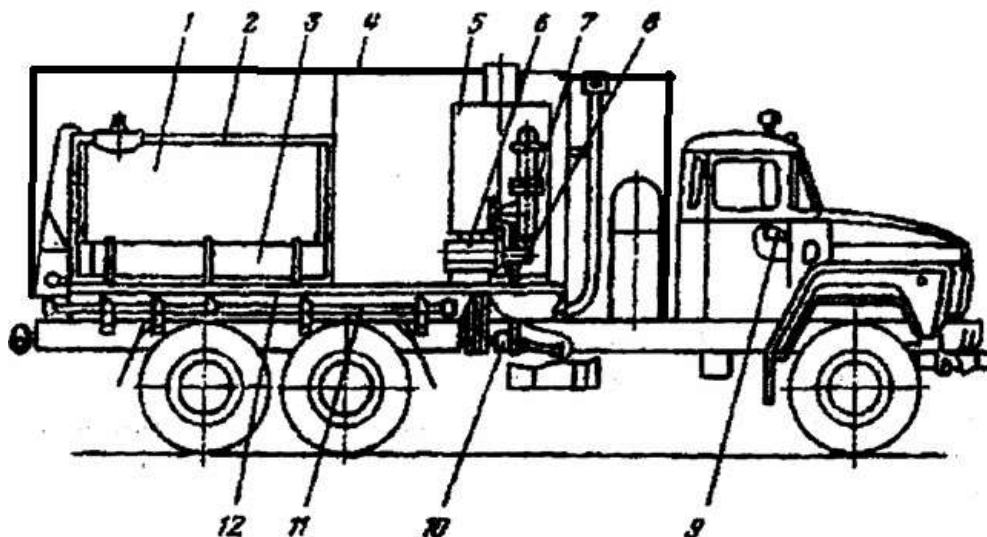


Рисунок 1 – Принципова схема установки ППУА 1600 / 100

Нормативною документацією [4], витрати палива ($H_{об}$) на роботу спеціального обладнання встановленого на автомобілях, які виконують спеціальні роботи під час стоянки (автокрани, компресорні, бурильні, насосні установки тощо) встановлюються в літрах на одну годину роботи обладнання, і тільки для спецтехніки обладнаної цистернами або самонавантажувачами для перевезення контейнерів норма встановлюється на операцію (завантаження або розвантаження) в літрах на одну цистерну або один комплект контейнерів. При виконанні транспортної роботи автомобільним транспортом загального призначення норма встановлюється з розрахунку витраченого палива в літрах на виконану транспортну роботу (ткм) з врахуванням пробігу і ваги причепа, що вважається найбільш точним методом.

В роботі [5] наведена методика визначення витрат палива на отримання пари парогенератором при різних режимах експлуатації. Однак крім парогенератора, який живиться від окремого джерела живлення тобто має автономну ємність розхід палива можна визначити шляхом вимірювання витрат на кожному режимі.

Функціонування теплогенератора здійснюється від комплексу допоміжного обладнання показаного на рисунку 2, який приводиться в дію від ДВЗ транспортного засобу, на якому встановлена установка. Тобто в даному випадку маючи вихідні параметри (характеристики) допоміжного обладнання можна визначити втрати потужності ДВЗ на їх привід. Витрати палива на привід допоміжного обладнання можна визначити через витрати потужності на роботу навісного обладнання.

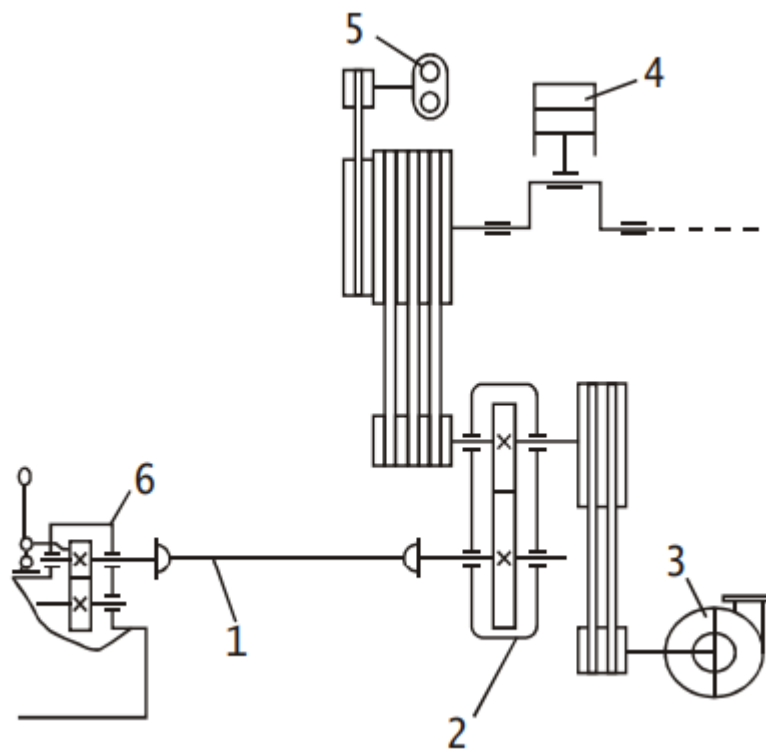


Рисунок 2 – Кінематична схема установки: 1 – карданний вал, 2 – редуктор, 3 – вентилятор, 4 – насос ПТ-1-1,6/250, 5 – насос ШФ 0,4-256, коробка відбору потужності

У доступних науково-інформаційних джерелах наводиться наступне: згідно [6] максимальна потужність, яка відбирається від дизельних ДВЗ для приводу ППУА-1600/100 складає 40 кВт, що приблизно еквівалентно витраті палива на робочому режимі 10 кг / год [7]. Вказані значення приймаються для максимальних вихідних характеристик, але на практиці установка значну частину часу експлуатується на нижчих експлуатаційних характеристиках і

при цьому є менші втрати потужності, які необхідно враховувати при визначенні витрат палива.

ЛІТЕРАТУРА

1. Байбаков Н.К. и др. Термоинтенсификация добычи нефти. М.: Недра, 1971. – 280 с.
2. Нефтепромысловое оборудование: Справочник / Под ред. Е.И. Бухаленко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 559с.
3. Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ. Підручник. – К.: ІСДО, 1995. - 496 с.
- 4 Норми витрати палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті (друга редакція). Наказ Мінтрансу України від 16.02. 2004р. №99.- Мінтранс України, ДП "ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ", Київ, 2004. – 72с.
- 5 Ф.В.Козак, Б.Д.Процюк, М.І.Богатчук, Л.О.Богатчук Методика визначення витрат палива парогенераторними установками нафтогазового технологічного транспорту для різних режимів експлуатації. Розробка та експлуатація нафтових і газових родовищ. ISSN 1993—9965. Науковий вісник ІФНТУНГ. 2010. № 3(25) Ст.36-45
- 6 Техническая характеристика передвижной парогенераторной установки ППУА 1600/100. Режим доступу: <https://rifst.ru/catalog/ustanovki-parovye-i-deparafinizacii/peredvizhnye-parogeneratornye-ustanovki-ppua/ppua-0>.
- 7 Установка промислова парова пересувна ППУА-1600/100. Режим доступу: <http://pkpm.com.ua/uk/production/parogeneratornyie-ustanovki-ppua-1600-100-2/>

Секція 2

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

УДК 621.431.74: 004.94

СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК СУДЕН ЗМІШАНОГО РАЙОНУ ПЛАВАННЯ «РІКА-МОРЕ»

Худяков І.В., Грицук І.В., Агєєв М.С., Погорлецький Д.С., Черненко В.В.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Однією з важливих передумов забезпечення технічної безпеки плавання є моніторинг параметрів суднових дизелів (головних і допоміжних) в процесі їх експлуатації. Інформація про поточні значення параметрів робочого процесу суднових дизелів під час експлуатації дозволяє обслуговуючому персоналу підтримувати нормальний технічний стан дизелів і попереджати виникнення аварійних ситуацій. На експлуатованих в даний час річкових судах моніторинг параметрів двигунів найчастіше зводиться до періодичного контролю тисків і температур - за допомогою максиметра персонал визначає максимальні значення тисків газів по циліндрах (p_{\max}) або тиску в кінці процесу стиснення (p_c) при відключеному подачі палива. Крім p_{\max} , p_c , температур води і масла, можна виділити цілий ряд інших параметрів, моніторинг яких під час експлуатації дає можливість здійснювати більш якісний контроль робочого процесу дизеля і виробляти точне регулювання окремих вузлів. Так, контроль середнього індикаторного тиску (p_i) дозволяє визначити перевантаження окремих циліндрів і рівномірно розподілити потужність по всіх циліндрах дизеля. Контроль максимальної швидкості підвищення тиску при згорянні палива (жорсткості $\Delta p/\Delta \phi$ робочого процесу) дозволяє обмежити ударні навантаження на підшипники окремих циліндрів і виявити недоліки в роботі паливної апаратури (ПА). За допомогою контролю геометричних і дійсних фаз подачі палива виробляється комплексна оцінка технічного стану ПА. Контроль фаз газорозподілу під час роботи дизеля дозволяє оперативно оцінювати технічний стан газорозподільного механізму і підтримувати паспортні значення кутів закриття і відкриття клапанів.

Крім перерахованих вище, можна виділити ще цілий ряд параметрів робочого процесу, моніторинг яких під час експлуатації в значній мірі допоможе обслуговуючому персоналу підтримувати нормальний технічний стан дизеля [1].

Діагностичні параметри двигунів. До теперішнього часу більшість систем моніторингу суднових двигунів внутрішнього згорання (СДВЗ) було спроектовано як єдиний програмно-апаратний комплекс, що виробляє запис параметрів і частковий розрахунок робочого процесу в режимі реального часу. Найбільш характерними системами такого типу є NK-5, NK-100, NK-200 фірми Autronica A / S, а також ряд аналогічних систем, розроблених компаніями Terasaki Electric Co., Ltd, Konsberg, JRCS, Hyundai, Samsung, Honeywell, Sulzer [2]. Системи такого типу покликані вирішувати два завдання: отримання даних в реальному часі і частковий розрахунок робочого процесу, що дозволяє виробникам випускати завершення комплекси моніторингу СДВЗ і надавати технічного персоналу судна великий обсяг інформації, необхідної для якісної технічної експлуатації двигунів. Однак такий підхід до вирішення завдання моніторингу СДВЗ має ряд недоліків:

- недостатньо повне (неточне) моделювання робочого процесу;
- в якості вихідних даних використовується обмежена кількість вимірюваних параметрів;
- не виявляються прогнозуючі тренди технічного стану двигуна;
- з'єднання вимірювальної та розрахункової частин систем моніторингу ДВС значно збільшує їх складність; для передачі сигналів від двигуна до обчислювального комплексу

використовуються довгі кабельні лінії; встановлюються додаткові підсилювачі і перетворювачі сигналів, що знижує надійність функціонування системи в цілому;

- вартість систем подібного типу залишається вельми високою, оскільки складається з вартості не тільки датчиків і первинних перетворювачів, а й усього проміжного обладнання, включаючи вартість обчислювального комплексу і програмного забезпечення. Крім того, комп'ютери в таких системах задіяні тільки для вирішення завдання моніторингу СДВЗ [1].

Розглянемо системи діагностики середньо- і високооборотних двигунів (СОД і ВОД), що застосовуються в даний час.

Система CEDC фірми «Зульцер» (Швейцарія) призначена для діагностування циліндропоршневої групи (ЦПГ), ПА, турбокомпресора, охолоджувача наддувочного повітря (ОНП). Ця система встановлена на дизелях типу 6RND-90 теплохода «Віллі де Страсбург» (Франція). Діагностична система на базі міні-ЕВМ аналізує поточні параметри дизеля і його технічний стан. При зміні діагностичних параметрів проводиться аналіз тенденцій їх зміни в часі і встановлюється необхідний термін перебирання вузла.

Поломка деталі (вузла) попереджається сигналом про досягнення граничного значення параметра. Таким чином, кожен раз проводяться тільки ті роботи, які необхідні для підтримки характеристик дизеля на оптимальному рівні. Діагностичні системи складаються з трьох основних частин: датчиків і перетворювачів сигналів, встановлених на дизелі або в безпосередній близькості до нього; центрального обробного і реєструючого пристрою, розміщеного в центральному пульті управління або в спеціальному приміщенні; засобів зв'язку «людина - машина», що знаходяться в центральному посту управління. Сигнали передаються в цифровому вигляді. Термічне навантаження циліндра вимірюється термодатчиками, встановленими в кришці циліндра (2 шт.), верхній частині втулки (4 шт.) та в нижній частині втулки з боку випуску (1 шт.) на глибині близько 6 мм від робочої поверхні. Чотири термодатчика у верхній частині втулки дозволяють визначити похибку організації процесу згоряння, обертання і вібрацію поршневих кілець, а також зафіксувати сухе тертя, яке відзначає в основному датчик в нижній частині втулки. Робота поршневих кілець контролюється двома додатковими датчиками, розташованими в верхній частині втулки. Ці датчики визначають щільність прилягання кілець до втулки в момент проходження кільцем місця установки датчика і фіксують втрату рухливості і поломку кілець; при відсутності кільця в струмку (поломка кільця) інтенсивність сигналу падає не менше ніж на 25%. При аналізі процесу згоряння характерні точки процесу (p_c , p_{max} і ін.) порівнюються з усередненими значеннями за кілька циклів і з інтервалом в 30 секунд отримані дані подаються на друкувальний пристрій.

Попереджувальний сигнал в системі виробляється не за абсолютною, а по відносній величині параметра, яка зберігається в пам'яті ЕВМ, а також на магнітній стрічці [3].

Система СИПВА фірми «Зульцер» забезпечує безперервне вимірювання і реєстрацію зносу верхнього поршневого кільця дизеля, а також зазначає обертання кілець або його відсутність. Датчики - індуктивні. Верхні поршневі кільця головного двигуна спеціальної конструкції. Датчики встановлюються в наскрізних свердліннях втулки врівень з її робочою поверхнею. Обчислювальний пристрій за визначеними програмами оцінює загальний технічний стан дизеля і залишковий ресурс деталей ЦПГ, рекомендує час чергового профілактичного обслуговування. Діагностична система може бути з'єднана зі штатними системами управління і регулювання – регулятор «Вудвард», системою регулювання циркуляційної і циліндричної мастила - і брати участь в загальному процесі автоматичного регулювання режиму роботи дизеля, аж до аварійної зупинки його в разі небезпечного виходу за норму будь-яких контрольованих параметрів, в тому числі в системах підготовки палива і масла, охолодження і т. п. [3].

Система DETS фірми «Норконтрол» (Норвегія) являє собою вимірювальний комплекс, що дає інформацію про систему впорскування палива та процесу згоряння в дизелі

у вигляді роздрукованих значень параметрів і графіків. Система використовує два датчики (тиску уприскування палива і тиску в циліндрі) п'єзоелектричного типу. Два магнітні датчики дають інформацію про кут ПКВ і частоту обертання. Додатково встановлюється датчик тиску продувочного повітря. Реєструються такі характерні параметри: p_i , p_c , p_{\max} , тиск розширення в точці 40° після ВМТ, момент максимального тиску, град, ПКВ; різниця між найбільшим і найменшим значеннями p_i протягом п'яти ходів поршня. Для візуального контролю будується діаграма тиску стиснення в зоні ВМТ і крива тиску впорскування [3].

Система PED фірми «Пілстік» (Франція) вперше була встановлена на дизелі 18PC2-5V теплохода «Ренор». За допомогою системи діагностуються середньооборотні дизелі фірми «СЕМТ-Пілстік» серій PC-2, PC-3, PC-4. Діагностичною системою контролюється стан корінних підшипників колінчастого вала і верхнього поршневого кільця, агрегатів турбокомпресора. Датчики системи вимірюють такі параметри: температуру і тиск за ОНВ, температуру охолоджуючої води на вході в ОНВ, тиск повітря за турбокомпресором, положення рейок паливних насосів високого тиску (ТНВТ), частоту обертання ротора турбокомпресора, вібрацію підшипників турбокомпресора з видачею попереджувальних сигналів при підвищеній вібрації за допомогою датчика стану підшипників (безконтактного датчика переміщення). Датчик дає можливість виявити порушення центрування колінчастого вала. Стан верхнього кільця контролюється індуктивним датчиком «Ніппо» фірми «віброметр» [3].

Система «Віброметр» фірми «Віброметр» (Швейцарія) діагностує такі вузли: ЦПГ, системи уприскування палива, турбокомпресора, поршневих кілець. Діагностична система випробовувалася на дво- і чотиритактних малооборотних дизелях, СОД і ВОД. Діагностична система контролює такі вузли дизеля: поршень (пооява стукотів, задираки); клапани, деталі клапанних приводів (розподільний вал, коромисло і т. д.) ТНВД; підшипники (знос), а також такі параметри, як частота і напрямок обертання колінчастого вала, p_{\max} і характеристики впорскування. У діагностичній системі використовуються п'єзоелектричні датчики, які збирають інформацію про акустичні сигнали, після обробки яких робиться висновок про нормальний або аномальними стані вузлів. П'єзоелектрична система оцінки звукових хвиль «Ніссен» включає п'єзоелектричний акселерометр, який виявляє неузгодженість ротора і знос підшипників турбокомпресора. Стан поршневих кілець контролюється за допомогою датчика «Ніппо». Інформація виводиться на дисплей [3].

Система МЕКОМ фірми «Статронік» (Норвегія) призначена для діагностування дизелів, турбін, котлів, з її допомогою реєструються наступні параметри: рівень вібрації механізмів, температури підшипників турбін, втулок циліндрів, температура випускних газів, тиск в різних точках газоповітряного тракту [3].

Сучасні діагностичні системи дизелів контролюють зміну тиску в циліндрах в залежності від часу, кута ПКВ або ходу поршня. Діаграма $p_{\text{ц}} = f(\text{ФПКВ})$ зображується на екрані осцилоскопа і вводиться в пам'ять ЕВМ для подальшого аналізу, в процесі якого встановлюються величини p_i , p_c , p_{\max} , кут ПКВ, якому відповідав би максимальний тиск в циліндрі. Значення цих параметрів, а також інших, що мають відношення до робочого процесу (тиск і температура наддувочного повітря, частота обертання колінчастого вала), виводяться або можуть бути викликані на дисплей (табло) пристрої. Так працює прилад НК-2, що входить в діагностичну систему фірми «Аутроніка» (Норвегія), АСЕА (Швеція) і ін. [3]. Системи «Комос-D1, -D2, -D3, -D4» фірми МН1 (Японія), що використовують електронно-променеву трубку і систему діалогу, призначені для діагностування головного і допоміжних двигунів. Вимірювані значення порівнюються з еталонними, що зберігаються в пам'яті ЕВМ [3].

З представленою аналізу існуючих діагностичних систем ДВС можна зробити наступні висновки:

- в даний час кожен виробник СДВЗ в першу чергу стурбований моніторингом параметрів (діагностикою) тільки свого двигуна, універсальні системи моніторингу для двигунів будь-яких моделей не створюються;

- установка спеціалізованих діагностичних комплексів здійснювалася на СДВЗ досить високої потужності, застосовуваних на морських судах; на річкових суднах та суднах змішаного (річка-море) плавання такі системи дотепер не застосовувалися. Технічна діагностика двигунів на судах з класом Річкового реєстру зводиться до зняття індикаторних гребінок, теплотехнічного контролю і подальшої «ручний» обробці отриманих результатів судовими механіками, або теплотехнічними партіями. Однак досягнення технічного прогресу і встановлені Урядом України орієнтири вимагають перегляду підходів в області технічної діагностики судових технічних засобів на внутрішньому водному транспорті, тим більше що прогрес в галузі управління об'єктами СЕУ і діагностики їх технічного стану неминуче вимагатиме переходу організацій за класифікацією на новий рівень реалізації процедур класифікації і огляду суден [4].

Аналіз розглянутих вище й інших, не описаних в статті, систем дозволяє сформулювати перелік діагностичних параметрів двигунів, необхідних для реалізації алгоритмів безрозбірної автоматичної технічної діагностики (табл. 1).

Таблиця 1. Перелік діагностичних параметрів двигунів, перспективних для використання в системах моніторингу та діагностики

| Що діагностується | Контрольований параметр |
|--|---|
| Двигун (ефективні показники) | Крутний момент $M_{крі}$ на фланці двигуна, кНм (потужність, кВт) Витрата палива $G_{тi}$, кг / год Частота обертання колінчастого вала n_i , хв-1 |
| Робочий процес | Максимальний тиск циклу p_{maxi} , МПа Швидкість наростання тиску (d_p / d_ϕ) i , МПа / ° п.к.в. Кут п.к.в ϕ_{maxi} , відповідний p_{maxi} , ° п.к.в. Температура випускних газів по циліндрах $t_{гi}$, ° С Тиск в газовипускном трубопроводі $p_{гi}$, МПа |
| Система подачі палива | Тиск впорскування палива $p_{тi}$, МПа Циклова подача палива $g_{цi}$, Кг / цикл Кут випередження впорскування палива $\alpha_{н.вi}$, ° п.к.в. тиск $p_{тпнi}$ за топливопідкачуючим насосом, МПа температура $t_{тi}$ палива перед ПА високого тиску, ° С (якщо є) |
| Циліндропоршнева група | Тиск кінця стиснення $p_{сi}$, МПа Витрата масла двигуном $G_{мi}$, Кг / год Вібрація в районі кришок циліндрів (віброшвидкість $v_{цi}$, Мм / с) |
| Колінчастий вал | Вібрація в районі колінчастого вала (віброшвидкість $v_{квi}$, Мм / с) Температура вкладишів підшипників ковзання або температура ліжок підшипників кочення колінчастого вала $t_{пi}$, ° С |
| Система змащування і система охолодження двигуна | Тиск масла $p_{мi}$ Температура масла на виході з двигуна $t_{м2i}$, ° С Температура масла на вході в двигун $t_{м1i}$, ° С Температура охолоджуючої рідини на виході з двигуна $t_{ох2i}$, ° С Температура охолоджуючої рідини на вході в двигун $t_{ох1i}$, ° С Циркуляція (протока) охолоджуючої рідини |
| Система управління | час $\tau_{пппi}$ перехідного процесу пуску, з час $\tau_{ппрi}$ перехідного процесу реверсу, з Точність регулювання частоти обертання ε , хв ⁻¹ |

| | |
|-----------------------------|---|
| | Час $\tau_{\text{ппчв}}$ перехідного процесу зміни частоти обертання, з |
| Турбонагнетатель | тиск наддуву p_{ki} , МПа Температура наддувочного повітря t_{ki} , °С Вібрація турбонагнетателя (віброшвидкість v_{Ti}), Мм / с Частота обертання ротора, $n_{\text{тні}}$, Хв ⁻¹ Тиск перед турбіною $p_{\text{тні}}$, МПа |
| Шкідливі викиди в атмосферу | емісія e_{NOx} в випускних газах двигуна, г / (кВт · год) емісія e_{CO} в випускних газах двигуна, г / (кВт · год) димність D_i випускних газів двигуна (коефіцієнт N ослаблення світлового потоку, приведений до шкалою димоміра оптичного типу,%) |

Проведений авторами аналіз сучасних датчиків, що залишився за рамками цієї роботи, дозволяє зробити висновок про те, що технічних обмежень по вимірюванню діагностичних параметрів на сучасному етапі технічного прогресу немає.

В даний час промисловістю випускаються різноманітні датчики, що дозволяють вимірювати параметри робочого процесу найскладнішого для діагностування об'єкта СЕУ - СДВЗ. Для контролю тиску газів в циліндрах найбільш широко застосовуються такі неохолоджувані датчики: тензометричні датчики GT-20 (20А, 21) фірми Autronica A / S; п'єзоелектричні датчики фірми Kistler; оптичні датчики Optrand; емнісні датчики PS-16 DEPAS. Особливістю зазначених датчиків є широкий діапазон робочих температур - від 40 до 500 °С. Типовий робочий діапазон вимірюваних тисків 200-250 бар. Для аналізу процесу упорскування палива застосовують датчики тиску, розраховані на роботу при високих імпульсних навантаженнях з максимальним тиском до 2000-3000 бар. Робочий температурний діапазон датчиків тиску палива досягає 150°С. Для вимірювання температури і тиску застосовуються датчики серій Sentry і GT фірми Kongsberg. Для вимірювання віброшвидкості можливе використання датчиків типу ДВС-І (ТОВ «Енергогазприбор»), що мають два незалежні канали вимірювання – канал X і канал Y. Для замірів шкідливих викидів в атмосферу можуть бути використані датчики фірм NGK Spark Plugs і Siemens VDO. Як приклад можна привести інтелектуальний датчик з багатошаровим сенсорним елементом ZrO₂, який розроблений спільно з NGK і випускається Siemens VDO. Датчик допускає як пряме вимірювання NO_x, так і співвідношення «повітря / паливо». Інтелектуальний датчик включає газовий сенсорний елемент і електронний блок, що генерує три сигнали: NO_x, двійковий, лінійний. Дані передаються до ECU двигуна за допомогою шини CAN [5].

Висновок: На підставі виконаного аналізу можна констатувати, що в даний час рішення задачі технічної діагностики судових двигунів, а отже, і інших, менш складних об'єктів СЕУ річкових суден, стає можливим, оскільки сучасні електронні системи управління дозволяють здійснювати безперервний моніторинг технічних параметрів. У зв'язку з цим використання спеціалізованих діагностичних комплексів стає неактуальним, тому що інформація, яка отримана від електронних систем управління двигуном і іншими об'єктами СЕУ, може оброблятися центральним комп'ютером управління або комп'ютером машинного відділення з метою управління та діагностування всієї СЕУ [6], а не тільки її окремих об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Іванівський В. Г., Варбанець Р. А. Моніторинг робочого процесу судових дизелів в експлуатації. // Всеукр. наук.-техн. журн. 2004. Вип. 2. С. 138-141.
2. Данилян А. Г., Чимшир В. І., Разінкін Р. А., Найдьонов А. І. Удосконалення систем технічного діагностування малооборотних судових дизелів // Молодий вчений. 2015. № 2 (82). С. 138-142. URL: <https://moluch.ru/archive/82/14613/>.

3. Характеристика систем діагностики суднової дизельної установки в судових дизелях. URL: <http://vdvzhke.ru/sudovye-dizelnye-ustanovki/puskoreversivnye-sistemy-dvigatelja/harakteristika-sistemdiagnostikisudovoj-dizelnoj-ustanovki-v-sudovyh-dizeljah.html>.

4. Худяков І.В. Особливості формування та аналізу інформаційних структур системи моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів у взаємодії з тахографом / Худяков І.В., Симоненко Р.В., Манжелей В.С., Черненко В.В. // Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики: монографія / Vlatnický Miroslav, Dižo Ján, Gerlici Juraj та ін.; за наук. ред. проф. Грицука Ігоря. – Херсон : ХДМА, 2019. – с. 250-259.

5. Сисоєва З. Нові тенденції та перспективні технології автомобільних датчиків систем Powertrain і контролю емісії. Ч. 1. Стан та перспективи ринку датчиків положення, швидкості, датчиків концентрації кисню (газу), масової витрати повітря і тиску // Компоненти та технології. 2006. № 60. С. 86-94.

6. Соловйов А. В. Концепція єдиного цілеорієнтованого управління судновою енергетичною установкою // Укр. держ. ун-ту мор. і реч. флоту ім. адм. С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 5. С. 1027-1039.

УДК 629.5.064

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МЕХАНІЗМУ ПЛУНЖЕРНОЇ РУЛЬОВОЇ МАШИНИ YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2

Проценко В.О., Маринченко Д.О.
Херсонська державна морська академія, Україна

Рульові машини є відповідальними елементами сучасних суден, які повинні безвідмовно працювати протягом всього періоду експлуатації, оскільки від їх працездатності залежить безпека мореплавства [1]. Водночас, це достатньо складні механізми, що обумовлює високі вимоги до точності розташування поверхонь фундамента та трудомісткість установки на нього. У машинах, механізми яких містять надлишкові зв'язки, протягом експлуатації відбувається перерозподіл навантажень між деталями, що призводить перевантаження одних і розвантаження інших, це може спричинити зміну технічної характеристики, збільшення механічних втрат, заклинювання рухомих деталей. Зниження кількості надлишкових зв'язків у механізмах машин є важливим завданням для морського інжинірингу [2].

В машині YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 (рис. 1), порівняно з іншими конструкціями, напрямна балка набула функції убезпечення плунжерів від повороту навколо власної осі.



Рисунок 5 – Загальний вид механізму рульової машини YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2

Механізм цієї машини (рис. 2) містить чотири рухомі ланки ($n = 4$) – плунжер із опорою, що ковзає по напрямній, румпель і два повзуни. Тут напрямна виконана циліндричною, і сполучена з плунжером вільною опорою з відповідним підвищенням класу пари F з п'ятого до другого. Повзуни виконані призматичними і встановлені у пази румпеля. В такому випадку кількість кінематичних пар п'ятого класу становитиме $P_5 = 3$ (O_5, C_5, I_5), кількість

кінематичних пар четвертого класу $P_4 = 3$ (A_4, E_4), кількість кінематичних пар третього класу $P_3 = 2$ (B_3, D_3), пар другого класу $P_2 = 1$ (F_2), першого класу $P_1 = 0$.

Загальна кількість кінематичних пар

$$P = P_5 + P_4 + P_3 + P_2 + P_1 = 3 + 2 + 2 + 1 + 0 = 8.$$

Сума рухомостей кінематичних пар

$$f = 1P_5 + 2P_4 + 3P_3 + 4P_2 + 5P_1 = 1 \times 3 + 2 \times 2 + 3 \times 2 + 4 \times 1 + 5 \times 0 = 17.$$

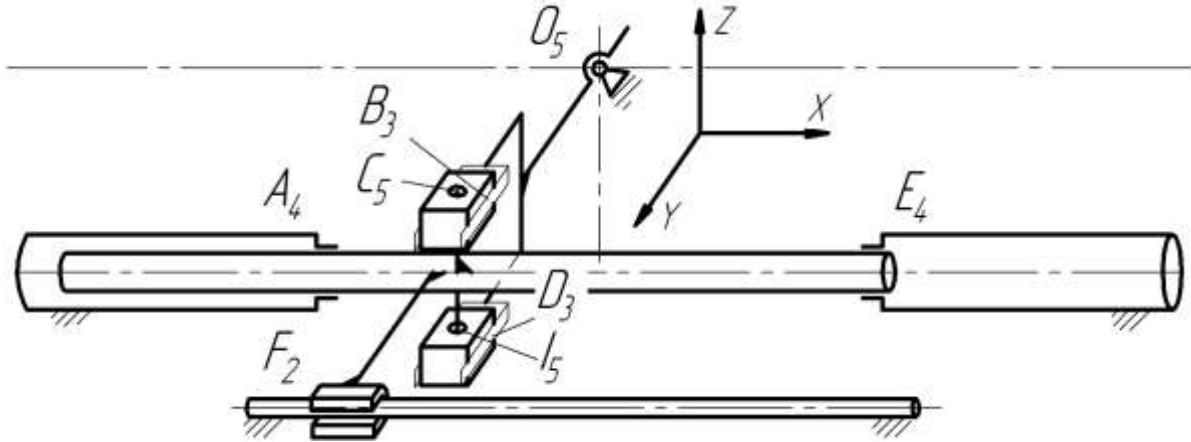


Рисунок 2 – Структурна схема механізму рульової машини YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 ($q = 8$)

Кількість незалежних замкнених контурів механізму за формулою Гохмана [3]

$$k = P - n = 8 - 4 = 4.$$

Перший незалежний контур механізму – $O_5B_3C_5A_4O_5$, другий контур – $O_5D_3I_5E_4O_5$, третій контур – $O_5B_3C_5F_2O_5$, четвертий контур – $C_5B_3D_3I_5C_5$.

Ступінь рухомості механізму за формулою Войня і Атанасіу [4]

$$W = f - \sum r_i = 17 - (4 + 4 + 3 + 5) = 1,$$

де $r_1 = r_2 = 4$, $r_3 = 3$, $r_4 = 5$ – ранг осей незалежних контурів.

Кількість надлишкових зв'язків механізму за формулою Сомова-Малишева [5]

$$q_{CM} = W + 5P_5 + 4P_4 + 3P_3 + 2P_2 + P_1 - 6n = 1 + 5 \times 3 + 4 \times 2 + 3 \times 2 + 2 \times 1 + 0 - 6 \times 4 = 8.$$

Кількість надлишкових зв'язків механізму за формулою Озолса

$$q_{O3} = W + 6k - f = 1 + 6 \times 4 - 17 = 8.$$

Таким чином, кількість надлишкових зв'язків у механізмі $q = q_{CM} = q_{O3} = 8$. Аналогічний результат отримано поконтурним методом (табл. 1).

Таким чином, загалом у механізмі ГРМ YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 кількість надлишкових зв'язків становить $q = 16$. В механізмі цієї машини наявність напрямної та кінематичної пари F_2 , що сполучає з нею плунжер додає один незалежний контур, що є додатковим джерелом виникнення надлишкових зв'язків. Використання призматичних повзунів у парах B_3 та D_3 залишає можливість повороту плунжерів навколо власних осей, і його унеможливлення як раз є однією з причин додавання до конструкції напрямної та пари F_2 .

Наведені результати свідчать про доцільність підвищення структурної досконалості рульових машин за рахунок удосконалення їх механізмів, що і становить мету майбутніх робіт.

Таблиця 1 – Застосування поконтурного методу до механізму ГРМ YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2

| Контур | Пласкі рухомості f_n | Непласкі рухомості f_n |
|-------------------|------------------------|--------------------------|
| | f'_x f'_y f''_z | f''_x f''_y f'_z |
| $O_5B_3C_5A_4O_5$ | | |
| $O_5D_3I_5E_4O_5$ | | |
| $O_5B_3C_5F_2O_5$ | | |
| $C_5B_3D_3I_5C_5$ | | |

ЛІТЕРАТУРА

1. Проценко В.О. Перспективи вдосконалення важільного механізму рульових машин плунжерного типу / В.О. Проценко, В.О. Настасенко, М.В. Бабій, А.О. Білоконь // Розвиток транспорту. – Одеса: Видавничий дім "Гельветіка", 2021. – № 1(8). – С. 78 - 90.
2. Проценко В.О. Напрямки та резерви підвищення технічного рівня рульових машин плунжерного типу з тангенсним механізмом / В.О. Проценко, М.В. Бабій, В.О. Настасенко, А.О. Білоконь // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2020. – Випуск 3(31). – С. 101 - 114. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.111.
3. Reshetov L. 1986. Self-Aligning Mechanisms. Moscow: Mir Publishers.
4. Voinea R., Atanasiu M. Contributions a la Theorie geometrique des Vis. 1959. Buletinul Institutului Politichnic Bucuresti . 21, 3: 69 – 90.
5. Kolovsky M.Z., Evgrafov A.N., Semenov Yu.A. et al. 2000. Advanced theory of mechanisms and machines. Berlin: Springer.

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КОНТРОЛЮ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОРЕМОНТНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ

Головань А.І., Гончарук І.П.
Одеський національний морський університет, Україна

Вступ. Споруди для підйому і спуску суден по похилих площинах є найпоширенішими при докуванні суден. До них відносяться елінги і сліпи - суднопіднімальні засоби і споруди для будівництва, ремонту, підйому і спуску судна, плавзасобів або плавоб'єкту.

Для монтажу, огляду, інспекції, ремонту та обслуговування заглиблених, гребних, рульових і підрулюючих механізмів, дейдвудних сальників, забірної арматури, підводної частини корпусу судно необхідно підняти з води або мати сухі частини при його закладці і будівництві.

Для докування судноремонтні і суднобудівні підприємства використовують різні підйомно-спускові механізми, суднопіднімальні засоби і споруди для спуску і підйому суден і плавзасобів: елінги, сліпи, сухі, наливні і плавучі доки, вертикальні суднопідіймачі [1].

Суднопіднімальні гідротехнічні споруди, як відомо, характеризуються великими обсягами капітальних вкладень, складністю, неоднорідністю ґрунтових умов і навантажень. Тому нові конструктивні рішення контролю технічного стану, що уточнюють особливості роботи споруди, можуть дати значний економічний ефект.

Багаторічний досвід досліджень показує, що споруди в процесі експлуатації піддаються впливу різних чинників, які впливають на величину несучої здатності. До факторів, що впливають на несучу здатність, належать наступні: технологія будівництва, режим експлуатаційних навантажень, пошкодження споруди, реологічні явища в матеріалах конструкцій і ґрунтах основи, вплив навколишнього середовища тощо.

Для забезпечення гарантованої і нормальної експлуатації портових і суднопіднімальних гідротехнічних споруд за ними необхідно вести систематичне спостереження для виявлення реального технічного стану споруд і призначати відповідний режим їх експлуатації [2].

Актуальність дослідження. Періодично доводиться вирішувати завдання технічної експлуатації сліпів в умовах зниження рівня готовності технічних засобів [3], що сталося внаслідок тих чи інших пошкоджень елементів чи агрегатів [4]. Особливо складно приймати рішення в аварійних режимах, коли неправильний керуючий вплив може призвести до катастрофічних наслідків.

У зв'язку з цим, актуальним є розроблення методів і засобів діагностування та контролю технічного стану елементів і агрегатів СГТС [5]. Основними ознаками, що характеризують технічний стан СГТС являється цілісність елементів та фізичний знос агрегатів. Основними параметрами технічного стану, однозначно пов'язаними з цілісністю елементів СГТС, являються температура елемента та частота власних коливань [6].

Дана робота присвячена вирішенню наукового завдання, яке полягає в розробленні методів і засобів діагностування та підвищення ефективності контролю технічного стану транспортної техніки [7], зокрема елементів і агрегатів СГТС, за рахунок впровадження автоматизованої системи діагностики і контролю технічного стану DMS, що забезпечує підвищення достовірності діагностування, зменшення часу та зниження витрат на проведення діагностування.

Постановка задачі. Обстеження споруд поділяють:

- на первинні комплексні обстеження - проводяться не пізніше ніж через шість місяців після введення споруд в експлуатацію;

- чергові комплексні обстеження - проводяться не рідше одного разу на п'ять років (після закінчення терміну дії свідоцтва про придатність споруди до експлуатації) [8];

- позачергові обстеження - проводяться при порушеннях нормативних умов експлуатації, коли виникають обґрунтовані сумніви в працездатності конструкцій споруди, при виникненні аварійних пошкоджень конструкцій, а також після реконструкції або капітального ремонту;

- спеціальні обстеження (спостереження за загальними та місцевими деформаціями і зсувами споруд [9], їх досвідчена огрузка, обстеження ґрунтів підстав і засипки, розтин заглиблених елементів споруд) - виконуються у випадках виявлення ознак неприпустимих деформацій і відхилень планово-висотного положення споруди від проектних значень.

Оперативний контроль технічного стану споруд проводять для забезпечення їх безпечної експлуатації шляхом своєчасного виявлення дефектів і порушень режиму експлуатації та вжиття заходів, щодо усунення даних дефектів і порушень. Методика і обсяг технічних оглядів і спостережень для контролю, включаючи вимірювання, повинні забезпечувати достовірність і повноту одержуваної інформації для підготовки обґрунтованого висновку про поточний технічний стан споруд і розробки заходів з їх технічного обслуговування з метою забезпечення безпечної експлуатації об'єктів.

Розробка інтелектуальних систем оцінки технічного стану полягає в розробці спеціальних алгоритмів, які допомагають обслуговуючому персоналу прийняти правильне рішення про технічний стан в даний момент експлуатації СГТС.

Застосування принципу неперервного аналізу, при якому програмний комплекс за допомогою спеціальних пристроїв автоматично аналізує поточні умови експлуатації і дає спеціальні адаптовані рекомендації сервісному персоналу і оператору, є перспективним напрямком розвитку системи технічної експлуатації.

Принцип дистанційного діагностування забезпечує безперервний оперативний контроль технічного стану систем і конструкції СГТС і виявлення стану перед відмовою. Дистанційне діагностування являє собою процес визначення технічного стану об'єкта діагностування на віддаленій відстані, за допомогою отримання сигналів з датчиків, встановлених на суднопіднімальних гідротехнічних спорудах.

Використання систем контролю технічного стану СГТС, що володіють функціями збору і передачі інформації про поточний стан, допомагають прийняти додаткові заходи для зниження ризику появи непрогнозованої відмови систем і агрегатів, дозволить не тільки неперервно виконувати задану роботу більш тривалий час, а й збільшить експлуатаційний термін загалом.

Метою контролю технічного стану є визначення дійсного технічного стану СГТС, забезпечення їх справності, перевірки придатності до їх безпечного використання, надійності спуску та підйому засобів водного транспорту та охорони людського життя.

Основними функціями системи технічної діагностики є:

- оцінка технічного стану СГТС;
- пошук несправностей та причин відмови;
- прогнозування технічного стану.

Основна роль впровадження систем контролю технічного стану - підвищення якості контролю, зменшення похибок операторів і полегшення їх праці. Завдяки цим змінам зростає рівень конкурентоспроможності на ринку, йде потужний зріст використання ресурсної бази.

Підвищення надійності і ефективності експлуатації суднопіднімального і судноремонтного обладнання зажадало розширеного застосування компонентів технічної діагностики для оцінки і прогнозування фактичного технічного стану обладнання.

Поліпшення стратегії експлуатації та обслуговування суднопіднімального і судноремонтного обладнання може бути досягнуто тільки при комплексному підході до розробки та впровадження відповідного діагностичного забезпечення.

Перед системами діагностичного забезпечення стоять завдання вибору раціональної стратегії обслуговування обладнання; рівня діагностування та структурних параметрів, що характеризують його технічний стан; методів діагностики та діагностичних параметрів; способів вимірювання діагностичних параметрів; алгоритмів виділення діагностичної інформації; апаратного забезпечення діагностування; методів прогнозування та оцінки залишкового ресурсу.

Результати дослідження. Оптимальне рішення задач визначення технічного стану складних об'єктів може бути отримано тільки в результаті аналізу множини технічних станів W , в яких ці об'єкти можуть перебувати в період експлуатації. Цей аналіз може бути виконаний як теоретично, так і експериментально.

Побудова алгоритмів розпізнавання в діагностиці істотно полегшується в тому випадку, коли вдається побудувати діагностичну модель, що встановлює зв'язок між простором станів і простором діагностичних ознак. При цьому не має значення, в якій формі представлено цей зв'язок.

Діагностична модель відповідає призначенню в тому випадку, коли вона дозволяє:

1) сформулювати умови розбиття множини W на дві підмножини справних W' і несправних W'' станів;

2) отримати критерії для оцінки працездатності об'єкта діагностики (розрізнення станів у підмножині W')

3) встановити ознаки несправностей що виникли (розрізнення станів в підмножині W'')

4) встановити відповідність між простором станів W і простором діагностичних ознак

D .

Вибір типу моделі залежить від таких факторів, як умови експлуатації, конструктивне виконання, тип комплектуючих елементів, характер взаємодії деталей, умови збудження коливань, характер цільової функції та інше.

В якості діагностичних моделей можна розглядати диференціальні і алгебраїчні рівняння, логічні співвідношення, матриці вузлових провідностей, функціональні, структурні, регресійні і інші моделі, що дозволяють зв'язати параметри технічного стану з характеристиками об'єкта.

Представлення реального об'єкта діагностичною моделлю дозволяє відволіктися від його фізичної природи і формалізувати рішення діагностичних завдань.

Для того щоб розробити будь який метод і технологію діагностування складного агрегату, недостатньо знати закономірності зміни параметрів його окремих вузлів. Необхідно мати узагальнений логічний або аналітичний опис найбільш важливих властивостей всього об'єкта в цілому, яке повинно включати перелік елементів що відмовляють найбільш часто, які структурні і діагностичні параметри і зв'язки між ними відповідають цим елементам.

Процес зміни параметрів технічного стану механізму при його експлуатації – багатофакторний. В умовах обмежених можливостей набору статистичних даних внаслідок високої вартості діагностичних випробувань найбільш ефективним є метод побудови аналітичної моделі яка пов'язує діагностичну ознаку з відповідними параметрами технічного стану. Цей метод базується на використанні математичного апарату планування експерименту та дозволяє знайти «характерну» діагностичну ознаку, однозначно пов'язану з відповідними параметрами технічного стану. Таким чином, серед множини діагностичних параметрів технічного стану елементів СГТС були знайдені два параметри - температура та частота власних коливань, які однозначно пов'язані з такою діагностичною ознакою як цілісність елементів СГТС.

Висновки. Дослідження сучасних та перспективних систем контролю технічного стану суднопіднімальних гідротехнічних споруд визначає, що на теперішній час можливість інтенсивного розвитку традиційних систем вимірювання технічних параметрів практично вичерпана. Подальше підвищення надійності і ефективності експлуатації суднопіднімальних гідротехнічних споруд вимагає розширеного застосування компонентів технічної діагностики для оцінки і прогнозування фактичного технічного стану суднопіднімальних гідротехнічних споруд. Тому найбільш перспективним напрямом удосконалення названих систем є їх комбінування, інтеграція та впровадження нових відповідних моделей та методів в розподіленій системі вимірювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hryshyn M. 2015 Hydraulic facilities Higher school p 615
2. Bugaeva S 2017 Improving the safety of hydraulic structures by arming the ground base with geomaterials *Int. Conf. on Safety of vital activity in transport and production* **2** pp 108-110
3. Deli A 2019 Modern requirements for carbon dioxide marine monitoring systems *Int. Conf. on MPP&O* **1** pp 138-139
4. Dorofejuk U 2010 Structural identification of complex controls based on piece-approximation methods *Large systems managing* **30** pp 79–88
5. Kostenko A 2019 Modern methods of monitoring harmful emissions by power plant of a cargo ship *Int. Conf. on Modern power plants ontransport, technologies and equipment for their maintenance* **10** pp 85-88
6. Deli A 2020 Using an optical gas meter to determine the amount of carbon dioxide emissions by a transport vessel *Int. Conf. on Modern information and innovative technologies in transport* **12** pp 89-90
7. Deli A 2020 Using a non-dispernged gas analyzer to determine the amount of carbon dioxide emissions by a transport vessel *Int. Conf. on Modern power plants ontransport, technologies and equipment for their maintenance* **13** pp 131-134
8. Bugaeva S 2020 Improving the safety of operation of hydraulic structures *Int. Conf. on Safety of vital activity in transport and production* **6** pp 94-96
9. Boldyrev G 2007 Sustainability and deformability of anchor foundations Construction publishing 4 p 80

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ДИЗЕЛЬНИХ НАЛИВНИХ СУДЕН

Щедролосев О.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

Вступ. Проведений аналіз шляхів вдосконалення енерговикористання СЕУ показав, що зростання вартості палива, перерозподіл статей теплового балансу сучасних МОД і прагнення до максимального підвищення економічності СЕУ піднімають актуальність проблем не тільки утилізації теплових втрат ГД, але й підвищення економічності допоміжних установок СЕУ [6]. За результатами аналізу встановлено, що особливо великий резерв енергетичної економічності допоміжної СЕУ мають дизельні наливні судна з високою відносною потужністю електростанції і допоміжних парогенераторів [6].

Актуальність дослідження. Потужним резервом зниження транспортних витрат універсальних наливних суден є вирішення однієї з найскладніших проблем щодо зниження температурного режиму перевезення в'язких вантажів [6]. При транспортуванні нафтохімічних і інших в'язких вантажів значні додаткові матеріальні витрати викликаються необхідними технологічними операціями, пов'язаними з підігрівом вантажів під час наливу, перевезення та вивантаження. Особливо ці витрати позначаються на експлуатаційних показниках універсальних малих і середніх танкерів, постачальників, продуктовозів, хімовозів, бункерувальників, суден призначених для перевезення асфальто-смолистих речовин, бітумів, бункерного палива [6].

Необхідність істотного підігріву в'язких вантажів, що перевозяться викликана, в першу чергу, такими фізичними властивостями цих продуктів як щільність, в'язкість, текучість, рухливість, температура застигання, теплоємність і т.п.

Занурені у підігрітому стані в'язкі вантажі в процесі перевезення остигають, первісна температура їх знижується, наближаючись до температури застигання. У зв'язку з неприпустимістю застигання вантажу, що вимагає для його розігріву великих витрат часу і енергії, необхідна підтримка його температури на рівні вище гранично допустимої температури застигання на 5 ... 10⁰С.

Регламентовані відповідними стандартами температури застигання в'язких нафтопродуктів знаходяться в інтервалі температур від -5 до +25⁰С.. Тільки високопарафіністі нафти і топкові високов'язкі мазути мають температуру застигання до +42⁰С.

Постановка задачі. Встановлена, відповідно до вимог, початкова температура при застосуванні циркуляційного підігріву вступає в протиріччя з граничною в'язкістю вантажу, що допускає роботу відцентрових циркуляційних насосів. По аналізах прийнятих температури підтримки і початкової температури попереднього підігріву можна зробити висновок, що в теплових розрахунках їх значно завищують до +43...50⁰С. Отже, заглибні вантажні відцентрові насоси, які використовуються на універсальних малих і середніх наливних судах у якості циркуляційних, вже на початковій стадії підігріву вантажу викликають додаткові витрати енергії і палива.

Виконані раніше теоретичні дослідження з використання гвинтових вантажних насосів у якості циркуляційних, в системах підігріву рідких вантажів показали можливості ефективного застосування гвинтових негерметичних насосів (ГНН) вже на початковій стадії підігріву вантажу, починаючи від допустимої температури охолодження [2-5].

Результати досліджень. Проведене дослідження з ефективності застосування ГНН як вантажних (після їх нескладної конструктивної доробки) дозволило визначити співвідношення і обсяги енерговитрат спеціальних систем допоміжних СЕУ універсальних нафтоналивних

суден в залежності від типів насосів, які застосовуються, і режимів підігріву в'язких вантажів [1-6].

За результатами аналізу витрат енергії і палива на підігрів і вивантаження вантажу (мазут М100) можна зробити наступні **висновки**:

1. Застосування погрузних ГНН як вантажних дозволяє максимально знизити початкову і кінцеву температури підігріву і витрати палива на попередній підігрів в 2,5 рази.

2. Витрати палива на циркуляцію вантажу, що підігрівається через теплообмінник складають менше 0,05%. При цьому їх компенсація на привід циркуляційного насоса, за рахунок корисно використовуваних перетворених втрат потужності в тепло, становить 30...45%.

3. Витрати палива на вивантаження становлять від 2,5 до 9 % від їх загальних витрат на підігрів і вивантаження.

4. Зростання витрат потужності і витрат палива на вивантаження до 70 % свідчать про підвищення коефіцієнтів завантаження електростанції до 0,85, тому що дійсні коефіцієнти одночасності розвантаження багатьох різних сортів вантажів складають не більше 0,25...0,5 % [6].

5. Сумарні витрати енергії на циркуляцію вантажу, що підігрівається, при попередньому підігріві і підігріві під час вивантаження становлять від 0,2 до 0,4%, а їх компенсація перетвореними втратами енергії у насосі в повне корисно використане тепло для підігріву вантажу становить від 40 до 60 % витрат на привід циркуляційних насосів.

6. У зв'язку з меншим впливом в'язкості на продуктивність ГНН час вивантаження знизився в порівнянні з відцентровими насосами на 8%.

7. Сумарні витрати палива на підігрів і вивантаження високов'язких вантажів при застосуванні вантажних насосів типу ГНН, замість відцентрових, можуть бути знижені більш ніж в два рази. Це становить можливу економію палива в розмірі 55 т за прийнятий у розрахунку 30-ти добовий рейс.

8. У зв'язку зі зниженням в 2,5 рази витрати пари на підігрів в'язких вантажів створюється можливість використання на танкері замість двох допоміжних котлів тільки одного, що впливає на екологічні показники СЕУ в цілому [7].

ЛІТЕРАТУРА

1. Щедролосев А. В. Зависимость тепловой мощности циркуляционного подогрева жидких грузов на наливных судах от выбора технологической схемы и режимов работы системы. *Збірник наукових праць УДМТУ*. 2002. 4. С. 94–101.

2. Щедролосев А. В. Определение к.п.д. грузовых насосов используемых в качестве циркуляционных в системах подогрева жидких грузов при регулировании подачи способом изменения частоты вращения. *Збірник наукових праць УДМТУ*. 2002. 7. С. 87–91.

3. Щедролосев А. В. Оптимизация параметров циркуляции в системах циркуляционного подогрева грузов на наливных судах. *Збірник наукових праць УДМТУ*. 2002. 6. С. 92–99.

4. Щедролосев А. В. Оценка экономической эффективности работы циркуляционного насоса в системе подогрева жидких грузов на наливных судах. *Збірник наукових праць УДМТУ*. 2002. 5. С. 96–103.

5. Щедролосев А. В. Полезное использование потерь механической энергии в винтоканавочном насосе-нагревателе, оптимизация его параметров и методика расчета по условиям нагрева и циркуляции. *Збірник наукових праць УДМТУ*. 2002. 3. С. 85–94.

6. Щедролосев А. В. Пути совершенствования энергоиспользования специальных систем вспомогательной судовой энергетической установки дизельных наливных судов. *Збірник наукових праць УДМТУ*. 2002. 2. С. 132-142.

7. Щедролосев А. В., Акимов А. В. Анализ влияния эксплуатационных параметров и режимов работы энергетического оборудования на экологическую безопасность. *Журнал Рибне господарство України*. 2012. 1. С. 18-24.

ВОДОРОД КАК НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЕ ТОПЛИВО, ПРОБЛЕМЫ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ

¹Настасенко В.А., ²Свиридов В.И., ²Андреев А.А.

¹Херсонская государственная морская академия, Украина

²Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, Украина

Введение. Угроза парникового эффекта Земли от выбросов газов парниковой группы CO, CO₂, является одной из главнейших проблем для человечества в настоящее время. Ее важность подчеркивают ежегодные «Саммиты Земли» [1], согласно которым значимость проблемы возросла до общечеловеческой и уровня ООН. Поэтому на этих саммитах с 1994 года обязательно присутствовали первые лица всех государств мира. Президент США Трамп нарушил этот уровень в период с 2017 по 2020 годы, однако президент Байден вернул его [2].

В рамках решений этого саммита [2] снова наиболее перспективным видом топлива признан водород (H₂). Первоначально такая глобальная задача выдвигалась президентом США Бушем в 2001-2002 годах [3]. Однако проблемы производства и применения водорода вынудили отказаться от нее и президент Абама признал ведущей программу развития электроэнергетики [4], в т.ч. на транспорте. Поскольку в настоящее время указанные выше проблемы H₂ частично решены, поэтому стал возможен возврат к водородной энергетике.

Анализ проблемы и пути ее решения. Наибольшие успехи водородной энергетики пока получены в военной сфере [5], где приоритет достижения конечной цели превышает экономические приоритеты. Однако в гражданской сфере – приоритеты иные, поэтому основу развития водородной энергетики составляют экономические показатели, что требует решения данных проблем. Важность их решения подтверждается сотнями ежегодных научных публикаций, однако полного их решения пока еще не найдено, что требует дальнейших исследований и выполнение работ в данной сфере, чему посвящена выполняемая работа. Таким образом, технико-экономический анализ развития водородной энергетики составляет ее главную цель, а ее научную новизну составляет обоснование предпочтительных путей этого развития.

Для продвижения программы развития водородной энергетики развернута активная реклама в СМИ, появилось большое количество научно-популярных обзоров и видео презентаций. Однако их особенность в том, что они показывают только положительные факторы, не останавливаясь на проблемах и недостатках.

Первый из них – производство водорода. Простейший вариант – методом электролиза из воды [6]. Однако для этого необходимо значительное количество электроэнергии (для получения 1 м³ водорода необходимо 20-22 МДж.). При выработке ее на ТЭЦ требуется сжигание природного газа или угля (последний применяется чаще, поскольку дешевле, хотя экологически более вреден, чем газ). В результате общее количество выбросов CO₂, наоборот увеличивается, поскольку суммарный КПД системы преобразований тепловой энергии сгорания топлива в электрическую и самого процесса электролиза – не превышает 50%.

Второй путь получения водорода – из природных газов, например – метана CH₄. Однако при этом попутно выделяется углерод, который сжигается до CO₂, поэтому общее его количество не уменьшается, а растет, с учетом КПД системы. Аналогичные проблемы имеют место для других химических методов получения водорода [7].

Решение данной проблемы возможно за счет применения для электролиза воды альтернативной энергетики. Однако в настоящее время ее основу составляют: 1) энергетика

гидроелектростанцій, которые ведут к проблемам отчуждения земель, их подтоплению и другим; 2) солнечная энергетика; 3) ветряная энергетика.

Следует учесть, что зоны эффективного размещения гидроэлектростанций во многом исчерпаны, поэтому реально применимыми остаются 2-й и 3-й пути. Однако кроме ряда технических проблем, общим их крупным экономическим недостатком является дороговизна вырабатываемой электроэнергии, что скажется на цене водородного топлива.

Предлагаемый вариант. В его основу положена гидроволновая энергетика [8 - 10], поскольку плотность воды и ее удельная мощность более высока, чем энергия солнца и ветра. Учитывая, что все известные гидроволновые системы имеют существенные недостатки (низкий КПД, открытое взаимодействие с волнами, которые в сильный шторм ведут к их поломкам [9 - 10]), поэтому предпочтение имеют гидроволновые системы маятникового типа по изобретению профессора В.А.Настасенко [11]. В них электрогенератор установлен внутри корпуса судна или железобетонного понтона, а на его ротор навешен груз, который имеет устойчивую ориентацию к центру Земли (рис. 1). Поэтому, при качке волнами корпуса с жестко закрепленным на нем статором, появляется его движение относительно ротора, что обеспечивает выработку электроэнергии. С волнами и внешней средой контактирует только корпус судна, который наиболее приспособлен для взаимодействия с ними, что исключает поломку гидроволновых систем, установленных внутри корпуса электростанции.

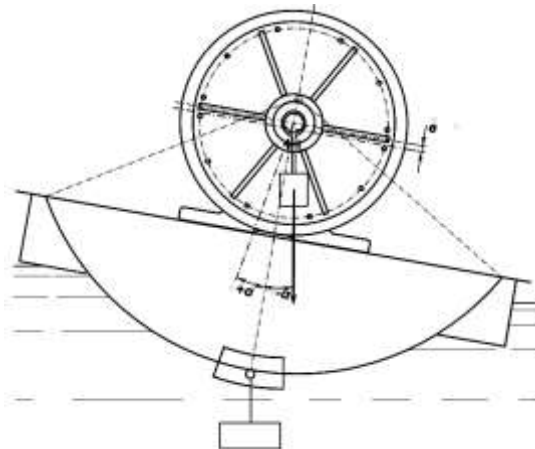


Рисунок 1 – Простейшая судовая гидроволновая система

Для повышения мощности системы в патенте В.А.Настасенко [12] предложено выполнение вставных грузовых трюмов с дугвым основанием, которым они установлены на опорные ролики, связанные с валами ротора электрогенератора (рис. 2).

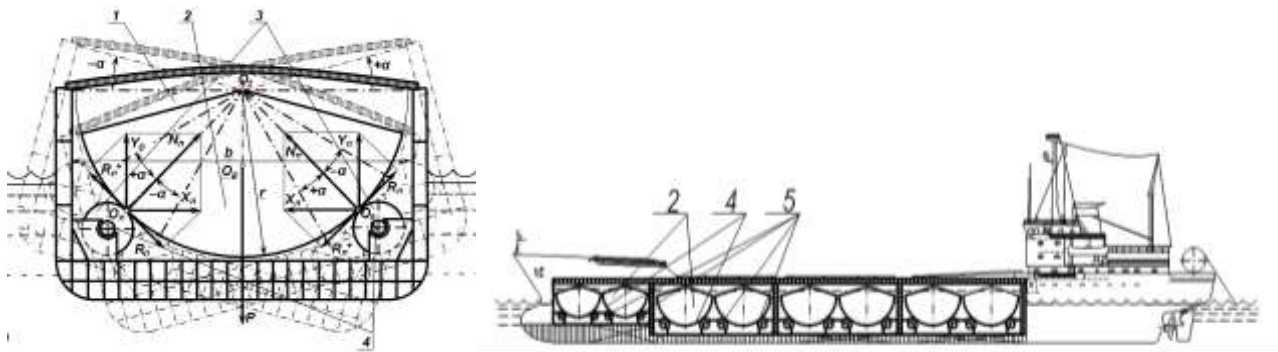


Рис. 2. Гидроволновая система с качающимися грузовыми трюмами с дугвым основанием: 1 – корпус судна, 2 – грузы с дугвым основанием, 3 опорные ролики для установки грузов, 4, 5 – электрогенераторы, которые связаны с опорными роликами

Мощность данной системы зависит от массы грузов (тысячи тонн) и высоты волн. Установка таких систем в корпусе судна длиной 100 и шириной 24 м обеспечивает выработку электрической энергии мощностью от 3 МВт при высоте волн 0,5 – 1 м, до 9 МВт при высоте волн 3 м. При этом не требуется отчуждения земель и возможен ввод станции в укрытие при сильном шторме.

Простота и надежность предлагаемых систем способствует их широкому внедрению. По своим технико-экономическим показателям они превосходят все известные технические решения для гидроволновых электростанций, поскольку при затратах на изготовление около 15 млн. \$ срок их окупаемости составляет 2 – 3 года. Это обеспечивает широкие возможности их применения для электролиза водорода. Однако для полного решения проблемы требуется детальная разработка данных проектов и изготовление, с привлечением проектных организаций, инвесторов и судостроительных заводов.

Выводы. Водород является наиболее перспективным топливом будущего, поскольку является экологически чистым и не ведет выбросам газов парниковой группы.

1. При получении водорода электролизом из воды процесс является наиболее простым, а его запасы являются неисчерпаемыми.

2. Наиболее эффективный вариант получения энергии для электролиза обеспечивает применение гидроволновых энергетических систем маятникового типа по изобретениям профессора Настасенко.

ЛИТЕРАТУРА

1. Всемирный день окружающей среды <https://www.worldenvironmentday.global/ru/o-vsemirnom-dne-okruzhayuschey-sredy/vsemirnyy-den-okruzhayuschey-sredy>
2. Виртуальный саммит Земли 22-23 апреля 2021 года <https://unfccc.int/ru/news/den-zemli-v-2021-godu-aktiviziruet-mery-po-borbe-s-izmeneniem-klimata>
3. A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy –To 2030 and Beyond . United State Department of Energy, 2002. (www.ener-getics.com/rep_products.asp?Product=37)
4. Новые технологии прокладывают путь для создания в США Smart Grid/website: <http://usinfo.americancorner.org/tw/st/societyrussian/2009/April/200904131341091cniirellep0.3103601.html>.
5. Коротеев А. В, Смоляров В.С. Водород – энергоноситель XXI века // Военный парад. 2005. № 2. С. 26-28.
6. Пономарев-Степной Н.Н. Атомно-водородная энергетика // Атомная энергия, 2004, т. 96, вып. 6., с. 423-425.
7. Егеубаев С.Х. Создание современных технологий и катализаторов реформинга углеводородов в производстве водорода и водородсодержащих газов в промышленности России // Катализ в промышленности. 2001. № 2. С. 24-32.
8. Коробков В.А. Преобразование энергии океана. – Л.: Судостроение, 1986. – 280 с.
9. Настасенко В.О. Блах І. В. Сучасний стан суднової гідрохвильової енергетики та його аналіз / Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. –Херсон, ХДМА, 2015. №.1(12). -с.58-65.
10. А.с. № 75005 України на твір «Сравнительный анализ известных гидроволновых энергетических систем и созданных профессором В.А.Настасенко (Украина)»/ В.О. Настасенко. – Дата реєстрації 27.11.2017, - 24 с.
11. Патент Патент Российской Федерации на изобретение № 2396673, МПК H02K 19/00 Генератор электрического тока, его варианты и способы их установки. Заявка № 2009100832/09 от 12.01.09. Авт. изобр. Настасенко В.А. //БИ № 22 от 10.08.2010.
12. Патент Патент Российской Федерации на изобретение № 2626188, МПК F 03H 13/20 Плавающая прибрежная гидроволновая электростанция. Заявка № 2014103002 от 28.01.14. Авт. изобр. Настасенко В.А. //БИ № 21 от 24.07.2017.

АНАЛІЗ КОНФІГУРАЦІЇ СУДНОВИХ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Горбов В.М., Личко Б.М., Мітенкова В.С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

Посилення вимог щодо атмосферної емісії з суден є потужним стимулом до активного використання суднобудівними та судноплавними компаніями відповідних інноваційних технологій. Окрема увага приділяється технічним рішенням, використання яких дасть змогу знизити викиди діоксиду вуглецю, оскільки саме цей парниковий газ відповідно до результатів значної кількості досліджень провокує глобальне потепління. І, хоча на сьогоднішній день за даними Міжнародної морської організації (ІМО) водний транспорт генерує лише 2,5% всіх парникових газів, за прогнозами їх емісія може збільшитися майже в 5 разів к 2050 р. і досягти 20% від глобальних рівня [1].

Серед перспективних рішень проблеми зниження емісії CO₂ на флоті можна виділити використання гібридних енергетичних установок (ГЕУ) на транспортних суднах. Відмінністю ГЕУ від найбільш поширених енергетичних установок з дизельними двигунами в якості головних та допоміжних є використання у складі акумуляторних батарей, сонячних батарей або паливних елементів (ПЕ). Екологічна ефективність при цьому досягається за рахунок зменшення кількості споживаних вуглеводневих палив, оскільки саме за рахунок їх спалювання у теплових двигунах або котлах генерується діоксид вуглецю. Електрична енергія, що акумулюється в батареях або ПЕ внаслідок електрохімічних реакцій, може бути використана на загальносуднові та пропульсивні потреби.

Ще однією перевагою ГЕУ, що активно розробляються та впроваджуються на сучасних суднах торговельного і технічного флоту, є можливість використання більш екологічно чистих палив для двигунів і ПЕ, насамперед це природний газ, але є концепції з іншими альтернативними паливами, такими як метанол, аміак та водень [1]. Серед компаній, що займаються гібридними енергетичними установками на суднах, можна виділити таких лідерів ринку в галузі суднового обладнання, як Wärtsilä, MAN Energy Solution, Rolls-Royce.

Використання ГЕУ дає змогу скоротити викиди не лише CO₂, а й інших компонентів атмосферної емісії. Так, за даними компанії Wärtsilä при заміні суднових дизель-механічних енергетичних установок гібридними викиди діоксиду вуглецю знижуються на 23%, оксидів азоту – на 40%, сірки – на 22%, твердих часток – на 48% [2].

Інтерес становить аналіз концептуальних схем та складу обладнання ГЕУ для різних типів суден, а також досвіду їх експлуатації. Зазвичай гібридні електроенергетичні системи містять електрогенератори, приводом яких є двигуни внутрішнього згорання, або валогенератори, або мотори, що приводяться в дію головним двигуном, і систему акумулювання енергії, яка може включати батареї, суперконденсатори, паливні елементи або інше обладнання для отримання електричної енергії на різні суднові потреби [3].

Існують приклади суден, що працюють повністю на батареях, як, наприклад, паром e-Oshima типу RoPax довжиною 35 м, де всі енергетичні потреби покриваються встановленим на борту літій-іонним акумулятором загальною потужністю 590,5 кВт. У Туреччині створено буксир GİSAŞ Power довжиною 18,7 м, оснащений батареєю загальною потужністю 1484 кВт, що повністю задовільняє всі потреби в енергії за виключенням аварійних випадків, у разі яких на борту встановлено дизель-генератор на 100 кВт [4].

Але повністю електрична енергетична установка, хоча вона і втілює концепцію «ідеального» судна з нульовою атмосферною емісією, може бути реалізована лише на малих суднах переважно внутрішнього плавання та з доволі обмеженою автономністю. Для суден, де

потреби в енергії протягом рейсу вищі, більш реальною альтернативною є саме гібридні енергетичні установки.

Розроблені різні конфігурації ГЕУ, які відрізняються типом передачі пропульсивної установки (механічна або електрична), наявністю чи відсутністю валогенератора та паливних елементів додатково до акумуляторних батарей. Що стосується суднової електростанції (СЕС), то вона може включати як дизель-генератори разом із батареями, так і лише останні. Відповідні схеми представлено на рис. 1 [2].

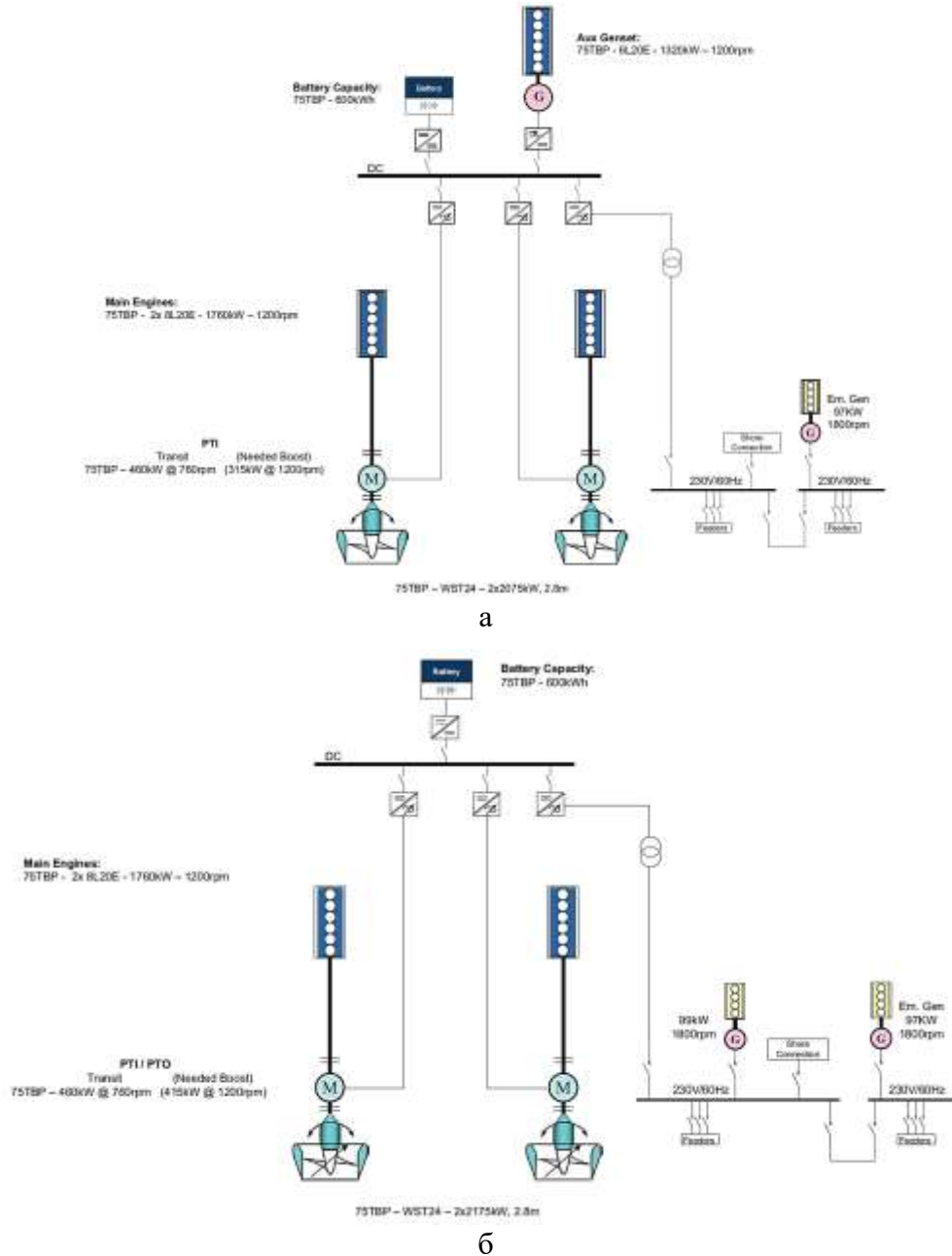


Рисунок 1 – Схеми суднових гібридних енергетичних установок: а – СЕС з допоміжним дизель-генератором і батареєю; б – СЕС лише з батареєю

На схемах, представлених на рис. 1, до складу пропульсивної установки входять два головних дизельних двигуна з механічною передачею на гвинт і електромоторами, що можуть працювати в режимах відбору або додавання потужності (РТО і РТІ, відповідно), і можуть живитися також від суднової електростанції. На рис. 1а до складу СЕС включено дизель-

генератор та акумуляторну батарею, електроенергія з якої може відбиратися на пропульсивні потреби. Зарядка батареї може відбуватися з берегу через відповідне з'єднання, дизель-генератором або від пропульсивної установки. На ходовому режимі з мінімальними викидами (так званий екологічний режим) зі швидкістю 10 вузлів акумулятор забезпечує до 70% всієї споживаної судном потужності. Особливістю конфігурації на рис. 1б є те, що зі складу СЕС виключено допоміжний дизель-генератор, а електромотори можуть працювати в режимі електрогенераторів (валогенераторів) [2].

Також розроблена конфігурації дизель-електричної гібридної установки, де на головну суднову електростанцію працюють як дизельні двигуни так і батареї (рис. 2). На екологічному ходовому режимі зі швидкістю 10 вузлів акумуляторні установки можуть забезпечити до 50% споживаної потужності [2].

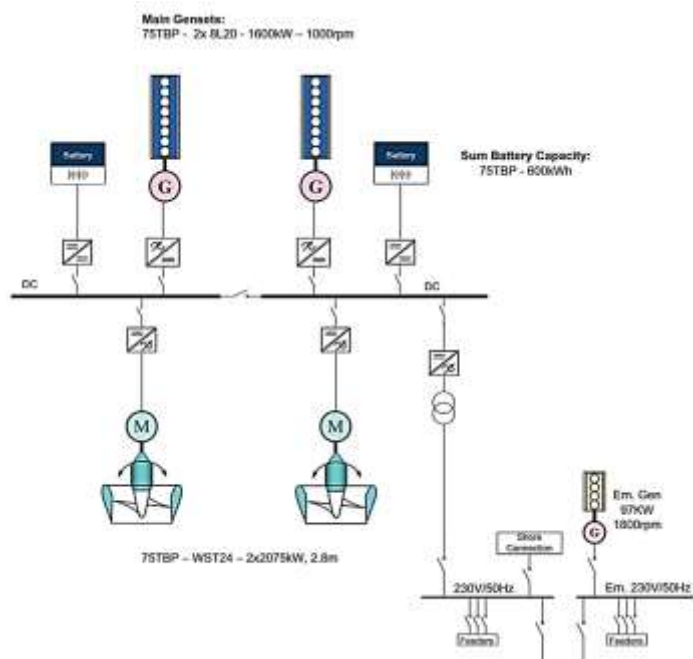


Рисунок 2 – Схема суднової дизель-електричної гібридної установки

Отже, використання ГЕУ дозволяє суттєво знизити викиди у атмосферу основних забруднюючих компонентів. Порівняно з повністю електричними установками на базі акумуляторних батарей ГЕУ можуть використовуватися як на малих, так і на середніх та великих судах зі значною автономністю. При використанні в гібридних установках паливних елементів в останніх можна використовувати природний газ та метанол як джерело водню, також ці палива одночасно можливо використовувати для головних та допоміжних дизельних двигунів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Why ships of the future will run on electricity. Available from: <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/electrified-ships/>.
2. Wärtsilä, 2018, Wärtsilä HY Tug propulsion system. Available from: https://www.wartsila.com/docs/default-source/marine-documents/business-white-papers/white-paper_wartsila-hy-tug-propulsion-system.pdf.
3. American Bureau of Shipping, 2020. Guide for Hybrid Electric Power Systems for Marine and Offshore Applications.
4. RINA, 2020. Significant Ships of 2019. The Royal Institution of Naval Architects, London, p. 26–28, 38–39.

DECREASING CARBON DIOXIDE EMISSION FROM LPG CARRIERS BY APPLICATION OF THERMOCHEMICAL RECUPERATION

Gorbov V.M., Cherednichenko O.K., Mitienkova V.S.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Global demands for energy will continue to grow and its consumption will increase by almost 30% in the next 25 years [1]. This explains, inter alia, rising needs for petroleum gases, which are usually carried in liquified state by specialized gas carriers. Hence, there is an increased demand for gas carriers transporting petroleum gases (LPG), however, this request is not met by the number of LPG carriers in operation [2]. The rise in the number of ships transported petroleum gases makes a contribution in global emission of carbon dioxide from the marine fleet. It should be noted, key driver responsible for this process for gas carriers is an increase of the main engine power [3].

Carbon dioxide emission per capacity mile is the measure of energy efficiency of modern ships adopted by International maritime organization (IMO). Calculation of the energy efficiency design index (EEDI) and reference (attained) EEDI depends on ship type and size segments [4]. Previous studies of EEDI made for LPG carriers showed that energy efficiency for these ships with conventional main low-speed diesel engines may not satisfied IMO's rigorous demands to the emission level of carbon dioxide [5]. One of the promising solutions to cut CO₂ is the use of thermochemical recuperation (TCRs) of waste heat recovery [6]. It was identified promising types of power plants for gas carriers that suggest application of thermochemical technologies [7].

There is a great diversity of conventional and advanced types of propulsion plants for gas carriers [8]. Depending on the number of fuels in use, propulsion systems can be single-fuelled (SF), dual-fuelled (DF), or tri-fuelled (TF). Different types of turbine plants could be used for propulsion, such as the steam turbine (ST) and gas-turbine (GT). Two-stroke low-speed (D2S) and four-stroke medium-speed (D4S) diesel engines can also be applied as the main engines for gas carriers. Engine to propeller power transmission can be both mechanical (M) and electrical (E). In addition, there could be a combination of different types of main engines, such as the combined gas turbine and steam system, as well as combined transmissions [7].

To estimate energy efficiency for LPG carriers with different ship power plants including the use of thermochemical technologies, it has been selected 8 ships eligible for EEDI calculation. All projects have been chosen from the Significant Ships issues published by the Royal Institution of Naval Architects in 2013–2019. Ship deadweight is from 24,100 t to 54,500 t, total power of main and auxiliary engines lies in the range between 11,700 MW and 21,300 MW, propulsion power is from 7,800 MW to 16 MW. Conventional propulsion plants for all selected ships are based on low-speed diesel engines operating on fuel oils, and as an alternative plant for 7 projects has been selected a combined power plant (DF/1GTE/E+DF/2D4S/M) with TCRs, exception is one ship with DF/1GTE/E+DF/1D4S/M also with thermochemical recuperation (Fig. 1).

A comparison of the EEDI data for LPG carriers with various power plants operating on liquid and gaseous fuels is shown in Fig. 2.

As it can be seen from Fig. 2, the use of thermochemical recuperation for LPG carriers has a considerable impact of decreasing of carbon dioxide emission and improving ship energy efficiency. The TCRs application increases energy efficiency of LPG carriers by 30-42% compared to ships with conventional power plants operating on fuel oils and by 22-24% for those with alternative power plants operating on petroleum gases.

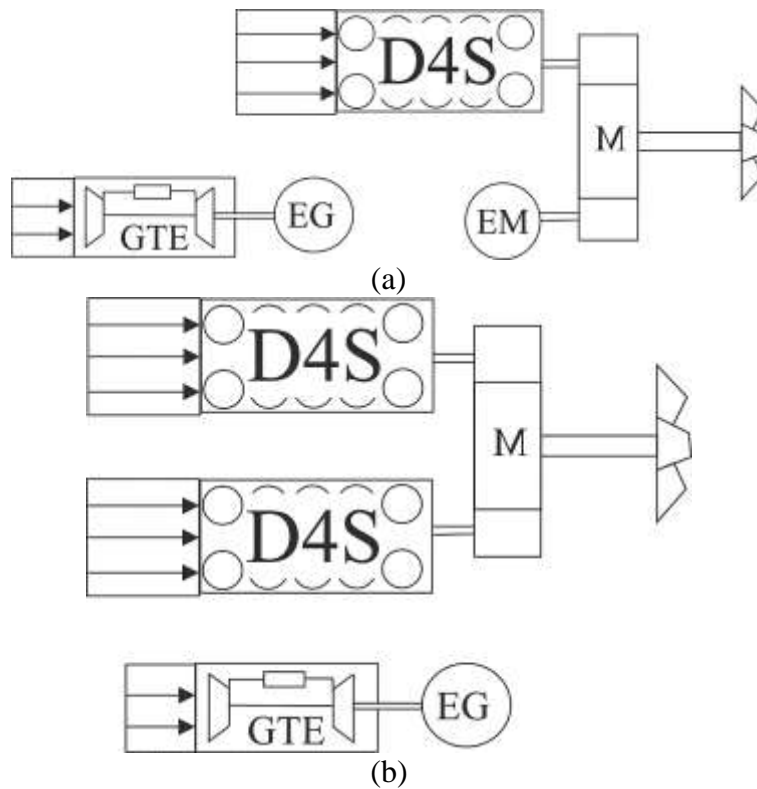


Figure 1. Structural schemes of alternative power plants for LPG carriers: a – with one diesel engine; b – with two diesel engines

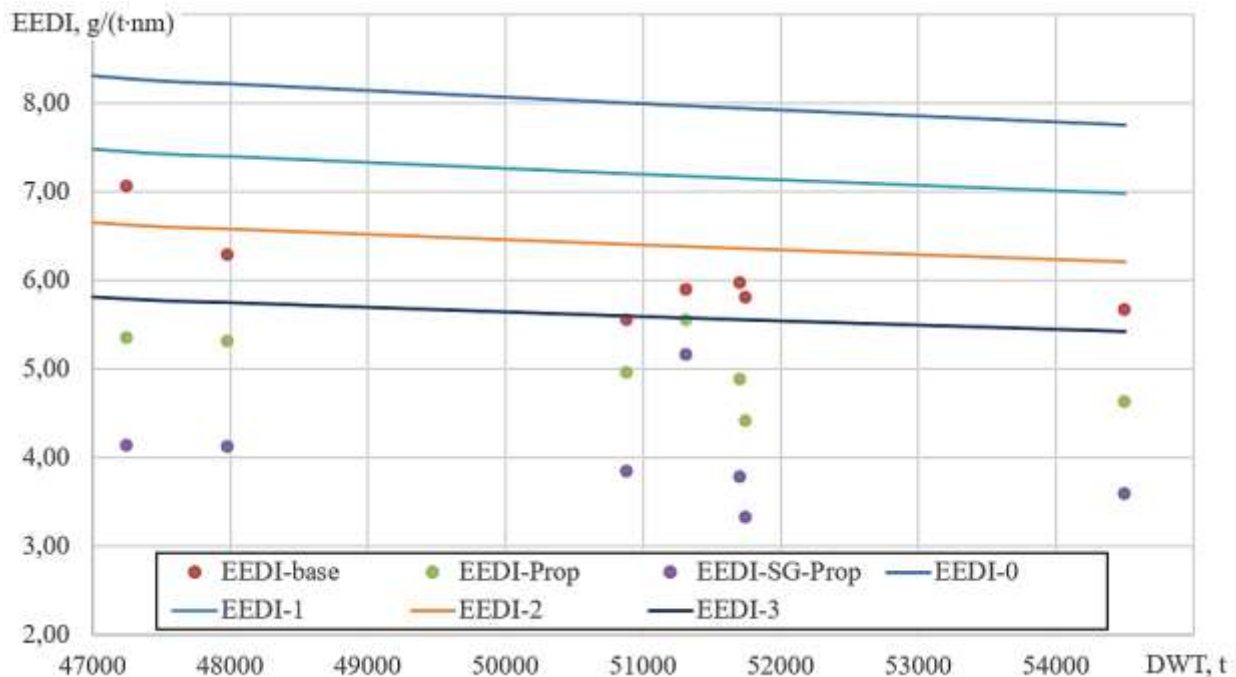


Figure 2. Comparison of the attained EEDI and the EEDI reference lines for LPG carriers operating on various fuels:

EEDI-base – value for ships with conventional power plants operating on fuel oils;

EEDI-Prop – value for ships with alternative power plants operating on petroleum gases;

EEDI-SG-Prop – value for ships with alternative power plants with TCRs operating on syngas;

EEDI-0-3 – reference lines for attained EEDI according to Phases 0-3

REFERENCES

1. BP, 2018. BP energy outlook.
2. Khurana G, 2017. Global shipping markets. Capital Link Greek Shipping Forum. Available from: <http://forums.capitallink.com/shipping/2018greece//ppt/khurana.pdf>.
3. Olmer N, Comer B, Roy B, Mao X, Rutherford D, 2017. Greenhouse gas emissions from global shipping, 2013-2015. International Council on Clean Transportation, Washington, USA.
4. IMO, 2014. Guidelines on the method of calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships. MEPC.245(66). MEPC 66/21/Add.1 p: 1.
5. Cherednichenko, O., Mitienkova, V.: Analysis of the impact of thermochemical recuperation of waste heat on the energy efficiency of gas carriers. *J. Marine Sci. Appl.* 19(1), 72–82 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11804-020-00127-5>.
6. Cherednichenko, O., Serbin, S.: *Termoximichni texnologiyi dlya energety`chny`x moduliv plavuchy`x ob'yektiv naftogazovy`dobutku ta suden-gazovoziv (in Ukraine): Monograph.* Torubara V. V., Mykolaiv, ISBN 978-617-7472-14-7 (2020).
7. Cherednichenko O, Serbin S, 2018. Analysis of efficiency of the ship propulsion system with thermochemical recuperation of waste heat. *J. Marine. Sci. Appl.* 17, 122-130. <https://doi.org/10.1007/s11804-018-0012-x>.
8. Fernández IA, Gómez MR, Gómez JR, Insua AB, 2017. Review of propulsion systems on LNG carriers. *Renew Sust Energ Rev* 67: 1395–1411. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.095>.

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИ СИСТЕМИ НА СУДАХ З ЕЛЕКТРОРУХОМ

Колебанов О.К., Селіверстова С.Р., Селіверстова Ю.І.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. В даний час системи електроруху знаходять широке застосування в суднобудуванні в провідних зарубіжних суднобудівельних фірмах. Це пов'язано з рядом переваг в порівнянні з традиційними пропульсивними комплексами, серед яких слід видзначити: підвищення надійності суднової електроенергетичної установки і пропульсивного комплексу; поліпшення маневреності судна; підвищення коефіцієнта корисної дії (к.к.д.) електроенергетичної установки в різних режимах; зниження експлуатаційних витрат; зниження шкідливих викидів в атмосферу; можливість раціонального розміщення устаткування на судні.

Проблемою є зниження втрат потужності в електроенергетичній системі при передачі електроенергії від суднової електростанції до гребних електродвигунів і стабільність напруги на обмотках генератора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На судах, що мають системи електроруху, основними споживачами електроенергії є гребні електричні установки. Решта суднових споживачів електроенергії може мати сумарну потужність значно меншу потужності гребної електричної установки. Для таких суден доцільно будувати електроенергетичну систему (ЕЕС) так, щоб скоротити число перетворень електроенергії при її передачі від генераторів до гребних електродвигунів. Забезпечити електроенергією решту суднових споживачів технічно простіше.

Для зниження втрат потужності в електроенергетичній системі при передачі електроенергії від суднової електростанції до гребних електродвигунів можна виключити трансформатори з ланцюга передачі електроенергії від генераторів до гребного двигуна. Один з варіантів безтрансформаторної суднової ЕЕС розглянутий в [1]. Виключити трансформатори з ланцюга живлення гребного електродвигуна (ГЕД) без зниження якості напруги живлення ГЕД можна також за рахунок вживання у складі суднової електростанції багатозначних генераторів [2]. З шин ГРЩ трифазні напруги, зміщені на 30 електричних градусів, поступають на вхід випрямлячів, і на виході випрямлячів виробляється 12-пульсна випрямлена напруга. Випрямлена напруга поступає на входи інвертора, які виробляють змінну напругу для управління гребними асинхронними двигунами. В цій схемі виключений трансформатор в ланцюзі передачі головного потоку електроенергії - від синхронних генераторів до гребних електродвигунів.

Останніми роками для живлення потужних гребних електродвигунів змінного струму на судах у складі перетворювачів частоти застосовуються багаторівневі інвертори [4]. Для цього в перетворювачі частоти встановлюють випрямлячі, число яких дорівнює числу необхідних джерел постійної напруги, і для живлення кожного з цих випрямлячів потрібно мати гальванічно незв'язані джерела змінного струму. При використанні багаторівневих інверторів в ланцюг передачі електроенергії від генераторів до гребних електродвигунів вводиться трансформатор великої потужності.

Тим часом, у разі використання багаторівневих інверторів застосування потужних трансформаторів в ланцюзі живлення ГЕД можна уникнути. Безтрансформаторні ЕЕС мають один істотний недолік. Якщо навантаження на гальванічно незв'язані трифазні обмотки одного і того ж генератора буде різним, то напруги на виході обмоток будуть відрізнятися, і система стабілізації напруги не зможе забезпечити стабільність напруги на всіх обмотках генератора.

Ідея застосування багатозначних синхронних генераторів реалізована також в [3]. В єдиній ЕЕС високовольтний синхронний генератор містить 45 ізольованих один від одного

трифазних обмоток. Одноименні лінійні напруги, які мають аналогічні значення співпадають по фазі. Живлення гребельного електродвигуна здійснюється від перетворювача частоти, що складається з п'яти, сполучених послідовно, осередків для кожної фази.

В [5] приведена схема ЕЕС, в якій стабільність напруги на обмотках генераторів забезпечується при різних навантаженнях на них. В цій ЕЕС вал кожного первинного теплового двигуна сполучений одночасно з валами трьох синхронних генераторів. На статорі кожного генератора розташовується трифазна обмотка напруга на якій стабілізується автономною системою стабілізації. Обмотки статорів генераторів, приєднаних до одного і того ж первинного двигуна, гальванічно не зв'язані, і обмотка статора кожного генератора підключається до однієї з трьох трифазних ліній головного розподільчого щита.

Нову структуру суднової ЕЕС запропонувала суднобудівельна фірма «Вяртсиля» [6], яку назвали LLC – Low Loss Concept. Відповідно до цієї концепції у складі електростанції використовуються низьковольтні генератори (690 В), а головний розподільчий щит має не одну лінію шин, до якої підключаються генераторні агрегати, а дві. Генераторні агрегати синхронізуються так, щоб напруги на двох лініях шин були зсунуті на 30°. На перетворювачі частоти, що живлять основних споживачів електроенергії, живлення поступає напряму від ліній головного розподільчого щита.

Мета дослідження. Метою даного дослідження є розробка схеми ЕЕС, в якій використовуються головні генератори з однією багатофазною обмоткою на статорі, які не створюють взаємних спотворень вихідної напруги і, тим самим, забезпечують стабільну напругу на лініях головного розподільного щита.

Викладення основного матеріалу дослідження. У даній роботі запропонована схема ЕЕС, в якій використовуються головні генератори з однією багатофазною обмоткою на статорі. Виконання в суднової електроенергетичній установці кожного головного генератора з однією багатофазною обмоткою на статорі з числом фаз більше трьох, фази якої сполучені зіркою або трикутником, а також лінії головного розподільного щита з таким же числом фаз, що і обмотки головних синхронних генераторів, дозволяє одержати дві і більш системи гальванічно розв'язаних багатофазних напруг живлення, необхідних для роботи перетворювача частоти з багаторівневими інверторами. При цьому, кожний синхронний генератор має власну автономну систему стабілізації напруги, тому, на виході всіх багатофазних обмоток і на лініях головного розподільного щита буде забезпечено однакову напругу, що дозволяє виключити зрівняльні струми у вторинних обмотках трансформаторів, підключених до однієї лінії живлення розподільного щита решти судових споживачів. Крім того, обмотки різних синхронних генераторів практично не мають магнітного зв'язку і не створюють взаємних спотворень вихідної напруги.

Таким чином, в даній суднової електроенергетичній установці забезпечується стабільна напруга на лініях головного розподільного щита і виключаються зрівняльні струми у вторинних обмотках трансформаторів, а також виключається взаємне спотворення напруги через індуктивний зв'язок між обмотками унаслідок чого підвищується к.к.д. електроенергетичної установки. В типовій структурі, ГЕУ змінного струму одержує живлення від суднової електростанції судна змінного струму через погоджувальні трансформатори. Погоджувальні трансформатори необхідні для: узгодження рівня напруги суднової електростанції і ГЕУ; отримання двох систем ізольованих трифазних напруг, зсунутих один щодо одного на 30 електричних градусів; забезпечення електромагнітної сумісності ГЕУ із споживачами власних потреб.

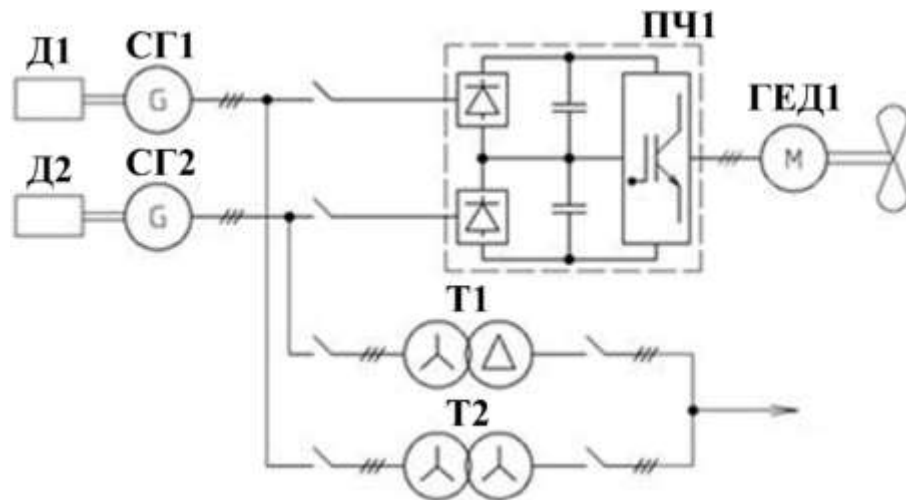


Рисунок 1 – Схема безтрансформаторної електроенергетичної системи (ЕЕС)

На рис. 1 представлена схема ЕЕС, в якій гребний електродвигун живиться безпосередньо від генераторних агрегатів. Гребний електродвигун одержує живлення від перетворювача частоти на базі трирівневого автономного інвертора напруги (АІН). Два ізолювані джерела постійного струму, одержані шляхом вживання двох трифазних генераторних агрегатів. В даній ЕЕС споживачі власних потреб підключаються до вторинних обмоток трансформаторів Т1 і Т2. Первинні обмотки трансформаторів Т1 і Т2 підключаються до трифазних обмоток генераторів СГ1 і СГ2. Первинні обмотки обох трансформаторів сполучені зіркою, а вторинні зіркою і трикутником. Таке з'єднання вторинних обмоток Т1 і Т2 забезпечує синхронізацію генераторів СГ1 і СГ2 з кутом в 30 електричних градусів. На основі схеми, в якій гребний електродвигун живиться безпосередньо від генераторних агрегатів (рис.1), розроблена модель безтрансформаторної ЕЕС, яка представлена на рис.2.

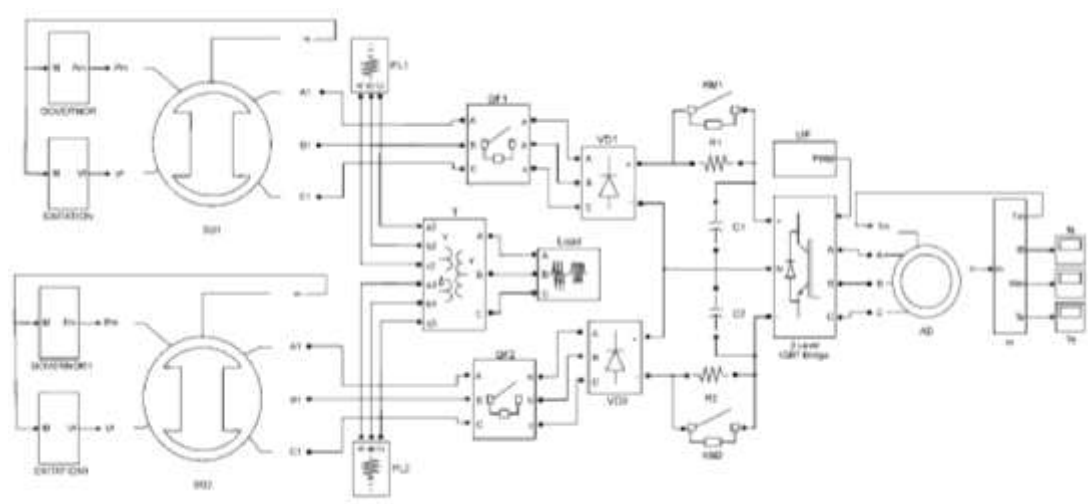


Рисунок 2 – Модель без трансформаторної електроенергетичної системи

Висновки. На основі розроблених моделей виконано комп'ютерне моделювання. В процесі моделювання оцінювалися якість напруги у споживачів власних потреб і якість струму в обмотках гребних електродвигунів, живлення яких проводилося від перетворювачів частоти на базі двох- і трирівневого автономного інвертора напруги. Показано, що безтрансформаторні схеми суднових електроенергетичних систем володіють хорошими показниками, в порівнянні з існуючими схемами суднових електроенергетичних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. L. Leclere, C. Galmiche Converteam. A Transformerless Full Redundant Electrical Propulsion Solution to Enhance Power Density, A Vailability and Low Noise Signature / IEEE ESTS 2011. (Virginia April, 10 – 13, 2011), 2011. P. 296 – 299.
2. Рукавишников С.Б. Автоматизированные гребные электрические установки. Л.: Судостроение, 1983. 240 с.
3. Сержантов В.В., Спешилов В.С. Гребные электрические установки. Л.: Судостроение, 1970. 204 с.
4. Сергиенко Л.И., Устинов А.П., Драгомарецкий Г.Г. Электрооборудование морских судов. М.: Транспорт, 1980. 328 с.
5. Акулов Ю.И. Гребные электрические установки. М.: Транспорт, 1982. 264 с.
6. Материалы совещания по вопросам проектирования линейного дизельного ледокола. *Морской флот*. 2008, №6. С. 40 – 42.

ТЕПЛОВА ПІДГОТОВКА СУДНОВОГО ДВИГУНА ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛОВОГО АКУМУЛЯТОРА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

¹Грицук І.В., ¹Погорлецький Д.С., ¹Худяков І.В., ²Білай А.В.

¹Херсонська державна морська академія, Україна

²Маріупольський будівельний коледж, Україна

В даний час в портових містах експлуатується значна кількість суден портового флоту, які забезпечують вирішення різноманітних цільових завдань. При цьому більшість суднових енергетичних установок в даний час за своїми техніко-економічними показниками не відповідають сучасним вимогам з паливної економічності та екологічним показникам. Дана обставина робить проблему підвищення ефективності суднових енергетичних установок суден портового флоту вельми актуальною. Один з перспективних напрямків модернізації системи охолодження двигунів суден портового флоту є впровадження сучасних технологій теплового акумулювання в їх конструкцію з метою збільшення продуктивності праці та їх адаптації до сучасних умов експлуатації.

Вступ. Метою дослідження є підвищення ефективності експлуатації системи охолодження суднового двигуна MAN D2876 LE301, за рахунок застосування системи комбінованого прогріву з використанням теплового акумулятора. В базовому варіанті не має можливості передпускової теплової підготовки та підтримання теплового стану суднового двигуна без запуску двигуна, накопичення теплової енергії в системі охолодження, конструкцією двигуна не передбачено. Актуальною є запропонована система та цикл теплової підготовки для суднових двигунів, коли потрібні значні витрати енергії для підтримання їх теплового стану в умовах експлуатації, а саме передпусковий та післяпусковий прогрів суднового двигуна, зберігання прогрітого двигуна для здійснення пуску в різних умовах експлуатації.

Постановка задачі. Ставилось завдання в результаті використання системи теплової підготовки суднового двигуна MAN D2876 LE301 портового буксиру за рахунок встановлення теплового акумулятора фазового переходу до системи охолодження, який буде заряджатися від відпрацьованих газів двигуна під час його роботи. А в проміжках часу стоянки судна в порту або на рейді, використовується накопичена тепла енергія теплового акумулятора для підтримання системи охолодження в заданих температурних межах без використання стандартних способів підігріву суднового двигуна.

Вирішальним фактором, окрім зручності експлуатації, є невелика вартість пристроїв для здійснення теплової підготовки суднових двигунів, застосування екологічно чистих технологій теплового акумулювання енергії відпрацьованих газів, отримання повної потужності відразу після пуску суднового двигуна, покращення паливної економічності та зниження викидів відпрацьованих газів в атмосферу під час теплової підготовки суднового двигуна портового флоту.

Результати досліджень. Під час експлуатації суднових двигунів внутрішнього згорання (СДВЗ) в умовах низьких температур, постійні зупинки та пуски, виникає проблема їх безаварійного пуску, і підготовка до прийняття навантаження, тобто прогрівання їх до заданої температури. Виробники суднових енергетичних установок (СЕУ) рекомендують комплектувати СДВЗ агрегатами, які забезпечують їх теплову підготовку. Для виконання даної задачі запропонована система утилізації відпрацьованих газів на основі теплового акумулятора фазового переходу (ТАФП) для прискореного прогріву СДВЗ [1-4].

Система прогріву СДВЗ з системою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів ТАФП входить, як складова, до системи охолодження СДВЗ, забезпечує прогрів СДВЗ до

робочої температури обумовлену робочим процесом та конструкцією двигуна [1]. Принцип роботи полягає в накопиченні теплової енергії відпрацьованих газів (ВГ), утвореної при згорянні палива. Накопичення теплової енергії в ТАФП можливе завдяки встановленому у випускному трубопроводі СДВЗ теплообмінного апарату, який зв'язаний з ТА трубопроводом, по якому за допомогою насоса, відбувається циркуляція теплоносія системи утилізації теплової енергії. Теплоносій проходить через теплообмінник у випускному трубопроводі розігрівається до температури 150...200 °С. У якості теплоносія запропоновано використовувати гальмівну рідину, яка має температуру кипіння 220 °С. Теплообмінний апарат встановлено в байпас випускного трубопроводу, паралельно основному трубопроводу, таке рішення прийнято для того, щоб була можливість для його відключення після зарядки ТА. Перемикання потоку відбувається за допомогою клапанів з електроприводами [1-4].

Теплоносій, з утилізатору теплової енергії ВГ, потрапляє в ТАФП, це теплоізолюваний резервуар з двома теплообмінниками (для заряджання та розряджання), який заповнений фазоперехідним теплоакмулюючим матеріалом (ТАМ). Теплоносій циркулює через теплообмінник заряджаючи ТА. При проходженні теплообмінника через ТА, теплоносій охолоджується та віддає накопичену теплову енергію ТАМ. У процесах накопичення теплової енергії ТАМ найкращу ефективність має процес фазового переходу – наповнювача ТА, зміна його агрегатного стану, на це потрібно затратити велику кількість енергії. В якості ТАМ доцільно використовувати речовину, яка має температуру фазового переходу в межах коливань температури теплоносія, заряджаючого ТА[1-3]. Завдяки теплоізоляції маємо можливість тривалого зберігання накопиченої теплової енергії в ТА [1]. Під час запуску суднового двигуна після тривалої стоянки в дію вмикається система прогріву СДВЗ. Відбувається включення системи передпускового прогріву перед запуском СДВЗ. Система вмикає електричний циркуляційний насос, який здійснює циркуляцію охолоджуючої рідини через СДВЗ та ТАФП[1-3].

Функціонування системи прогріву СДВЗ побудоване на аналізі температурних значень теплоносіїв системи охолодження СДВЗ. Графічне зображення циклу теплової підготовки СДВЗ представлено на (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема циклу теплової підготовки СДВЗ

Проходячи через ТА охолоджуюча рідина отримує накопичену ТАМ теплову енергію та передає її СДВЗ. ТА дозволяє виконати попередній прогрів СДВЗ з температури оточуючого середовища (мінімальна температура +5°C) до температури +50°C. Вибір теплової потужності робиться на основі розрахунку теплового балансу системи комбінованого прогріву СДВЗ, він відобража необхідну кількість теплової енергії для прогріву охолоджуючої рідини СДВЗ, блоку циліндрів, головки блоку циліндрів, патрубків, трубопроводів а також теплових втрат[1-4].

Отримавши теплову енергію від охолоджуючої рідини елементи СДВЗ передають її маслу та до камери згорання, це позитивно впливає на процес пуску СДВЗ, після того, як датчики системи прогріву СДВЗ зафіксують температуру системи охолодження у межах +40...50 °C[1-4].

Після цього відбудеться запуск СДВЗ. Після пуску СДВЗ система прогріву продовжить свою роботу та сприятиме швидкому та ефективному прогріву двигуна до оптимальної температури системи охолодження + 85°C. Це виконується за рахунок подальшого використання накопиченої теплової енергії в ТА, на даному етапі роботи в тепловий баланс системи прогріву надходить теплова енергія від ТА[1-3].

Після досягнення температури системи охолодження +85 °C система прогріву переходить в режим підтримання температури в заданих межах 85±5 °C. Враховуючи дані отримані від датчиків температур система керування прогрівом СДВЗ розраховує частоту обертання циркуляційного насосу та віддає команди на клапани системи, спрямовуючи рідину через ті чи інші елементи системи прогріву[1-3].

Висновки. У результаті проведених експериментальних досліджень було продемонстровано можливість модернізації системи охолодження суднового двигуна MAN D2876 LE301 портового буксиру за рахунок встановлення ТАФП до системи охолодження, який буде заряджатися від відпрацьованих газів двигуна під час його роботи. А в проміжках часу стоянки судна в порту або на рейді, використовується накопичена теплова енергія ТА для підтримання системи охолодження в заданих температурних межах без використання стандартних способів підігріву СДВЗ. Доведено можливість використання технології теплової підготовки суднового двигуна буксира портового флоту, для зменшення часу для запуску двигуна та зменшення витрати палива, так як СДВЗ під час стоянки в порту не працює а судно живиться електроенергією від берегової електромережі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Симоненко Р. В., Білай А. В., Котов А. І. Формування системи теплової підготовки транспортного засобу, працюючого на зрідженому газовому паливі: матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 150-літтю від дня народження Некрасова Івана Степановича, м. Миколаїв, 26–27 листопада 2020 р. – Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.
2. Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Худяков І.В., Дзигар А.К., Волков В.В. Теплова підготовка двигуна енергетичної установки судна портового флоту. Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту: матеріали XI Міжн. наук.-практ. конф. Ізмаїл, 3-4 грудня 2020 р.
3. І.В. Грицук, Погорлецький Д.С., В.С. Вербовський, О.М. Вольська, О.В. Вербовський, А.Ф. Сімагін. Забезпечення теплової підготовки двигуна енергетичної установки за допомогою системи прогріву з фазоперехідними тепловими акумуляторами: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої пам'яті професорів Фоміна Ю.Я. і Семенова В.С., 24-28 квітня 2019 р, Одеса (Україна) – Стамбул (Туреччина) - Одеса (Україна), Одеса, ОНМУ.
4. Погорлецький Д.С., Худяков І.В., Грицук І.В., Манжелей В.С. Тепловая подготовка двигателя судовой энергетической установки для улучшения топливной экономичности. Научные труды Азербайджанской государственной морской академии. № 3, Баку – 2019 г. ISSN 2220-1025.

РОЗРОБКА ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ТЕРМОАКУСТИЧНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Коробко В.В., Шевцов А.П.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Україна

Характерною рисою сучасної суднової енергетики є зменшення температурного рівня теплових викидів суднових двигунів. Перспективи широкого впровадження двопаливних двигунів ставлять питання вдосконалення суднових систем енергозощадження, оскільки ці системи, є дієвим заходом для зменшення емісії шкідливих для довкілля речовин та економного споживання палив.

Термоакустичні системи енергозбереження можуть стати в нагоді для утилізації низькопотенційних теплових викидів суднових енергетичних установок. Для порівняння технологій використання низькопотенційних джерел енергії, які здатні забезпечити перетворення теплоти в механічну роботу та отримання електричної енергії, межі їх використання в суднової енергетиці представлено на рис. 5.1. З метою визначення переваг застосування термоакустичних технологій на цьому рисунку нанесено додатково межі використання технологій утилізації за циклом Ренкіна.

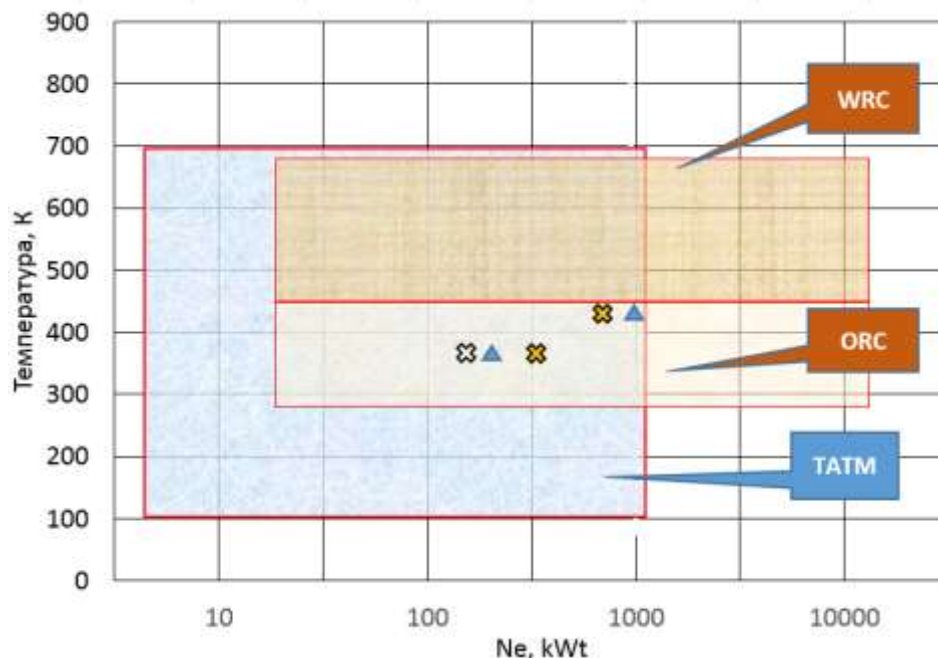


Рис. 1 – Використання технологій утилізації скидної теплоти в суднової енергетиці, установки з ORC: ⊗ – Opcon Marine; ⊗ – Hydrocurrent 125 EJW; ▲ – Climenton

Для практичної реалізації термоакустичних систем запропоноване методологічне підґрунтя, яке окреслює основні вихідні данні і етапи проектування цих систем. Доцільність застосовування конкретного типу термоакустичної системи має бути встановлена на основі урахування різних чинників, в тому складі узгодження характеристик енергетичної установки з термоакустичним утилізаційним контуром та об'єктів призначення з споживачами енергії і можливих джерел теплоти високого та низького потенціалів.[1,2,5].

Узгодження характеристик енергетичної установки з термоакустичним утилізаційним контуром та об'єктів призначення враховує:

- наявні потреби споживачів в конкретних видах енергії – механічній, електричній, тепловій;

- структуру та склад конкретної енергетичної установки, яка є джерелом теплових викидів (суднової, промислової, відновлювальної енергетики);
- якісні показники джерел теплової енергії, а саме: температурного потенціалу, теплофізичних параметрів первинних теплоносіїв, залежність характеристик теплових викидів від режимів експлуатації енергетичного обладнання та зовнішніх факторів.

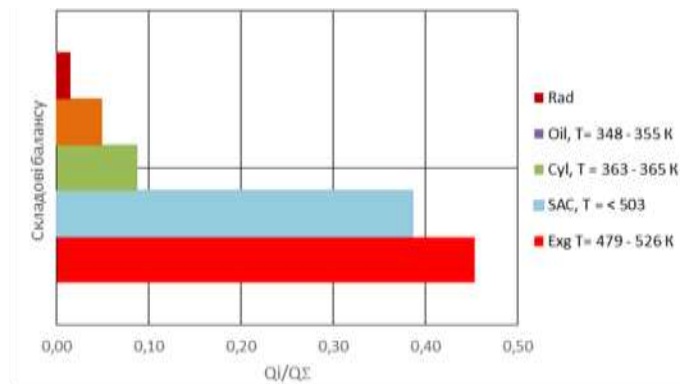
До джерел теплоти високого потенціалу належать:

- теплові викиди енергетичних установок суднової енергетики, промисловості, транспортних засобів;
- радіоізотопні елементи та сонячні фокусуючі концентратори випромінювання – температури, вищі за 1000 К;
- геотермальні джерела теплоти та концентратори сонячного випромінювання;
- електричні нагрівачі, які використовують низькокондиційну електричну енергію енергетичних установок відновлювальної енергетики – вітрових генераторів, морських хвильових генераторів.

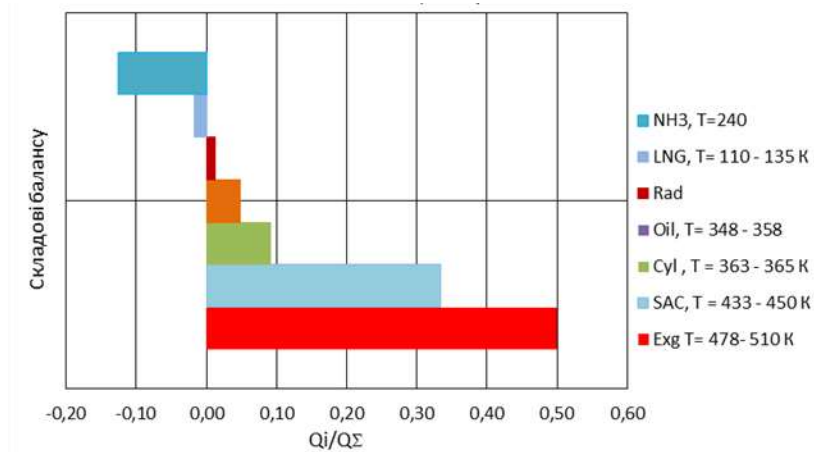
Серед можливих джерел теплоти низького потенціалу розглядаються:

- довкілля – повітря та природні водойми;
- робочі речовини технологічних процесів, в тому разі кріогенні з температурами на рівні 4 – 240 К (скраплені: водень, метан, аміак, тощо).

Для обґрунтування доцільності використання термоакустичних систем утилізації розглянуті теплові викиди суднового двопаливного малообертового двигуна при його роботі на різних типах палива, таких, як нафтове паливо MDO та скраплених газах – LNG та NH₃, показані на рис. 2 [3,4].



а



б

Рисунок 2 – Теплові викиди малообертового двигуна 7X82DF-1.0: а – при роботі на MDO паливі; б – при роботі на кріогенних паливах LNG, NH₃

Наведена інформація вказує на низький температурний рівень відходячих газів та появу в СЕУ кріогенних джерел скидної теплоти. Використання низькотемпературних та кріогенних теплових джерел при регазифікації скраплених палив дає можливість, з допомогою термоакустичних технологій, реалізувати термодинамічно ефективний процес їх утилізації та отримати додаткову механічну роботу, що ілюструє рис.3, де показана залежність К.К.Д. Карно для різних за температурами джерел теплоти.

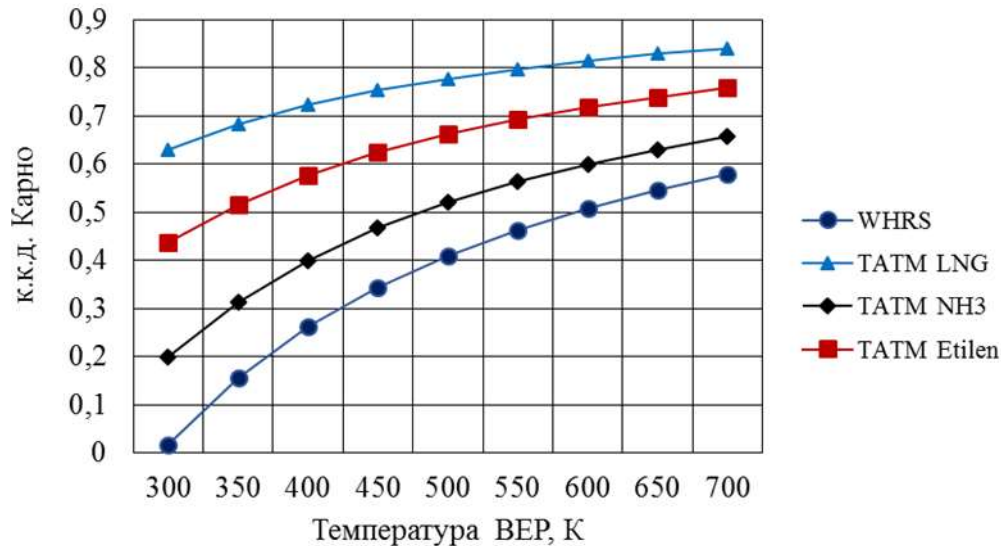


Рисунок 3 – К.К.Д. циклу Карно в залежності від температури джерела теплоти та температури стока теплоти

Можна бачити, що ефективність циклу Карно для WHRS, працюючих на циклі Ренкіна, при температурах, характерних для сучасних СЕУ, суттєво знижується при зменшенні температури джерела енергії, що обмежує можливості їх використання. В таблиці 1 показані результати розрахунку К.К.Д. ТАТД для різних температурних потенціалів.

Таблиця 1. Залежність К.К.Д. ТАТД від температури стоку теплоти для МОД 7X82DF-1.0

| Джерело теплоти | Сток теплоти Довкілля та кріогенні палива | | ТАТД |
|----------------------------------|---|------|--------|
| | Тс, К | | |
| Система холодження (Т=273+90), К | | | |
| 1 | 2 | | 3 |
| Тн, К | Тс, К | | к.к.д. |
| 363 | 298 | ISO | 0,05 |
| 363 | 240 | NH3 | 0,10 |
| 363 | 185 | C2H6 | 0,14 |
| 363 | 135 | LNG | 0,18 |
| ОНП (Т=273+150) | | | |
| 403 | 298 | ISO | 0,08 |
| 403 | 240 | NH3 | 0,12 |
| 403 | 185 | C2H6 | 0,16 |
| 403 | 138 | LNG | 0,19 |
| ОНП (Т=273+180) | | | |
| 453 | 298 | ISO | 0,10 |
| 453 | 240 | NH3 | 0,14 |
| 453 | 185 | C2H6 | 0,17 |
| 1 | 2 | 3 | |

| | | | |
|-----------------|-----|------|------|
| 453 | 138 | LNG | 0,20 |
| УПГ (T=273+200) | | | |
| 473 | 298 | ISO | 0,11 |
| 473 | 240 | NH3 | 0,14 |
| 473 | 185 | C2H6 | 0,18 |
| 473 | 138 | LNG | 0,21 |

Термоакустична система енергозбереження дозволяє з допомогою одного або декількох термоакустичних турбогенераторів утилізувати скидну теплоту різних потенціалів і отримати додаткову механічну роботу. Інформація на рис. 3 має принципове значення, в даному випадку вона показує, що при утилізації кріогенного потенціалу скраплених палив системою регазифікації можна отримати різну ефективність в залежності від потенціалу нагрівача, що буде використаний – ОНП, система охолодження, пара від УК.

Досягнути максимального ефекту можна шляхом оптимізації теплової схеми енергетичної установки конкретного судна.

Висновки.

1. Термоакустичні системи утилізації скидної теплоти розширюють ресурсну базу для енергозбереження за рахунок низькотемпературних складових теплового балансу СЕУ.

2. На основі результатів досліджень запропоновані основні методологічні підходи до створення термоакустичних систем використання низькотемпературних джерел теплоти з потенціалом в межах 110 – 530 К, в тому числі теплових викидів різних за типом енергетичних установок.

3. Показана можливість підвищення паливної ефективності СЕУ різної потужності та з різними рівнями енергозбереження за рахунок утилізації низькотемпературних складових теплових викидів для СЕУ з МОД на 5 –8%, СЕУ з СОД на 6 – 9%, СЕУ з ВОД на 8 – 10%.

4. Розрахунками визначено, що використання аміаку в якості палива для суднових двигунів замість природнього газу призведе до збільшення потенційної потужності термоакустичних турбодвигунів системи регазифікації скрапленого газового палива в 1.2 – 1.5 рази, .

ЛІТЕРАТУРА

1. Коробко, В. В. Можливі шляхи використання термоакустичних теплових машин в системах СЕУ / В. В. Коробко // Наук. вісн. ХДМА. – Херсон : ХДМА, 2014. – № 2 (11). – С. 69–76.

2. Коробко, В. В. Підвищення ефективності енергетичних установок шляхом застосування термоакустичних технологій / В. В. Коробко // Shipbuilding & Marine Infrastructure. Судостроение и морская инфраструктура. – Николаев : НУК, 2018. – № 2 (10). – С. 252–261.

3. Installation Instructions & Concept Guidance, 7X82DF-1.0. – Retrieved from <https://ww.wingd.com/en/engines/engine-types/x-df-dual-fuel/x82df/>

4. Коробко, В. В. Суднові енергетичні установки з термоакустичними системами утилізації теплових викидів / В. В. Коробко // Матеріали XI міжнар. наук.-практ. конф. "Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування". – Херсон, 2020. – С. 154 – 156.

5. Коробко, В. В. Енергетичні установки з термоакустичними системами утилізації теплових викидів / В. В. Коробко, А. П. Шевцов, Вен Хуабинг // Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. "Суднова енергетика: стан та проблеми". – Миколаїв : НУК, 2019.

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОМПАКТНОСТИ СУДОВЫХ УТИЛИЗАЦИОННЫХ КОТЛОВ

Кузнецов В.В.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Украина

За последние 20 лет дизельные установки с прямой передачей мощности на винт заняли лидирующее положение в качестве главных судовых энергетических установок. Обусловлено это постоянно повышающейся эффективностью малооборотных дизельных двигателей, которая на сегодняшний день составляет около 50%. Это привело к снижению температуры отработавших газов до 230...260°C и снижению потерь с 35...40 до уровня около 25%. Тем не менее, такой процент потерь остается самым высоким в структуре теплового баланса судовой энергетической установки, поэтому ведущими мировыми производителями главных дизельных двигателей постоянно ведутся работы по его снижению.

Для утилизации теплоты отработавших газов компанией *MAN B&W* разработана система *WHRS – Waste Heat Recovery System*. Показано, что использование указанной системы позволяет снизить процент потерь с отработавшими газами на 2,6%, получив при этом дополнительную выработку электроэнергии на уровне 5,1...5,7%. Применение подобных систем *WHRS* на контейнеровозах вместимостью 14000 *TEU* и мощностью главного двигателя *12S90ME-C9.2* 57,8 МВт приводит к экономии топлива только для главного двигателя на уровне около 285 тыс.\$ США в год со сроком окупаемости капитальных вложений от 3,5 до 5,8 лет. Кроме того, немаловажным фактором является снижение эмиссии двигателя на: CO_2 – 1126 тонн, NO_x – 319 тонн, SO_x – 214 тонн [1].

Реализация подобных систем предусматривает использование в судовых энергетических установках утилизационных котлов одного и двух давлений с сильно развитой поверхностью нагрева. Однако это налагает повышенные требования к его массогабаритным показателям. Их снижение возможно за счет интенсификации процессов теплоотдачи на поверхностях нагрева.

Распространенным способом интенсификации процессов теплоотдачи, используемый в современных котельных установках, является оребрение поверхности нагрева. Недостатком такого способа можно назвать повышенное аэродинамическое сопротивление поверхности, что отрицательно сказывается на работе всей системы утилизации.

Совершенствование оребренной части теплопередающей поверхности осуществлялось в направлении опережающего роста теплоотдачи над ростом сопротивления. Эффективным способом в этом направлении является применение луночных систем [2]. При прохождении потока по ребру с лункой в ней формируется вихреобразная структура типа природного вихря «торнадо». Эта структура, выходя из лунки, выносит энергию вихря во внешний поток, что предотвращает отрыв потока, снижая при этом гидродинамическое сопротивление ребер и всей поверхности. Согласно данным [2], в зависимости от размера лунок, отрицательная (по сравнению с атмосферным) зона статического давления охватывает от 30 до 80% длины углубления. Максимум положительного значения статического давления расположен около задней кромки углубления, после чего оно резко падает вследствие отрыва потока и становится снова отрицательным. Это позволяет обеспечить рост теплоотдачи над ростом сопротивления.

Исследования проведены методом математического моделирования [3] для двух вариантов теплообменных поверхностей – круглой трубы со спирально-ленточным оребрением и эллиптической оребренной плоскими ребрами трубы.

Для оценки эффективности расположения луночных систем на спирально-ленточном оребрении, с учетом особенностей его изготовления, выбраны лунки со следующими

характеристиками: ось лунки проходит по центру ребра, диаметр лунки 0,004 м, глубина лунки 0,0015 м, шаг лунки 0,01 м. Для эллиптической орребренной трубы лунки имели следующие характеристики: ось лунки проходит по центру буковой части ребра по большей стороне, диаметр лунки 0,003 м, глубина лунки 0,0005 м. Схема размещения лунок представлена на рис.1.

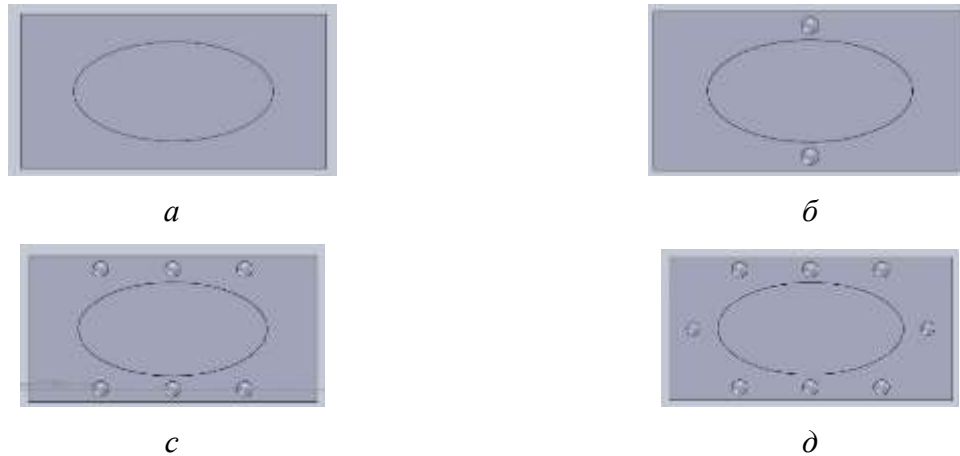


Рисунок 1 – Варианты размещения лунок на ребре

Как наиболее эффективный, в случае орребренной трубы, принимался вариант, в котором наблюдался бы больший рот интенсивности теплоотдачи по сравнению с ростом гидродинамического сопротивления.

Для оценки эффективности процессов теплоотдачи использован показатель фактора аналогии Рейнольдса [2, 4]

$$FAR = \frac{Nu/Nu_0}{f/f_0}, \quad (1)$$

где Nu – критерий Нуссельта со стороны оцениваемой теплоотдачи, f – коэффициент сопротивления на достижение этой теплоотдачи. Индекс «0» определяет базовый канал, обычно гладкий, с которым производится сравнение.

На рис.2.представлена зависимость $FAR=f(f/f_0)$ для рассмотренного случая обтекания пучка труб со спирально-ленточным орребрением.

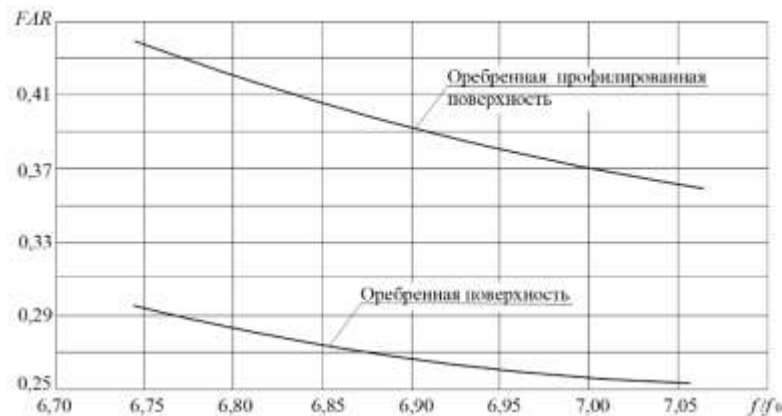


Рисунок 2 – Теплогидравлическая эффективность обтекания пучка труб со спирально-ленточным орребрением

Полученные результаты показали улучшение теплогидравлических характеристики поверхности более чем на 35%.

Зависимость $FAR=f(f/f_0)$ для случая обтекания оребренной эллиптической поверхности представлена на рис.3.

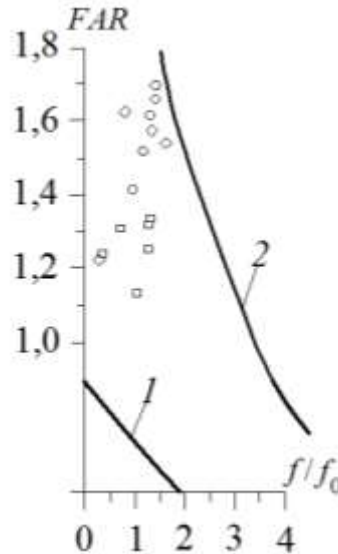


Рисунок 3 – Сравнение полученных результатов по показателю FAR : 1 – оребренная поверхность при больших числах Рейнольдса, 2 – поверхность со сферическими углублениями, \square – вариант 1б, \circ – вариант 1с, \diamond – вариант 1д

Анализ результатов рисунка 3 показывает следующее. Как и ожидалось, нанесение лунок на ребро значительно интенсифицирует теплоотдачу за счет снижения аэродинамического сопротивления при обтекании. Показатель эффективности FAR сдвигается от нижней граничной линии к верхней. Однако эффективность теплообменной поверхности сильно зависит от расположения лунок. Наиболее рациональным является вариант *с* – последовательного расположения лунок на ребре, поскольку в нем наблюдается наибольший рост эффективности теплоотдачи по сравнению с ростом сопротивления. Вариант *г* – носовым и кормовым расположением лунок не дал ожидаемого эффекта, поскольку дополнительное сопротивление развивающемуся носовому вихрю создала носовая часть трубы, а кормовая лунка находится в гидродинамическом следе лунок на ребрах.

Для оценки компактности предложенных поверхностей произведена обработка полученных результатов в соответствии теории подобия для получения критериальных зависимостей. Получены следующие зависимости:

– для оребренной трубы с луночными системами
для коэффициента теплоотдачи

$$Nu_f = 0,2035 \cdot \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{s}{d_{\text{екв}}}\right)^{0,18} \cdot \left(\frac{h}{d_{\text{екв}}}\right)^{-0,14} \cdot Re^{0,68} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25},$$

где s и h – шаг и высота ребер соответственно, м.

для коэффициента гидродинамического сопротивления

$$Eu_f = 3,187 \cdot \varepsilon^{0,5} \cdot Re^{-0,25} \cdot \sigma_1^{-0,55} \cdot \sigma_2^{-0,5},$$

где ε – коэффициент оребрения;

– для эллиптической оребренной трубы с луночными системами для варианта 1с
для коэффициента теплоотдачи

$$Nu_f = 0,2441 \cdot \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{s}{d_{\text{екв}}}\right)^{0,18} \cdot \left(\frac{h}{d_{\text{екв}}}\right)^{-0,14} \cdot Re^{0,682} \cdot Pr^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25}$$

где h – расстояние между стенкой трубы и краем ребра по большой оси эллипса, м;
для коэффициента гидродинамического сопротивления

$$Eu_f = 2,832 \cdot \varepsilon^{0,5} \cdot Re^{-0,25} \cdot \sigma_1^{-0,55} \cdot \sigma_2^{-0,5},$$

где ε – коэффициент оребрения.

Полученные зависимости позволили оценить повышение компактности поверхности, которое для случая круглой трубы со спирально-ленточным оребрением и лучными системами составило до 25%, эллиптической оребренной трубы с лучными системами – до 33%.

Дальнейший исследования будут направлены на оптимизацию геометрических характеристик лунок и их расположения на ребрах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emissions and EEDI/MAN Diesel & Turbo* [Электронный ресурс]. Режим доступа [https://turbomachinery.mandieselturbo.com/docs/librariesprovider4/Turbomachinery_doc/waste-heat-recovery-system-\(whrs\).pdf?sfvrsn=8](https://turbomachinery.mandieselturbo.com/docs/librariesprovider4/Turbomachinery_doc/waste-heat-recovery-system-(whrs).pdf?sfvrsn=8)
2. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика около поверхностных углублений (лунок) [Текст]/ А.А.Халатов // К.: Ин-т технической теплофизики НАН Украины, 2005. – 76с.
3. Быстров Ю.А. Численное моделирование вихревой интенсификации в пакетах труб [Текст]/ Ю.А. Быстров, С.А. Исаев, Н.А. Кудрявцев, А.И. Леонтьев// СПб.: Судостроение, 2005. – 392 с
4. Халатов А.А. Обобщение опытных данных по фактору аналогии Рейнольдса для интенсификаторов теплообмена различных типов [Текст]/ А.А. Халатов, А.В. Окишев, В.Н. Онищенко В.Н.// Пром. Теплотехника, 2010, т.32, №5. С.5-13

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА И CFD МОДЕЛИРОВАНИЯ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЫСТРОХОДНЫХ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ

¹Король Ю.М., ²Корнелюк О.Н.

¹Национальный Университет Кораблестроения имени адмирала Макарова, Украина

²Херсонская Государственная Морская Академия, Украина

Введение. Как известно техническое задание на разработку проекта судна формируется заказчиком и проектной организацией совместно с использованием результатов концептуального анализа проектов современных судов заданного типа. Одним из актуальных и перспективных направлений деятельности Коммунального Предприятия «Николаевское пароходство» (КПНП основано решением сессии николаевского горсовета от 18.06.2016г. за № 48/42) и именуемого в дальнейшем – «заказчик» является разработка проектов скоростных пассажирских судов речного и смешанного (река-море) районов плавания. Руководством КПНП и НУК имени адмирала Макарова принято решение о совместной разработке технического задания и технического предложения по этим судам на платформе «Технопарк научно-производственных инноваций в море-хозяйственном комплексе Украины» созданного в НУК с целью оказания услуг представителям заказчиков водной отрасли.

Актуальность исследования. Северное Причерноморье содержит достаточно много привлекательных для водного туризма мест таких как Парутино (Ольвия), Очаков, Кинбурнская коса, Тендровская коса, остров Березань, остров Змеиный, Черноморская коса, Рыбаковка, Коблево, Железный порт, Одеса и др. Пассажирские суда, которые обслуживали этот регион морально и физически устарели, а их содержание и эксплуатация экономически не выгодны. Поэтому возникла проблема разработки проектов новых быстроходных пассажирских судов для этого региона.

Цель и задачи доклада. Целью доклада является обсуждение результатов концептуального анализа и формирование технического задания и технического предложения по проекту быстроходного судна смешанного (река-море) района плавания, для чего в докладе рассмотрены следующие задачи:

1) Формирование исходных данных и выполнение концептуального анализа

Характеристики анализируемых судов заимствованы из Интернет-ресурсов [1] и [2], причем суда №1 и №12 waves piercing катамараны смешанного района плавания, №2-10 – речные глиссирующие суда, №11 – глиссирующее судно смешанного района плавания. На рис. 1 представлена зависимость удельного водоизмещения Δ / N от количества пассажиров N для этих судов.

На рис. 2 представлена зависимость удельной мощности P_s / N от количества пассажиров N , а на рис. 3 – зависимость энергетической эффективности $\Delta v / P_s$ от количества пассажиров N .

Не трудно видеть, что по рассмотренным показателям лидерство принадлежит глиссирующим судам, однако из соображений мореходности предпочтение следует отдать waves piercing катамаранам.

2) Определение типа судна и формулирование технического задания

Исходя из предполагаемого района плавания (Николаев – Парутино, Кинбурнская коса – Очаков – Железный порт – Одесса) по выбору типа судна принято решение считать наиболее целесообразным waves piercing катамараны с предлагаемыми заказчиком пассажироместимостью 40 человек и скоростью хода в 30 узлов.

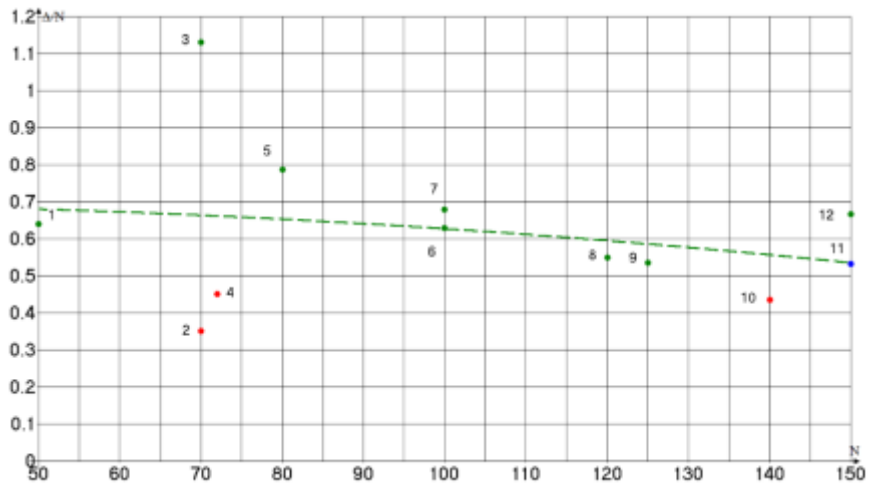


Рисунок 1 – Зависимость удельного сопротивления от количества пассажиров

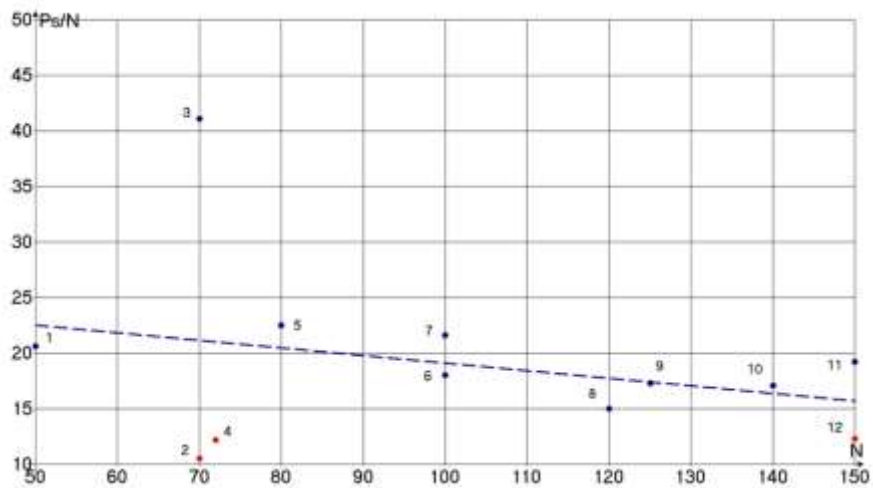


Рисунок 2 – Зависимость удельной мощности от количества пассажиров

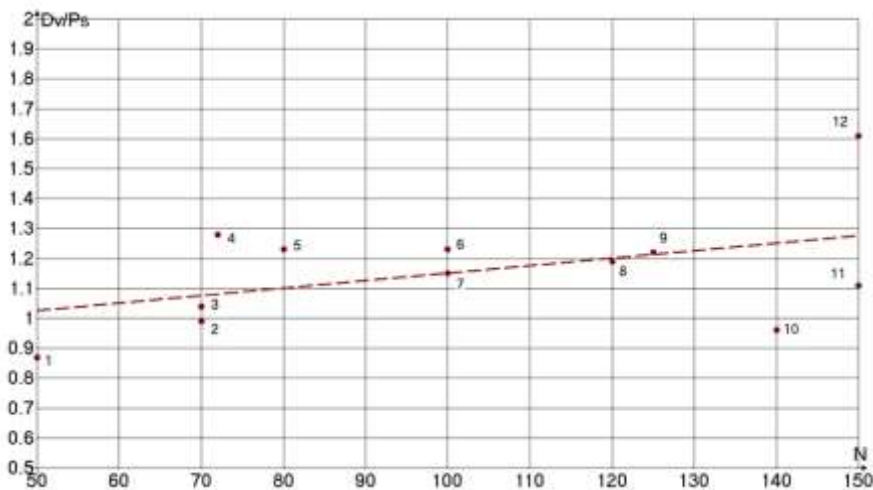


Рисунок 3 – Зависимость энергетической эффективности от количества пассажиров

3) Определение в первом приближении главных размерений

Для катамаранов:

$$\Delta = 2C_B^* LBT = 2C_B^* L^3 \frac{B^* T^*}{L^* L^*}; \quad \Delta = \frac{\Delta^*}{N_p^*} N_p; \quad L = \sqrt[3]{\frac{\Delta^* N_p}{N_p^*} \frac{1}{2C_B^*} \frac{L^* L^*}{B^* T^*}};$$

$$B = \frac{B^*}{L^*} L; \quad T = \frac{T^*}{L^*} L; \quad C_L = \frac{C_L^*}{L^*} L; \quad B_m = C_L + B,$$

где C_B^* - коэффициент полноты водоизмещения прототипа; L^*, B^*, T^* - главные размерения прототипа; Δ^* - объемное водоизмещение прототипа; N_p^* - число пассажиров прототипа; C_L^* - клиренс прототипа; B_m^* - габаритная ширина прототипа. Прототип: 20m FERRY NAUTIC [2], для которого $L^* = 20.00$ м; $B^* = 2.08$ м; $T^* = 0.9$ м; $\Delta^* = 32.00$ м³; $C_B^* = 0.4273$; $N_p^* = 50$ ч.; $C_L^* = 4.42$ м; $B_m^* = 6.50$ м. Для первого варианта проекта получено

$$\Delta = \frac{32}{50} 40 = 25.6 \text{ м}^3; \quad L = \sqrt[3]{\frac{25.6 \cdot 20 \cdot 20}{2 \cdot 0.4273 \cdot 2.08 \cdot 0.9}} = 18.57 \text{ м};$$

$$B = \frac{2.08}{20.00} 18.57 = 1.93 \text{ м}; \quad T = \frac{0.90}{20.00} 18.57 = 0.84 \text{ м};$$

$$C_L = \frac{4.42}{20.00} 18.57 = 4.10 \text{ м}; \quad B_m = 4.10 + 1.93 = 6.03 \text{ м}; \quad N_p = 40 \text{ ч.}$$

4) Разработка обезразмеренного теоретического чертежа и построение 3D модели судна

При разработке теоретического чертежа и построении 3D модели судна использована методика и программное обеспечение автора доклада [3] с учетом требований к технологичности и снижению постройочной стоимости проекта. 3D модель судна представлена на рис. 4.

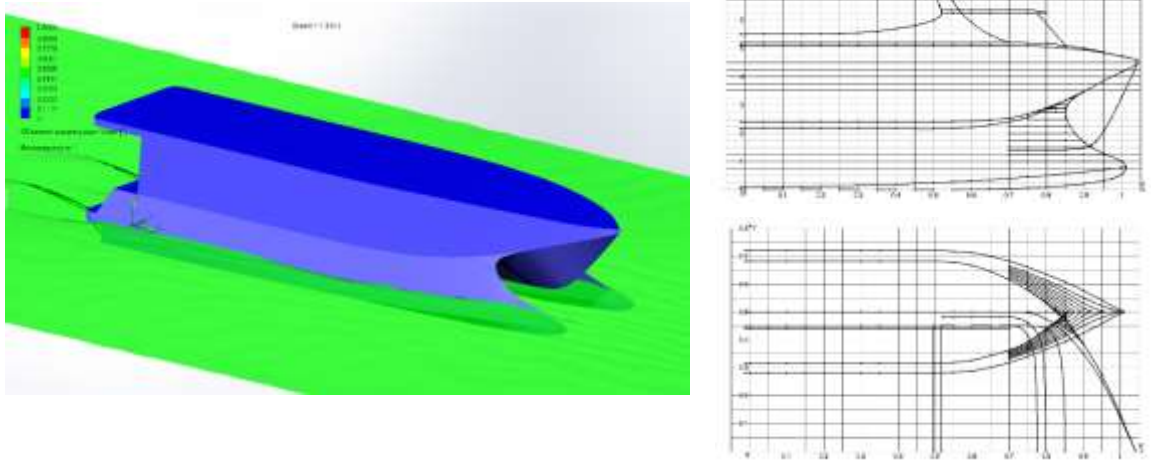


Рисунок 4 – Теоретический чертеж, 3D модель судна и картина обтекания при скорости 15 м/с

5) Определение буксировочного сопротивления и буксировочной мощности

Моделирование обтекания судна (см. рис. 4) с целью определения буксировочного сопротивления R и мощности νR осуществляется в CFD модуле Flow Simulation CAD CAE САМ системы SolidWorks. На рис.5 представлены зависимости $\nu R(\nu)$ для двух вариантов проекта с $B_1 = 1.930$ м., $\Delta_1 = 36.8$ м³ и $B_2 = 1.544$ м., $\Delta_2 = 30.6$ м³.

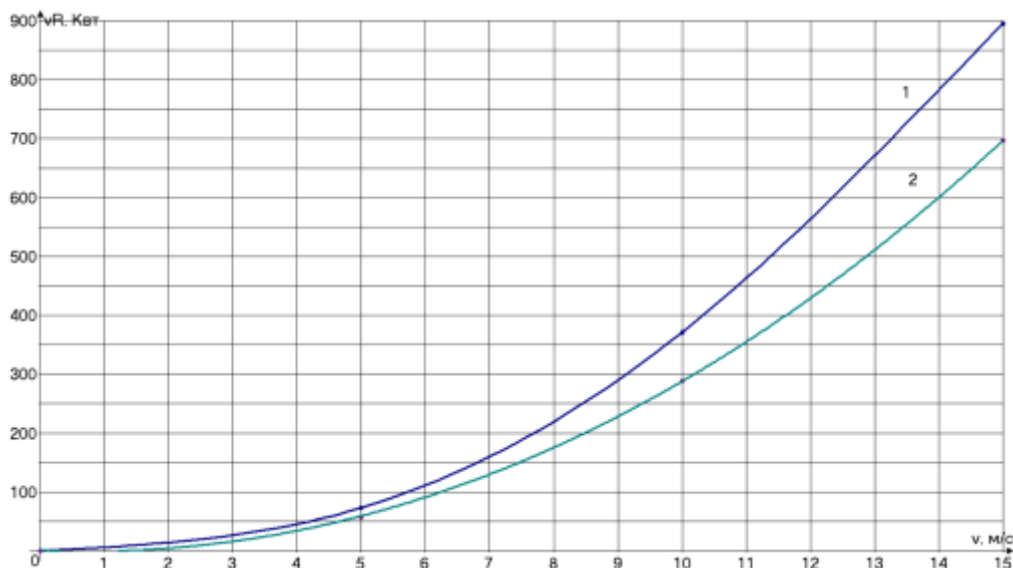


Рисунок 5 – Залежності $\nu R(\nu)$ для 1 і 2 варіантів проекту

Висновки і рекомендації

1. **Waves piercing** катамарани відрізняються підвищеною мореходністю, тому вибір цього типу судна для смешанного река-море району плавання слід вважати обґрунтованим і не вимагає подальшої корекції.

2. Зменшення ширини корпусу катамарана на 20% для 2-го варіанта сприяє зниженню буксирної потужності на 22%, що підвищує економічну ефективність експлуатації, однак може викликати проблеми з розміщенням двигунів в вузькому корпусі.

3. Запропоновані замовником пасажиромісткість і швидкість ходу слід вважати не обґрунтованими, оскільки при швидкості $\nu = 15$ м/с (29.2 уз) при орієнтовному значенні пропульсивного коефіцієнта $\eta_p = 0.5$ сумарна потужність головних двигунів для першого варіанта становитиме близько 1800 кВт і для другого – 1400 кВт. При цьому за кожну годину в дорозі тільки за паливо кожен пасажир повинен заплатити від 400 до 300 грн.

4. Для більш точних результатів слід виконати повний розрахунок ходкості, вибрати конкретні двигуни і визначити економічно обґрунтоване поєднання пасажиромісткості і швидкості ходу.

5. При виборі типу двигунів слід віддати перевагу водометам, оскільки вони більш пристосовані до умов експлуатації в зазначених регіонах.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://www.zdship.ru/products/shipbuilding/speed-shipbuilding/>
2. <https://pdf.nauticexpo.com/pdf/nautic-africa-69044.html>
3. Король Ю.М. Принципи, методи і засоби побудови 3D моделей судової поверхності і твердих тіл. Матеріали ВНТК, Николаєв, НУК, 2020, с.37-42

ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ПРИ РОБОТІ СУДНОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Лебедь О.М.

Херсонська державна морська академія, Україна

Одним з основних факторів, що визначають надійність і якість роботи суднового електрообладнання, є тепловий режим напівпровідникових приладів. Відомо, що з підвищенням температури напівпровідникових приладів погіршуються їх електричні параметри і значно знижується надійність їх роботи, збільшується рівень власних шумів, падає надійність механічних з'єднань. Перегрів активної зони напівпровідникового приладу вище допустимої для неї температури призводить до теплового пробою.

При температурі активної області кристала напівпровідникового приладу нижче її граничного значення флуктуації струму в структурі придушуються внаслідок негативного зворотного зв'язку, так як в цьому температурному діапазоні всяке локальне збільшення потужності розсіювання призводить до локального зростання питомого електричного опору. Саме з цих причин приділяється велика увага забезпеченню необхідного теплового режиму роботи напівпровідникових приладів в судновому електрообладнанні.

Точне визначення температури перегріву активної області приладів з р-п переходом дає можливість знижувати втрати на електроенергію, а також дає можливість працювати при оптимальних робочих температурах, вплив яких на характеристики напівпровідникових приладів досить відчутний. Це і зміна опору приладу, і зміна вольт-амперної характеристики і т.д. [1].

Ці недоліки також призводять до недостатності ступеня автоматизації в електронних блоках суднового електрообладнання.

Відомі методи визначення величини перегріву кристала напівпровідникового діода, ґрунтуються на вимірі калібрувальної залежності при постійному прямому струмі $I = \text{const}$, що відповідає струмовій координаті точки переходу лінійної ділянки перебудованої ВАХ в нелінійну. Вимірювання при даному струмі обумовлює істотну погрішність у визначенні диференціальної струмової термочутливості (а значить і шуканої величини перегріву кристала). При цьому значенні струму на послідовному опорі досліджуваного діода виділяється кількість джоулевої теплоти, порівнянне з величиною тепла, що утворюється на р-п переході.

Пропонується, для збільшення ступеня автоматизації процесу наступне [2]. За рівнем зниження прямого падіння напруги U , що включає вимірювання прямої вольтамперної характеристики діода $I = f(U)$ при заданій температурі експлуатації $T = T_i$ перебудувати її в вигляді $\log I = f(U)$ з подальшим визначенням координат точки переходу I_{lm} лінійної ділянки вольтамперної характеристики в нелінійної і вимірювання калібрувальної залежності $U(T, I_i)$ при постійному прямому струмі ($I < I_{lm} = \text{const}$) через діод в межах лінійної ділянки вольтамперної характеристики $\log I = f(U)$ і температурах $T = \text{var}$, в якому величину перегріву T визначають за формулою:

$$\Delta T = \frac{\Delta U}{s - \frac{\Delta U'}{T_i}}, \quad (1)$$

де s - диференціальний струмовий термочутливість, виміряна на калібрувальної залежності $U(T, I_i)$, $\Delta U = U_o' - U_o$,

$$\Delta U' = U_o - U_o'. \quad (2)$$

U_0 , - координата напруги точки переходу лінійного ділянки, вольтамперної характеристики, в нелінійної.

U_0' , - координата напруги точки перетину прямої $I = I_r$ з прямою, що є продовженням лінійного ділянки вольтамперної характеристики в область значень $I > I_m$.

U_0'' - координата напруги точки перетину прямої $I = I_1$ з вольт-амперної характеристикою.

При цьому, координати точки переходу лінійної ділянки залежності $\log I = f(U)$ до нелінійної визначають шляхом вимірювання в околиці даної точки залежності диференціального опору діода від прямого струму $R_d(I)$, а значення струмового координати в шуканій точці переходу відповідає результату зміни залежно $R_d(I) \cdot I = f(I)$.

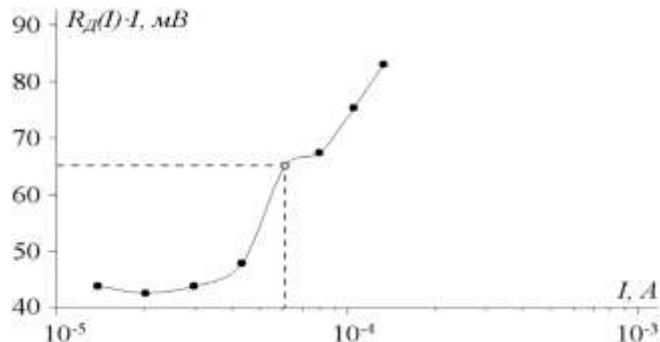


Рисунок 1 – Залежність $R_d(I) \cdot I$ від струму

Істотною відмінністю пропонованого методу є пряме інструментальне вимірювання залежності диференціального опору досліджуваного діода від прямого струму $R_d(I)$ в околиці передбачуваної точки переходу лінійної ділянки залежності $\log I = f(U)$ до нелінійної. Отримані в результаті вимірювання числові значення диференціального опору безпосередньо придатні для комп'ютерної обробки у вигляді графічної залежності. Це сприяє підвищенню ступеня автоматизації запропонованого методу, а також забезпечує більш високу точність при визначенні точки переходу.

Залежність $R_d(I) \cdot I = f(I)$ буде мати вигляд близький до горизонтальної прямої, оскільки значення диференціального опору в даному діапазоні робочого струму визначається рекомбінаційними і дифузійними процесами в р-п переході, а вплив на R_d саморозігріву досліджуваного приладу дуже мало.

При зростанні струму через діод відбувається збільшення впливу саморозігріву на значення R_d , що призводить до відхилення ВАХ від прямої лінії. Різкий стрибок залежності $R_d(I) \cdot I = f(I)$, що становить понад 10% від попередніх значень величини і відповідає шуканій точці переходу ($I = 6,113 \cdot 10^{-5}$ А, на рис.1), коли саморозігрів досліджуваного приладу додається до дифузним і рекомбінаційним процесам в р-п переході, здійснюючи на нього вплив, яким вже не можна знехтувати.

Таким чином, даний метод визначення робочого перегріву кристала напівпровідникового дозволяє підвищити ступінь автоматизації і збільшити енергоефективність суднового електрообладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Толшин В. И. Автоматизация судовых энергетических установок. // В. И. Толшин, В.А.Сизых / - М.: РКонсульт, 2003. - 304с.
2. Деменський О.М. Спосіб визначення перегріву кристала напівпровідникового діода // О. М. Деменський, С. Ю. Ерохін, В. О. Краснов, О. М. Лебедь, С. В. Шутов / Декларацийний патент на корисну модель № 122011 від 26.12.2017. Заявка № u 2017 06425, дата подання 23.06.2017. МПК H01L 21/00.

КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ НА СУДОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВКАХ

Лебедь О.М.

Херсонська державна морська академія, Україна

Сучасні напівпровідникові перетворювачі частоти, щоб забезпечити управління потужними гребними двигунами змінного струму, створюють незначні спотворення синусоїдальної напруги первинної електричної мережі. Це дозволяє вирішити проблеми електромагнітної сумісності потужних енергетичних установок та інших судових споживачів електроенергії [1].

В сучасних судових комплексах часто потрібно автоматичне регулювання швидкості обертання електродвигуна (в широкому діапазоні їх потужностей), його універсальні можливості і економну витрату електроенергії. Вирішення цього завдання покладено на спеціальний клас багатофункціональних цифрових приладів - перетворювачів частоти, які працюють в складі частотно-керованого приводу.

Варто відзначити переваги систем електроруку в порівнянні з традиційними пропульсивними комплексами. Це підвищення надійності судової електроенергетичної установки і пропульсивного комплексу, поліпшення маневреності судна, підвищення ККД енергетичної установки, зниження експлуатаційних витрат, зменшення термінів ремонтних робіт, зниження шкідливих викидів в атмосферу, можливість більш раціонального розміщення обладнання на судні.

Одним з основних елементів управління тиристорним блоком перетворювача частоти є р-і-п діоди, які використовуються в якості керованих струмом напівпровідникових резисторів.

Сучасні р-і-п діоди на основі кремнію, що використовують в якості керуючого струмом резистора мають діапазон робочих температур в межах від -65 до +175 °С. А мінімальне значення робочого струму в прямому зміщенні становить 1 мкА.

Його диференціальне опір змінюється від одиниць Ом при прямому струмі 100 мА до 20 кОм при струмі 1 мкА.

Пропонується в керованому струмом напівпровідниковому резисторі, на основі прямозонної структури з сильнолегованими р- і n- шарами, р-n структуру сформувати на основі подвійної гетероструктури $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N} / \text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$, де $0,05 \leq x \leq 0,25$, $0,1 \leq y \leq 0,2$. Шари емітерів електронів, легованих Si, і дірок, легованих Mg до концентрацій не нижче 10^{19} і $(5-7) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, Активний базовий шар товщиною (50-100) нм, спільно легувати Zn і Si до концентрації електронів не нижче 10^{18} см^{-3} [2].

Істотною відмінністю пропонованого керованого струмом напівпровідникового резистора є те, що він виконаний на основі більш широкозонної, ніж Si і GaAs подвійної гетероструктури $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N} / \text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$. Це дозволяє значно розширити його робочий температурний діапазон від 15 К до 620 К.

Іншою важливою відмінністю пропонованого приладу є те, що він здатний функціонувати при істотно більш низьких значеннях керуючих струмів 10^{-10} А.

Додатковою особливістю даного пристрою є значний зсув його робочої характеристики ($R_d = f(I)$) в область більш високих значень опору в порівнянні з існуючими рішеннями.

Також слід зазначити, що даний прилад виконаний на основі р-n структури, дозволяє не обмежуватися лише конструкціями р-і-п діодів при виборі приладової структури для виготовлення керованого струмом напівпровідникового резистора.

Таким чином, запропонований керований струмом напівпровідниковий резистор, в порівнянні з відомими технічними рішеннями, здатний працювати в більш широкому діапазоні

температур від 15 К до 620 К, при більш низьких значеннях керуючих струмів в прямому зміщенні, починаючи від 10-10 А, а також має квазілінійну логарифмічну залежність диференціального опору від струму у всьому діапазоні значень, включаючи область вищих значень опору, що обумовлює його широке застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Григорьев А. В. Экспериментальные исследования системы электродвижения переменного тока с полупроводниковым преобразователем / А. В. Григорьев // Судостроение, 2007, №3, с. 30 – 32.
2. Деменський О.М. Керований струмом напівпровідниковий резистор / О. М. Деменський, С. Ю. Ерохін, В. О. Краснов, О. М. Лебедь, С. В. Шутов // Деклараційний патент на корисну модель № 114943 від 23.07.2017. Заявка № u 2016 10451, дата подання 17.10.2016. МПК H01L 21/00.

ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ СУДОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК

Лебедь О.М.

Херсонська державна морська академія, Україна

Одним з актуальних питань енергозбереження річкового та морського транспорту є зниження витрат на електричну енергію шляхом поліпшення техніко-економічних показників технічних засобів водного транспорту.

В даний час водний транспорт охоплює 60-67% всього світового вантажообігу і грає важливу роль у функціонуванні та розвитку товарного ринку країни.

При цьому варто відзначити, що енерговитрати досить високі і становлять за окремими типами судів до 70% всіх прямих витрат по їх утриманню, що вимагає особливої уваги до проблеми енергозбереження.

Напівпровідникові силові діоди є невід'ємними елементами електричних установок. Застосування діодів дає можливість короткочасної роботи з перевантаженням по напрузі при аварійних режимах роботи перетворювачів, дозволяє збільшити надійність електричних схем і дає можливість зменшити потужність споживання енергії електричними установками.

Основним матеріалом для напівпровідникових діодів є кремній, однак ряд напівпровідникових матеріалів, таких як карбід кремнію, арсенід галію і інші більш перспективні.

Використання матеріалів з більшою, ніж у кремнію, величиною ширини забороненої зони дозволяє підвищити верхню межу робочих температур напівпровідникових приладів, при цьому більш високі напруги пробою дають можливість приладів працювати при більшій потужності.

Високовольтні швидкодіючі переключують р-і-n-діоди на основі GaAs служать невід'ємною частиною для управління тиристорного блоку перетворювача частоти на судових установках.

Однак наявність в складі двох з'єднань веде до формування більш істотної дефектної структури в порівнянні з елементарними напівпровідниками. Один з істотних дефектів є дислокації.

Відомо, що дислокації часто є причинами підвищених струмів витоку, погіршення електричних характеристик і розвитку процесів деградації в різних напівпровідникових приладах. Механізми створення дислокацій при епітаксії з рідкої фази пов'язані з успадкуванням дислокацій з підкладки, а також, при використанні легування в процесі росту, з неузгодженістю параметрів решітки підкладки і епітаксійного шару при температурі епітаксії. Одним з можливих шляхів зниження щільності дислокацій в GaAs є ізвалентне легування, яке призводило до помітного зниження щільності дислокацій в епітаксійному шарі в порівнянні з вирощуванням з галієвих розчинів-розплавів [1].

Слід зазначити, що формування і-шару, при рідиннофазній епітаксії арсенід галію, можливо при легуванні розчину-розплаву амфотерною домішкою поблизу температури інверсії (температура при якій відбувається зміна типу провідності). Наявність температури інверсії дає можливість не тільки вирощувати р-n переходи, а й дає можливість також вирощувати високоомні сильно компенсовані ЕС поблизу температури інверсії [2].

Ми пропонуємо для формування і-шару р-і-n-діода, здійснювати рідиннофазну епітаксію по багатоциклічній температурно-часовій схемі процесу вирощування з використанням ізвалентного металу-розчинника бісмуту і амфотерної домішки кремнію поблизу температури інверсії.

Епітаксійні шари вирощували шляхом примусового охолодження розчину-розплаву в вертикальному реакторі в атмосфері очищеного дифузіїю через паладієвий фільтр водню. Температура початку епітаксії становила 880°C, швидкість охолодження - 0,5 °C / хв, відстань між підкладками - 1,2 мм.

Застосовувався спеціальний режим охолодження, при перериванні процесу зростання, за рахунок використання явища природної конвекції.

Процес вирощування здійснювався за допомогою температурно-часової схеми, яка складається з 36 циклів [2]. Цикл являє собою: інтервал гомогенізації розчину-розплаву при 880°C, інтервал кристалізації (охолодження) до 860°C, інтервал гомогенізації розчину-розплаву при 860°C, інтервал розчинення.

Структури мали усереднену щільність дислокацій порядку 10^3 см^{-2} , високоомну інверсійну і-область з концентрацією носіїв менше $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, що також грає визначальну роль в досягненні високих значень зворотної пробивної напруги в високовольтних GaAs р-і-п структурах.

Таким чином, можна зробити висновок, що високоомні шари, одержувані з розчинів-розплавів на основі вісмуту, в поєднанні зі зниженням щільності дислокації, при застосуванні спеціальних технологічних режимів вирощування, до значення 10^3 см^{-2} показують перспективність застосування вісмуту в якості металу-розчинника для отримання р-і-п структур арсеніду галію методом рідиннофазної епітаксії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Е.А. Баганов. Управление структурными свойствами GaAs при эпитаксии из жидкой фазы. / Е.А. Баганов, О.Н. Лебедь, В.Ф. Коваленко, С.В. Шутов. // Вестник ХНТУ . - 2007 № 3(29). - С. 60-62.
2. Лебедь О.М. Спосіб отримання епітаксійних структур арсеніду галію для фотovoltaїчних детекторів рентгенівського діапазону випромінювання. / Лебедь О.М., Шутов С.В., Краснов В.О. // Патент на корисну модель № 39071. Заявка u200803868. Бюл.№3, 10.03.2009 р.

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОЦІНКИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСУ ЕЛЕМЕНТІВ ВАЛОВОЇ ЛІНІЇ ТАНКЕРУ

Шарко О.В.

Херсонська державна морська академія, Україна

При передачі крутного моменту від двигуна до судна лінія валопровода сприймає цілий комплекс розтягують і згинальних навантажень. Під час експлуатації валопроводов суднових енергетичних установок з огляду на неоднозначність навантажень можлива поява відмов. Неоднозначність впливу навантажень на експлуатаційні характеристики матеріалів знижує їх властивості міцності.

Як показує статистика запас міцності для проміжного вала становить 4,5, а для гребного валу 9,4. Однак на практиці внаслідок різноманітних навантажень навіть такий запас міцності гребного валу часом є недостатнім. Надмірний запас міцності призводить до невиправданого збільшення діаметра елементів валопровода.

Розробка призначалася для контролю елементів валової лінії танкера «SFC Amur» з дейдветом 47187 т. У пропульсивній установці використовується один малооборотних двигун 6S50-МС-С форми MAN BW Diesel.

Контроль стану елементів валової лінії значно пов'язан з контролем стану металу. Характеристики міцності залежать від одночасно протікаючих процесів руйнування і пластичного деформування структурних елементів матеріалу. Для діагностики міцнісних властивостей матеріалу елементів валової лінії проводять руйнуючий і неруйнуючий контроль.

При руйнівному контролі проводяться хімічний аналіз металу, випробування на тривалу міцність, фазовий, карбідний аналіз. Металографічний аналіз при неруйнівному контролі використовують віброакустичний, ультразвуковий, електромагнітний, електроіндуктивний, рентгенівський, тензометричний та інші методи діагностики.

Всі вони призначені для дослідження одного виду деформації, в той час як в реальних умовах експлуатації конструкцій на матеріал впливають сили навантаження, які проявляються в комбінованих умовах деформації.

Безаварійна експлуатація металевих конструкцій залежить від якості моніторингу їх технічного стану і реалізації фізичних методів діагностики. Аналіз запобігання аварій на небезпечних виробничих об'єктах полягає в систематичному використанні всієї доступної інформації для ідентифікації небезпек і небажаних подій.

Серед неруйнівних способів технічної діагностики особливе місце відводиться акустичним методам і зокрема методам акустичної емісії. Важливою перевагою акустичної діагностики є можливість виявлення дефектів на дуже ранній стадії. Акустико емісійний метод технічної діагностики в даний час є найбільш перспективним методом моніторингу стану матеріалу деталей і вузлів устаткування.

Недоліками існуючих комплексів діагностики валопроводов є необхідність зупинки обладнання для проведення діагностичних робіт, необхідність врахування великої кількості різноманітних показників, обмеження в часі і в просторі, необхідність сканування і підготовки поверхні для контролю.

Для діагностування елементів валової лінії з використанням методу акустичної емісії було запропоновано проводити синхронні вимірювання на вигин і розтягнення, це надає можливість виконувати діагностику без демонтажу конструкції забезпечує можливість фіксації накопичення пошкоджень, бути для оцінки залишкового ресурсу безпечною в експлуатації.

Завдання визначення залишкового ресурсу передбачають спостереження за зміною механічних властивостей матеріалів при накопиченні пошкоджень. Залишковий ресурс обладнання - сумарне напруження обладнання від моменту проведення контролю до переходу в граничний стан.

Найважливішою характеристикою конструкцій, що експлуатуються в умовах складних деформаційних впливів, є її несуча здатність, під якою розуміється сукупність деформацій, які призводять конструкцію до руйнування. При багатопараметричній навантаженні для визначення запасу міцності слід враховувати як змінюються деформації при зміні параметрів навантаження щодо граничного стану.

Умовою міцності є не вихід траєкторії навантаження за межі області працездатного стану. Такі ж залежності можуть бути отримані з заміною механічних випробувань на вигин і розтягнення результатами вимірювань, отриманими акустичними методами.

Використання уявлень і моделей механіки руйнування при створенні методик і критеріїв оцінки результатів акустико-емісійного діагностування та моніторингу дозволяє отримати важливу інформацію про технічний стан об'єктів. З'являється можливість кількісно оцінити можливість руйнування і відповідні збитки, які є ключовими параметрами ризиків безпеки.

Умовою міцності є не вихід траєкторії навантаження за межі області працездатного стану (рис.1).

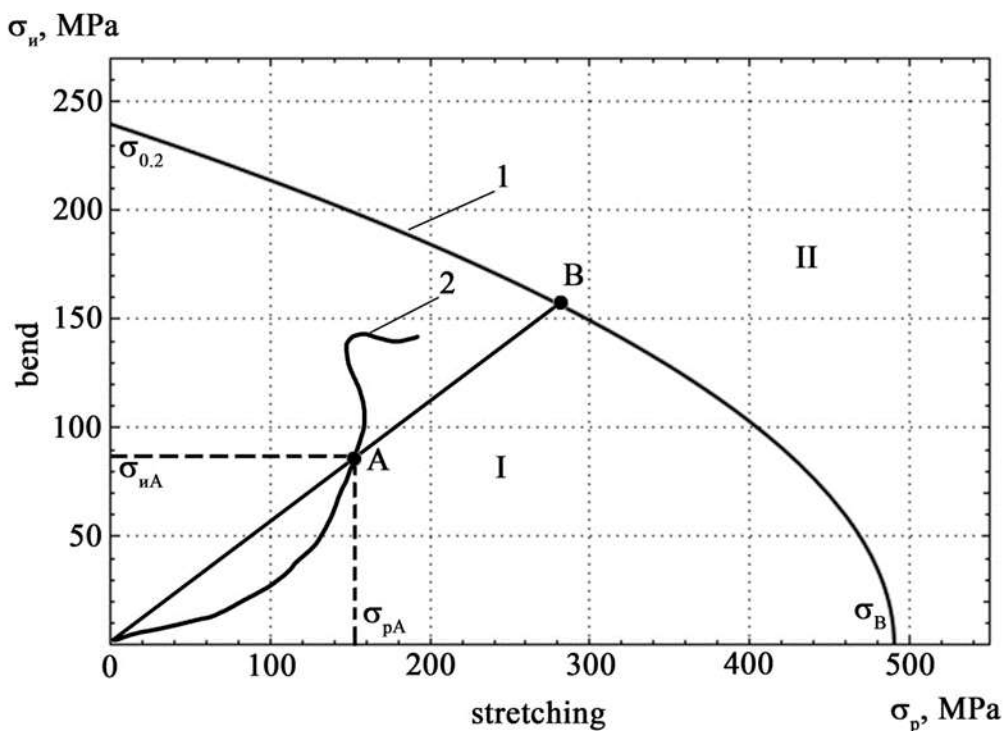
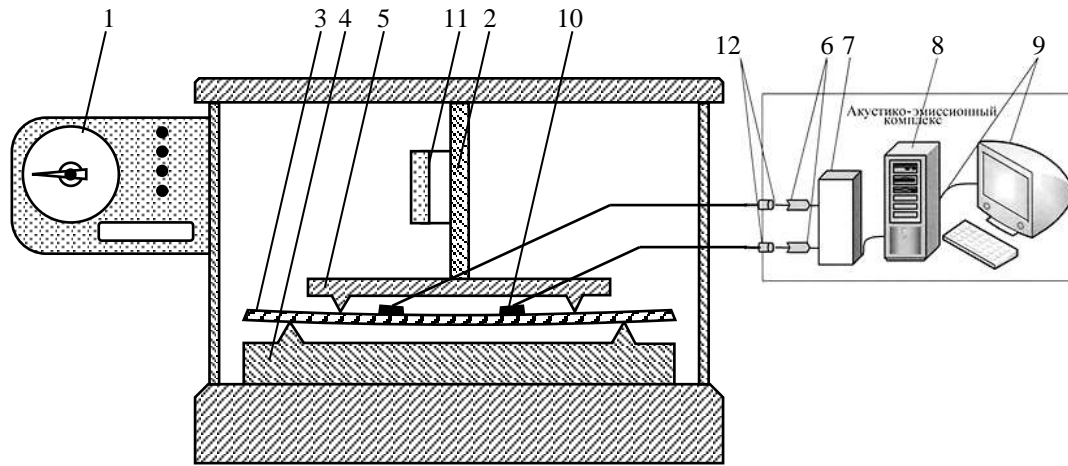


Рисунок 1 – Графічна інтерпретація запасу міцності в координатах механічної напруги: 1 - гранична крива 2 - траєкторія навантаження

Такі ж залежності можуть бути отримані з заміною механічних випробувань на вигин і розтягнення результатами вимірювань, отриманими акустичними методами. Для здійснення такого контролю необхідно знати кореляційні зв'язки між механічними і деформаційними характеристиками металів і параметрами АЕ в різних умовах випробувань.

Якщо для побудови кривої визначення запасу міцності акустичними методами можуть бути використані вимірювання отримані на розривних машинах, то для того щоб виконувати необхідні акустичні вимірювання параметрів міцності при випробуваннях на вигин було

необхідно створення відповідної експериментальної установки. Оскільки серійні апаратури для проведення акустично вимірювань міцності властивостей матеріалів без руйнувань немає, була зібрана установка, принципова схема якої представлено на рис.2.



- | | |
|----------------------------|---|
| 1. механізм силувимірювача | 7. аналого-цифровий перетворювач |
| 2. механізм деформування | 8. блок накопичення та обробки інформації |
| 3. контрольований зразок | 9. реєструючий пристрій |
| 4. опора | 10. п'єзоелектричний датчик |

Рисунок 2 – Схема установки для випробувань на чотириточковий вигин

Запропонована модель визначення залишкового ресурсу металевих зразків в умовах комбінованої деформації за даними акустико-емісійних вимірювань на відміну від відомих аналогів дозволяє отримати деформаційні і міцнісні характеристики матеріалів конструкції незалежно від форми і виду навантаження з урахуванням сумарного дії напружено-деформованого стану аж до моменту руйнування без спрощують гіпотез силового і кінематичного характеру.

Висока інформативність і точність отримання деформаційних і міцнісних характеристик матеріалів за результатами АЕ вимірювань дозволяє підвищити рівень вірогідності стану і ресурсних параметрів матеріалу елементів конструкції при експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Louda P, Sharko A, Stepanchikov D. An Acoustic Emission Method for Assessing the Degree of Degradation of Mechanical Properties and Residual Life of Metal Structures under Complex Dynamic Deformation Stresses. *Materials*. 2021; 14(9):2090. DOI: 10.3390/ma14092090
2. Алексенко В.Л. Идентификация структурных особенностей механизмов деформирования при изгибе методом акустической эмиссии / В.Л. Алексенко, А.А. Шарко, А.В. Шарко, Д.М. Степанчиков, К.Ю. Юренин // *Техн. диагностика и неразруш. контроль* – 2019. – №1. – С. 32-39. DOI: 10.15407/tdnk2019.01.04

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДЕГАЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ТАНКІВ НАФТОГАЗОВОЗІВ

Сагін С.В., Матейко О.В.

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Ефективність експлуатації танкерів визначається двома основними напрямками:

- 1) якістю проведення транспортних операцій під час виконання рейсу;
- 2) технологічними схемами і виробничими операціями, які використовуються під час підготовки судна до прийому нового вантажу [1, 2].

Перший напрямок визначається якістю управління судном і, зокрема його технічним менеджментом. Другий напрямок визначається виробничими процесами, які використовуються при проведенні вантажно-розвантажувальних операцій. У другому напрямку особливе значення має якість експлуатації системи інертних газів танкера. Її головне призначення полягає в реалізації комплексу заходів, які забезпечують створення атмосфери, безпечної з точки зору виникнення вибухів або пожеж всередині трюму. Скорочення часу роботи системи інертизації трюмів танкеру безпосередньо визначає вартісні показники його роботи. Ця система повинна підтримувати в будь-якій частині вантажного трюму атмосферу із вмістом кисню не більше 8% за обсягом і надлишковий тиск на 20% більше атмосферного. При цих параметрах буде забезпечуватися протидія надходженню зовнішнього атмосферного повітря (надлишкової концентрації кисню) в середину трюму [3-5].

Актуальність досліджень. Аналіз конструктивних розмірів вантажних трюмів на танкерах показує, що вони не є універсальними. При переході від судна до судна вони завжди між собою різняться. Саме з цієї причини у всіх нормативних документах відсутня універсальна вимога до об'ємної продуктивності системи інертних газів на танкерах. У світовій практиці експлуатації танкерів існує одне універсальне правило, яке формулюється наступним чином: об'ємна витрата інертних газів, що виробляються на танкері повинна становити в кількісному вираженні величину, яка дорівнює 125% від величини об'ємної витрати судового нагнітального устаткування яке використовується при розвантаженні судна на режимі максимальної продуктивності [6, 7]. В ході досвіду експлуатації танкерів встановлено, що така величина об'ємної витрати інертних газів дозволяє заповнювати вантажні трюми з урахуванням запасу на процес часткового вивітрювання з трюмів деякого їх обсягу [8].

Постановка завдання. З урахуванням вищевикладеного була сформульована основна мета наукового дослідження – розробити математичну модель, на підставі якої можливо отримати чисельні діапазони зміни основних чисельних характеристик процесу інертизації вантажних трюмів танкера.

Результати досліджень. Основними технічними вузлами в системах інертних газів танкерів виступають: генератор інертних газів, який являє собою окремий вузол спалювання мазутного палива з метою отримання інертних газів; скруббер, який призначений для зниження температури інертних газів в ході процесу теплообміну з охолоджувальною водою; лінія подачі інертних газів у вигляді складного магістрального трубопроводу з відгалуженнями; гідравлічний акумулятор для запобігання зворотного руху інертних газів від вантажних трюмів в сторону генератора інертних газів або передачі в цьому напрямку стрибків тиску; автоматизована гідравлічна арматура трюмів; засоби контрольновиміральної апаратури (термометри, манометри, вакуумметри, витратоміри, датчики і т.і.) [9]. При роботі генератора інертних газів в ході згоряння палива практично завжди основними хімічними компонентами, що складають на виході обсяг димових газів є: вуглекислий газ CO_2 з об'ємним вмістом від 1 до 10 %; оксид вуглецю CO з об'ємним вмістом від 0,01 до 5 %; вода H_2O з об'ємним вмістом

пари від 0,5 до 4 %; діоксид азоту NO_2 і оксид азоту NO з об'ємним вмістом газів від 76 до 78 %; кисень O_2 з об'ємним вмістом від 2 до 18 %; неканцерогенні з'єднання вуглеводнів CH з об'ємним вмістом від 0,009 до 0,5 %; альдегіди з об'ємним вмістом від 0,001 до 0,009 %; оксид сірки SO_2 з об'ємним вмістом від 0,001 до 0,03 %; сажа з об'ємним вмістом від 0,01 до 1,1 г/м^3 ; бензопірен з об'ємним вмістом до 0,01 г/м^3 [10, 11].

Висновки. Під час визначення густини інертних газів в більшості випадків можна вважати, що даний обсяг інертних газів складається з чотирьох базових компонент - CO_2 , H_2O , NO_2 , O_2 . У більш загальному випадку щільність інертних газів можна розрахувати, як множення їх густини при нормальних умовах (0°C і 0,1 МПа) на температурну поправку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Малахов А.В., Колегаев М.А., Бражник И.Д. Совершенствование эксплуатационных показателей системы инертных газов на танкерах. Вісник ХНТУ. № 2(65), 2018 р. с. 27-34.
2. Kuropyatnyk O. A. Selection of optimal operating modes of exhaust gas recirculation system for marine low-speed diesel engines // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 203-211. DOI: 10.34660/INF.2020.4.52992.
3. Zablotsky Yu. V., Sagin S. V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.
4. Sagin S. V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.
5. Сагин С. В., Заблоцкий Ю. В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблемы техники : наук.-виробн. журнал. – 2012. – № 4. – Одесса : ОНМУ. – С. 68-81.
6. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.
7. Сагин С. В., Заблоцкий Ю. В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблемы техники : наук.-виробн. журнал. – 2012. – № 4. – Одесса : ОНМУ. – С. 68-81.
8. Сагин С. В. Исследование корреляционной взаимосвязи жидкокристаллических свойств граничных смазочных слоев и реологических характеристик моторных масел судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. – № 33. – Одесса : ОНМА. – С. 67-76.
9. Sagin S. V., Semenov O. V. Marine Slow-Speed Diesel Engine Diagnosis with View to Cylinder Oil Specification // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol.13. – Iss. 5. – P. 618-627. DOI: 10.3844/ajassp.2016.618.627.
10. Zablotsky Yu. V., Sagin S. V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 20. – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.
11. Zablotsky Yu. V., Sagin S. V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАЩЕННЯ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ПІД ЧАС ГРАНИЧНИХ РЕЖИМІВ ТЕРТЯ

Сагін С.В., Кривий М.О.

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Під час перехідних процесів в роботі суднових дизелів, як-то пуск, зупинка, зміна швидкісних режимів, виникають критичні режими в роботі пар ковзання. Ці режими суттєво змінюють фізико-хімічні характеристики мастил та спричиняють додаткові напруження в зоні контакту елементів пари ковзання, що призводить до передчасного зношування та руйнування вузлів суднових дизелів. Практично у всій технічній літературі поведінку мастила, яке знаходиться в зоні тертя, розглядається з позиції гідродинамічної теорії змащування, яка враховує тільки об'ємну в'язкість. Крім того, молекулярну взаємодію мастил з поверхнею тертя. Але, навіть при великій товщині мастильного шару і малих швидкостях, змащувальна дія залежить не тільки від об'ємних механічних властивостей мастила, але і від її молекулярної взаємодії з поверхнями тертя в робочій зоні. В даній роботі враховувати трибологічні властивості мастил в граничному шарі. Однією із основних пар ковзання суднових дизелів є пара: поршневе кільце – втулка циліндра [1, 2].

Під час розгляду пари ковзання поршневе кільце-втулка циліндра в якості механічної сили на молекули мастила діють нормальні сили, якими притискається поршень до стінки циліндра. При цьому величина нормальних напружень буде суттєво залежати від товщини мастильного шару, властивості якого також змінюються під дією сил і температури. На рис. 1 подана типологічна модель роботи пари ковзання циліндрова втулка-мастильний прошарок-поршневе кільце [3].

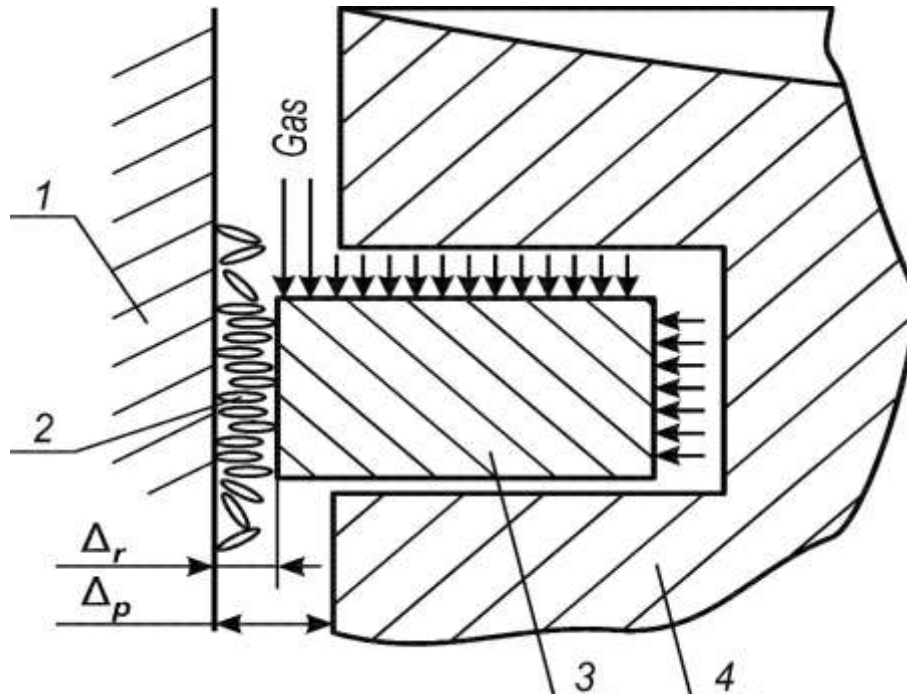


Рисунок 1. Модель трибологічної системи циліндрова втулка - мастильний матеріал - поршневе кільце: 1 – втулка циліндра; 2 – мастильний матеріал; 3 – кільце; 4 – поршень

В тих місцях, де мастильний матеріал розділяє поверхні поршня і втулки, спостерігається гідродинамічний режим змащування. При цьому режим тертя і змащування пари поршневе кільце - циліндрова втулка змінюється на граничний. Це пов'язано з тепловим

розширенням кільця (завдяки наявності «кільцевого» замку), а також з виконанням кільцем компресійного дії, коли на верхню і внутрішню частину кільця діють гази, а зовнішня поверхня кільця притискається до поверхні циліндрової втулки. В цьому випадку зазори Δ_p і Δ_r в парах тертя відповідно поршень - втулка і кільце - втулка відрізняються і відповідають різним режимам змащення. Відомо, що характеристики тонких мастильних шарів, що утворюються в умовах граничного тертя, залежать не тільки від структурного стану мастила, але і від дії твердої підкладки, поблизу якої вони знаходяться. Утворення поблизу твердої поверхні (особливо металевої) структурованих рідкокристалічних шарів з анізотропною формою молекул призводить до помітної відмінності фізичних властивостей тонких прошарків рідини від їх властивостей в «об'ємній» фазі. Помітна структурна неоднорідність граничних мастильних шарів, визначаючи не ньютонівський характер в'язкої течії, значним чином впливає на дисипативні властивості мастильного матеріалу, особливо в трибо-сполученнях, що працюють в режимі граничного і змішаного тертя. Одним з параметрів, величина якого має різне значення для випадків об'ємної рідини і граничного шару, є в'язкість [4, 5].

З метою підтвердження цього ефекту зроблено моделювання процесів тертя, які відбуваються при змащенні циліндро-поршневої групи судового дизеля 7S65ME-C7 фірми MAN-B&W.

Мастило, що знаходиться в зазорі пари тертя поршневі кільця - втулка циліндра, піддається напрузі зсуву. При цьому швидкість зсуву γ' можливо розрахувати, знаючи лінійну швидкість переміщення поршня і геометричні розміри поршневого кільця:

$$\gamma' = \frac{v_m}{h_r},$$

де v_m – середня швидкість поршня, м/с, яка, в свою чергу, визначається як

$$v_m = \frac{Sn}{30},$$

де S – хід поршня, м;

n – частота обертання колінчастого валу, об⁻¹;

h_r – висота поршневого кільця, м.

Стратифікація в'язкості по ширині мастильного шару підтверджує рідкокристалічну структуру граничного шару моторного мастила в вузькому зазорі між поршневим кільцем і втулкою циліндра. У діапазоні швидкостей зсуву $\gamma'=0...400 \text{ с}^{-1}$ (що відповідають основним експлуатаційним режимам роботи судових мало-обертових дизелів), стратифікація в'язкості різних моторних мастил становить (0,9...1,12) значення об'ємної в'язкості ν_{vol} .

Найбільша ефективність дії поверхневих сил спостерігається в безпосередній близькості до поверхонь поршневих кілець і втулки. При віддаленні від складових пар ковзання дія поверхневих сил спадає, але при деяких умовах (спеціальний матеріал пар тертя, хімічний склад використовуваного мастила і спеціальних добавок) можливе збільшення їх радіуса дії [6].

Звідси випливає висновок, що товщина мастильного прошарку, що відповідає граничному тертю, залежить від глибини, на яку поширюється в рідині молекулярна дія твердої поверхні.

Цей факт необхідно враховувати при виборі сорту мастила для змащування циліндро - поршневої групи, а також при визначенні бракувальних показників мастила, тому що і в тому і в іншому випадку визначається значення в'язкості для великого об'єму рідини, а експлуатація

циліндро-поршневої групи відбувається при значеннях в'язкості, характерних для граничного шару.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сагін С. В., Кривий М. О. Визначення розподілу тиску в шарі неньютонівських мастил у судових енергетичних установках/Вісн. Вісник Одеського національного морського університету : Зб. Наук. праць, 2020. – № 2(62). – С. 160-170. DOI 10.47049/2226-1893-2020-1-160-170
2. Кривий М. О. Сагін С.В. Математична модель мастильного шару в парах ковзання в судових енергетичних установках /Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» 05.11.2019 –06.11-2019 р. Одеса, НУ «ОМА». – С. 144-148. dx.doi.org/10.31653/2706-7874.
3. Кривой М. А. Исследование явления стратификации вязкости моторного масла в узлах трения судовых дизелей / Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті : Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції MINTT-2018, 29-31 травня 2018 р. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2018. – С. 321-324.
4. Кривий М.О. Особливості реології моторних мастил при забезпеченні режимів змащення пар тертя судових мало-обертових дизелів //Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса : НУ «ОМА», 2017. – С. 31-34.
5. Кривой М. А. Обеспечение режимов смазывания подшипниковых узлов малооборотных дизелей при режимах пуска и реверса / М. А. Кривой // Суднова енергетика: стан та проблеми : Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв : Національний університет кораблебудування, 2017. – С. 74-78.
6. Sagin S. V., Semenov O. V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors /American Journal of Applied Sciences, Published by Science Publication, 2016. – Vol.13. – Iss. 2. – P. 200-208. DOI: 10.3844/ajassp.2016.200.208.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ ВАЖКИХ ПАЛИВ

Сагін С.В., Руснак Д.Ю.

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. На сьогоднішній день одними з найвідоміших методів удосконалення є гомогенізація палива та ультразвукова обробка. Малов'язке паливо очищується з більшою ефективністю ніж високов'язкі. Під час процесу сепарації палив в'язкістю 50...100 сСт зменшується на 70...80%, з в'язкістю 180 ... 380 сСт - на 50...60%, з в'язкістю понад 380 сСт - на 20...40%. Сепарація допомагає зменшити відсоток води в малов'язке паливі після обробки до майже 100%, в середньов'язких - на 95 ... 100%, в високов'язких - на 75...85%.

Актуальність досліджень. В наш час дійсно актуальним питанням є обробка палив з високим вмістом сірки. Відомі методи очищення відстій, сепарація, фільтрація частково зменшують знос деталей циліндрової групи, але все рівно не можна виключити у повній мірі ефект високотемпературної сірчаної корозії [1, 2]. Саме тому інженери з усього світу намагаються знайти вирішення цієї проблеми та шукають шляхи вдосконалення обробки палива [3-5].

Постановка задачі. Завданням дослідження біло визначення шляхів поліпшення експлуатаційних показників важких палив.

Результати досліджень. Під час процесу очищення від механічних домішок і води супроводжуються втратами горючої частини палива, в основному важких її компонентів (асфальтенів і смол). Втрати можуть досягати 2...3%, знижуючи пропорційно теплотворну здатність палив і це є досить вагомим недоліком сепарації. Внаслідок того, що сепарація середньо і високов'язких палив відбувається при температурі палива приблизно до 80...90°C, цей метод підготовки супроводжується досить сильним посиленням процесів окислення, що в свою чергу підвищує зміст смолистих речовин. Крім втрат теплотворної здатності палива і посилення окислювальних процесів, істотним недоліком сепарації є його мала ефективність зі зміни дисперсності механічних домішок (карбонів, карбоїдів і частинок неорганічного походження) що містяться в паливі. При зменшенні загальної кількості частинок механічних домішок відносна щільність розподілу залишилися в паливі частинок менших розмірів практично не змінюється. Тобто можна казати про те, що сепарація тільки знижує ймовірність відмов у роботі вузлів двигуна (перш за все паливної апаратури), але не виключає їх повністю [6].

На морському транспорті застосовується перспективний гідродинамічний метод паливопідготовки - гомогенізація. Розроблено дослідні зразки поршневіх гомогенізаторів палива, проведені експлуатаційні випробування систем паливопідготовки. Однак треба вказати на досить вагомий недолік, а саме: значну масу і габарити, складне конструктивне виконання, малу продуктивність. Широкомасштабне використання комплексної системи паливопідготовки із застосуванням гомогенізаторів в нас не розвивається через відсутність вітчизняних суднових гомогенізаторів палива, а гомогенізатори іноземних виробників мають велику вартість. Серйозною перешкодою для застосування гомогенізаторів на судах є слабка розробка теоретичних питань гомогенізації.

Найбільша ефективність процесу гомогенізації і менша металоємність отримані від розроблених гомогенізаторів із застосуванням шестеренних насосів високого тиску. Проведено судові експлуатаційні випробування розробленого типорозмірного гомогенізатора з подачею насоса від 1 м³/год до 8 м³/год, перевірена можливість підготовки гомогенізатором водо-паливних емульсій для спалювання їх у допоміжних котлах.

Гомогенізація палива полягає в гідродинамічному збудженні паливної середовища, в результаті якого в середовищі виникають кавітаційні зони. Закриття кавітаційних каверн супроводжується локальними гідравлічними ударами високої потужності, що руйнують не тільки желеподібні згущення, але і тверді агломерати. В результаті паливо стає гомогенним, смоли рівномірно розподіляються в паливній середовищі, тверді частинки звільняються від «смолистої шуби» [7].

Таке паливо сепарується і фільтрується з мінімальними втратами горючої частини. Гомогенізоване паливо має підвищену абразивність, в зв'язку з чим його необхідно пропускати через фільтр тонкої очистки.

У практиці знаходять застосування гомогенізатори наступних типів: гідродинамічний, вібротехнічний, ультразвуковий та ін.

Спосіб ультразвукового очищення палива методом кавітації. Ефект кавітації супроводжується мікробухами, ультразвуком, а також механічними зрізами і зіткненнями при впливі сотень ріжучих пар, що рухаються назустріч один одному з високою лінійною швидкістю. Швидкість доходить інколи до десятків метрів в секунду, саме тому диспергуємі речовини розрізаються на найдрібніші мікрочастинки. Під час запуску ультразвукової установки ультразвукові хвилі навіть порівняно невеликої інтенсивності (всього кілька ват на квадратний сантиметр) в паливі, як і в будь-якій рідині, виникає змінний звуковий тиск, амплітуда якого не перевищує 1 МПа. Коли утворюється тиск, тоді паливо під його дією поперемінно відчуває стиснення і розтягнення. Взагалі, оскільки паливо є нестисливою рідиною, то воно практично не змінює своїх властивостей при збільшенні тиску. Однак, в разі створення розрядження всередині палива або навіть на його поверхні, його агрегатний стан змінюється, зокрема можлива поява газоутворення в його обсязі. Під час використання ультразвуку, ультразвукові хвилі які знаходяться в паливі розтягують зусилля в області розрідження хвилі приводять до утворення в ньому розривів, а саме найдрібніших кавітаційних бульбашок, які заповнені газом і паром. Це процес сприяє виникненню ультразвукової кавітації палива. Бульбашки кавітацій в деякій області палива виникають в той момент, коли до цієї області доходить фаза розрідження ультразвукової хвилі. Як правило, кавітаційні бульбашки не стійкі в часі: вже наступна за розрідженням фаза стиснення призводить до закриття більшої їх частини. Тому кавітаційні бульбашки зникають практично відразу слідом за припиненням опромінення рідини ультразвуком [5, 8].

Обробку палива за допомогою ультразвукового випромінювання можливо виконувати на установці, схема якої надана на рис.1.

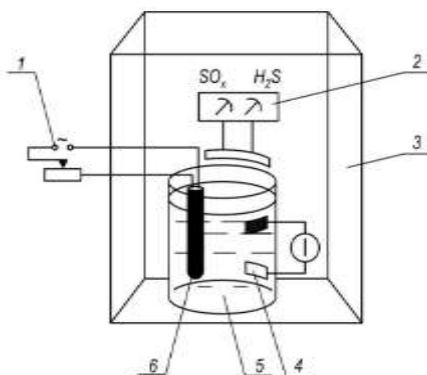


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки для визначення структурної зміни палива при ультразвуковій обробці: 1 – ультразвуковий генератор; 2 – портативний газоаналізатор Dräger X-am 2000 (Німеччина); 3 – автономна хімічна шафа; 4 – температурний датчик; 5 – скляна ємність з досліджуванним паливом; 6 – магнітострикційний випромінювач ультразвукової установки

Висновок. Аналіз показує, що обидва методи обробки дають свої результати та зменшують знос, покращують екологічну складову використання високо сірчаних палив.

Зменшують вплив сірчаної корозії на деталі циліндропоршнєвої групи. Додаткова обробка палива є доцільною та дає досить гарний результат, але використання обох установок є досить коштовним способом обробки. Тому не кожен судновласник може використати данні установки на своєму судні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Солодовніков В. Г. Використання в судових дизелях палив різного фракційного і структурного складу / В. Г. Солодовніков // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. - 2014. - № 33. - Одеса: ОНМА. - С. 110-117.
2. Марков В.А. Вязкостные характеристики многокомпонентных смесевых биотоплив на основе растительных масел / В.А. Марков, С.Н. Девянин, С.А. Зыков, Бовэнь Са // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 6. – С. 33-49.
3. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.
4. Zablotsky Yu. V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives / Yu. V. Zablotsky, S. V. Sagin // Indian Journal of Science and Technology, Published by Indian Society of Education and Environment. – December 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: [10.17485/ijst/2016/v9i46/107516](https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i46/107516).
5. Солодовніков В.Г. Використання палив з підвищеним вмістом сірки при експлуатації судових середньооборотних дизелів / В.Г. Солодовніков // Проблеми техніки: науково-виробничий журнал. – 2014. – № 2. – С. 65-71.
6. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: [10.17485/ijst/2016/v9i46/107516](https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i46/107516).
7. Сагин С.В. Реология моторных масел при режимах пуска и реверса судовых малооборотных дизелей // Universum: Технические науки. – 2018. – Вып. 3(48). – С. 67-71.
8. Sagin S. V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors / S. V. Sagin, O. V. Semenov // American Journal of Applied Sciences, Published by Science Publication, 2016. – Vol.13. – Iss. 2. – P. 200-208. DOI: [10.3844/ajassp.2016.200.208](https://doi.org/10.3844/ajassp.2016.200.208).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ДИЗЕЛЯХ

Сагин С.В., Мадей В.В.

Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

Введение. Основным источником энергии тепловых двигателей (газовых турбин, котлов, дизелей) является топливо нефтяного происхождения [1, 2]. По данным транснациональной компании British Petroleum за 2020 год, доказанные мировые запасы нефти оцениваются в 244,6 миллиардов тонн. Учитывая ежегодные объемы потребления топлива, подобных запасов мировой энергетики хватит на 40...45 ближайших лет. Это, а также современные экологические требования к тепловым двигателям, вынуждают развивать альтернативную энергетику и разрабатывать альтернативные топлива [3, 4].

Актуальность исследования. Топлива для морских дизелей традиционно разделяют на тяжелые и легкие. К первой категории относятся топлива, вязкость которых при 50°C превышает 50 сСт (в современных дизелях используются топлива с вязкостью до 500...700 сСт). Легкие топлива характеризуются вязкостью 2...40 сСт. В состав тяжелого топлива (по сравнению с легким) входит повышенное содержание серы (до 0,5%) и азота (до 1,0%). При их сгорания образуются токсичные компоненты – оксиды серы SO_x и азота NO_x , которые отрицательно влияют на экологию и человека. Именно поэтому к специфическим задачам эксплуатации судовых энергетических установок относятся предотвращение образования и нейтрализация экологически опасных веществ, которые образуются при использовании нефтяных дизельных топлив. В связи с этим в последнее время большое внимание уделяется снижению в продуктах сгорания вредных веществ, особенно оксидов азота NO_x . С целью снижения концентрации этих веществ, используют различные методы и технологии: впрыска воды в воздушный и выпускной коллектор и непосредственно в цилиндр дизеля; рециркуляция выпускных газов, использование альтернативного топлива – дешевого, калорийного и экологически чистого [5, 6].

Интенсивные исследования возможности применения альтернативных топлив ведутся в течение последних десятилетий. При этом лучшим считается частичное замещение традиционных видов моторного топлива синтетическими жидкими углеводородами, которые получают из природного газа, а также биодизельными топливами, которые получают из растительных масел [7].

Постановка задачи. Задачей исследований было определение влияния альтернативного топлива на экономические и экологические показатели дизеля.

Результаты исследований. Судовой дизель при генерации механической энергии за счет окисления топлива воздухом, в процессе кругового рабочего цикла осуществляет непрерывный тепло- массообмен с окружающей атмосферой. Он забирает воздух и потребляет топливо, затем выбрасывает выпускные газы, состоящие из части воздуха и продуктов окисления топлива. Таким образом, воздух, поступающий в цилиндр дизеля, оказывает определенное термодинамический цикл, испытывая при этом химические изменения, в результате чего превращается в выпускные газы – сложную газовую смесь с множеством компонентов. Четыре компонента N_2 , O_2 , CO_2 и H_2O составляют более 99...99,9% объема газа, остальные 0,1...1,0% объема выпускных газов составляют примеси, которые не представляют интереса с технической точки зрения, но есть вредными для окружающей среды, живой природы и человека. Таким образом, растущее загрязнение атмосферы транспортными выбросами – одна из наиболее важных и сложных проблем современности. Особое внимание при этом уделяется судам речного и морского транспорта, вредные выбросы которых играют

значительную роль, как в глобальной проблеме, так и в региональном и локальном загрязнении воздушного бассейна. Постоянный рост количества речных и морских судов и мощности их двигателей приводит к увеличению объема сжигаемого ими топлива, а следовательно, к большим выбросам токсичных компонентов с выпускными газами. Одним из способов снижения вредных выбросов в атмосферу является использование альтернативных сортов топлив.

Использование альтернативных сортов топлив для судовых дизелей повышенной мощности (с диаметром цилиндра свыше 0,4...0,42 м и номинальной мощностью более 5000 кВт ограничено в связи с тем, что при этом происходит:

неконтролируемое ухудшение экологических показателей (из-за колебаний отношения топливо-воздух);

уменьшение крутящего момента (из-за падения максимального давления цикла);

снижение эффективной мощности на номинальной нагрузке (из-за изменения периода подачи топлива) [8].

Судовые двигатели внутреннего сгорания средней и малой мощности (с диаметром цилиндра до 0,32...0,36 м и номинальной мощностью, не превышающей 3000 кВт) используются в качестве вспомогательных двигателей (передающих мощность на электрический генератор). Подобные двигатели устанавливаются на судах в количестве 2...4, имеют каждый свою топливную систему, поэтому позволяют использовать для обеспечения рабочего цикла топлива с различными характеристиками (в том числе альтернативные) [9].

Как правило, эксплуатация дизелей исключительно на альтернативных топливах не производится. Данные топлива имеют меньшую вязкость, а их пониженная теплотворная способность не позволяет получить необходимую для перемещения поршня и вращения вала энергию. Поэтому в судовой энергетике используется смеси традиционного и альтернативного топлива. Наиболее простой способ добавления альтернативного топлива к традиционному – непосредственно в судовой топливной системе, перед подачей топливной смеси в цилиндр дизеля. Концентрация альтернативного топлива в топливной смеси составляет 5...30%.

Исследования выполнялись на судовых среднеоборотных дизелях 6DL16 Daihatsu Diesel со следующими основными характеристиками: диаметр цилиндра – 0,16 м; ход поршня – 0,21 м; частота вращения коленчатого вала – 1200 об/мин; номинальная мощность – 530 кВт; количество цилиндров – 6.

Три подобных дизеля входили в состав энергетической установки специализированного морского судна дедвейтом 12640 тонн. Принципиальная схема топливной системы дизелей показана на рис. 1.

Контур подачи топлива к первому дизелю не изменялся, и дизель эксплуатировался на топливе ДМВ (с вязкостью 6...7,5 сСт и содержанием серы 0,07...0,1%). Вязкость топлива позволяет добавлять в него биодизельное топливо (с вязкостью 5...6,5 сСт и содержанием серы 0,005%). Содержание биодизельного топлива в топливной смеси изменялось в интервале 5...30%. Топливная смесь подавалась к дизелям 2 и 3. Для обеспечения дозировки биодизельного топлива в топливной смеси, в контур дизелей 2 и 3 дополнительно устанавливались расходомер и дозатор (позиции 3 и 4 на рис. 1) [10].

Основными величинами, которые измерялись при эксперименте, были удельный эффективный расход топлива и концентрация оксидов азота в выпускных газах. Нагрузка на дизели при проведении экспериментов изменялась в интервале 25...85% от номинального значения.

В результате исследований было установлено следующее. Топливная смесь, в состав которой входит 5...20 % биодизельного топлива, обеспечивает снижение концентрации оксидов азота в выпускных газах на 5,8...32,6 %, при этом удельный расход топлива увеличивается на 0,8...2,6 %. Проведение дальнейших исследований позволит установить

оптимальную концентрацию биодизельного топлива в топливной смеси для различных эксплуатационных режимов работы дизеля.

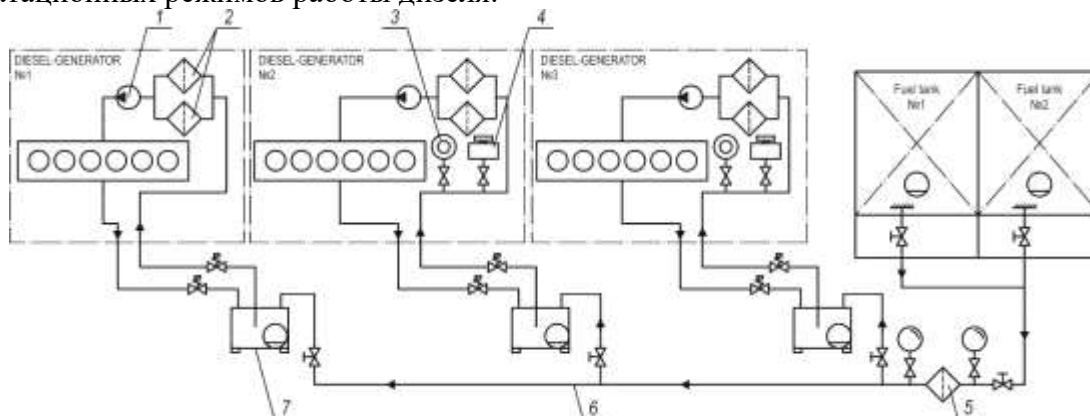


Рисунок 1 – Принципиальная схема топливной системы судовых дизелей 6DL16 Daihatsu Diesel: 1 – топливный насос; 2 – топливный фильтр тонкой очистки; 3 – расходомер; 4 – дозатор; 5 – топливный фильтр грубой очистки; 6 – магистраль подачи топлива; 7 – цистерна возврата топлива

ЛИТЕРАТУРА

1. Sagin S.V., Kuropyatnik A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // American Scientific Journal. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67-71.

2. Сагин С.В. Оптимизация расхода высокощелочного цилиндрического масла судовых малооборотных дизелей // Universum: Технические науки : электрон. научн. журн. – 2016. – № 7 (28) . URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3385>.

3. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.

4. Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Са Бовэнь. Вязкостные характеристики многокомпонентных смесевых биотоплив на основе растительных масел // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 6. – С. 33-49.

5. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

6. Сагин С.В. Реология моторных масел при режимах пуска и реверса судовых малооборотных дизелей // Universum: Технические науки. – 2018. – Вып. 3(48). – С. 67-71.

7. Марков В.А., Нагорнов С.А., Романцова С.В., Неверова В.В., Са Бовэнь. Метилвый эфир рапсового масла как дизельное топливо // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 6(60). – С. 17-30.

8. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-142.

9. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // Проблемы техники : наук.-виробн. журнал, 2011. – № 3. – Одесса : ОНМУ. – С. 78-88.

10. Заблоцкий Ю.В. Использование регулярного микрорельефа для оптимизации работы топливной аппаратуры высокого давления судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2015. – № 36. – Одесса: НУ ОМА. – С. 65-73.

ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ВИСОКОГО ТИСКУ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Сагін А.С., Заблоцький Ю.В.

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Важливість розв'язання завдання щодо забезпечення екологічних та енергетичних показників суднових енергетичних установок визначається перш за все вимогами Annex VI MARPOL та резолюціями International Marine Organization МЕРС.203 (62) і МЕРС.259 (68) для нових правил енергетичної ефективності судна. Ці документи регламентують допустимі сорти палива і зміст в них сірки. Судно відповідає екологічним вимогам у тому випадку, якщо на ньому встановлена скрубберна система очищення випускних газів або використовується паливо з вмістом сірки не вище 0,5% (для особливих районів - не вище 0,1%). Важке паливо залишається основним енергоносієм, яке використовується на судах морського флоту. Існує два основних типи зменшення вмісту сірки в паливі: хімічний та технологічний. У першому, кількість сірки зменшується за допомогою спеціальних хімічних добавок. У другому (технологічному), існує кілька складних методів по зменшенню сірки в паливі, наприклад, заснованих на використанні ультразвукових та електричних полів, а також гідродинамічної обробки. Все це ускладнює процес переробки сирової нафти у паливо та істотно збільшує витрати на його виробництво і подальшу експлуатацію [1].

Актуальність досліджень. Щоб судно відповідало сучасним вимогам, на ньому повинна бути встановлена система очищення вихлопних газів типу скруббер (яка буде знижувати викиди з забезпеченням вимог МЕРС.259 (68) від 15.05.2015), або передбачено використання низькосірчистого палива з вмістом сірки не вище 0,5% поза районів контролю за викидами і використання палива 0,1% в районах контролю викидів сірки. Відповідно до Annex VI MARPOL відбувається планомірне посилення вимог до вмісту SO_x в випускних газах суднових енергетичних установок (СЕУ). Найбільш жорсткі вимоги визначені для районів контролю шкідливих викидів SECA, до яких сьогодні відносяться: Балтійське і Північне моря, прибережні води США і Канади, Середземне море, узбережжя Японії і ряд інших акваторій [2].

Постановка задачі. З огляду на той факт, що якість палива, яке є основним на морському транспорті погіршується, а циліндрична потужність суднових дизелів неухильного зростає, доводиться збільшувати циклові подачі палива, за рахунок пропорційного збільшення тиску уприскування палива і швидкості руху плунжера паливного насоса високого тиску (ПНВТ). Ці фактори визначають актуальність завдання, пов'язані з підвищенням зносостійкості ПНВТ, а також із зниженням енергетичних втрат в елементах паливної апаратури двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ).

Існує кілька шляхів для вирішення даної проблеми. Один з них це використання спеціальних присадок у паливо для підвищення мастильних властивостей і поліпшення технічного стану прецизійних пар при роботі на підвищеному навантаженні і використанні палива з низьким вмістом сірки. Також існує варіант поліпшення триботехнічних характеристик палив при додаванні в нього рослинних масел. Високов'язкі масла є наслідком селективного очищення без присадок, які виготовляються з малосірчистих парафінових і беспарафінових сортів нафти. Також володіють високою в'язкістю, мають відмінну адгезію, мають хороші змащувальні властивості і температура спалаху не нижче 265°C.

Однак дослідження впливів цього компонента на змащувальні властивості низькосірчистих палив не проводилися, також відсутня офіційна рекомендація виробників дизелів і нафтових компаній.

Результати досліджень. Використання низькосірчистих сортів палива ускладнює процес експлуатації суднових двигунів через постійні операції з переходу з одного сорту палива на інше. Зміна сортів палива необхідна при заході у порт і плаванні в спеціальних районах (Sulfur Emission Control Area – SECA). У цих районах повинно використовуватися паливо з вмістом сірки не більше 0,1%. Перехід дизеля з одного сорту палива (з вмістом сірки до 0,5%) на інший (з вмістом сірки до 0,1% або не містить сірку) повинен виконуватися згідно рекомендацій і вимог по заміні палива з заміною палива у всіх елементах системи. Судна які обладнані системою очищення вихлопних газів зустрічаються з іншою проблемою. Існує два основних типи скрубберів закритого і відкритого контуру, також існують гібридні скрубери. Ця проблема є актуальною для обох типів скрубберів, в незалежності від типу скрубера, який встановлений на судні. Багато країн забороняють відкритий тип системи очищення вихлопних газів, також заборонено використання і закритого типу скрубера у багатьох прибережних регіонах плавання: каналах проток річок і місць зі складною навігацією. У цих районах, необхідно максимально швидко реагувати на навігаційну обстановку зі зміни швидкості і курсового кута судна, що є неможливим під час роботи системи очищення вихлопних газів. Так при змінних навантаженнях робота скруббера закритого контуру нестабільна і важко спостерігати за викидами в атмосферу. Таким чином на судах що обладнані гібридним або закритим типом скрубера все одно повинна проводитися зміна палива на низькосірчисте паливо в спеціальних районах плавання.

В основному всі судна обладнані відкритим типом скрубера, експлуатація яких заборонена в територіальних водах безліч країн і регіонів плавання морських суден. Тобто, наприклад, судно може використовувати відкритий тип скрубера під час плавання у нейтральних водах, але при вході в зону обмеження контролю, наприклад, територіальні води європейських країн 12 мильна зона, судно повинно перейти на використання низькосірчистого палива і відключення системи очищення вихлопних газів, бо вода яка використовується при роботі буде забруднювати акваторію. Цей процес може відбуватися від декількох годин до доби в залежності від типу паливної системи, витрати палива і технічних показників двигуна внутрішнього згоряння. При виході з порту і покиданні особливих районів необхідне виконання зворотного переходу дизеля на паливо з високим вмістом сірки [3].

Усі переходи на різні сорти палива (через різні фізико-хімічні властивості) пов'язані зі зміною температурних показників їх експлуатації. Для палива з вмістом сірки 0,5%, експлуатаційна температура знаходиться в межах 90...105°C, а для дистилатів палив (з вмістом сірки до 0,1%) 30...40°C. Часті переходи з важкого на дистилатне паливо, постійна зміна температурних режимів негативно впливають на моторесурс і довговічність паливної апаратури, особливо на паливні насоси високого тиску. Це призводить до підвищення зносу деталей паливної апаратури, а також підвищує питомі витрати палива. Таким чином, низький вміст сірки у паливі негативно впливає на роботу і довговічність паливної апаратури, а спільно з частою зміною палива істотно скорочує її моторесурс. Все це підштовхує до пошуку вирішення проблем, пов'язаних зі зниженням моторесурсу деталей дизеля через часті зміни сортів палива на сорти з низьким вмістом сірки.

Принцип дії протизносних присадок полягає в утворенні міцної плівки на поверхні, що захищається. Плівка складається з продуктів механохімічних перетворень присадки на поверхні металу. Спосіб її формування залежить від режиму тертя. При рідкому режимі цілком достатньо ефективною адсорбції (фізична адсорбція, хімосорбція) присадки, які покращують змащувальні властивості палива. Однак використання даних присадок, пов'язане з декількома труднощами. Перше з них – це безпосередньо самі поверхнево-активні речовини, специфіка їх зберігання і подальша експлуатація. Друге – витрати, підвищення яких, у разі їх використання, роблять даний варіант фінансово витратним.

Варіант використання поверхневих речовин які безпосередньо наносяться на самі елементи паливної апаратури, такі як ПНВТ, а саме претензійна пара плунжер втулка, і ще кілька варіантів, суміжні з тією ж проблемою. Одним з традиційних методів зниження сил тертя і зносу, та енергетичних витрат на їх подолання, на сьогоднішній день є використання різних плівкоутворюючих легуючих компонентів, що вводяться до складу мастильних матеріалів у

вигляді присадок. Ці присадки в процесі роботи утворюють на поверхнях тертя маломіцні адсорбовані шари високомолекулярних речовин або більш міцні хімосорбіровані шари сполуки сірки, хлору, фосфору і т.і. Особливу групу займають так звані металоплакуючі присадки, що формують на поверхнях, де труться плівки м'яких металів, що мають таку ж екрану функцію, але більш міцну [4].

Іншими можливими варіантами поліпшення триботехнічних властивостей є додавання мінеральних мастильних матеріалів. В основному пропонуються варіанти добавки спеціального масла. У результаті, при додаванні такого масла в паливо з низько сірчистим змістом поліпшуються його змащувальні властивості.

Одним з напрямків підвищення працездатності вузлів тертя є використання ультрадисперсних порошків м'яких металів у мастильних маслах. Найбільшого поширення набули порошки міді, і солей міді, які вводяться в мастильні матеріали .

Дані завдання можуть бути вирішені створенням на поверхні багатошарової структури, та розташуванні шарів таким чином, щоб міцність зростала при наближенні до основної ділянки поверхні. Таким чином, за ступенем руйнуванні верхніх шарів, у роботу вступають нижні верстви - міцніші.

Тому, для вирішення цих проблем немає єдиного правильного рішення, а можливе комплексне використання методів, при яких істотно підвищується працездатність і моторесурс деталей паливної апаратури.

Висновки У результаті, можна зробити такі висновки:

- сучасні екологічні вимоги, виконання яких зобов'язує використовування низько сірчистих сортів палива; часті зміни сортів палива; необхідність забезпечення різних температурних режимів використання палива, сприяють зниженню моторесурсу паливної апаратури і призводить до підвищення витрат на експлуатацію суден;

- для підвищення надійності деталей паливної апаратури і зменшення енергетичних втрат можливо використовувати лише один метод: дозування присадок у паливо, використання поверхнево активних речовин, використання ультрадисперсних порошків.

Рішення даної проблеми актуальне і є необхідним згідно всіх нових міжнародних вимог по економічності та екологічності суден. Методи вирішення падіння моторесурсу деталей паливної апаратури актуальні для суден, що обладнані системою очищення вихлопних газів, не враховуючи тип його контуру, так і для суден що використовують низько сірковий зміст палив. Використовуючи дані методи істотно підвищуються надійність і довговічність деталей паливної апаратури.

Дані методи складні в експлуатації і їх впровадження на судах морського флоту є тривалим процесом. Однак, при подальшому розгляді можна знайти варіанти, які будуть економічно вигідні і технічно доцільні.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сагин С. В., Заблоцкий Ю. В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблемы техники : наук.-виробн. журнал. – 2012. – № 4. – Одесса : ОНМУ. – С. 68-81.

2. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.

3. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // Проблемы техники : наук.-виробн. журнал. – 2011. – № 3. – Одесса : ОНМУ. – С. 78-88.

4. Zablotsky Yu. V., Sagin S. V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИМИ ПОТЕРЯМИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ВО ВРЕМЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Столярик Т.А.

Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

Введение. Двигатели внутреннего сгорания (дизели) являются самыми распространенными тепловыми двигателями из всех используемых на транспорте [1]. Дизели являются источниками механической энергии автомобильного, железнодорожного, морского и речного транспорта, а также сельскохозяйственной и мобильной (малогабаритной или переносной) техники [2]. Появившиеся в последние 3...5 лет двигатели, использующие энергию аккумуляторных электрических батарей, могут обеспечить потребности только незначительной части автомобильной техники. Кроме того, эксплуатационная мощность подобных двигателей не превышает 250...300 Вт, длительность их автономной работы составляет 8...10 часов. Поэтому на сегодняшний день не ожидается их широкого распространения даже на большегрузных автомобилях, а тем более на железнодорожных (эксплуатационная мощность которых достигает 10000...12000 кВт), речных (при мощности энергетической установки до 20000...25000 кВт) и морских (с суммарной мощностью главных и вспомогательных дизельных двигателей до 100000...120000 кВт) средствах транспорта.

Актуальность исследования. Одной из систем, которая обеспечивает функционирование дизелей, является масляная система. Увеличение мощности и размеров дизеля (диаметра цилиндра и хода поршня) усложняет конструкцию масляной системы и увеличивает количество вспомогательного оборудования, которое входит в ее состав [3]. Современные судовые двухтактные дизели (которые используются в качестве главных двигателей – передают свою мощность на винт и обеспечивают движение морских судов) комплектуются двумя масляными системами. Одна из них (лубликаторная) подает масло в цилиндр и обеспечивает смазывание цилиндровой группы (поршневых колец и втулки цилиндра). С помощью второй (циркуляционной) масло подается к подшипникам дизеля (крейцкопфному, рамовому и мотылевому). Основной задачей как лубликаторной, так циркуляционной системы является предотвращение контактных взаимодействий деталей дизеля за счет создания смазочного слоя и обеспечения гидродинамического или граничного режима смазывания поверхностей трения. Именно при этих условиях обеспечивается минимальный износ деталей дизеля и минимальные механические потери мощности [4].

Моторные масла судовых дизелей являются дисперсными системами. Их эксплуатационные характеристики в тонких смазочных слоях отличаются от объемных свойств и определяются ориентационной упорядоченностью молекул, которая способствует возникновению дополнительного раскливающего давления между контактными поверхностями [5]. В качестве параметров, которые качественно и количественно характеризуют структуру смазочных слоев, принимают степень ориентационной упорядоченности молекул граничного слоя и толщину слоя [6].

Постановка задачи. Задачей исследования являлось определение влияния структурных характеристик граничных смазочных слоев моторных масел на износ деталей судового дизеля и механические потери мощности во время его эксплуатации.

Результаты исследований. Исследования выполнялись для моторных масел Castrol CL 40 и Texaco Special HT 40. Данные масла использовались в лубликаторной системе судового дизеля 6S60ME-C9 MAN-Diesel&Turbo, имеющего следующие основные характеристики:

тип дизеля – двухтактный, крейцкопфный;

номинальная мощность – $N_{ном}=14280$ кВт;
номинальная частота вращения – $n_{ном}=105$ об/мин;
количество цилиндров – 6;
диаметр цилиндра – $d=0,6$ м;
ход поршня – $s=2,4$ м.

Оба сорта масел рекомендованы заводом-изготовителем как основные марки во время эксплуатации дизеля.

Первоначально исследовались структурные характеристики моторных масел.

Одним из методов, позволяющим определить характеристики граничного смазочного слоя (степень упорядоченности молекул и толщину), является оптический метод дихроизма поглощения [4-6]. С помощью этого метода было установлено, что моторным маслом Castrol CL 40 имеет более выраженные структурные характеристики по сравнению с моторным маслом Техасо Special HT 40 (большую толщину граничного слоя и большую степень упорядоченности молекул в слое).

Дальнейшие исследования выполнялись на судовом дизеле 6S60ME-C9 MAN-Diesel&Turbo. Для смазывания цилиндров дизеля использовались моторные масла Техасо Special HT 40 и Castrol CL 40. Принципиальная схема лубрикаторной системы дизеля приведена на рис. 1.

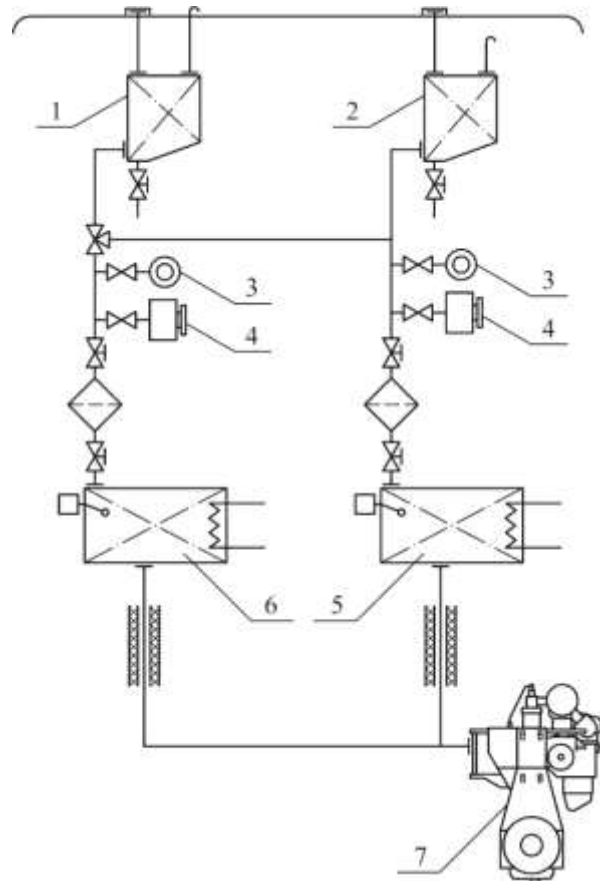


Рисунок 1 – Схема лубрикаторной системы смазывания судового дизеля 6S60ME-C9 MAN-Diesel&Turbo: 1, 2 – масляный танк; 3 – расходомер; 4 – контроллер; 5, 6 – расходные цистерна масла; 7 – дизель

Наличие двух цистерн моторного масла (позиции 1 и 2) давало возможность использования для разных групп цилиндров разных масел. Эксперименты выполнялись во время океанского перехода судна продолжительностью 11...12 дней только на

установившихся режимах работы дизеля. Постоянство нагрузки на дизель определялось неизменной частотой вращения коленчатого вала и постоянной цикловой подачей топлива. На протяжении всего эксперимента судовой дизель 6S60ME-C9 MAN-Diesel&Turbo работал на одном и том же сорте топлива RMC350 (с содержанием серы 0,37 %). Подача масла Castrol CL 40 осуществлялась в цилиндры 1-3, а масла Техасо Special HT 40 – в цилиндры 4-6.

Цилиндровая группа дизелей относится к объектам постоянного контроля технического состояния [7]. Выполнения визуальных инспекций цилиндрических втулок не всегда представляется возможным. Прежде всего, это связано с периодом непрерывной работы главных двигателей морских судов (например, продолжительность океанских переходов может достигать 20...30 суток), а также с большими затратами на их выполнение. Поэтому для диагностирования технического состояния цилиндрических втулок применяются косвенные методы. Самым распространенным и доступным для условий морского судна является определение остаточного щелочного числа (base number – BN) и количества металлических примесей в масле.

Отбор проб масла и их дальнейший анализ выполнялся в судовой технической лаборатории фирмы Cylinder Scrape-Down Oil Analysis через каждые 20 часов работы дизеля в соответствии с рекомендованными технологией и последовательностью [8, 9]. При этом, для каждого цилиндра дизеля устанавливалось свое значение подачи цилиндрического масла. Отклонение ее величины по цилиндрам не превышало 5 % от среднего значения. Из подпоршневого пространства каждого цилиндра выполнялся отбор проб отработавшего масла с последующим определением в судовой технической лаборатории содержания в масле следующих компонентов: PQI (Particle Quantity Index), Fe (Iron), V (Vanadium), Ni (Nickel), Si (Silicon) и BN. Результаты исследований обобщены на рис. 2.

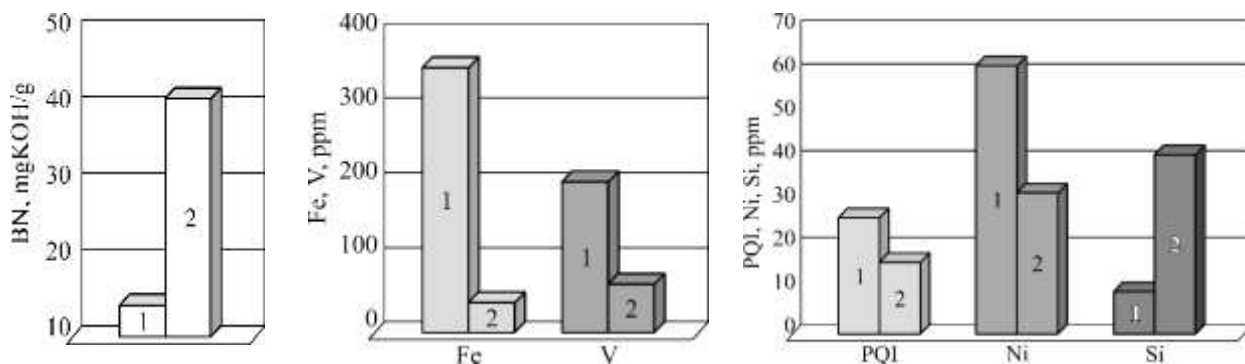


Рисунок 2 – Значения BN (base number), Fe (Iron), V (Vanadium), PQI (Particle Quantity Index), Ni (Nickel), Si (Silicon) в пробах отработавшего масла судового дизеля 6S60ME-C9 MAN-Diesel&Turbo: 1 – при использования моторного масла Техасо Special HT 40; 2 – при использования моторного масла Castrol CL 40

Выводы. Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Моторные масла, которые используются в судовых дизелях, относятся к дисперсным системам. Тонкие масляные слои (которые разделяют поверхности трения и обеспечивают гидродинамический или граничный режим смазывания) характеризуются упорядоченной структурой молекул. Качественным показателем этой структуры является степень упорядоченности молекул, количественным – толщина упорядоченного (граничного) смазочного слоя. Определение степени упорядоченности молекул граничного слоя и его толщины возможно с помощью оптического метода дихроизма поглощения. Для моторных масел Техасо Special HT 40 и Castrol CL 40 (использующихся в масляной системе судовых дизелей) толщина упорядоченного (граничного) смазочного слоя составляет 13,6 мкм и 15,4 мкм соответственно. Степень упорядоченности молекул в граничном слое для моторного

масла Техасо Special HT 40 находится в диапазоне 0,66...0,73, для моторного масла Castrol CL 40 – в диапазоне 0,78...0,83.

2. Структурная упорядоченность граничных слоев моторных масел связана с механическими потерями энергии судовых дизелей и износом деталей, смазывание которых обеспечивается этими маслами (например, цилиндровой группы). Оценку износа деталей цилиндровой группы целесообразно выполнять по количеству механических примесей, которые поступают в моторное масло, и по остаточному щелочному числу моторного масла.

3. С помощью экспериментальных исследований, выполненных на судовом дизеле 6S60ME-C9 MAN-Diesel&Turbo, было установлено, что моторные масла, структура граничных слоев которые характеризуются большей упорядоченностью и молекул и большей толщиной граничного слоя, обеспечивают меньшее значение износа деталей дизеля. Для моторного масла Castrol CL 40 (с толщиной слоя 15,4 мкм) обеспечивается 7,5...8,3 кратное снижение примесей железа, 3,5...3,8 кратное снижение примесей ванадия, 1,6...1,8 кратное снижение примесей никеля по сравнению с моторным маслом Техасо Special HT 40 (с толщиной слоя 13,6 мкм).

4. При оценке эксплуатационных свойств моторных масел необходимо также учитывать их структурные характеристики, которые обеспечивают снижение износа деталей дизеля и способствуют уменьшению его механических потерь.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kuropyatnyk O. A. Selection of optimal operating modes of exhaust gas recirculation system for marine low-speed diesel engines // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 203-211. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52992.

2. Zablotsky Yu. V., Sagin S. V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

3. Sagin S. V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 55-59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.

4. Сагин С. В., Заблоцкий Ю. В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // Проблеми техніки : наук.-виробн. журнал, 2011. – № 3. – Одесса : ОНМУ. – С. 78-88.

5. Сагин С. В., Заблоцкий Ю. В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблеми техніки : наук.-виробн. журнал. – 2012. – № 4. – Одесса : ОНМУ. – С. 68-81.

6. Сагин С. В. Исследование корреляционной взаимосвязи жидкокристаллических свойств граничных смазочных слоев и реологических характеристик моторных масел судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2014. – № 33. – Одесса : ОНМА. – С. 67-76.

7. Sagin S. V., Semenov O. V. Marine Slow-Speed Diesel Engine Diagnosis with View to Cylinder Oil Specification // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol.13. – Iss. 5. – P. 618-627. DOI: 10.3844/ajassp.2016.618.627.

8. Zablotsky Yu. V., Sagin S. V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 20. – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.

9. Сагин С. В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89-100.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ ПЕРЕВОЗКИ БУРИЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ НА СУДАХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РАБОТУ НЕФТЯНЫХ ПЛАТФОРМ

Марьянов Д.Н.

Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

Введение. Морские суда специального назначения обеспечивают выполнение работ по углублению и очистке фарватеров, проводке морских электрических кабелей, установке и обработке якорей, снабжению океанских нефтяных платформ. Данные типы судов отличаются повышенной маневренностью, высокой энерговооруженностью, а также включают в свой состав ряд специальных, характерных только им, систем. Такой системой (для судов класса PSV – Platform Supply Vessel) является система перевозки бурильной суспензии, которая впоследствии перекачивается на нефтедобывающую платформу и используется для выполнения работ по бурению морского шельфа [1].

Актуальность исследования. В процессе транспортировки бурильных суспензий в связи с действием гравитационных сил на органические и неорганические соединения, находящиеся в их объеме, происходит латентное изменение их дисперсности по объему суспензии. Это приводит к расслоению и изменению плотности суспензии по высоте, а также к образованию осадков на дне грузовых танков, в которых транспортируется бурильная суспензия. При этом возможны ситуации, когда количество высокоплотного осадка не дает возможности для перекачивания бурильной суспензии по трубопроводам системы и ее выкачки (передачи) на нефтедобывающую платформу. Удаление осадка ручным или механическим способом относится к категории несвойственных работ для судового экипажа, сопряжено с увеличением ходового времени судна, приводит к потерям тепловой и механической энергии [2, 3], а самое главное – ухудшает эксплуатационные характеристики бурильной суспензии, ограничивая ее использование в технологическом процессе добычи нефти. Поддержание плотности бурильной суспензии во время ее транспортировки на судах класса PSV, обеспечивает надежное функционирование оборудования и непрерывность процесса добычи и транспортировки углеводородного сырья.

Постановка задачи. Задачей исследования являлось совершенствование системы циркуляции бурильной суспензии с целью поддержания ее плотности по глубине грузового танка.

Результаты исследований. Вопросы обеспечения функциональных свойств и эксплуатационных характеристик технических жидкостей, какими являются бурильные суспензии, применительно к морской отрасли практически не изучены; правила их транспортировки не имеют подтвержденных практических рекомендаций; латентное ухудшение их реологических показателей (вязкости, плотности, седиментационной стойкости) не всегда может быть определено, оценено и устранено судовым экипажем [4].

Исследования выполнялись в судовой системе транспортировки бурильной суспензии морского судна специального назначения дедвейтом 5850 тонн. Задачей исследований было разработка технологии, обеспечивающей поддержание постоянного значения плотности бурильной суспензии по высоте танка, в котором происходит ее перевозка.

Принципиальная схема транспортировки бурильной суспензии приведена на рис. 1. Перевозка суспензии осуществляется в шести однотипных танках, расположенных симметрично с левого и правого борта. В системе предусмотрены технологические операции по приему на борт и выдаче на нефтяную платформу бурильной суспензии, которые обеспечиваются грузовыми насосами.

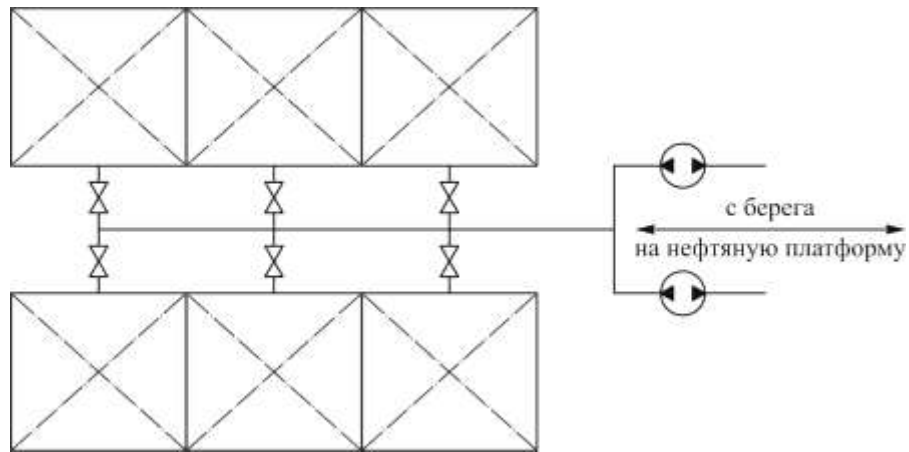


Рисунок 1 – Принципіальна схема транспортування бурильної суспензії судами типу PSV

Суда типу PSV належать до середньшвидкісного класу (їх максимальна швидкість, як правило, не перевищує 12...13 вузлів), тому тривалість їх переходу (а, відповідно, і час транспортування бурильної суспензії) від порту до нафтяної платформи становить 2...3 дні. Час очікування початку технологічних операцій по викачці бурильної суспензії на нафтяну платформу – до 7...10 днів. За цей часовий проміжок відбувається поступове осадження твердих компонентів, якими легировані суспензії. Це призводить до виникнення ефекту стратифікації щільності бурильної суспензії по висоті вантажного танка, в якому вона знаходиться – рис. 2 [1].

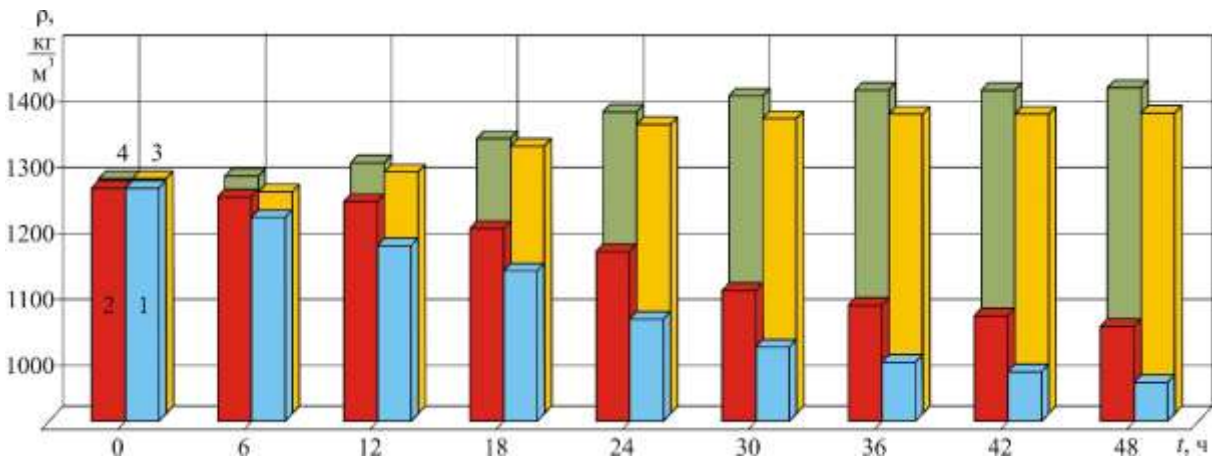


Рисунок 2 – Стратифікація щільності бурильної суспензії в вантажних танках судна типу PSV: 1 – щільність на поверхні танка; 2 – на глибині 30 % від поверхні танка; 3 – на глибині 60 %; 4 – на глибині 90 %

З метою мінімізації процесу седиментації бурильної суспензії, запобігання її розшарування і утворення осаду з твердих компонентів судова система перевезення бурильної суспензії додатково комплектувалася трубопроводами перепуску (які забезпечували Х-образну циркуляцію суспензії в танках) і аеродинамічними вставками (по яким в об'єм вантажного танка подавався повітря). Це забезпечувало додаткову циркуляцію бурильної суспензії в системі її транспортування. Зміни, внесені в систему, наведені на рис. 3.

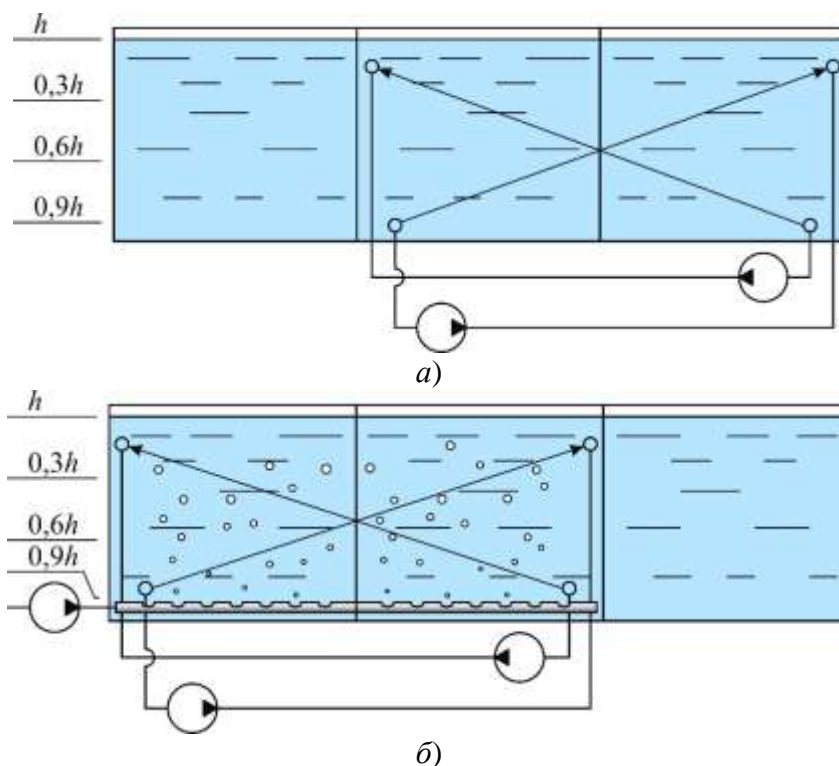


Рисунок 3 – Принципиальна схема включення додаткових блоків в судову mud-систему: *а* – забезпечення Х-образної циркуляції бурильної суспензії в танках; *б* – забезпечення Х-образної циркуляції бурильної суспензії в танках з одночасною подачею повітря

За контрольний параметр, по якому оцінювалось дисперсне стання бурильної суспензії, приймавалась густина.

Проби для визначення густини бурильної суспензії відбирались в різних точках танка, відповідних 30-ти, 60-ти і 90 % його глибини. Для проведення експеримента перевезка бурильної суспензії здійснювалась в наступних умовах:

- 1) два танк без зміни конструкції системи і умов перевезки бурильної суспензії;
- 2) два танка, в яких додатково забезпечувалась Х-образна циркуляція бурильної суспензії – рис. 3, *а*;
- 3) два танка, в яких додатково забезпечувалась Х-образна циркуляція бурильної суспензії і примусова подача повітря (в теченні 10 хвилин кожного години проведення експеримента) – рис. 3, *б*.

Час океанського переходу судна PSV від порту до океанської платформи становив 52 години, що давало можливість здійснювати відбір проб бурильної суспензії для всіх умов експеримента в теченні 48 годин з проміжком між вимірами густини 6 годин. Час проведення серії експериментальних досліджень (яке включало безпосередній відбір проб з танків і визначення густини бурильної суспензії ареометром Anton Paar DMA35 Tag&Log) не перевищувало 10 хвилин.

Стратифікація густини по висоті вантажного танка розраховувалась по вираженню

$$\Delta\rho = \frac{\rho_h - \rho_{0.9h}}{\rho_h} \cdot 100\%,$$

де ρ_h – густина бурильної суспензії на поверхні вантажного танка, кг/м^3 ;

$\rho_{0,9h}$ – плотность бурильной суспензии на глубине 90 %, кг/м³.

Полученные значения стратификации плотности бурильной суспензии в зависимости от времени для разных условий ее перевозки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Стратификация плотности бурильной суспензии ($\Delta\rho$, %) по высоте грузового танка в зависимости от времени и способа ее транспортировки

| Способ транспортировки | Время транспортировки, часы | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 |
| 1* | 0,47 | 3,89 | 10,89 | 19,52 | 29,49 | 36,38 | 41,12 | 43,62 | 47,82 |
| 2* | 0,24 | 1,42 | 4,35 | 4,77 | 5,18 | 7,25 | 7,25 | 7,34 | 7,92 |
| 3* | 0,16 | 0,47 | 0,55 | 0,71 | 1,56 | 1,56 | 1,56 | 1,64 | 1,87 |

1 – без изменения конструкции системы; 2 – транспортировка с дополнительной Х-образной циркуляцией; 3 – транспортировка с дополнительной Х-образной циркуляцией и подачей воздуха в объем грузового танка

Выводы. Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы.

1. Стратификация плотности бурильной суспензии по глубине грузового танка в интервале времени ее транспортировки 6...48 часов составляет 3,89...47,82 %. Предотвращение данного негативного явления возможно за счет обеспечения дополнительной Х-образной циркуляции бурильной суспензии в объеме соседних грузовых танков. Исследованиями подтверждено, что при этом стратификации плотности за тот же временной период находится в диапазоне 1,42...7,92 %. Еще меньший уровень стратификации плотности (0,47...1,87 %) достигается за счет одновременной циркуляции бурильной суспензии и подачи воздуха в грузовой танк.

2. Система, обеспечивающая минимальный уровень стратификации плотности бурильной суспензии при ее транспортировки на судах типа PSV, включает мобильные циркуляционный насос и воздушный компрессор, трубопроводы и арматуру и может быть установлена на специализированном судне в соответствии с технологической схемой непосредственно судовым экипажем.

Предложенная технология была испытана на специализированном морском судне типа PSV дедвейтом 5850 тонн и может быть использована на морских судах, обеспечивающих функционирование океанских нефтедобывающих платформ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Karianskyi S. A. Features of transportation of high-density technical liquids by marine specialized vessels / S. A. Karianskyi, D. M. Maryanov // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. January 25, 2020. Part 2. Beijing, PRC. – P. 150-153. DOI. 10.34660/INF. 2020.24.53688.
2. Zablotsky Yu. V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives / Yu. V. Zablotsky, S. V. Sagin // Indian Journal of Science and Technology, Published by Indian Society of Education and Environment. – December 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: [10.17485/ijst/2016/v9i46/107516](https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i46/107516).
3. Sagin S. V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors / S. V. Sagin, O. V. Semenov // American Journal of Applied Sciences, Published by Science Publication, 2016. – Vol.13. – Iss. 2. – P. 200-208. DOI: 10.3844/ajassp.2016.200.208.
4. Sagin S. V. Estimation of Operational Properties of Lubricant Coolant Liquids by Optical Methods / S. V. Sagin, V. G. Solodovnikov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12. – Num. 19. – P. 8380-8391.

СХЕМА УТИЛІЗАЦІЇ ПОТЕНЦІАЛУ КРІОГЕННИХ ВЕР ПРОЦЕСУ РЕГАЗИФІКАЦІЇ АМІАКУ В СЕУ ТЕРМОАКУСТИЧНИМИ ТЕПЛОВИМИ МАШИНАМИ

Московко О.О.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Суднові викиди до атмосфери залежать від типу палива та ефективності його використання: різні види палива мають різні значення викидів CO_2 , SO_x , NO_x та CH_4 , а ефективність процесів перетворення енергії в СЕУ впливає на його витрату. Із приблизно $300 \cdot 10^6$ т спожитого у 2015 р. морського палива 72% складали залишкові важкі види палива, 26% легких видів палив та 2% скрапленого природного газу (LNG) [1]. На рис зображено порівняльний аналіз викидів CO_2 різних типів суднових палив, з врахуванням кількості CO_2 , що продукується в процесі промислової обробки палива або його синтезування [2]. При цьому до наведеного списку палив доцільно додати рідкий аміак.

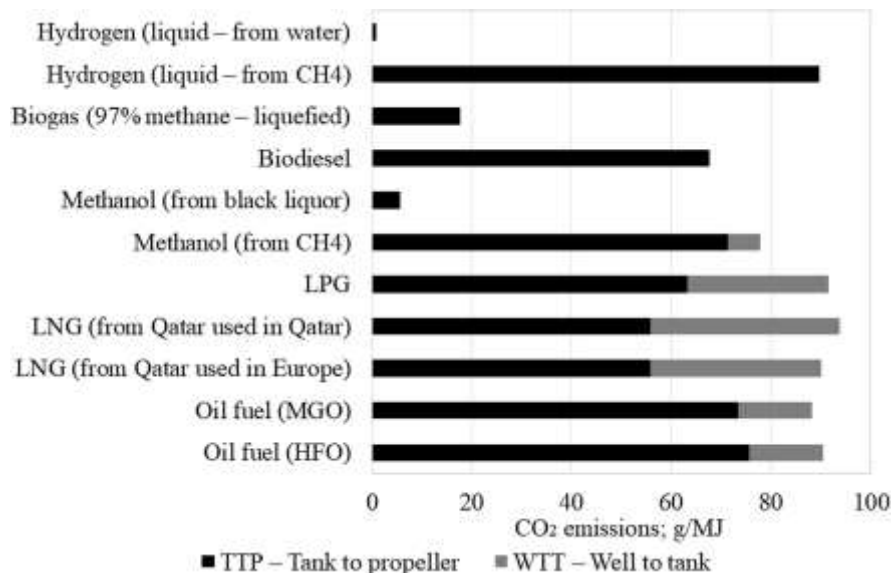


Рисунок 1 – Порівняльний аналіз викидів CO_2 різних типів суднових палив

Однак для повноти оцінки та виокремлення перспективних варіантів альтернативних типів палив необхідно враховувати їх собівартість та фізико-енергетичні показники, такі як: теплота згоряння, питома густина та об'ємна густина. Порівняльний аналіз різних типів перспективних альтернативних видів палив наведено на рис. Взавши до уваги дані, що наведені на рис та рис, а також, економічну складову, можна зробити висновок, що в короткостроковій перспективі найбільш доцільним варіантом лишаються варіанти використання скрапленого природного газу, а в довгостроковій – використання аміаку, в якості основного палива та водню, в якості пилотного.

Так само як використання СПГ, використання аміаку в якості основного виду палива, передбачає складну систему паливopідготовки, а саме: процесів регазифікації, підігріву та стисненню перед упорскуванням до камери згоряння двигуна. У таблиці 1 наведено порівняльні характеристики теплофізичних властивостей СПГ та аміаку. Як видно з таблиці, для забезпечення двигуна необхідною кількістю теплоти, аміаку необхідно, як мінімум, в 2,37 рази більше, ніж СПГ. А взявши до уваги різницю в питомій теплоті пароутворення в 2,69 рази, між аміаком та СПГ – стає зрозумілим, що система паливopідготовки на етапі регазифікації палива потребуватиме перерахунку та збільшенню потужності теплообмінників [3].

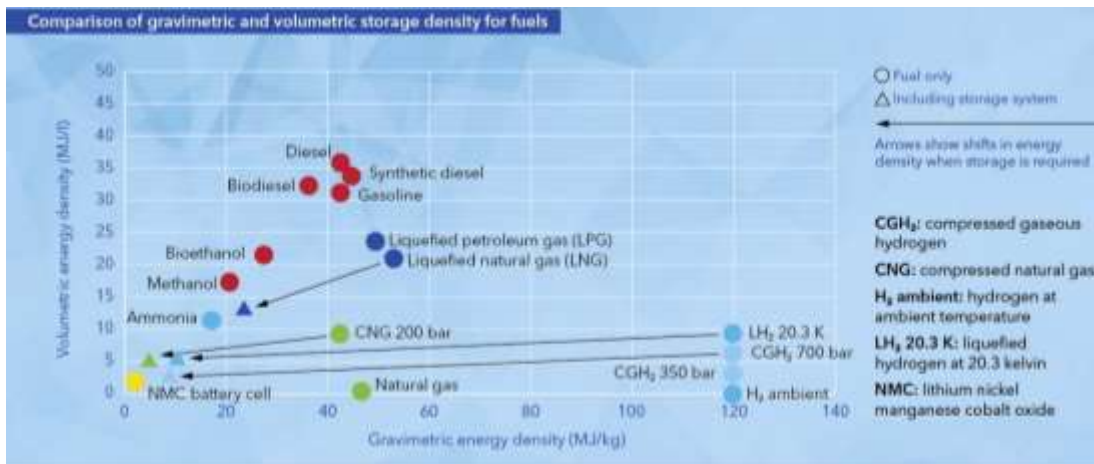


Рисунок 2 – Порівняльний аналіз питомої та об’ємної енергетичної ємності різних видів суднових палив (2)

Таблиця 1. Порівняльні теплофізичні характеристики СПГ та аміаку.

| Вид палива | Питома теплота згоряння, МДж/кг | Питома теплота пароутворення, кДж/кг | Температура переходу з рідкої фази в газоподібну (за атмосферного тиску), °С |
|------------|---------------------------------|--------------------------------------|--|
| СПГ | 44,0 | 511 | -162,0 |
| Аміак | 18,6 | 1373 | -33,3 |

Однією з переваг використання аміаку в якості основного палива на судах є те, що за твердженням представників фірми MAN B&W, системи паливопідготовки та двигуни, що розроблені для використання метанолу потребують незначної модернізації та адаптації під використання аміаку. Нещодавно стало відомо про розміщення замовлення на суднобудівному підприємстві фірмою Maersk контейнеровоза місткістю 2100 TEU, з ГД 6G50LGIM-C9.6 фірми MAN B&W, з $N_e^{CMCR} = 8150$ кВт при $n = 82$ об/хв., та замовлення розробки проекту контейнеровозів місткістю 16000 TEU оснащених двигунами фірми MAN B&W працюючих на метанолі, що в довгостроковій перспективі дасть можливість переходу на аміак в якості основного виду палива.

Розглянувши проект замовленого фірмою Maersk контейнеровоза місткістю 2100 TEU з ГД 6G50LGIM-C9.6, було проведено розрахунок та порівняльний аналіз необхідної кількості теплоти для процесу регазифікації СПГ та аміаку в залежності від навантаження двигуна (рис. 3) теплових потоків. За залежностями видно на скільки більше тепла потребуватиме процес регазифікації аміаку у порівнянні з процесом регазифікації СПГ. Частка теплоти в тепловому балансі, для даного двигуна, лежить в межах від 6,5% до 6,99%. Так як процес регазифікації та підігріву газоподібних палив забезпечується за рахунок теплоти контуру прісної води охолодження двигуна, до графіку було додано залежність кількості теплоти, що відводиться системою охолодження від двигуна (дані було отримано в онлайн калькуляторі SEAS – представленого на сайті MAN B&W).

Дана теплота процесу регазифікації аміаку може бути використана в термоакустичних теплових машинах (ТАТМ), що мають низку переваг перед вже відомими та випробуваними в суднових умовах системами утилізації низькотемпературних ВЕР, а саме: простота конструкції, відсутність спеціалізованих робочих тіл, можливість комбінувати необхідну кількість модулів (рис. 4), можливість вироблення електричної енергії (в комбінації з імпульсним двонаправленим турбогенератором) або в якості теплового насоса, простота та низька частота обслуговування. Разом з цим, до основного недоліку можна віднести масо-габаритні показники ТАТМ.

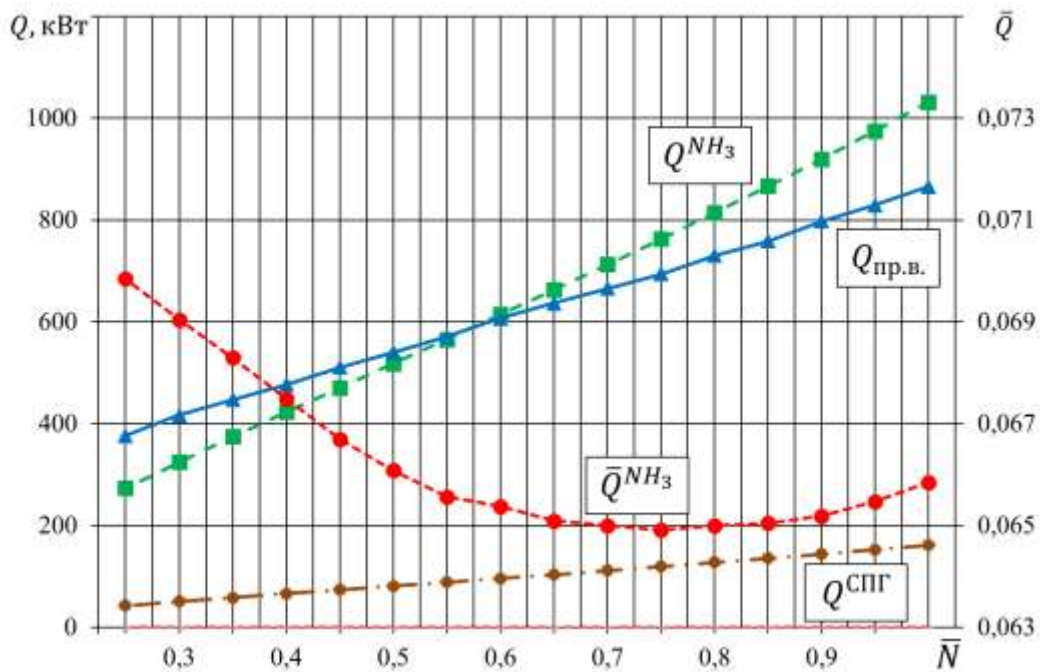


Рисунок 3 – Порівняльний аналіз кількості теплоти необхідної для регазифікації СПГ та аміаку контейнеровозу 2100 TEU з ГД 6G50LGIM-C9.6 ($N_e^{CMCR} = 8150$ кВт при $n = 82$ об/хв.)

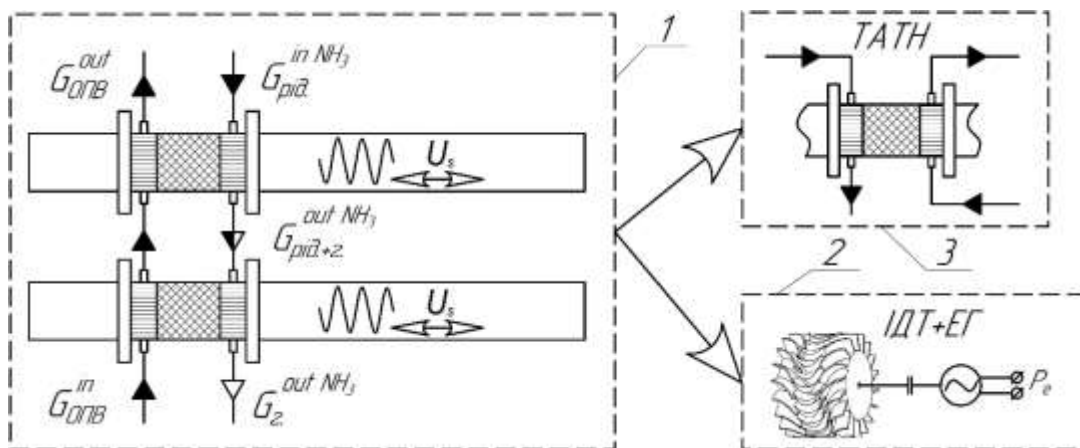


Рисунок 4 – Принципова схема утилізації низькотемпературних ВЕР процесу регазифікації аміаку ТАТМ: 1 – блок термоакустичних двигунів (ТАД); 2 – навантаження у вигляді імпульсної двонаправленої турбіни з генератором; 3 – навантаження у вигляді термоакустичного теплового насоса (ТАТН)

На рис. 4 представлено запроповану систему утилізації на основі каскаду ТАД (від 1 до n). У загальному випадку ТАД складається з наступних елементів: стеку, теплообмінників (нагрівача та охолоджувача), хвильоводів. Охолоджуюча вода прісного контуру (або інший теплоносії) направляється через нагрівачі, а через охолоджувачі проходить аміак, при цьому відбувається його фазовий перехід та підігрів до необхідних температур. За рахунок створеного температурного градієнту вздовж стеку, в апараті виникають акустичні коливання, при цьому потужність акустичних коливань залежить саме від величини створеного температурного градієнту.

Так як найбільш універсальним видом енергії є електрична, на думку автора, найбільш доцільним навантаженням для ТАД є імпульсна двонаправлена турбіна з генератором (термоакустичний турбогенератор - ТТГ). Загалом, запропонована схема утилізації ВЕР

регазифікації аміаку в ТТГ дозволить виробляти електричну енергію з ефективністю близько 14%. Тобто для розглянутого раніше судна, в залежності від режиму навантаження ГД, вироблення електричної енергії може досягати 140 ÷ 150 кВт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Olmer N, Comer B, Roy B, Mao X, Rutherford D. Greenhouse gas emissions from global shipping, 2013-2015. Detailed methodology: The International Council on Clean Transportation. October 2017. 55 p.
URL: https://theicct.org/sites/default/files/Global-shipping-GHG-emissions-2013-2015_Methodology_17102017_vF.pdf (Last accessed: 17.02.2020)
2. Assessment of selected alternative fuels and technologies // DNV GL – web site.
[URL:https://www.dnvgl.com/maritime/publications/alternative-fuel-assessment-download.html](https://www.dnvgl.com/maritime/publications/alternative-fuel-assessment-download.html) (Last accessed: 19.02.2020).
3. Бумаченко В.В. Аналіз передумов розробки схеми утилізації низькотемпературних ВЕР суднових систем регазифікації аміаку термоакустичними тепловими машинами. *Сучасний стан та проблеми двигунобудування: матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції*, м. Миколаїв, 26–27 листопада 2020 р. Миколаїв, 2020. С. 120-123.
4. Коробко В. В., Московко О. О., Тимошенко, Д. О. Числове моделювання суднової термоакустичної системи регазифікації lng палив. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. Херсон, 2015. №1. С. 36-42.

КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ХИТАВИЦІ СУДНА

Котов В.В., Лебедь О.М.

Херсонська державна морська академія, Україна

Одним з негативних явищ, що впливають на морехідні якості судна є хитавиця, яка представляє собою коливальні рухи, які судно здійснює близько положення своєї рівноваги. У загальному випадку хитавиця виникає під дією гідродинамічних сил, обумовлених вітровим хвилюванням, при впливі на судно змінних в часі зовнішніх збурень, перш за все, морських хвиль. Положення рівноваги корабля при цих видах коливань не є стійким.

До шкідливих наслідків хитавиці відносяться:

- зменшення швидкості судна внаслідок збільшення опору води руху судна і погіршення режиму роботи рушіїв;

- виникнення додаткових зусиль, викликаних силами інерції і ударами хвиль, що може привести до місцевих руйнувань корпусу і окремих пристроїв судна;

- порушення нормального режиму роботи механізмів, пристроїв і різних приладів внаслідок впливу сил інерції;

- заливання палуби, що ускладнює обслуговування механізмів і окремих пристроїв, розташованих на палубі і вище неї;

- погіршення умов населеності судна, шкідливий фізіологічний вплив на людей, що знаходяться на судні.

Небезпечними наслідками хитавиці є:

- перекидання судна через втрату остійності в результаті появи великих кутів крену або значне зменшення остійності внаслідок зсуву вантажів, прийому великої кількості води на палубу і т.д. ;

- руйнування (злам) корпусу через втрату загальної поздовжньої міцності.

Для помірної бортової хитавиці застосовують пасивні некеровані або активні керовані заспокоювачі хитавиці. Заспокоювачі хитавиці застосовують для зменшення амплітуди хитавиці судна. Дія встановлених на судні заспокоювачів хитавиці полягає в тому, що вони створюють змінний стабілізуючий момент, протилежний за знаком моменту хвилі. В даний час застосовуються заспокоювачі тільки бортової хитавиці, так як вони не є ефективними для кильової і вертикальної хитавиці

Пасивні заспокійливі цистерни можуть бути двох типів: закритого, що не сполучається з забортної водою (I роду) і відкритого, що сполучається з забортної водою (II роду). Цистерни наполовину заповнені водою (іноді, паливом) і з'єднані каналами. Пасивні заспокійливі цистерни найбільш ефективні при резонансній хитавиці, при режимах хитавиці з великим періодом. У всіх інших випадках вони не зменшують, а навіть збільшують її амплітуду. В активних цистернах вода перекачується примусово або насосами, або під дією стисненого повітря.

Стабілізація судна за допомогою цистерн відбувається за рахунок зсуву фаз коливань судна і внутрішньої рідини. У пасивних цистернах процес стабілізації регулюється лише у вузьких межах. В активних цистернах процес переливання регулюється в залежності від вимірюваних значень кута нахилу і кутової швидкості бортової хитавиці, постійно забезпечуючи оптимальну величину зсуву [1].

Активні заспокійливі цистерни зазвичай виконують у вигляді цистерн I роду. Для регулювання руху води застосовують або насоси, встановлені в водяному каналі, або повітродуви, розташовані в повітряному каналі. Управління насосом або повітродувом здійснюється за допомогою спеціальної автоматики таким чином, щоб можна було регулювати подачу води з однієї цистерни в іншу і забезпечувати необхідну зміну стабілізуючого моменту.

Технологічно, стабілізація судна за допомогою цистерн відбувається за рахунок зсуву фаз коливань судна і внутрішньої рідини. У пасивних цистернах процес стабілізації регулюється лише у вузьких межах.

При цьому для активних цистерн для процесу переливання рідини потрібно створити ефективну систему подачі сигналів на певне відкриття клапанів в залежності від вимірюваних значень кута нахилу і кутової швидкості бортовий хитавиці, постійно забезпечуючи оптимальну величину зсуву. Використання теорії нечіткої логіки дає можливість максимально автоматизувати і оптимізувати процес заспокоєння хитавиці судна [1].

Схема процесу стабілізації судна за допомогою активних цистерн зображена на рис.1. Бортові цистерни 1 і 2, з'єднані в нижній частині каналом, а у верхній - повітряним трубопроводом.

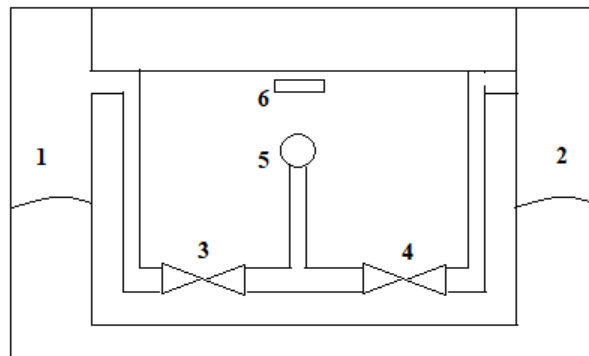


Рисунок 1 – Схема стабілізації судна активними цистернами

Подача повітря від компресора 5 регулюється автоматичними клапанами 3 і 4. Модель нечіткої системи управління заспокоювачем хитавиці судна, ґрунтуючись на показаннях кренометра 6, таких як кут крену γ і розрахованої кутової швидкості ω , формує керуючий сигнал на клапана 3 і 4 з метою забезпечити оптимальну затримку переливу рідини.

Система нечітких продукцій складається з 9 правил (таблиця 1), що представляють собою мовні конструкції.

Таблиця 1. Правила нечітких продукцій моделі управління заспокоювачем хитавиці

| γ, ω | Малая | Средняя | Большая |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Малый | Трохи відкритий | Наполовину відкритий | Наполовину відкритий |
| Середній | Трохи відкритий | Наполовину відкритий | Майже закритий |
| Небезпечний | Наполовину відкритий | Майже закритий | Відкритий |

Проведене тестування розробленої нечіткої системи показало її адекватність процесу стабілізації судна на хитавиці.

Варто відзначити, що збільшення в нечітких продукцій кількості правил призведе більш істотного заспокоєнню хитавиці судна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жуков Ю.Д. Мореходные качества корабля: учеб. пособие. Ч. 3. Инструментальные средства изучения и методы контроля мореходных качеств корабля / Ю.Д. Жуков, Е.К. Клименко, В.П. Шестопап; М-во образования и науки Украины, Украинский гос. морской техн. ун-т им. адмирала Макарова. – Николаев: Изд-во НГГУ им. Петра Могилы, 2007. – 143 с.

2. Седова Н.А. Метод дефазификации для нечёткой системы управления успокоителем качки судна // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. 2012. Т. 3. № 2. С. 198-202.

УДК. 621. 57: 628. 84

ЕЛЕКТРИЧНІ ВТРАТИ ГЕРМЕТИЧНИХ КОМПРЕСОРНИХ АГРЕГАТІВ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Литош О.В.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Вступ. Від вбудованого електродвигуна в значній мірі залежать основні характеристики герметичного компресорного агрегату (ГКА). У свою чергу, показники вбудованого електродвигуна істотно залежать від характеристик ГКА, з яким він має загальні вал, корпус і кожух [1]. Більшість ГКА - це одно- і двоциліндрові машини, що відрізняються значною нерівномірністю зміни навантаження (протидіє моменту). У ГКА з частотою обертання валу 25 с^{-1} це викликає велику пульсацію крутного моменту вбудованого електродвигуна, що призводить до зниження його ККД і, отже, погіршує енергетичні показники ГКА [1, 2].

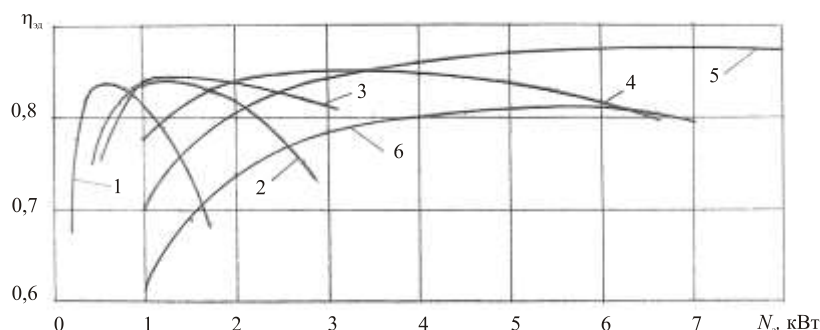
Актуальність дослідження. Зі збільшенням частоти обертання валу ГКА з 25 до 50 с^{-1} момент інерції ГКА такий же продуктивності зменшується приблизно в 1,3 рази. Однак з огляду на те, що кінетична енергія обертових мас зростає в чотири рази, в результаті її запас збільшується більш ніж в три рази. При цьому слід очікувати зниження коливання крутного моменту електродвигуна, що має вплинути на ККД електродвигуна. Для оцінки цього впливу проведені спеціальні дослідження.

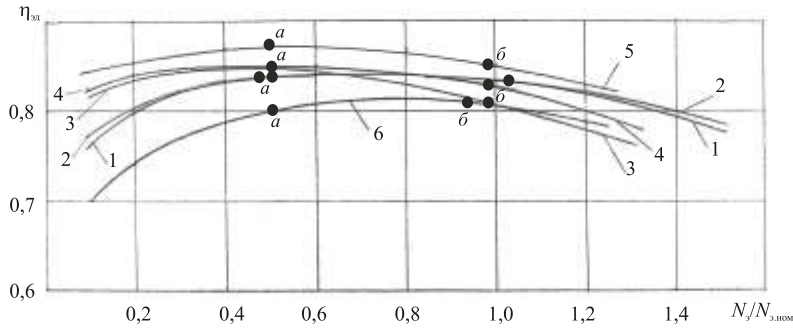
Постановка задачі. Досліди проводили в такій послідовності. Електродвигуни до вбудовування в компресорні агрегати проходили випробування при рівномірному навантаженні електромагнітним гальмом відповідно до нормативних документів [3]. При цьому визначали споживану потужність N_e , споживаний струм I_ϕ , ККД $\eta_{ед}$, що обертає момент $M_{ед}$ та також будувалися механічні характеристики.

Електричні втрати ГКА оцінювали по ККД вбудованих електродвигунів компресорів типу ФГВ, що мають частоту обертання валу $n = 50 \text{ с}^{-1}$: 1 - $N_e = 0,75 \text{ кВт}$ (ФГВ-2,2); 2 - $1,5 \text{ кВт}$ (ФГВ-4,5); 3 - $2,2 \text{ кВт}$ (ФГВ-9,0); 4 - 4 кВт (ФГВ-14,0); 5 - $7,5 \text{ кВт}$ (ФГВ-28,0); 6 - $5,5 \text{ кВт}$ (КХГВ-14,0, $n = 67 \text{ с}^{-1}$).

Залежність ККД електродвигунів від споживаної потужності N_e представлена на рис. 1. Тут $N_e / N_{e,ном}$ - відношення споживаної на даному режимі потужності N_e до потужності $N_{e,ном}$, споживаної на номінальному режимі роботи ГКА (при $t_0 = 5^\circ \text{ С}$, $t_k = 40^\circ \text{ С}$).

На кривих (рис. 1, б) вказані точки *a* і *б*, що характеризують розрахункові споживані потужності при мінімальному (в режимі $t_0 = -10^\circ \text{ С}$, $t_k = 30^\circ \text{ С}$) і максимальному (при $t_0 = 10^\circ \text{ С}$, $t_k = 50^\circ \text{ С}$) навантаженнях. На графіках видно, що в цьому інтервалі потужність змінюється в 1,5 рази і більше.

*a*



б

Рисунок. 1 – Залежність ККД вбудованих електродвигунів $\eta_{эд}$ від споживаної потужності N_e (**a**) та її відношення до номінальної потужності $N_e/N_{э.ном}$ (**б**): 1 - $N_e = 0,75$ кВт (ФГВ-2,2); 2 - 1,5 кВт (ФГВ-4,5); 3 - 2,2 кВт (ФГВ-9,0); 4 - 4 кВт (ФГВ-14,0); 5 - 7,5 кВт (ФГВ-28,0); 6 - 5,5 кВт (КХГВ-14,0)

Результати досліджень. Як показали дослідження [1], найбільш бажаний вид характеристики вбудованого електродвигуна в робочій області (між точками **a** і **б**) – це полога крива з максимумом $\eta_{эд}$ в інтервалі потужностей 0,7...0,9 номінальній, де умови охолодження електродвигуна дещо гірше. Більша частина кривих, які представлені на графіку, відповідають цій умові.

Після випробування при рівномірному навантаженні (електромагнітним гальмом) електродвигуни були зібрані з компресорами у єдиний агрегат, вбудовані в герметичні кожухи і випробувані на калориметричному стенді, а на трьох агрегатах (ФГВ-2,2; ФГВ-14 и КХГВ-14) проводили індицирование і визначали ККД вбудованого електродвигуна $\eta_{эд}$.

На рис. 2. представлена залежність $\eta_{эд}$ испытанных ГКА от их режима работы (отношения $p_H/p_{вс}$). Результаты испытаний электродвигателей в составе компрессорного агрегата были сопоставлены с данными опытов при равномерной нагрузке (рис. 3). На рисунке видно, что КПД встроенных электродвигателей $\eta_{эд}$ в рабочем интервале отношений $N_e/N_{э.ном}$ 0,7...1,2 практически совпадают с данными испытаний электродвигателей при равномерной нагрузке.

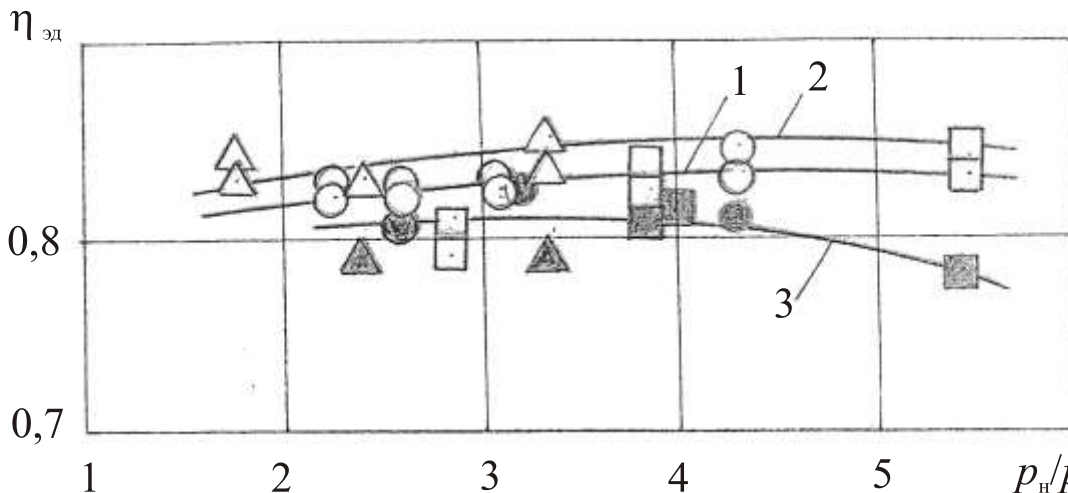


Рисунок. 2 – Залежність ККД електродвигуна $\eta_{эд}$ від режиму роботи (відносини $p_H/p_{вс}$) компресорних агрегатів: 1 - ФГВ-2,2; 2 - ФГВ-14,0; 3 - КХГВ-14,0; ▲, Δ - $t_k = 30$ ° C; ●, ○ - $t_k = 40$ ° C; ■, □ - $t_k = 50$ ° C

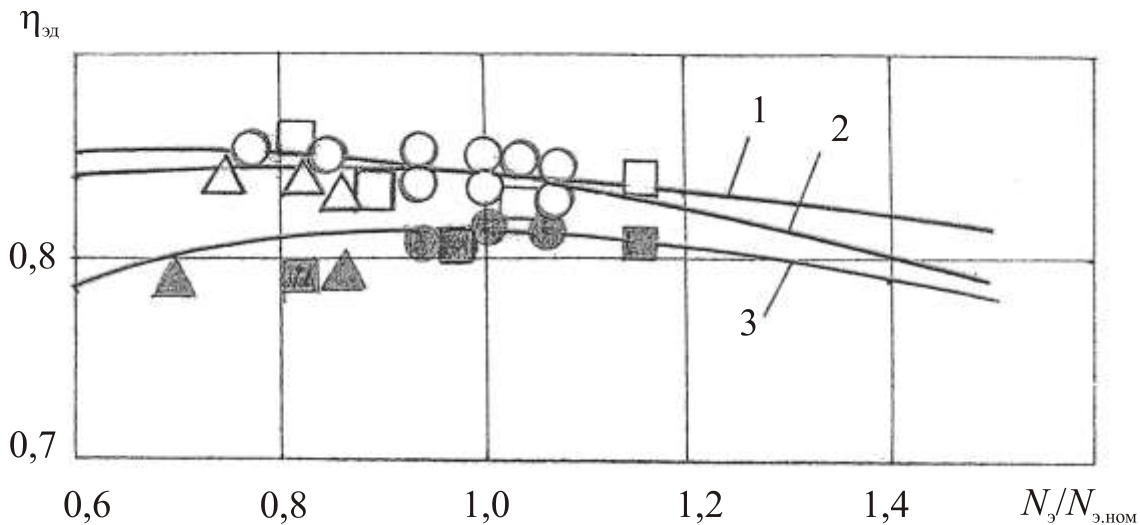


Рисунок. 3 – Залежність ККД електродвигунів $\eta_{ед}$ від відносини споживаної потужності до номінальної $N_{\epsilon} / N_{\epsilon,ном}$ компресорних агрегатів: 1 - ФГВ-2,2; 2 - ФГВ-14,0; 3 - КХГВ-14,0; суцільна лінія - випробування при постійному навантаженні; ▲, △ - випробування в складі компресорного агрегату при $t_k = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$; ●, ○ - випробування в складі компресорного агрегату при $t_k = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$; ■, □ - випробування в складі компресорного агрегату при $t_k = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Висновок. Дослідним шляхом встановлено, що ККД вбудованих електродвигунів високооборотних (частота обертання валу 50 с^{-1} і більше) ГКА суднового устаткування кондиціонування повітря, що працюють в діапазоні потужностей $0,7 \dots 1,2$ номінальної, практично збігаються з результатами випробувань цих електродвигунів при рівномірному навантаженні електромагнітним гальмом, на відміну від вбудованих електродвигунів ГКА такий же продуктивності, але які мають частоту обертання 25 с^{-1} , у яких ККД при цьому знижується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Якобсон В.Б. Малые холодильные машины / В.Б. Якобсон.– Пищевая промышленность, 1977. – 368 с.
2. Редкозуб Б.Д. Исследование влияния динамических факторов на характеристики холодильных герметичных поршневых компрессоров: автореф. дис. канд. техн. наук: 194 / Б.Д. Редкозуб; ОТИХП.– Одесса, 1970.– 32 с.
3. ГОСТ 11828–86.Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний (с Изменениями № 1, 2). – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 43 с.

КІНЕМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ШАРНІРА НЕРІВНИХ КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ

Коряк О.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Вступ. Шарнір нерівних кутових швидкостей використовується для передачі обертового руху в приводах різноманітних механізмів, вали яких розташовані під деяким кутом, а також, якщо міжосьовий кут передачі α змінюється в процесі роботи. Одинарний шарнір застосовується порівняно рідко, оскільки викликає нерівномірність обертання веденого вала, яка різко збільшується зі збільшенням кута між валами. Тому він використовується в механізмах, які допускають деяку нерівномірність обертання, переважно в тихохідних механізмах при невеликих значеннях кута α . У відповідальних механізмах використовують подвійний шарнір нерівних кутових швидкостей, який дозволяє повністю усунути зазначену нерівномірність обертання.

Актуальність досліджень. У роботах, пов'язаних з дослідженням і конструюванням шарнірів нерівних кутових швидкостей [1-4], розглядаються питання, які стосуються кінематичних і динамічних розрахунків, а також розрахунків на міцність його елементів. Вивчені особливості роботи моторно-трансмійних установок, до складу яких входять подібні механізми. Вказані шляхи удосконалення конструкцій шарнірів нерівних кутових швидкостей.

Аналіз літературних джерел показав, що деякі питання кінематики висвітлені недостатньо повно. Зокрема, це стосується визначення кінематичних параметрів у кінематичних парах хрестовини і карданних вилок. Дані кінематичні характеристики є фундаментом для наступних досліджень динаміки карданної передачі і розрахунків на міцність її елементів; використовуються при дослідженні роботи підшипників хрестовини карданного шарніра; необхідні для визначення енергії, яка витрачається на подолання сил тертя в зазначених кінематичних парах; становлять основу при оцінці коефіцієнта корисної дії передачі. Крім того, трапляються випадки, коли розрахункові залежності, представлені в різних джерелах, неоднозначні. Так, наприклад, величина відносної кутової швидкості ланок в рухомому з'єднанні хрестовини і карданної вилки вихідного вала в джерелах [2] і [3] визначається за різними формулами, що вимагає уточнення.

Мета дослідження. Метою даної роботи є отримання розрахункових залежностей для визначення кінематичних характеристик у рухомих з'єднаннях хрестовини й карданних вилок.

Постановка задач дослідження:

1. Отримати розрахункові залежності для визначення величин відносних кутових швидкостей у кінематичних парах хрестовини й карданних вилок.
2. Отримати розрахункові залежності для визначення величин відносних кутових прискорень у кінематичних парах хрестовини й карданних вилок.
3. Установити функціональні залежності відносних кутів повороту ланок у кінематичних парах хрестовини й карданних вилок.
4. Оцінити вплив міжосьового кута передачі на її кінематичні характеристики.

Результати досліджень. На рис. 1. представлена схема шарніру нерівних кутових швидкостей. Вали 1 (вхідний) і 3 (вихідний), а також нерухомо пов'язані з ними карданні вилки здійснюють прості обертальні рухи. Вектори кутових швидкостей ланок 1 і 3 на схемі позначені $\bar{\omega}_1$ і $\bar{\omega}_3$ відповідно. Кут між зазначеними векторами (міжосьовий кут передачі) позначений α .

У випадку $\alpha \neq 0$, хрестовина 2 здійснює складний обертальний рух. Вектори відносних кутових швидкостей хрестовини 2 відносно ланки 1, а також ланки 3 відносно хрестовини позначені відповідно $\bar{\omega}_{21}$ і $\bar{\omega}_{32}$. На підставі теореми про складний обертальний рух

$$\bar{\omega}_3 = \bar{\omega}_1 + \bar{\omega}_{21} + \bar{\omega}_{32}. \quad (1)$$

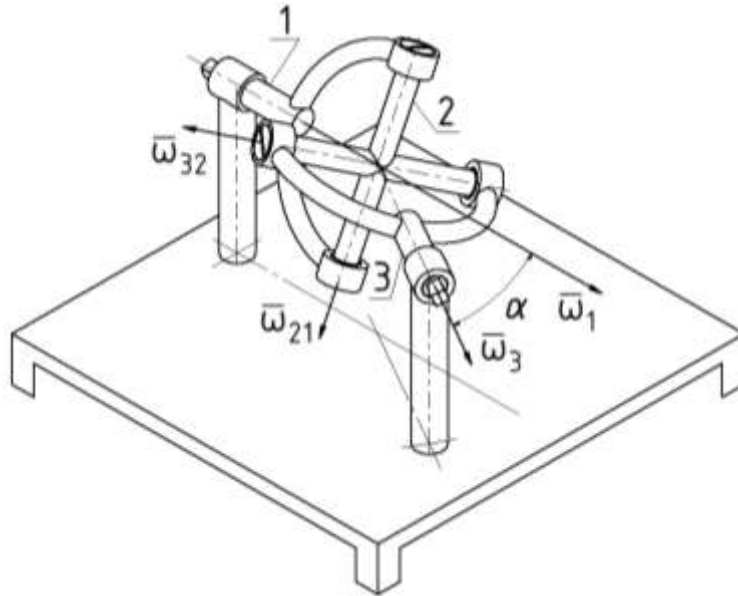


Рисунок 1 – Схема шарніра нерівних кутових швидкостей

Умовимося відраховувати кут повороту ланки 1 від положення, у якому його карданна вилка (і вектор $\bar{\omega}_{21}$) перебуває в площині, яка містить осі валів шарніра.

В результаті проведеного кінематичного аналізу отримані розрахункові залежності для визначення величин відносних кутових швидкостей у кінематичних парах хрестовини й карданних вилок

$$\omega_{21} = \omega_1 \frac{\cos \alpha \sin \alpha \cos \phi_1}{1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \phi_1}; \quad (2)$$

$$\omega_{32} = \omega_1 \frac{\sin \alpha \sin \phi_1}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \phi_1}}, \quad (3)$$

де ϕ_1 – кут повороту вхідного вала.

При $\phi_1 = 0 + \pi l$ максимальне абсолютне значення відносної кутової швидкості хрестовини відносно карданної вилки вхідного вала

$$\omega_{21\max} = \omega_1 \operatorname{tg} \alpha. \quad (4)$$

Візьмемо до уваги, що при цьому, згідно (3), $\omega_{32} = 0$.

При $\phi_1 = \pi/2 + \pi l$ максимальне абсолютне значення відносної кутової швидкості карданної вилки вихідного вала відносно хрестовини

$$\omega_{32\max} = \omega_1 \sin \alpha, \quad (5)$$

а при цьому, згідно (2), $\omega_{21}=0$.

Скориставшись (4) і (5), знайдемо відношення максимальних значень відносних кутових швидкостей

$$\frac{\omega_{32\max}}{\omega_{21\max}} = \cos \alpha. \quad (6)$$

Залежності (4), (5) і (6) свідчать про те, що абсолютні максимальні значення відносної кутової швидкості ланок у кінематичних парах хрестовини й карданної вилки вхідного вала більші, ніж у кінематичних парах хрестовини й карданної вилки вихідного вала.

Значення відносних кутових прискорень ε_{21} і ε_{32} ланок у з'єднаннях хрестовини 2 і карданних вилок вхідного 1 і вихідного 3 валів можуть знадобитися при динамічних розрахунках з врахуванням масово-інерційних параметрів хрестовини. Диференціюючи (2) і (3) за часом, отримаємо

$$\varepsilon_{21} = -\omega_1^2 \cos \alpha \sin \alpha \sin \phi_1 \frac{1 + \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \phi_1}{(1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \phi_1)^2}; \quad (7)$$

$$\varepsilon_{32} = \omega_1^2 \sin \alpha \cos \phi_1 \frac{1 - \sin^2 \alpha}{(1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \phi_1)^{3/2}}. \quad (8)$$

Визначимо відносні кути повороту φ_{21} і φ_{32} у з'єднаннях хрестовини 2 і карданних вилок вхідного 1 і вихідного 3 валів. Прийmemo, що відносний кут повороту ланок у з'єднанні хрестовини з карданноювилкою дорівнює нулю тоді, коли вісь даної обертальної кінематичної пари знаходиться в площині, яка містить осі валів карданної передачі. При такому виборі нульового відносного положення ланок значення зазначених кутів у процесі роботи передачі знаходяться у проміжку від $-\alpha$ до α .

Відшукаємо залежності відносних кутів повороту φ_{21} і φ_{32} у вигляді функцій кута повороту φ_1 вхідного вала, тобто $\varphi_{21}=\varphi_{21}(\varphi_1)$ і $\varphi_{32}=\varphi_{32}(\varphi_1)$. В результаті інтегрування рівнянь (2) і (3) отримаємо залежності для визначення відносних кутів повороту ланок у кінематичних парах хрестовини й карданних вилок

$$\phi_{21} = \arctg(\operatorname{tg} \alpha \sin \phi_1); \quad (9)$$

$$\phi_{32} = -\arcsin(\sin \alpha \cos \phi_1). \quad (10)$$

Оскільки для малих кутів $\sin x \approx \operatorname{tg} x$, то, як випливає з порівняння залежностей (9) і (10), при невеликих кутах α , які складають область практичного застосування одинарного шарніра нерівних кутових швидкостей, визначальна відмінність функцій $\varphi_{21}=\varphi_{21}(\varphi_1)$ і $\varphi_{32}=\varphi_{32}(\varphi_1)$ полягає лише в зсуві другого графіка відносно першого на кут $\pi/2$ уздовж осі φ_1 .

Висновки.

1. Проведений кінематичний аналіз шарніра нерівних кутових швидкостей дозволив виявити й усунути неоднозначності у визначенні відносних кутових швидкостей елементів кінематичних пар хрестовини й карданних вилок.

2. Абсолютні максимальні значення відносної кутової швидкості ланок у кінематичних парах хрестовини й карданної вилки вхідного вала більші, ніж у кінематичних парах хрестовини й карданної вилки вихідного вала.

3. Отримано функціональні залежності відносних кутових прискорень і кутів повороту ланок у кінематичних парах хрестовини й карданних вилок вхідного і вихідного валів.

4. При невеликих міжосьових кутах передачі α , які мають місце в практиці використання одинарного шарніра нерівних кутових швидкостей, відмінністю в амплітудах функцій $\omega_{21}=\omega_{21}(\varphi_1)$ і $\omega_{32}=\omega_{32}(\varphi_1)$ можна знехтувати, а визначальна відмінність функцій $\varphi_{21}=\varphi_{21}(\varphi_1)$ і $\varphi_{32}=\varphi_{32}(\varphi_1)$ полягає в зсуві другого графіка відносно першого на кут $\pi/2$ уздовж осі φ_1 .

ЛІТЕРАТУРА

1. Фролов К. В. Теория механизмов и машин / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов, Г. А. Тимофеев, В. А. Никоноров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 664 с.

2. Заблонский К. И. Теория механизмов и машин / К. И. Заблонский, И. М. Белоконов, В. М. Щекин. – Киев: Высшая школа, 1989. – 376 с.

3. Кожевников С. Н. Карданные передачи / С. Н. Кожевников, П. Д. Перфильев. – Киев "Техника", 1978. – 263 с.

4. Проектирование трансмиссий автомобилей: Справочник / Под общ. ред. А. И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1945. – 272 с.

СИСТЕМИ БЕРЕГОВОЇ ЗАРЯДКИ ДЛЯ АКУМУЛЯТОРНИХ СУДЕН

¹Жук О.К., ²Рожков С.О.

¹Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Україна

²Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Створення і удосконалення електричних пропульсивних енергоустановок є основним напрямом підвищення функціональності, маневреності і енергоефективності суден. Зазначений напрям, крім економії палива, створює умови для переходу до морського транспорту з нульовими викидами. Основними типами електрифікованих суднових силових установок є традиційні дизель-електричні рішення та системи електричного руху з бортовими акумуляторними накопичувачами енергії – гібридні і повністю електричні [1]. Існує досвід успішної експлуатації найбільшого в світі судна з гібридною ЕЕС – круїзного лайнера Roald Amundsen, на якому встановлено дві акумуляторні системи з потужностями заряду і розряду відповідно 627 кВт і 1750 кВт [1]. Втім, найбільше практичне використання суто акумуляторні енергоустановки вже знайшли на поромах або на портових буксирах для перевезень на короткі відстані, що значно зменшує викиди вздовж узбереж. У перспективі, лише в Норвегії до 2030 р. заплановано мати близько 200 подібних суден, які працюватимуть на 130 маршрутах [2, 3]. Міжнародна морська організація (ІМО) рекомендує розвивати портову інфраструктуру зарядки, зокрема з використанням відновлювальних джерел енергії [4].

Показники існуючих акумуляторних суден свідчать про те, що відповідні берегові системи повинні забезпечувати два основних режими експлуатації: довготривалої, до 8 годин нічної зарядки та швидкої, короткочасної. 4-25 хвилин зарядки – для під час стикування.

Отже, необхідні подальші дослідження напрямів удосконалення систем берегової зарядки для підвищення їхньої енергоефективності з урахуванням типу СЕЕС, що обслуговуються, необхідного часу зарядки, наявності берегових накопичувачів та можливості використання відновлювальних джерел енергії в «розумних» портах.

Основна частина. *Берегові зарядні системи* (БЗС) складаються з чотирьох основних компонентів: інтерфейс під'єднання до портової мережі, зокрема знижувальний трансформатор; можливо, берегова система накопичення і зберігання енергії (акумуляторні батареї та силові напівпровідникові перетворювачі); з'єднувач берег-судно; судновий (бортовий) зарядний пристрій. Сучасні технології зарядки використовують дротову і бездротову (індуктивну) передачу енергії берег-судно, а також механізми заміни суднової акумуляторної батареї.

Системи дротової зарядки поділяють на два типи: змінного струму (АС) і постійного струму (DC). На рисунку 1,а показана БЗС, що підключається до гібридної СЕЕС з єдиною шиною постійного струму і одержує живлення від берегової мережі змінного струму. Окрім інтерфейсу мережі, існує берегова стаціонарна акумуляторна батарея, яка повільно заряджається в нічний час і забезпечує не тільки зменшення пікового навантаження на місцеву мережу, але й споживання дешевої енергії. Трансформатор Т12 забезпечує необхідну знижену напругу на береговій шині та гальванічну ізоляцію останньої від мережі. DC/DC перетворювач С12, який безпосередньо підключений до бортової батареї В11, контролює передану потужність під час зарядки та розрядки. Подібним чином DC/DC перетворювач С17 контролює потужність зарядки та розрядки берегової батареї В12. АС/DC перетворювач С16 працює як випрямляч при зарядці берегової батареї і як інвертор при зарядці бортової батареї.

На рис. 1,б показана БЗС із живленням від берегової мережі змінного струму. Але на відміну від схеми на рис. 1,а, вона приєднана до СЕЕС з єдиною шиною змінного струму. Перед підключенням такої БЗС до судна для уникнення неприпустимих зрівняльних струмів слід виконати умови точної синхронізації напруги бортової мережі до мережі берегової.

Єдиним винятком є випадок, коли бортова енергосистема пасивна (генератор вимкнений). З огляду на тривалий процес синхронізації, систему, показану на рис.1, б не можна визнати належним рішенням для забезпечення швидкої зарядки протягом часу стикування. Натомість, використання такої структури є доцільним в тривалому режимі «холодного прасування» для живлення допоміжних навантажень судна на стоянці від берегової мережі при відключених бортових дизель-генераторах з метою економії вичерпаного палива та зменшення шуму. Щоб уникнути ускладнень синхронізації, замість перетворювача C21 може бути використаний додатковий активний або пасивний випрямляч C27, підключення якого виділено пунктиром. В трасу підключення C27 до берегової шини може бути вбудований не показаний на схемі бортовий трансформатор для узгодження напруг берегової та суднової шин. Слід враховувати, що використання такого додаткового трансформатора призведе до збільшення вартості та зниження енергоефективності зарядної системи. Загалом, основний зарядний пристрій може бути встановлений на борту або розміщений поза бортом у спеціальній береговій зарядній станції. Незважаючи на те, що у складі дротових зарядних систем бортові зарядні пристрої досить легко підключаються механічними контактними з'єднувачами, існують суттєві обмеження щодо розміру, ваги та вартості бортового обладнання, насамперед високошвидкісних поромів, які знижують потужність зарядки та продуктивність судна. На відміну від цього, вага, розмір та потужність спеціальних берегових зарядних станцій не обмежені, що забезпечує скорочення часу зарядки. Використання таких станцій, усунення бортового низькочастотного (50 Гц) трансформатора, а також мінімізація етапів перетворення параметрів електроенергії на борту – важливі напрями підвищення ефективності електрифікованого морського транспорту з нульовими викидами.

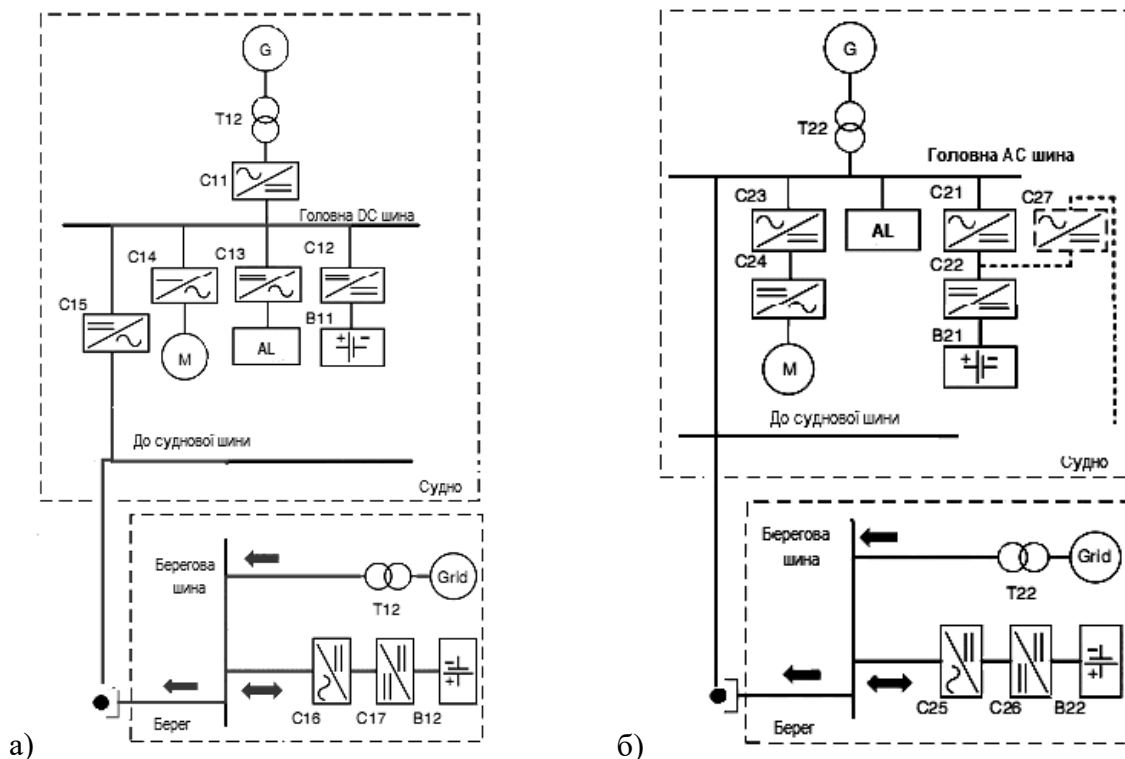


Рисунок 1 – Берегові зарядні системи змінного струму: (а) для СЕЕС постійного струму; (б) для СЕЕС змінного струму: AL – допоміжне навантаження; G – генератор; М – гребний двигун, Grid – берегова мережа

Системи бездротової зарядки. Використання технологій бездротової (безконтактної) індуктивної передачі енергії надає акумуляторним суднам унікальних переваг з точки зору

повного використання короткого часу стикування для зарядки незалежно від складних погодних умов та впливу обмерзання та засоленості [2, 3, 4]. Спрощена модель індуктивної зарядної системи берег-судно для СЕЕС постійного струму показана на рисунку 2.

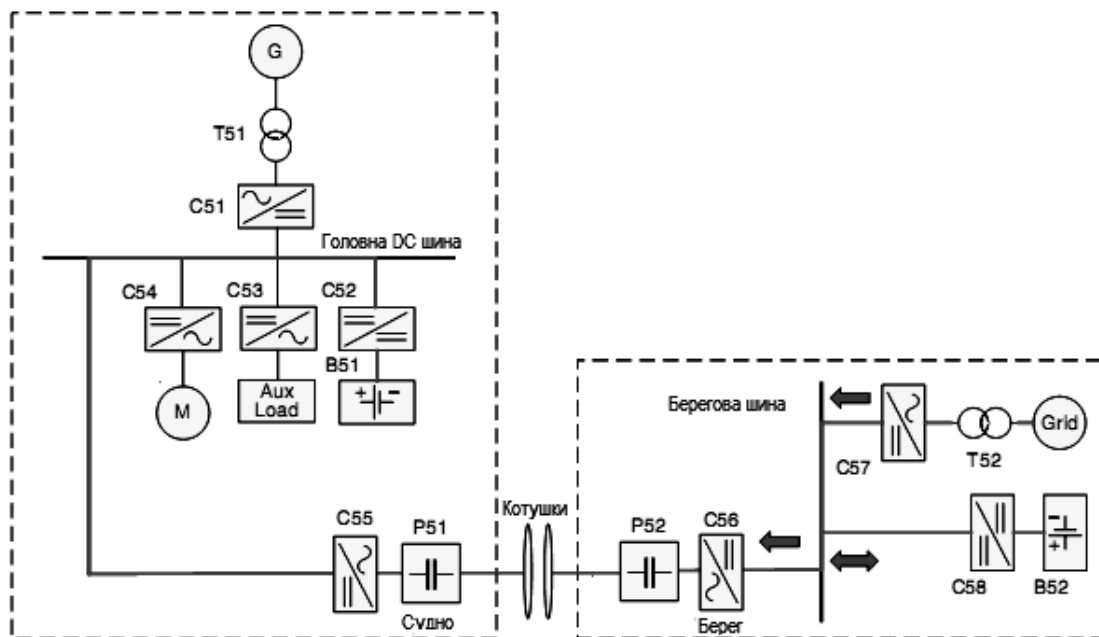


Рисунок 2 – Індуктивна зарядна система берег-судно для СЕЕС постійного струму

Катушки передавального і приймального контурів діють як трансформатор з низькою взаємною індуктивністю. Ємнісні елементи (P51 і P56) використовуються для компенсації реактивної потужності, споживаної котушками. Перетворювач C56 (дворівневий інвертор напруги) генерує високочастотну (кілька кілогерц) прямокутно-хвильову напругу для живлення передавальної котушки. Високочастотна вихідна напруга приймальної котушки випрямляється діодним перетворювачем C55 і надходить на вхід зарядного пристрою (C52). При індуктивній зарядці усувається необхідність у виділеному бортовому трансформаторі та через збільшення доступного часу зарядки знижується необхідний рівень потужності системи, що дозволяє зменшити витрати на інфраструктуру. Як проблеми індуктивної системи слід відзначити, що її досяжна ефективність чутлива до зміщення котушок в умовах експлуатації. Негативний вплив зазначеного фактору можна дещо компенсувати збільшенням частоти передачі та/або розмірів котушок. Однак, збільшення розмірів одночасно призводить до зростання обсягу та ваги котушок, тоді як проблеми із тепловими втратами обмежують можливості збільшення робочої частоти.

При визначенні стратегії управління високого рівня слід окремо розглянути призначення та функції відповідних берегових та бортових контролерів, які відрізняються між собою і залежать від конкретних вирішуваних задач. Для берегової зарядної станції існують чотири режими роботи: 1) заряджання берегових акумуляторів, коли жодне судно не пришвартоване; 2) передача енергії на судно лише від берегової мережі; 3) передача енергії на судно лише від берегових акумуляторів; 4) передача енергії на судно як від берегової мережі, так і від берегових акумуляторів.

Берегові акумулятори, як правило, заряджаються вночі малою потужністю або більшою потужністю між зарядками поромів. Бортова система надсилає запит на необхідну загальну енергію, тому берегова система повинна визначити частку потужності мережі і берегового акумулятора при зарядці. З одного боку, використання берегового акумулятора

підвищує енергоефективність системи, оскільки зменшує вплив великої потужності зарядки на локальну мережу та може дозволити зменшити загальні витрати на електроенергію при заряджанні в години пік. З іншого боку, використання при зарядці берегового акумулятора є менш енергоефективним, ніж використання мережі, через втрати енергії, спричинені додатковими перетворювачами силової електроніки, які використовуються в інтерфейсі берегової батареї, та самою батареєю. Отже, берегова система енергоменеджменту має приймати рішення про оптимальний розподіл навантаження між мережею і береговими акумуляторами.

Режими бортової системи управління: 1) робота в повністю електричному режимі, 2) робота в гібридному режимі (або аварійний режим для повністю електричних поромів) і 3) зарядка з берега. У першому режимі перетворювач, підключений до бортових батарей, повинен контролювати не тільки вихідну потужність акумулятора, а також напругу на шині постійного струму (оскільки бортові генератори відсутні). У другому та третьому режимах перетворювач С32 контролює лише заряд батареї. Щоб уникнути нестабільності під час зарядки, коли бортова шина постійного струму з'єднана з береговою, не слід допускати одночасну роботу перетворювачів С32 і С36 з PI- контролерами постійної напруги. У випадку, коли суднові акумулятори безпосередньо підключені до бортових шин, повинен існувати спеціальний береговий зарядний DC/DC перетворювач, що робить наземні берегові системи енергоменеджменту та управління живленням більш складними. Моніторинг стану заряду та рівня напруги бортових батарей, а також команди запуску та зупинки здійснюються за допомогою бортової системи управління живлення.

Висновки

1. Розглянуто стан та напрямки розвитку сучасних зарядних технологій для сучасних акумуляторних морських суден, включаючи архітектури енергосистем та їх елементи, компоненти інтерфейсу, інфраструктуру систем управління.

2. Виконано порівняння чотирьох структур дротових зарядних комплексів з використанням можливих поєднань берегових та бортових частин на основі змінного і постійного струму. Показані переваги застосування берегової зарядки постійним струмом для бортових установок як змінного, так і постійного струму з огляду на економію обсягу та ваги бортового перетворювального обладнання.

3. Для кращого розуміння рівня досягнутих практичних рішень представлені приклади деяких сучасних інтерфейсів зарядки берег-судно.

4. Використання унікальних переваг індуктивних систем бездротової зарядки можливо лише за умови вирішення проблеми їх інваріантності до умов зв'язку.

5. Підвищення енергоефективності зарядки та підтримка локальної мережі досягається правильним вибором стратегії управління високого рівня БЗС.

ЛІТЕРАТУРА

1. P. Ghimire, D. Park, M. K. Zadeh, J. Thorstensen, and E. Pedersen. Shipboard electric power conversion: System architecture, applications, control, and challenges, IEEE Electrific. Mag., vol. 7, no. 4, pp. 6–20, Dec. 2019. doi: 10.1109/MELE.2019.2943948.

2. M. S. Eide, Charting a course for green coastal shipping, DNV GL, Oslo, Norway, 2016. doi: 10.13140/RG.2.2.32516.94088.

3. Analysis of charging- and shore power infrastructure in Norwegian ports: ReCharge, DNV GL, Oslo, Norway. Accessed on: Jan. 27, 2020. [Online]. Available: https://www.nek.no/wp-content/uploads/2019/03/DNV-GL-2017-0101_ReCharge.pdf

4. T. W. P. Smith et al., Third IMO GHG Study 2014. London: International Maritime Organization (IMO), 2014.

Секція 3

РОБОЧІ ПРОЦЕСИ, ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНІ МЕТОДИ ЗМІЦНЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ЕФЕКТИ

¹Ткачук М.М., ²Кравченко С.О., ²Шуть О.Ю., ¹Ткачук М.А., ¹Грабовський А.В.

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

²ДП «Завод імені В. О. Малишева», Україна

Вступ. Для сучасного машинобудування одним зі стратегічних напрямків підвищення міцності, ККД та довговічності найбільш відповідальних та навантажених елементів конструкцій є нові проривні проектно-технологічні засоби та методи. Це зумовлене тим, що традиційні підходи та засоби значною мірою вичерпали свої можливості та не мають ресурсів для суттєвого поліпшення технічних рішень. Особливо актуально це для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), які уже досягли високого рівня технічних характеристик, і подальший прогрес у цих напрямках упирається у принципові складнощі. Тому особливої уваги заслуговують нові проривні методи і технології зміцнення елементів конструкцій. Серед останніх значної ефективності набувають методи, які поєднують дискретне і континуальне зміцнення [1, 2]. Зокрема, значні позитивні ефекти виникають при комбінуванні методів, з одного боку, дискретного зміцнення однієї деталі та, з іншого боку, – континуального – іншої. При цьому натепер відсутні складові комплексу знань для цієї технології:

- 1) теоретичні підвалини дискретно-континуального зміцнення;
- 2) засоби та результати дослідження процесів і станів у зміцнених тілах;
- 3) ефекти, що супроводжують пропонований метод зміцнення.

Перелічений комплекс становить актуальну і важливу проблему, на вирішення якої спрямована ця робота.

Мета роботи – створення теоретичних основ аналізу фізико-механічних процесів і станів, дослідження реакції дискретно-континуально зміцнених деталей конструкцій ДВЗ та визначення ефектів, що супроводжують застосування такого методу оброблення елементів ДВЗ та інших конструкцій, а також їх вплив на технічні та тактико-технічні характеристики вузлів, агрегатів та машин цивільного та військового призначення.

1. Теоретичні основи дискретно-континуального зміцнення елементів конструкцій.

Значна частина елементів машинобудівних конструкцій перебувають у силовому та кінематичному сполученні. Між контактуючими рухомими тілами відбувається передача руху та сил, яка супроводжується тертям і зношуванням. Це, зокрема пари «колінчастий вал – вкладиші підшипникових опор», «поршень – гільза циліндра ДВЗ», «шестерні – зубчасті колеса приводу нагнітача повітря танкового дизеля», «муфта – головка торсіонного вала підвіски бронетранспортерів, танків, бойових машин піхоти» тощо. У результаті у системах тіл, які перебувають у взаємодії, реалізуються такі процеси і стани:

«Н» – на вхід системи подається зовнішнє навантаження P ;

«К» – між елементами досліджуваних систем виникає контактна взаємодія, яка супроводжується створенням поля контактної тиску q , розподіленого уздовж області контакту в актуальному стані S_c , а також напружено-деформованого стану у контактуючих тілах, що займають області V_i ($i = 1, 2, \dots$);

«Т» – внаслідок взаємного зміщення контактуючих під навантаженням тіл виникає тертя, яке призводить, з одного боку, до енергетичних втрат та зниження ККД вузла та

агрегату або машини в цілому, а, з іншого – до зношування приповерхневих шарів матеріалів деталей;

«З» – зростання зазорів між контактуючими тілами внаслідок зношування приводить до підвищення рівня та нерівномірності просторово-часового розподілу навантажень у сполученнях контактуючих тіл.

Таким чином, на етапах «Н-К-Т-З» відбувається прогресуюче зростання: контактних зусиль, тертя, зношування та навантажень у ланцюгу «Н-К-Т-З-Н-...» відповідно. При цьому особливе значення набуває характер такого зростання на кожному підетапі процесу, що розглядається у багатофакторному просторі «НКТЗ».

Традиційні конструктивні рішення та технологічні засоби мають на кожному підетапі процесу, що розглядається, прогресуючий характер. Тобто, на кожному підетапі відбуваються процеси, які призводять до інтенсифікації процесів на наступних підетапах. Отже, реалізується прогресуюча «спіраль розкручування» процесів.

Методи зміцнення, що пропонуються, мають відмінності на кожному підетапі процесів «НКТЗ». Зокрема, навантаження у контактному сполученні перерозподіляється порівняно із традиційними технологіями. Так, розподіл контактного тиску q набуває замість плавного характеру «архіпелагу»: «острівці» зон дискретного зміцнення із матеріалів, що мають більш високі фізико-механічні характеристики, перетягують на себе більшу питому частину навантаження, спричиняючи локалізовані сплески контактного тиску q у цих зонах та зниження – на основному матеріалі. Враховуючи, що для матеріалу зон дискретного зміцнення коефіцієнт тертя є нижчим, ніж у основного матеріалу деталі, отримуємо два ефекти. Перший полягає у зниженні загальної сили тертя. Другий – у нерівномірному зношуванні матеріалу зон дискретного зміцнення та основного матеріалу. Перший із ефектів призводить до підвищення ККД вузла, механізму та машини в цілому. Другий стимулює утворення замість номінального деякого збуреного мікропрофілю, який узгоджується із розподілами контактного тиску і сил тертя. І, нарешті, саме зношування у цілому сповільнюється, а у заглибинах між контактуючими деталями, які створюються у ході нерівномірного зношування, відбувається циркуляція мастильної рідини та видалення мікрочастинок продуктів зношування. Цим самим забезпечується зниження і тертя, і зношування. Усі ці ефекти посилюються за рахунок контактної взаємодії із поверхневим шаром континуально зміцненої деталі, наприклад, корундовим мікрошаром на алюмінієвій деталі.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що на кожному із підетапів процесу «НКТЗ» створюються негативні зворотні зв'язки, які заторможують розвиток процесів на інших етапах. Сумарний ефект полягає у загальному зниженні експлуатаційних навантажень, підвищенні міцності та довговічності, зростанні ККД. Отже, процес «НКТЗНК...» набуває у часі не різко прогресуючого, а згладженого тренду, що асимптотує до стабільного повторюваного майже періодичного циклу у їх послідовності.

Початковою, базовою ланкою процесів і станів, що розглядаються, є контактна взаємодія дискретно і континуально зміцнених деталей. Для дослідження цієї контактної взаємодії побудовано представницький фрагмент, який містить дискретно зміцнену зону із легованої сталі, яка розміщена у основному матеріалі – чавуні. Цей фрагмент має вигляд паралелепіпеда, який у плані має грань фігури, якою замощено поверхню деталі. За висотою обрано розмір, у межах якого згасає нерівномірність напружено-деформованого стану (НДС), викликаного дією тиску на поверхні деталі. Цей фрагмент контактує із паралелепіпедом таких же розмірів, але із алюмінієвого сплаву, покритого корундовим шаром товщиною до 0,3 мм. Цей паралелепіпед відтворює фрагмент іншої деталі, спряженої із першою. На його зовнішню поверхню, протилежну контактуючій, діє рівномірно розподілений тиск, що породжується притисковою силою, яка притискає дві контактуючі деталі.

Для моделювання НДС контактуючих паралелепіпедів застосовано метод скінчених елементів у поєднанні із методом узагальненого параметричного моделювання процесів і станів у механічних системах. Тоді аналіз НДС полягає у пошуку мінімуму функціоналу повної енергії системи на множині розподілів пружних переміщень, які задають умови взаємопроникнення досліджуваних фрагментів контактуючих тіл. Варіюваними узагальненими параметрами є форма та розміри зони дискретного зміцнення на першій деталі, а також властивості шару із оксиду алюмінію, що є сумішшю його різних фаз, – на другій.

Таким чином, побудована математична модель напружено-деформованого стану елементів контактуючих дискретно-континуально зміцнених тіл, а також концептуальні основи ефектів, породжуваних у цих тілах у ході навантаження експлуатаційними силами.

2. Засоби та результати дослідження напружено-деформованого стану дискретно-континуально зміцнених тіл.

На основі розробленої узагальненої варіативної параметричної моделі створено спеціалізований програмно-модельний комплекс, який є засобом чисельного дослідження процесів, станів та ефектів у системі дискретно-континуально зміцнених сил.

У ході здійснених розрахунків НДС дискретно-континуально зміцнених тіл із урахуванням контактної взаємодії отримані наступні результати:

1) установлені особливості перерозподілу контактних сил за варіювання параметрів (форми, розмірів зон дискретного зміцнення та модуля пружності шару континуального зміцнення);

2) підтверджені прогнозовані нерівномірності розподілу контактного тиску і переміщень поверхонь тіл, що визначають так званий « Δ - ефект», який знижує тертя і зношуваність та підвищує ККД;

3) підтверджено сприятливий перерозподіл напружень для дискретно-континуально зміцнених тіл (т.з. « σ - ефект»), що позитивно впливає на міцність та довговічність вузлів із дискретно-континуально зміцнених деталей ДВЗ та інших конструкцій.

3. Ефекти, що супроводжують запропонований метод дискретно-континуального зміцнення.

У ході досліджень напружено-деформованого стану дискретно-континуально зміцнених тіл підтверджується раніше установлений позитивний результат застосування цього методу. Враховуючи, що одна із деталей зміцнюється дискретно, а інша, відповідна, – континуально, отримана пара поєднує позитивні якості двох різнотипних методів зміцнення. Дослідження напружено-деформованого стану оброблених фрагментів дає основу для висновку про високу ефективність запропонованого комбінованого методу зміцнення. При його застосуванні, на відміну від традиційних варіантів технологій зміцнення, задіяні механізми негативного зворотного зв'язку між етапами "навантаження – контактна взаємодія – тертя – зношування". У результаті отримується позитивний інтегральний ефект від застосування розробленої технології зміцнення. Цей ефект істотно перевищує суму ефектів від застосування кожної із технологій зміцнення. При цьому забезпечується сприятливий розподіл контактного тиску між контактуючими тілами. Це, у свою чергу, призводить до зменшення зношування, що перешкоджає різкому зростанню навантажень, які діють між тілами.

Таким чином, відбувається стабілізація досліджуваних процесів. Для демонстрації позитивних ефектів, що виникають при контакті зміцнених тіл, розглянено напружено-деформований стан представницького фрагмента досліджуваної системи. Результати розрахунків свідчать про справедливість прогнозних припущень. Дійсно, зміцнені зони сприймають великі навантаження. Проте у силу високих трибомеханічних властивостей матеріалу у зміцнених зонах тертя і зношування набагато нижчі, ніж у основного матеріалу. За рахунок цього формуються усі позитивні компоненти сумарного ефекту. Цей ефект підкріплюється тим, що відповідна деталь оброблена континуально. Зокрема, метали з

матеріалів типу алюмінію покриваються тонким шаром оксидів шляхом їх утворення у сильному електричному полі у спеціальному середовищі. Утворювані тверді фази оксидів служать структурною основою формування поверхневих шарів. У поєднанні із дискретно-зміцненими поверхнями відповідних деталей утворювана пара набуває високих міцнісних, антифрикційних та протизношувальних властивостей.

Висновки. Комплекс здійснених попередніх досліджень напружено-деформованого стану дискретно-континуально зміцнених тіл дає підстави для таких висновків.

1. Підтверджено, що зони дискретного зміцнення при прикладанні навантаження дещо виступають над номінальним рівнем поверхні дискретно-зміцненої деталі. Таким чином, інтенсивніша взаємодія між контактуючими тілами здійснюється переважно через зони дискретного зміцнення. Цей ефект, названий "Δ - ефект", створює сприятливі умови для роботи контактуючих деталей.

2. Підтвердився також раніше виявлений так званий "σ - ефект", який полягає у підвищенні загального запасу міцності за рахунок перерозподілу контактного тиску на зони дискретного зміцнення, матеріал яких має значно більш високі механічні властивості порівняно з основним матеріалом деталі.

3. Установлено, що раціональним є коефіцієнт дискретного зміцнення на рівні $0,6 \div 0,75$ від загальної площі зміцнення.

4. При запропонованому дискретно-континуальному методі зміцнення усі характерні особливості і ефекти від застосування дискретного зміцнення зберігаються, проте додаються нові якості за рахунок наявності шару гальвано-плазмового оксидування на відповідній деталі. У цьому випадку має місце припрацювання і відповідної деталі до дискретно зміцненої, а також і дискретно зміцненої. Це дає можливість забезпечити задану величину проміжку після припрацювання поверхонь, що труться. Товщина перетвореного шару методом гальвано-плазмового оксидування на поверхні алюмінієвої деталі рекомендується у межах 50-70 мкм.

5. Здійснений комплекс досліджень із застосуванням методів і засобів комп'ютерного моделювання є істотною основою для забезпечення ефективних технологічних рішень дискретно-континуального зміцнення.

6. Запропонований метод зміцнення є порівняно простим у реалізації, енергоефективним та екологічно безпечним як на етапах виготовлення, так і експлуатації.

7. Перевагою методу дискретно-континуального зміцнення є можливість застосування без внесення значних змін ні у конструкцію, ні в існуючу технологію виготовлення. Крім того, він придатний до застосування при ремонті та відновленні після («поверх») інших технологій зміцнення.

Аналіз результатів досліджень дає основу для загального висновку про працездатність і економічну ефективність запропонованого методу зміцнення високонавантажених деталей, що контактують, труться та зношуються під експлуатаційними навантаженнями у ДВЗ та інших конструкціях, визначаючи міцність, довговічність, ККД вузлів, агрегатів та машин у цілому.

Відповідно, створено проєктно-технологічний метод зміцнення деталей, що має принципові переваги перед традиційними методами зміцнення та позбавлений їх суттєвих недоліків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ткачук Н. А., Кравченко С. А., Пылев В. А., Парсаданов И. В., Грабовский А. В., Веретельник О. В. Дискретно-континуальное упрочнение контактирующих элементов конструкций: концепция, математическое и численное моделирование. Наука и техника. 2019. Т.18, №3. С. 240–247.

2. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей: монография / Н.А. Ткачук, С.С. Дьяченко, Э.К. Посвятенко, С.А. Кравченко, В.Г. Гончаров, В.В. Шпаковский, Н.Л. Белов, А.И. Шейко, А.К. Олейник, И. В. Пономаренко. Харьков: «Планета-Принт», 2018. 259 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГАЗОПОДАЮЩЕГО МОДУЛЯ НА ПРОЦЕСС ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА В МАЛООБОРОТНОМ ГАЗОДИЗЕЛЬНОМ ДВИГАТЕЛЕ

¹Белоусов Е.В., ²Марченко А.П., ¹Савчук В.П., ³Белоусова Т.П., ¹Рыбальченко Н.Е.

¹Херсонская государственная морская академия, Украина

²Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
Украина

³Херсонский государственный аграрно-экономический университет, Украина

Перевод судовых двухтактных малооборотных двигателей внутреннего сгорания (МОД) на газовые топлива рассматривается Международной морской организацией как наиболее эффективный инструмент реализации принятой в 2018 году программы по сокращению выбросов парниковых газов к 2050 году вдвое, по сравнению с уровнем 2008 года [1]. В этом направлении ведущие мировые производители МОД ведут активные исследовательские и проектно-конструкторские работы, направленные на их разработку, проектирование, внедрение в производство и практику эксплуатации. В данном классе двигателей существует ряд ограничений связанных с особенностями организации рабочего процесса, не позволяющих в полной мере применить для них имеющийся опыт переоборудования на газовое топливо четырехтактных судовых двигателей. Поэтому каждый производитель разрабатывает собственные подходы к решению данной проблемы. В результате, на сегодняшний день, наметились два принципиально отличающихся подхода – это подача газового топлива непосредственно в рабочий цилиндр в начале такта сжатия под относительно низким давлением и впрыск газового топлива под высоким давлением в камеру сгорания сразу после воспламенения запальной порции жидкого топлива [2-4]. Каждому из этих методов свойственны как ряд существенных преимуществ, так и определенный набор недостатков [5].

Ранее авторами было показано, что помимо уже реализованных технических решений могут быть использованы другие подходы, связанные с подачей газового топлива в рабочий цилиндр под давлением 4,0...6,0 МПа, которые позволяют сочетать в себе преимущества обоих реализованных на практике методов и существенно сократить свойственные им недостатки [6]. В частности, как эффективный метод борьбы с детонационным сгоранием, имеющем место в двигателях низкого давления, является сокращение времени пребывания газозвдушной смеси в рабочем цилиндре двигателя на такте сжатия [7]. В свою очередь, это время зависит от давления, под которым газовое топливо подводится к газоподающему модулю и от особенностей его истечения через проточную часть этого устройства [8]. Исследованию влияния конструктивных особенностей проточной части на формирование траекторий движения газового топлива и параметров его истечения из газового модуля в рабочий цилиндр в условиях меняющегося противодействия, посвящено данное исследование.

В основе технологии низкого давления лежит сжигание обедненной газозвдушной смеси по циклу приближенному к циклу Отто при высоком коэффициенте избытка воздуха. При этом топливо и воздух предварительно смешиваются на такте сжатия [3]. Газ поступает в рабочий цилиндр под относительно низким давлением в начальной стадии такта сжатия через два газоподающих модуля, установленных на втулке цилиндра. Основным фактором, ограничивающим мощность двигателей, выполненных по технологии низкого давления, является возникновение детонационного сгорания, что связано с образованием в газозвдушной смеси первичных комплексов – пероксидов, которые формируются в процессе

совместного сжатия углеводородов и кислорода воздуха. Таким образом, совершенствование процессов топливоподачи в цилиндры газодизельных двигателей, направленное на сокращение времени сжатия газовой смеси, позволит улучшить условия протекания рабочего процесса в них.

Канал сопловой вставки и прилегающая к нему камера с газовым клапаном обуславливают сложные траектории движения газового топлива на пути от газоподводящей магистрали к полости рабочего цилиндра, что существенно влияет на характер формирования потока и его расходные характеристики.

Для исследования этого влияния была разработана трехмерная модель газоподающего модуля в среде SolidWorks, общая компоновка которого представлены на рис. 1.

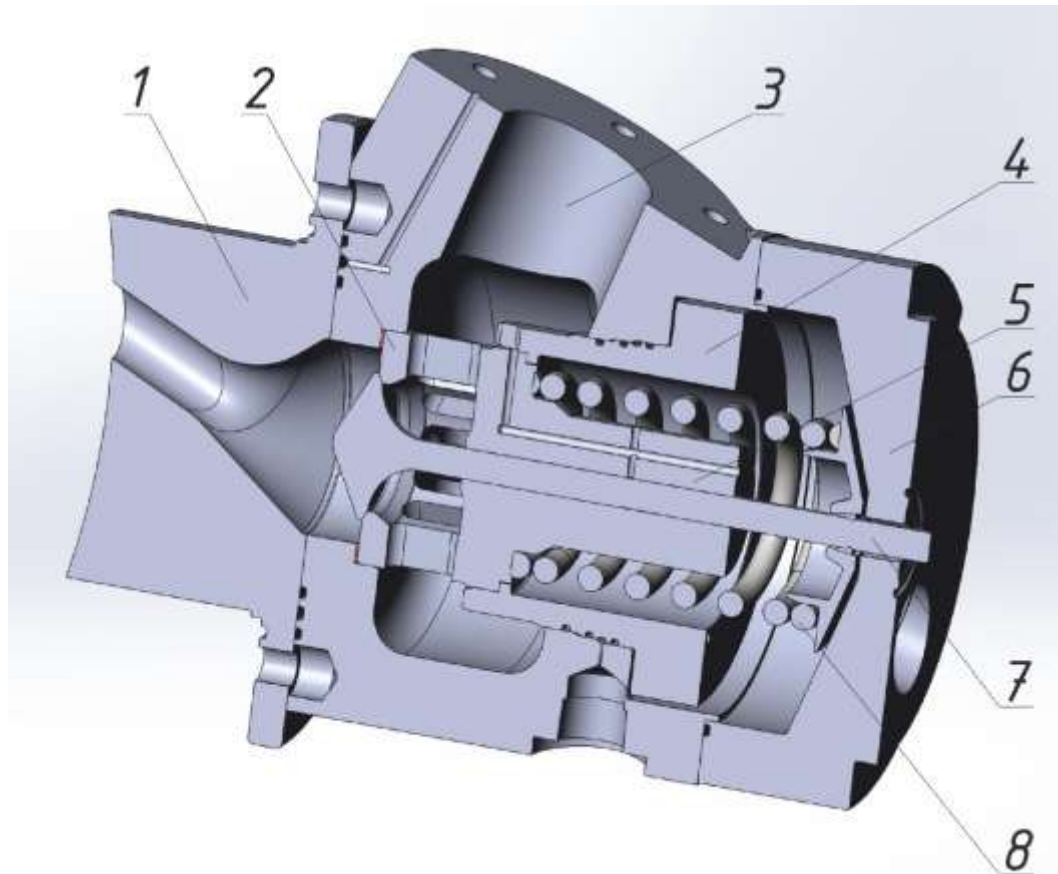


Рисунок 1 – Трехмерная модель газового клапана двигателя W-X62DF фирмы WinGD, выполненная в среде SolidWorks: 1 – сопловая вставка; 2 – седло газового клапана; 3 – канал подвода газового топлива; 4 – корпус газового клапана; 5 – направляющая газового клапана; 6 – крышка; 7 – газовый клапан; 8 – возвратная пружина

Использование газодинамического моделирования в трехмерной постановке позволяет, варьируя отдельными геометрическими параметрами проточной части газового модуля, получать параметры потока на выходе из соплового канала в рабочий цилиндр для любой точки процесса сжатия. Пример моделирования формирования траекторий газовых потоков и распределение скоростей в газоподающем модуле представлено на рис. 2. Показано изменение скорости потока вдоль траектории движения газового топлива от газоподводящей магистрали и до выхода из соплового канала, а так же изменение массового расхода как функции времени от момента открытия газового клапана.

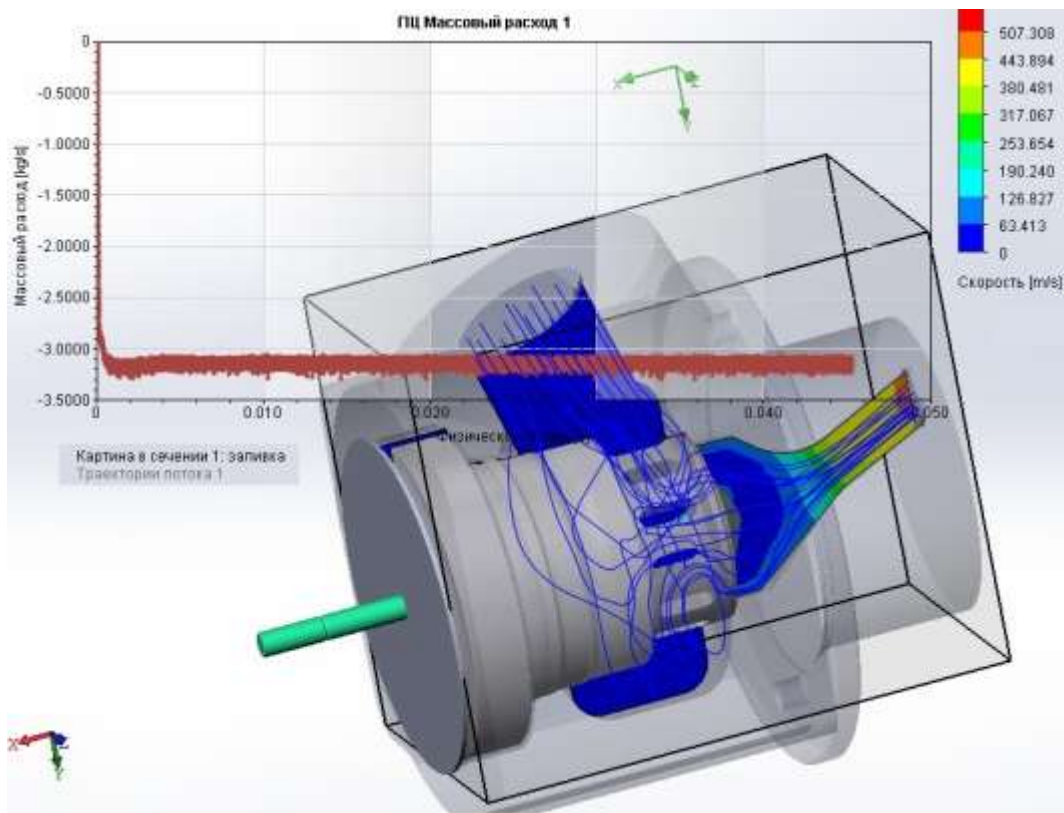


Рисунок 2 – Изменения расходных характеристик на срезе соплового канала газоподающего модуля, траектории и распределение скоростей вдоль газового тракта

Моделирование основных параметров потока выполнялось с учетом траекторий движения газового топлива внутри самого модуля, а так же профиля соплового канала в сечениях от 200 до 500 мм² с шагом в 50 мм². При этом входная часть соплового канала принималась сужающейся, как это показано на рис. 3. Давление газового топлива перед клапаном во всех случаях принималось равным 4,13 МПа.

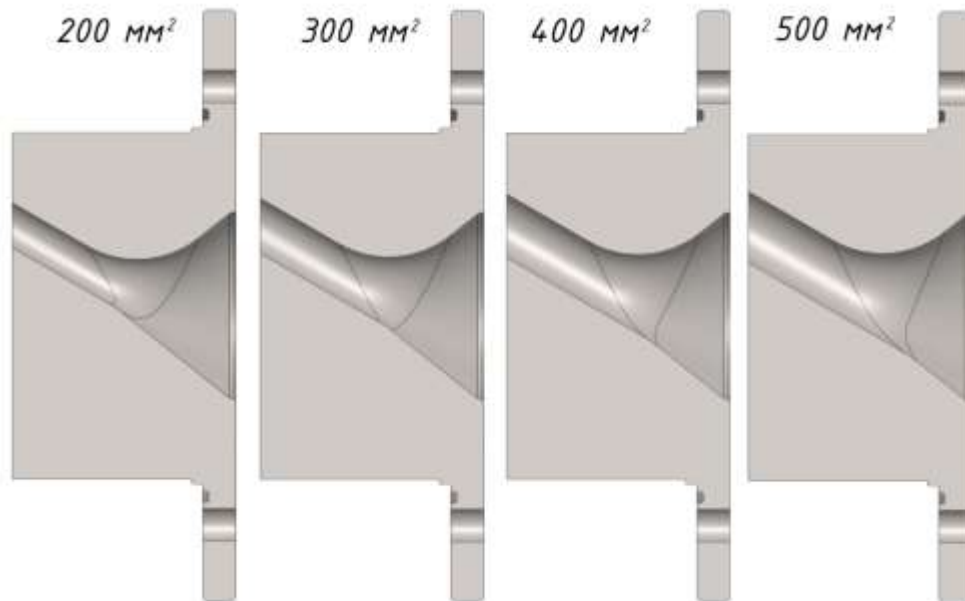


Рисунок 3 – Сечения сопловых каналов

Результаты моделирования истечения через продольные профили сопловых каналов представленных на рис. 3, приводятся на рис. 4.

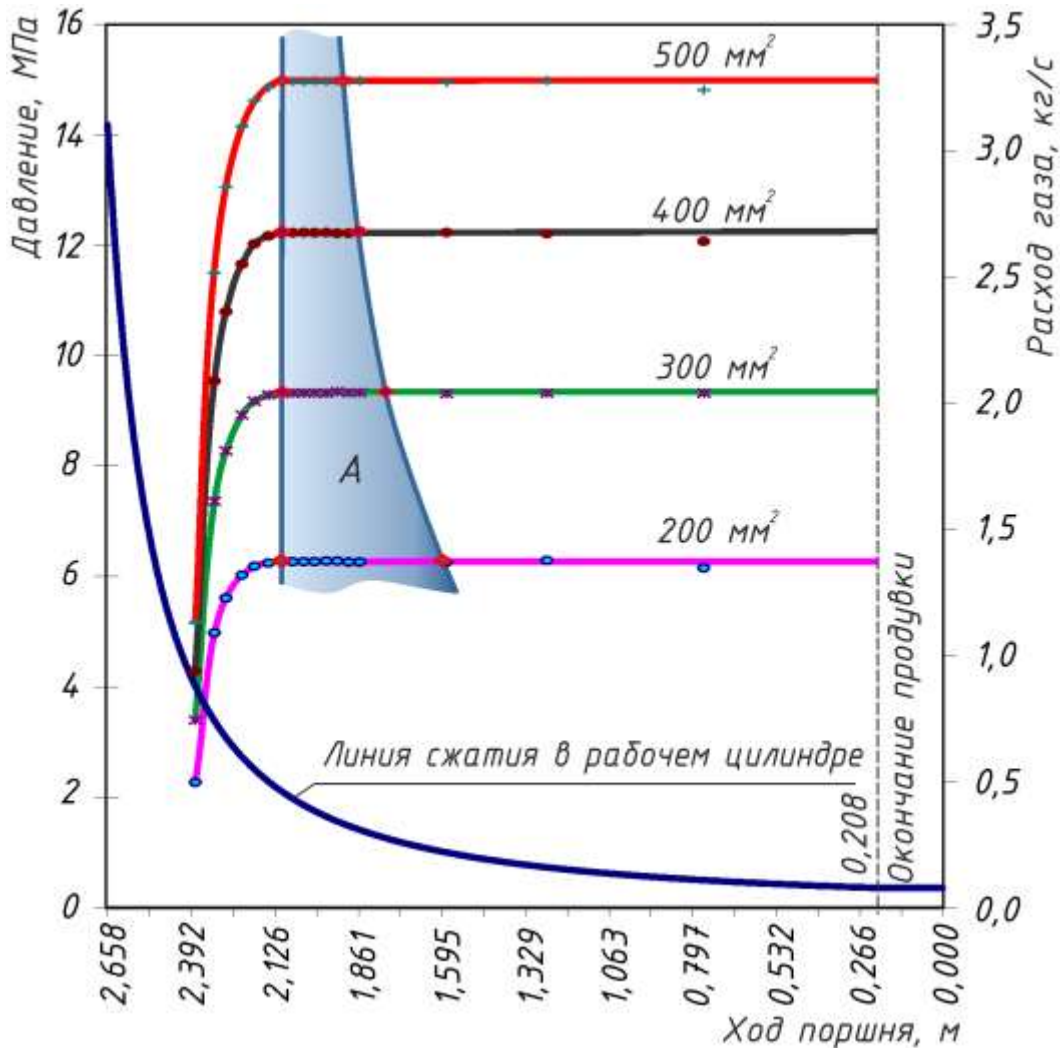


Рисунок 4 – Изменение расходных характеристик газового модуля как функция хода рабочего поршня на линии сжатия

Хорошо видно, что истечение газового топлива на участке сжатия с противодействием в рабочем цилиндре от 0,73 до 2,3 МПа, происходит в закритической области, а расход газа на этом участке остается постоянным. Увеличение противодействия приводит к переходу характера истечения в закритическую область и резкому уменьшению расхода газа. При этом увеличение сечения соплового канала прямопропорционально увеличивает расходные характеристики независимо от характера истечения. Так, увеличение сечения соплового канала в 2,5 раза приводит к трехкратному увеличению расхода на всех рассматриваемых режимах подачи.

В целом исследование режимов истечения газового топлива с помощью 3D-моделирования подтвердило полученные ранее авторами результаты [7, 8] относительно основных закономерностей процессов подачи топлива в рабочий цилиндр в условиях изменяющегося противодействия. Имеющиеся отличия могут быть объяснены тем, что в данном исследовании учитывались не только сечение соплового канала, но и траектория входа газового потока в этот канал, а также особенности движения газового потока в проточной части газоподающего модуля.

В результате профилирования соплового канала, представленного на рис. 3, расход газа через него увеличивается. Например, без учета продольного профиля соплового канала расход газа через сечение в 500 мм² в закритической области составлял 2,19 кг/с, в то время как с учетом профилирования это значение лежит в пределах 3,27 кг/с.

Таким образом профилирование входной части канала позволяет в 1,5 раза увеличить его пропускную способность и сдвинуть область подачи (область А на рис. 4) полной цикловой порции ближе к ВМТ, сократив время подачи с 0,03 до 0,0167 с, то есть в 1,8 раза (для сечения 500 мм²). При этом точка перехода характера истечения сдвигается от ВМТ. Смена режима происходит когда поршень проходит 2,10 м, в то время как для цилиндрического канала это происходит при ходе 2,157 м. В то же время момент начала подачи сдвигается с 1,796 до 1,91 м. В результате чего участок сжатия газовой смеси сокращается на 47%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weisser, G. Greenhouse Gas (GHG) Emissions from LNG Engines. Review of the Two-Stroke Engine Emission Footprint. / G. Weisser, D. Schneiter, I. Nylund // CIMAC Congress, Paper №. 426, Vancouver, 2019 – 15 p.
2. Juliussen, L.R. MAN B&W ME-GI Engines. Recent research and results. / L.R. Juliussen, M.J. Kryger, A. Andreasen // MAN Diesel & Turbo, Copenhagen, 2012. – 6 p.
3. Wettstein R. The Wärtsilä low-speed, low-pressure dual-fuel engine. / R. Wettstein // AJOUR Conference, Odense, 2014. – 31 p.
4. Белоусов, Е.В. Топливные системы современных судовых дизелей. – изд. 4-е стереотипное. / Е.В. Белоусов. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 256 с.
5. Белоусов, Е.В. Анализ современных подходов к проблеме создания судовых малооборотных газодизельных двигателей / Е.В. Белоусов, В.П. Савчук, Т.П. Белоусова // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – № 1. – С. 81-88.
6. Belousov, E. Research of the Gas Fuel Supply Process on the Compression Stroke in Ship's Low-Speed Gas-Diesel Engines / E. Belousov, A. Marchenko, I. Gritsuk, V. Savchuk, N. Bulgakov, V. Mitienkova, M. Ahieiev, O. Samarin, R. Vrublevskyi, M. Volodarets, Y. Kalashnikov, S. Pronin // SAE Technical Paper 2020-01-2107, 2020. – 14 p. doi:10.4271/2020-01-2107.
7. Белоусов, Е.В. Организация внутреннего смешанного образования в судовых малооборотных газодизельных двигателях / Е.В. Белоусов, В.П. Савчук, И.В. Грицук, Т.П. Белоусова // Двигатели внутреннего сгорания. – 2017. – №2. – С. 13-16.
8. Марченко, А.П. Исследование влияния давления подачи и сечений сопловых каналов на процессы топливоподачи в газодизельных малооборотных двухтактных двигателях низкого давления / А.П. Марченко, Е.В. Белоусов, В.П. Савчук, В.С. Вербовский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2020. – № 1. – С 6-12.

ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА З ГБО ВСТАНОВЛЕННЯМ ВАРІАТОРА КУТА ВИПЕРЕДЖЕННЯ ЗАПАЛЮВАННЯ

Євсєєва Н.О., Курилов М.С., Сухонос Р.Ф.
Національний університет «Запорізька політехніка», Україна

Вступ. Розвиток автомобільного транспорту в Україні стикається з рядом проблем, зокрема, зростання вартості палива і забруднення навколишнього середовища. Актуальні проблеми підвищення ефективності та екологізації сучасних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) транспортного призначення можуть бути вирішені заміною традиційних палив, бензину та дизельного, на альтернативні, у тому числі і зріджений нафтовий газ. Передові світові автовиробники впроваджують моделі двигунів, що працюють на газовому паливі, які мають покращені техніко-економічні показники, зокрема, за рахунок керування роботою системи запалювання.

Актуальність дослідження. З моменту появи перших ДВЗ і до теперішнього часу основними видами палива для автотранспорту залишаються продукти нафтопереробки – легкі (бензин) і важкі (дизельне паливо). Ці палива представляють собою суміші вуглеводнів і присадок, призначених для поліпшення їх експлуатаційних властивостей. Згідно до даних ОПЕК, світові запаси нафти стрімко скорочуються, тому розвиток ДВЗ нерозривно пов'язаний з перспективами видобувної та хімічної промисловості. Існуючі на даний час електрокари не здатні повноцінно замінити поршневі ДВЗ в усіх галузях.

Альтернативні види палива – це природний газ, нафтовий вуглеводневий газ (пропан-бутановий), спирти, синтетичне паливо, водень, генераторний газ, сонячна енергія та ін. Перспективи альтернативного палива такі, що вже сьогодні світові автовиробники випускають близько 50 різних моделей, що працюють на альтернативних видах пального. Але існують і негативні фактори використання альтернативних видів пального.

Робочий цикл автомобільних ДВЗ, що працюють на газі, в основному ідентичний робочому циклу при роботі на рідкому паливі. Однак при переобладнанні вже існуючих транспортних засобів з бензиновими двигунами для роботи на природному газі (тобто встановлення газобалонного обладнання – ГБО) ефективна потужність двигуна знижується на 15...20 % внаслідок нижчої енергемісткості газоповітряної суміші та зменшення наповнення циліндрів повітрям, що призводить до погіршення тягово-швидкісних властивостей та продуктивності газобалонного автомобіля [1–5].

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є визначення та порівняння ефективних якостей автомобіля, обладнаного бензиновим ДВЗ з іскровим запалюванням і сучасними системами впорскування бензину, зрідженого нафтового газу, при роботі на обох видах палива (окремо) та з варіатором кута випередження запалювання (КВЗ).

Результати досліджень. Варіатор кута випередження запалювання – електронний пристрій, який встановлюється в системі запалювання ДВЗ з ГБО. Головні переваги варіатора: точно визначає момент запалювання газової суміші; оптимізує процес згорання газу в бензиновому двигуні; знижується витрата палива; двигун працює м'якше і тихіше; впускні клапани і сідла клапанів не перегріваються і служать довше; робоча температура ДВЗ і вихлопних газів не підвищується. Головна функція варіатора КВЗ – коригувати КВЗ так, щоб паливо згорало якомога в повному об'ємі на різних режимах роботи двигуна.

Для проведення необхідного комплексу випробувань двигун MeM3-317 був налаштований таким чином: систему паливоподачі змінено так, щоб мати можливість швидко

змінювати вид використовуваного палива; проведено налаштування інжектора – оптимальним налаштуванням кута випередження запалювання.

Після встанлення на автомобіль варіатора за допомогою спеціальної програми можна змінити КВЗ на необхідну величину, причому на різних обертах.

Поетапно змінювали кут випередження запалювання, фіксуючи, при яких значеннях забезпечується отримання максимальної потужності і максимального крутного моменту.

При випробуванні двигуна на бензині потужність склала 70,5 к.с., при роботі на газу 72 к.с. Але після збільшення кута випередження запалювання на $6...8^\circ$ (на різних обертах) максимальна потужність склала 78,9 к. с. Навантажувально-потужностний графік двигуна MeM3-317, що працює на бензині та газу, показано на рисунку 1.

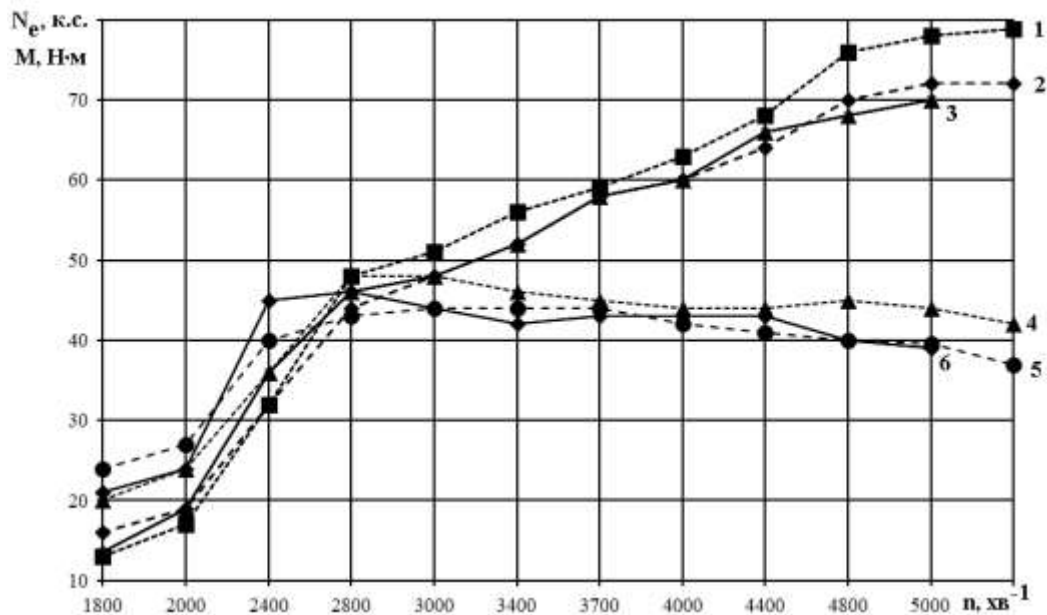


Рисунок 1 – Результати випробувань двигуна MeM3-317, що працює на бензині (потужність 3, крутний момент 6), на газу без варіатора (потужність 2, крутний момент 5), з варіатором кута випередження запалювання (потужність 1, крутний момент 4)

З отриманих даних можна побачити значний приріст потужності (до 12,7 %) і збільшення крутного моменту (до 4,6 %) двигуна, працюючого на газі з варіатором КВЗ.

Висновки. Головною перевагою варіатора КВЗ є поліпшення тяги і динаміки автомобіля. При налаштуванні різниця між бензином і газовим без коригування КВЗ незначна. Варіатор КВЗ на двигунах з ГБО також зменшує витрату газу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Золотницький, В. А. Автомобильные газовые топливные системы [Текст]. – М. : АСТ; Астрель, 2007. – 128 с.
2. Дьяченко, В. Г. Теория двигателей внутреннего сгорания [Текст]. – Харьков : Издательский центр НТУ «ХПИ», 2009. – 486 с.
3. Газобаллонное оборудование автомобилей Lanos, Aveo, Sens, Nexia. Устройство, установка, обслуживание [Текст]. – Изд. Монолит, 2009. – 75 с.
4. Манько, І. В. Вплив виду палива на його витрату при русі автомобіля за Європейським їздовим циклом [Текст] / І. В. Манько, О. А. Клименко, Р. В. Симоненко, О. В. Кудренко // Вісник НТУ. – 2012. – № 25. – С. 259–262.
5. Манько, І. В. Вплив виду палива на експлуатаційні властивості легкового автомобіля [Текст] / І. В. Манько // Вісник НТУ. – 2013. – № 27. – С. 306–309.

ВПЛИВ ВОДНЕВИХ ДОМІШОК НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Шалапко Д.О.

Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
Україна

Потреба в альтернативних суднових паливах є однією з найважливіших вимог до морських дизельних двигунів, щоб вони відповідали жорстким нормам викидів, встановленим міжнародною морською організацією (ІМО) [1]. Крім того, швидке виснаження викопного палива з його шкідливим впливом на довкілля заохочує потребу у відновлюваних та чистих альтернативних видах палива.

Водневе паливо є одним із перспективних, відновлюваних та екологічно чистих видів палива на майбутнє [2]. Водневе паливо має широкий діапазон меж горючості, високу теплотворну здатність та стехіометричне відношення повітря до палива та низьку питому вагу порівняно з дизельним паливом. З цими характеристиками, водневе паливо можна використовувати одноосібно або поєднувати з іншими видами палива для покращення згорання і відповідно зменшуючи шкідливі викиди відпрацьованих газів.

Проте одним з найбільш економічно доцільних є застосування водневих добавок у невеликих кількостях. Так, при використанні способу [3] згідно якого в паливну магістраль високого тиску через спеціальний змішувальний пристрій додається воднева домішка у порції до 0,15% по масі до основного палива. В такий спосіб можливо досягти економії палива до 3%, в залежності від режиму роботи двигуна.

На базі уточненої математичної моделі [4-5] з урахуванням експериментальних показників тепловиділення та характеристик палива було виконано математичне моделювання робочого циклу двигуна 6L20 при різному тиску водню в якості домішки. За отриманими результатами побудовано залежності (рис. 1-3), що демонструють зміну експлуатаційних показників двигуна з використанням водневих добавок в широкому діапазоні робочих параметрів.

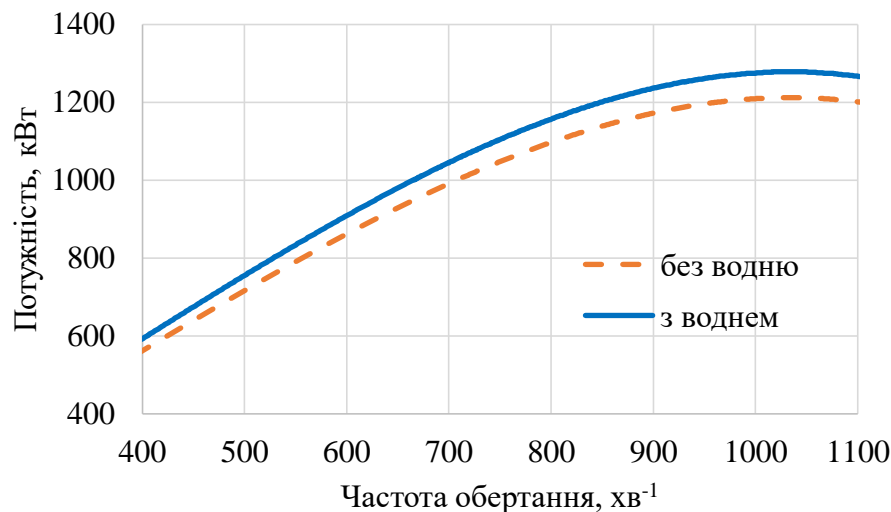


Рисунок 1 – Зовнішня характеристика двигуна Wartsila 6L20

Як видно з рис. 1. при збільшенні потужності збільшується ефективність використання водневої домішки, оскільки часовий наявність водню позитивно впливає на організацію робочого процесу в ДВЗ.

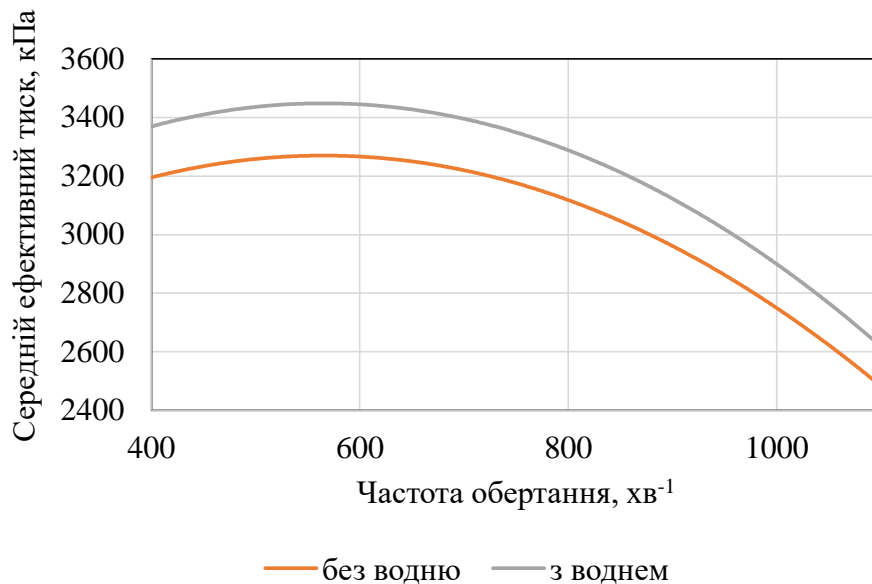


Рисунок 2 – Зміна середнього ефективного тиску від частоти обертання колінчастого валу

Відповідно даних рис. 2 при збільшенні значення середнього ефективного тиску P_e в циліндрі вплив використання добавок водню зменшується, що характерне для найбільш ефективного режиму роботи двигуна.

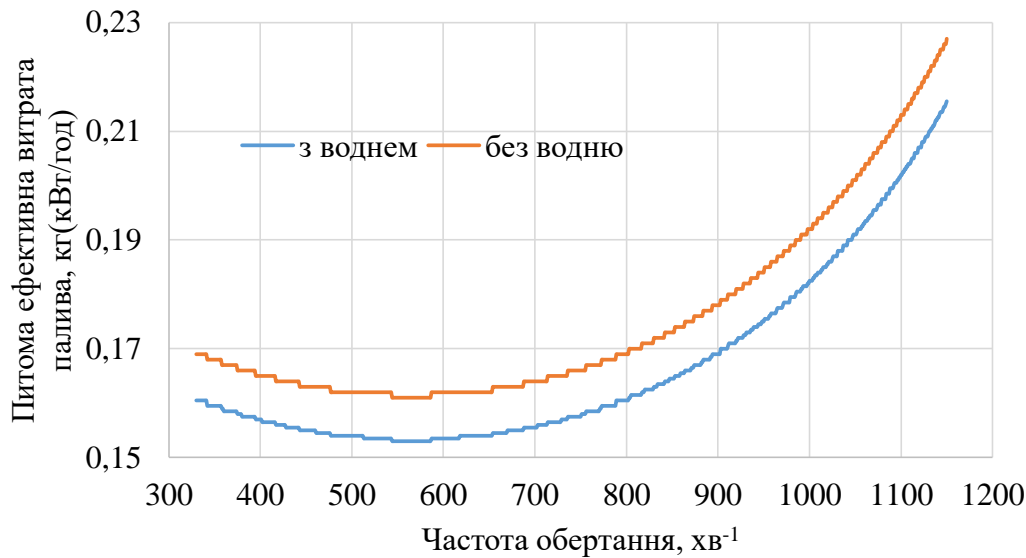


Рисунок 3 – Залежність питомої ефективної витрати палива від частоти обертання двигуна

Проаналізувавши рис. 3, робимо висновок, що найбільший вплив на зменшення витрати палива досягається на часткових режимах роботи двигуна.

Висновок. Аналіз моделі використання малих домішок водню до основного палива двигуна Wartsila 6L20 показав, що особливо значне зменшення витрати палива досягається на часткових режимах роботи двигуна. В той же час приріст потужності спостерігається пропорційно збільшенню навантаження на двигун. Отже, використання домішок водню у порції 0,1% за масою доцільне в широкому діапазоні навантаження, та дозволяє збільшити потужність двигуна на 2,5...4%, та зменшити витрату палива на 3...5%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г.; измененная Протоколом 1978 г. к ней; МАРПОЛ 73/78. - СПб.: АОЗТ ЦНИИМФ, 1994. - 310 с.
2. Тимошевський Б.Г., Ткач М.Р., Шалапко Д.О. Поліпшення робочих характеристик дизельних двигунів за допомогою додавання водню // Водный транспорт. 2016. №2 (25). С. 24-28.
3. Ткач М.Р., Тимошевский Б.Г., Доценко С.М., Галынкин Ю.Н., Шалапко Д.О. Утилизация теплоты вторичных энергоресурсов судовых малооборотных двигателей, работающих на альтернативном топливе // Двигатели внутреннего сгорания. 2017. №2. С. 8-13.
4. Тимошевський Б.Г., Ткач М.Р., Шалапко Д.О. Основні положення математичної моделі додавання водню на лінії високого тиску паливної апаратури // Вісник Херсонського національного технічного університету. 2017. Т. 1., № 3 (62). С. 233-237.
5. Шалапко Д.О. An experimental study of the wave effect in fuel equipment using hydrogen additives to diesel fuel // Technology audit and production reserves. 2018. Vol 6/1, (44). С. 36 – 40.
6. Shalapko D.O., Proskurin A.Y., Mitrophanov O.M. Methods to improve the performance of diesel engines by adding hydrogen into high pressure line // Shipbuilding & marine infrastructure. 2018. Vol.9., № 1. С. 82 – 86.
7. Шалапко Д.О. Непрямі методи дослідження ефекту використання малих домішок водню до основного палива // Авіакосмічна техніка та технологія. 2018. №6 (150). С. 44 – 51.

ЗАСТОСУВАННЯ КРИВОЇ ВТОМИ НОВОЇ ФОРМИ ПРИ ОЦІНЦІ МІЦНОСТІ СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Шумило О.М., Кононова О.М., Бараболя К.Ю.
Одеський національний морський університет, Україна

Останнім часом при розрахунках деталей на довговічність і при прискорених випробуваннях на втоми достатньо перспективним вважається використання кривої втоми нової форми [1, 2] з лівим відрізком за степеневою функцією

$$\sigma^m N = \sigma_R' N_G = \sigma_d^m \cdot 1 = 10^C \quad (1)$$

і правим відрізком за уніфікованою функцією Вейбулла (вона є більш доцільною, а ніж загально вживана функція Вейбулла)

$$(\sigma - \sigma_R)N = (\sigma_d' - \sigma_R)N \cdot 1 = 10^{C'_W}, \quad (2)$$

де σ і N – поточні напруга і довговічність до зруйнування; m , C , σ_d , σ_d' – параметри кривих втоми за рівняннями (1) і (2);

N_G , σ_R' – координати точки злому кривої з лівим відрізком за функцією (1), яку вважають традиційною, і в якій лівий відрізок переходить у горизонталь $\sigma = \sigma_R'$;

σ_R' – обмежена границя витривалості, яка відповідає базі $N_b = N_G$;

σ_R – фізична границя витривалості, що відповідає необмеженій довговічності.

Існують тісні кореляційні зв'язки між параметрами степеневої функції й уніфікованої функції Вейбулла [1, 2]. Для сталених об'єктів вони мають вигляд

$$m = f(\sigma_R') = a\sigma_R' + b, \quad (3)$$

$$C = F(\sigma_R') = \alpha(m + 1) \lg \sigma_R' + \beta + \Delta\beta, \quad (4)$$

$$C'_W = F'_W(\sigma_R) = \alpha'_W \lg \sigma_R + \beta'_W, \quad (5)$$

де a , b , α , β , α'_W , β'_W – коефіцієнти;

$\Delta\beta$ – поправка коефіцієнта β . Для сталених деталей $a=0,027$, $b=1,400$, $\alpha=0,997$, $\beta=4,000$,

$\Delta\beta = 0,5(2,5 - \lg \sigma_R')$ при $\lg \sigma_R' < 2,5$, $\Delta\beta = 0$ при $\lg \sigma_R' \geq 2,5$, $\alpha'_W=1,000$, $\beta'_W=5,100$.

У праці [3] обґрунтовано доведено, доцільність перетину відрізків кривої нової форми у точці перелому традиційної кривої з координатами $\lg \sigma_R'$, N_G (рис.1) у зв'язку з цим, виходячи з функції (1) та зв'язків (3) і (4), одержуємо вираз для довговічності N_G

$$N_G = \frac{10^C}{\sigma_R'^m} = \frac{10^{\alpha(m+1) \lg \sigma_R' + \beta + \Delta\beta}}{\sigma_R'^m}, \quad (6)$$

де σ_R' виражено в МПа.

З іншого боку згідно з рівнянням (2) і зв'язком (5) можна записати

$$(\sigma_R' - \sigma_R)N_G = \sigma_R \cdot 10^{5,1},$$

звідки визначають довговічність N_G

$$N_G = \frac{10^{5,1}}{1 + \sigma'_R / \sigma_R} \quad (7)$$

Прирівнюючи праві частини виразів (6) і (7) одержуємо

$$\frac{10^{\alpha(m+1) \lg \sigma'_R + \beta + \Delta\beta}}{\sigma'_R{}^m} - \frac{10^{5,1}}{1 + \sigma'_R / \sigma_R} = 0. \quad (8)$$

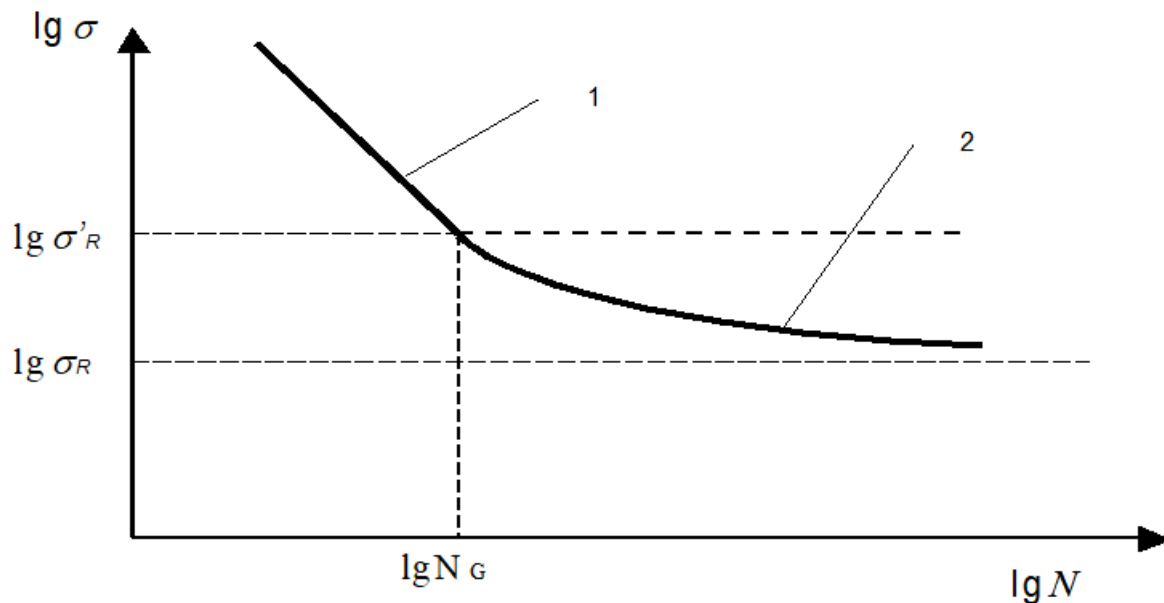


Рисунок 1 – Крива втоми нової форми з левим відрізком (1) за степеневою функцією й правим відрізком (2) за уніфікованою функцією Вейбулла.

Задаючись низкою значень σ'_R , знаходимо з виразу (8) значення фізичної границі витривалості σ_R .

Результати розрахунків на основі викладених міркувань наведені у таблиці 1 для широкого інтервалу міцності деталей до якого входять і лабораторні зразки й крупні деталі.

Таблиця 1. Границі витривалості σ'_R и σ_R та їх співвідношення

| σ'_R , МПа | m | N_G , циклов | σ_R , МПа | d | $\Delta\sigma_R$, МПа |
|-------------------|-------|----------------|------------------|--------|------------------------|
| 100 | 4,10 | 1,657E+06 | 92,9 | 1,0760 | 7,060 |
| 150 | 5,45 | 1,977E+06 | 141,0 | 1,0637 | 8,981 |
| 200 | 6,80 | 2,222E+06 | 189,3 | 1,0567 | 10,726 |
| 250 | 8,15 | 2,416E+06 | 237,6 | 1,0521 | 12,380 |
| 300 | 9,50 | 2,574E+06 | 286,0 | 1,0489 | 13,991 |
| 350 | 10,85 | 2,842E+06 | 335,2 | 1,0443 | 14,846 |
| 400 | 12,20 | 3,155E+06 | 384,7 | 1,0399 | 15,348 |
| 450 | 13,55 | 3,447E+06 | 434,1 | 1,0365 | 15,857 |
| 500 | 14,90 | 3,717E+06 | 483,6 | 1,0339 | 16,379 |

Як видно з таблиці 1, різниця $\Delta\sigma_R$ і співвідношення $d = \sigma'_R/\sigma_R$ повільно зростають з ростом міцності, але залишаються у досить вузькому інтервалі. При зростанні величини σ'_R від 100 МПа до 500 МПа ордината точки перетину відрізків знаходиться в інтервалі від $1,65 \cdot 10^6$ до $3,70 \cdot 10^6$, що добре узгоджується з відомими рекомендаціями [1, 4].

Згідно з наведеними розрахунками була здійснена апроксимація залежності $\Delta\sigma_R = f(\sigma_R)$ і $d = f(\sigma_R)$, яка має вигляд

$$\Delta\sigma_R = -6 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_R^2 + 0,058\sigma_R + 2,01, \quad (9)$$

$$d = 10^{-7} \cdot \sigma_R'^2 - 0,0002\sigma_R' + 0,92. \quad (10)$$

Наявність залежностей (9) і (10) дозволяє спростити обробку досліду для побудови індивідуальної кривої втоми.

Таким чином, виявлена особливість різниці $\Delta\sigma_R$ границь витривалості за традиційною кривою втоми і кривою нової форми і співвідношенням d поміж ними дозволяє точніше оцінювати міцність деталей суднових машин при проектуванні і ремонті та має певну цінність і с позицій прискореного випробування при побудові індивідуальних кривих втоми цих конструкцій означеної форми як перспективніших порівняно з відомими.

ЛІТЕРАТУРА

1. Олійник М.В., Омельченко Ю.М., Немчук О.О. Конструкційна міцність деталей за результатами випробувань і розрахунків. – Одеса: АстроПринт, 1999. – 152 с.
2. Олійник М.В., Шумило О.М. Визначення границі витривалості деталі за результатом зруйнування при нерегулярному навантаженні // Проблеми техніки. - 2002. - № 1. – С. 3-10.
3. Олійник М.В., Шумило О.М. Оцінка витривалості сталевих деталей // Проблеми техніки. - 2002. - № 2. – С. 93-103.
4. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.

ІНЕРЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІД ЧАС РУХУ ВСЕРЕДИНИ ОБ'ЄМУ РІДИНИ, ЩО ПРИЗВОДЯТЬ ДО ПОСИЛЕННЯ ХИТАВИЦІ СУДНА

Палагін Олександр Миколайович

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», Україна

Вступ. Транспортні судна погрузного типу є унікальними за призначенням свого використання. Сучасні тенденції в розвитку водного транспорту, що використовується для перевезення великогабаритних і нестандартних вантажів на судах погрузного типу, вимагають використання нових підходів до технології експлуатації таких суден. На перше місце виходять вимоги до підвищення їх надійності і скороченні термінів проведення вантажно-розвантажувальних операцій без зниження показників аварійності.

Актуальність досліджень. Специфічні особливості конструктивного виконання таких суден при зануренні або спливанні судна на місці приймання або здачі вантажу завжди призводять до однієї і тієї самої проблеми – виникнення і подальшого хаотичного руху повітряних порожнин всередині заповнених баластною водою танків судна. Через надмірний обсяг таких порожнин їхні інерційні характеристики під час руху всередині об'єму рідини, можуть призводити до посилення хитавиці судна, давати високі додаткові навантаження на його корпус, або призводити до виникнення аварійних ситуацій з негативним результатом – втратою вантажу, затопленням судна тощо.

Постановка задачі. З урахуванням вищевикладеного вимагає вирішення актуальна науково-технічна проблема, яка полягає в розробці нових принципів функціонування технічних систем суден погрузного типу, що забезпечать істотне підвищення якості їхньої експлуатації за рахунок використання нової системи усунення надмірного повітря з робочих обсягів баластних танків і зниження аварій, пов'язаних з додатковою хитавицею судна. [1,2,3,4,5].



Рисунок 1 – Судно Target

Основна частина. Метою роботи є підвищення ефективності роботи та експлуатаційних характеристик суден погрузного типу шляхом розробки нової технології усунення надлишкових паразитних обсягів повітря в судових технологічних танках.

Поставлена мета досягається через вирішення таких допоміжних завдань:

– зробити аналіз технологічних і експлуатаційних особливостей роботи суден погрузного типу і в сукупності з результатами теорії плавання замкнених обсягів в рідинах розробити нову технологію заповнення водою баластних танків для головного експлуатаційного режиму – баластуванню судна при його зануренні з присутністю в баластних танках великих паразитних повітряних обсягів [1,2,3,4].;

– розробити на основі гіпотези про взаємопроникаючі континууми математичну модель двовимірного ізотермічного коливального руху всередині суднового баластного танка великих обсягів повітря в воді за умови занурення судна на хвилюванні з метою моделювання процесу усунення паразитного повітря під час топінговки баластних танків [2,4].;

– встановити на основі чисельного підходу з використанням багатомасштабного моделювання основні фактори, що впливають на місця скупчення паразитних обсягів повітря в баластних танках і вплив основних суднових експлуатаційних показників на роботу розробленої системи щодо усунення паразитного повітря в танках;

– отримати нові науково-технічні результати, що відображають зміну основних експлуатаційних характеристик судна на хвилюванні і тих наукових даних, які описують поведінку паразитного обсягу повітря в судновому баластному танку в ході процесу його руху і розпаду на ряд дрібних повітряних обсягів;

– розробити універсальну методику проектування, монтажу та алгоритм інтегрування в суднові системи OSTOPUS і CARGOMASTER для системи видалення надлишкових паразитних обсягів повітря з баластних танків на суднах погрузного типу.

Об'єкт дослідження – процес занурення або спливання суден погрузного типу в умовах хвилювання морської поверхні.

Предмет дослідження – технологічна система заповнення або спорожнення технологічних баластних танків на суднах погрузного типу.

Методи дослідження використані у роботі: аналітичний метод для проведення порівняльної оцінки суден погрузного типу, теорія плавання повітряних бульбашок в рідинах для оцінки впливу параметрів хвилювання на поведінку паразитних повітряних обсягів в баластних танках судна, теорія розмірності для отримання основних критеріальних залежностей, метод кінцевих різниць для моделювання процесів руху води і повітря всередині баластних танків при хитавиці корпусу судна на хвилюванні, чисельні методи апроксимації для побудови характеристик зміни неконтрольованого кута хитавиці судна при і без роботи системи усунення паразитного повітря в баластних танках судна, метод планування експерименту для вивчення основних параметрів, що впливають на роботу системи усунення паразитного повітря в суднових баластних танках, метод статистичної обробки результатів вимірювань.

Висновок. Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні моделей та методик руйнування великих паразитних обсягів повітря на поверхні води в суднових баластних танках, що дають змогу підвищити ефективність стабілізації крену суден погрузного типу під час хвилювання морської поверхні.

Вперше:

– отримано математичну модель, що дозволяє для реальних умов хитавиці судна при хвилюванні морської поверхні моделювати процес руху і руйнування великих паразитних обсягів повітря на поверхні баластної води за умови динамічного впливу з боку зовнішніх сил і жорстких стінок суднового баластного танка в якому вони знаходяться;

– встановлені залежності характеру зміни та швидкості руйнування великих паразитних обсягів повітря на поверхні води в баластному танку під час хитавиці судна, що враховують вплив на них руйнуючих струменів під тиском.

Удосконалено метод стабілізації крену суден погрузного типу, який відрізняється від існуючих використанням номограми, що відображає вплив якості роботи системи стабілізації в залежності від величини хвилювання морської поверхні.

Отримала подальший розвиток процедура знаходження оцінки ефективності стабілізації крену суден погрузного типу, яка на відміну від існуючих враховує час баластування, крен і диферент судна, що дозволяє підвищити безпеку експлуатації суден погрузного типу.

Практичне значення роботи:

– для двох класів конструктивного виконання всіх існуючих суден погрузного типу виконаний аналіз основних технічних характеристик і технологічних схем роботи в ході якого встановлено, що з існуючих тридцяти дев'яти суден тільки чотири не мають світових аналогів, а всі інші судна можуть розглядатися, як ідентичні одне одному і потребують модернізації технічних систем топінговки баластних танків;

– для зниження аварій на суднах погрузного типу при операціях занурення, або спливання на принципі гідродинамічних нестійкостей, розроблена технологія усунення паразитних обсягів повітря при топінгуванні баластних танків і сформульований основний принцип модернізації судових технологічних схем подачі баластної води;

– встановлено, що тиск ударного струменя впливає тільки на початковий процес руйнування паразитного повітряного міхура в баластному танку і починаючи з величини умовної часової межі, що дорівнює 4,5 хвилини для руйнування повітряних бульбашок потрібен тиск, що дорівнює 0,3 МПа;

– встановлено, що за рахунок зіткнення струменя під тиском з повітряним міхуром під гострими кутами атаки процес топінгування баластних танків стає набагато ефективнішим оскільки в цьому випадку можливо вплинути на зміну показників неконтрольованої хитавиці судна практично за одну фазу пневматичного удару;

– сформульовані основні вимоги до проектування, монтажу та експлуатації технічної системи усунення паразитних обсягів повітря при топінгуванні баластних танків з одночасною її інтеграцією в керуючі судові системи OCTOPUS і CARGOMASTER.

ЛІТЕРАТУРА

1. Саранин В.А. Равновесие жидкостей и его устойчивость. М. Институт компьютерных исследований. 2002, – 144 с.
2. Григорьева И.В. Исследование эволюции пространственного газового пузыря в идеальной несжимаемой жидкости.// Вестник Кемеровского государственного университета., Выпуск 4, Кемерово, 2000, С. 123 с.
3. J. Li. Euler–Lagrange simulation of flow structure formation and evolution in dense gas–solid flows. Enschede, 2002. P. 212.
4. Лэмб Г. Гидродинамика. Гос. изд–во технико–теоретической лит–ры. М. – Л. 1947. 928 с.
5. Аксютин Л.Р. Борьба с авариями морских судов от потери остойчивости./ Аксютин Л.Р// Судостроение, 1986. - 160 с.

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ АЛМАЗНИХ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ КОМПОЗИТІВ ПРИ НРНТ СПІКАННІ АЛМАЗНИХ ПОРОШКІВ З НЕТРАДИЦІЙНИМИ АКТИВУЮЧИМИ ДОБАВКАМИ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ МАТЕРІАЛУ

¹Шульженко О.О., ¹Соколов О.М., ¹Гаргін В.Г., ²Ніколенко А.С., ²Стрельчук В.В.,
¹Кузьменко Є.Ф., ³Белявіна Н.М.

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України

²Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

³Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Україна

Як відомо, проблема тепловідведення є дуже актуальною при механічній обробці матеріалів. Сучасні високоефективні способи обробки матеріалів супроводжуються значним розігрівом зони різання (шліфування), що призводить до високої інтенсивності зносу інструменту. Висока теплопровідність сприяє зниженню розігріву ріжучої кромки при високих швидкостях обробки. Крім того, точність і якість виготовлення або обробки деталей безпосередньо пов'язані з якістю виготовлення, точністю і довговічністю використовуваного інструменту. Одним із способів підвищення його зносостійкості при обробці матеріалів є зниження теплонапруженості контактних шарів інструменту і деталі шляхом інтенсифікації тепловідведення з зони різання (шліфування). Тому важливим є завдання розробки інструменту з більш теплопровідним матеріалом ріжучої частини, конструкцій із збільшеними тепловідвідними поверхнями і т. д. Великий потенціал для вирішення цього завдання мають сучасні алмазні полікристалічні композиційні матеріали (АПКМ).

Як показали експериментальні дослідження, перспективним напрямком отримання теплопровідних алмазовміщуючих матеріалів є розробка технологій, які передбачають використання техніки високого тиску і заснованих на спіканні шихти, що містять алмаз і мідь [1]. Як відомо [2], спікання алмазних порошоків при високих тисках сприяє формуванню щільного та міцного алмазного каркасу, що сприяє підвищенню теплопровідності полікристалу, але, з іншого боку, такі процеси, що супроводжують процес спікання, як пластична деформація під дією високих тисків і температур, руйнування зерен алмазу, вторинна кристалізація алмазу і т. п. можуть негативно впливати на теплопровідність полікристала в цілому, значно її знижуючи. Крім цього, дуже серйозною проблемою є наявність в порах домішок графіту та інших форм неалмазного вуглецю, які призводять до зниження міцності алмазного каркасу, а також є центрами розсіяння фононів, що також веде до зменшення теплопровідності. При цьому особливо важливим є належне розуміння взаємодії складових композиту та можливостей управління процесом формування необхідних теплофізичних та фізико-механічних його властивостей шляхом оптимізації хімічного складу та технологічних режимів спікання. Так, при розробці технологій виготовлення композитів алмаз – мідь однією з головних проблем, що перешкоджає створенню матеріалу з високою теплопровідністю, є погана змочуваність алмазу міддю, причому величина крайового кута змочування (θ) слабо залежить від температури та тиску. Наслідком поганої змочуваності є підвищення термоопору на міжфазній границі і, відповідно, погіршення теплопередачі через неї внаслідок розсіяння потоку фононів. В роботі [3] на підставі аналізу експериментальних даних та теоретичного моделювання впливу складу міжфазних границь в композиті алмаз–мідь було показано, що внутрішні фізико-хімічні характеристики контактних шарів в композиті, їх товщина, власна теплопровідність, швидкість фононів, а також карбідне перетворення в контактних шарах і їх розчинність в матриці міді сильно впливають на теплові характеристики композиту алмаз – мідь.

Мета даної роботи полягає у вивченні можливості удосконалення структури АПКМ завдяки комплексному використанню нетрадиційних активуючих спікання добавок і n-шарових графенів при спіканні в НРНТ умовах алмазних порошків різного генезису і фракційного складу.

В експериментах по спіканню композиту алмаз–мідь з активуючими добавками використовували шліфпорошки синтетичного алмазу марок АС32, АС50, АС160 (ДСТУ 3292-95) зернистістю 200/160 та шліф- і мікропорошок природного алмазу А200/160 і АМ 28/20 (ГОСТ 9206–80) відповідно. В якості активуючих процес спікання добавок використовували порошки молібдену марки МПЧ (ТУ 48-19-316-80), вольфраму марки ВП1 (ТУ 48-19-72-92), кремнію та n-шарового графену марки Gn(4). Активуючі добавки молібдену, вольфраму, кремнію змішували з міддю (просочуючий шар), а n-шаровий графен марки Gn(4) змішували з порошками алмазу.

Композити одержували методом просочування алмазного порошку міддю марки ПМС-1 (ГОСТ 4960–68) або її сумішшю з активуючою добавкою при високому тиску. Складові (алмазний порошок і просочуючий шар у вигляді таблетки) розміщували в графітовому нагрівнику в комірці високого тиску. Спікання шихти проводили при високому тиску на пресовій установці ДО-043, що розвиває зусилля до 20 МН, з використанням апаратів високого тиску типу «тороїд»: для одержання зразків діаметром 4,0–4,5 мм при тиску 7,5–8,0 ГПа використовували апарат з діаметром центрального заглиблення 13,5 мм, для одержання зразків діаметром 8,0–10,0 та до 14 мм при тиску 6,5–7,0 ГПа – апарати з діаметром центрального заглиблення 20 і 30 мм відповідно. Експерименти проводили при температурі 1700–2100 К відповідно до методики, що забезпечує просочення композиту, що формується, міддю. Тривалість НРНТ обробки $\tau = 10\text{--}60$ с.

Дослідження складу і структури проводили методами рентгенофазового (РФА), рентгеноструктурного (РСА) аналізів та раманівської спектроскопії (комбінаційне розсіяння світла – КРС). Рентгенівські досліджування виконували за допомогою дифрактометра ДРОН-3, використовуючи лінію збудження CuK_α мідного анода. Дифрактограми зразків знімали в кутовому інтервалі $2\theta = 22^\circ\text{--}120^\circ$ в дискретному режимі з кроком сканування $0,05^\circ$ і часом експозиції в кожній точці 4 с. Фазовий аналіз зразків і уточнення періодів кристалічної решітки виконані за допомогою апаратно-програмного комплексу, розробленого на фізичному факультеті Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Визначення теплопровідності зразків проводили за допомогою вимірювача теплопровідності ІТ-02Ц, призначеного для експериментального визначення питомої теплопровідності матеріалів контактним методом [3], згідно до методики, що описана в [4]. Вимірювання теплопровідності проводили методом порівняння з еталонним зразком того ж розміру з матеріалу, теплопровідність якого відома. В наших експериментах використовували еталонний диск з хімічно чистої міді (99,9%), теплопровідність якої згідно табличних даних $\lambda = 400$ Вт/(м×К). Спектри мікро-КРС вимірювались при кімнатній температурі в геометрії на відбивання з допомогою спектрометра T-64000 Horiba Jobin-Yvon, обладнаного електрично-охолоджуваним Si CCD детектором та мікроскопом Olympus VX41. Для збудження використовувалась лінія лазера Ar-Kr з довжиною хвилі 488 нм. Збуджуюче випромінювання фокусувалось на зразку з допомогою об'єктиву $\times 50/\text{NA } 0.75$ в пляму розміром ~ 1 мкм. Потужність збудження на поверхні зразка становила ~ 1 мВт.

Для вивчення впливу складу активуючих добавок, розміру частинок і досконалості частинок алмазу на теплопровідність композиту алмаз–мідь для його виготовлення були суміші різних складів (табл. 1).

Таблиця 1. Склад активуючих добавок, розмір частинок алмазу і теплопровідність зразків

| Зразок | Алмазний порошок | Активуєча добавка, % (за масою) | Діаметр центрального заглиблення АВД, мм | Параметри НРНТ обробки | λ , Вт/(м \times К) |
|--------|------------------|---------------------------------|--|---|-------------------------------|
| K1 | A200/160 | W – 2; Gn(4) – 0,2 | 30 | $p = 6,5-7,0$ ГПа $T = 1700$ К $\tau = 20$ с | 475 ± 51 |
| K2 | AM28/20 | Si – 40 | 30 | $p = 6,5-7,0$ ГПа $T = 1700$ К $\tau = 20$ с | 590 ± 32 |
| K3 | AC160 200/160 | Si – 40 | 30 | $p = 6,5-7,0$ ГПа $T = 1700$ К $\tau = 20$ с | 631 ± 45 |

На рис. 1 наведено фрагменти РФА спектру зразка K2. Як впливає з наведеного спектра в зразку K4 крім алмазу присутні карбід кремнію (β -SiC) і силіциди міді (Cu_3Si , Cu_8Si), а вільні мідь та кремній не зафіксовані.

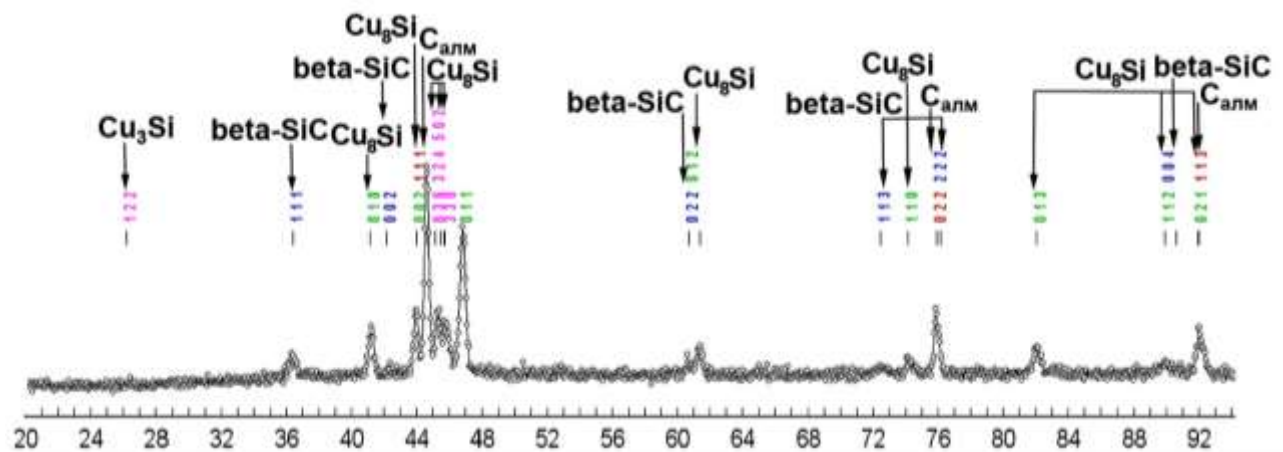


Рисунок 1 – Фрагмент РФА спектра зразка K2

Утворення β -SiC відбувається в результаті взаємодії кремнію з вуглецем. Останній утворюється під час дії високого тиску на шихту внаслідок взаємного інденування частинок алмазу на етапі холодного ущільнення. Реалізація такого процесу впливає з експериментальних результатів, одержаних в роботі [5], де було показано, що при інденуванні алмазним індентором монокристалу алмазу в зоні дії індентора утворюється sp^2 -вуглець (неупорядкований вуглець і графіт).

Вимірювання теплопровідності зразків АПКМ з активуючими добавками (табл. 2) показали, що всі зразки, мають високу теплопровідність, яка суттєво перевищує теплопровідність міді. Такі значення теплопровідності є результатом впливу наступних факторів. Використання добавки n-шарового графену, як було раніше показано [6], забезпечує формування більш щільної і однорідної структури внаслідок зменшення тертя і заклинювання його між алмазними частинками в процесі холодного ущільнення алмазного порошку при високому тиску. Крім того, тонкий шар графену на поверхні частинок алмазу завдяки його

високій теплопровідності буде знижувати термоопір на границях контактів алмаз–графен–мідь за рахунок узгодження межзеренних контактів і фононних потоків, що буде сприяти підвищенню теплопередачі через міжфазні границі. Наявність графену на поверхні частинок алмазу підтверджується даними раманівської спектроскопії (рис. 2).

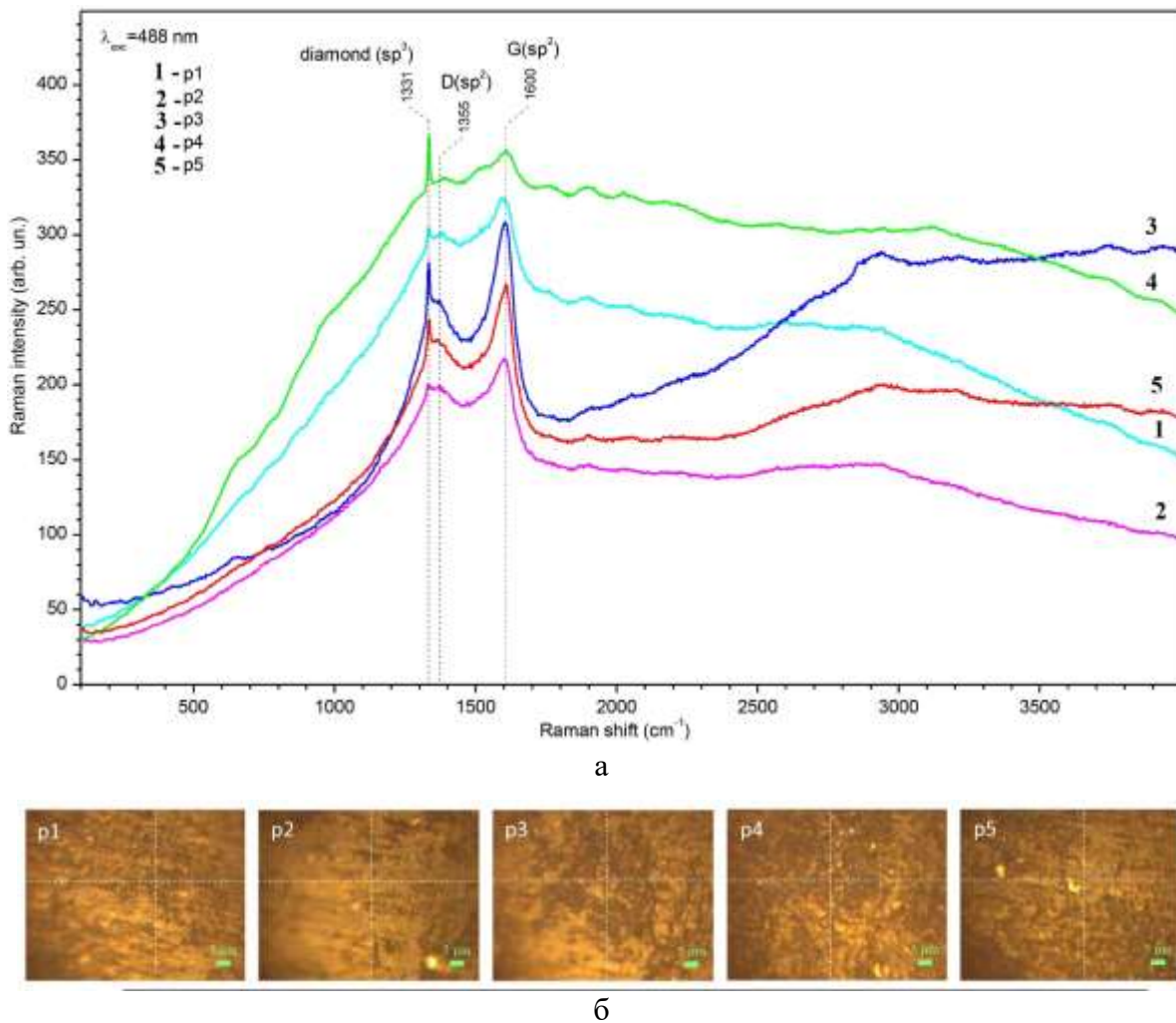


Рисунок 2 – Спектри мікро-КРС (а) від різних ділянок (б) зразка К2

В раманівських спектрах зразка реєструються смуги sp^2 фази розупорядкованої структури вуглецю (розупорядкованого графену або нанографіту), так звані, D(A_{1g}) та G (E_{2g})-моди з частотним положенням $\sim 1360 \text{ cm}^{-1}$ та 1580 cm^{-1} . G-смуга обумовлена валентними коливаннями зв'язків вуглецевої графітоподібної структури, в той час як D смуга пов'язана зі структурним розупорядкуванням. Поява виразної D-смуги та досить низьке відношення інтенсивностей смуг I_{2D}/I_G є типовими для графіту (графену) зі структурними дефектами [7].

Використання кремнію як активуючої добавки, сприяє покращенню змочування частинок алмазу міддю і відповідно, зниженню контактного термоопору. Крім того, як показано в [8], наявність карбідних шарів SiC в композиті грає позитивну роль в покращенні теплопровідності як міжфазної границі мідь – карбід – алмаз, так і теплопровідності композиту алмаз–мідь в цілому. А наявність силіцидів міді (Cu_3Si , Cu_8Si) забезпечує покращення механічних властивостей композиту, оскільки їх добавка сприяє підвищенню антифрикційних властивостей просочуючого мідного розплаву і, як наслідок, формується більш щільна структура композиту, при цьому підвищується його зносостійкість.

Таким чином, завдяки комплексному використанню нетрадиційних активуючих спікання добавок і п-шарових графенів при спіканні в НРНТ умовах алмазних порошків різного генезису і фракційного складу при забезпеченні умов формування однорідної за властивостями структури АПКМ були одержані АПКМ з високою теплопровідністю.

Вперше встановлена можливість отримання алмазних композитів з теплопровідністю не менше 630 Вт/(м×К) методом просочування в НРНТ умовах алмазного порошку мідно-кремнієвим розплавом.

В результаті проведених експериментів встановлено важливу роль карбідів кремнію, молібдену і вольфраму в формуванні теплопровідності міжфазних границь мідь – карбід – алмаз і теплопровідності композиту алмаз-мідь в цілому. Досить висока швидкість фононів в карбідах молібдену, вольфраму і кремнію у порівнянні з міддю сприяє зменшенню акустичної неузгодженості на границі розділу активуюча добавка – мідь, карбіди активуючої добавки – мідь і підвищенню теплопровідності АПКМ в цілому.

Добавка п-шарового графену забезпечує формування більш щільної і однорідної структури внаслідок зменшення тертя і заклинювання його між алмазними частинками в процесі холодного ущільнення алмазного порошку при високому тиску, а також тонкий шар графену на поверхні частинок алмазу завдяки його високій теплопровідності знижує термоопір на границях контактів алмаз–графен–мідь, що сприяє підвищенню теплопередачі через міжфазні границі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абызов А. М., Кидалов С. В., Шахов Ф. М. Композиционный материал алмаз–медь с высокой теплопроводностью // *Материаловедение*. – 2008. – № 5. – С. 24–27.
2. Шульженко А.А., Гаргин В.Г., Шишкин В.А., Бочечка А.А. Поликристаллические материалы на основе алмаза / Отв. ред. Новиков Н.В.; АН УССР, Ин-т сверхтвердых материалов. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.
3. Азима Ю.И., Беляев Ю.И., Кулакова М.В. Устройство для измерения теплопроводности высокотеплопроводных материалов // *Приборы и техника эксперимента*. – 1985. – № 4. – С. 248.
4. Шульженко О.О., Jaworska L., Соколов О.М., Лисаківський В.В., Гаращенко В.В., Гаргин В.Г., Кузьменко Є.Ф. Теплопровідність пластинок монокристалів алмазу типу Ib і IIa, одержаних методом Т-градієнту в НРНТ умовах // *Інструментальне матеріалознавство*. Вип. 23. – К.: ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2020. – С. 261–269.
5. Shul'zhenko A. A., Ashkinazi E. E., Ral'chenko V. G., Sokolov A. N., Aleksandrova L. I., Gargin V. G., Khomich A. A., Vlasov I. I., Bol'shakov A. P., Zavedeev E. V., Ryzhkov S. G., Sobolev S. S., Konov V. I. Hardness of single-crystal CVD diamond and phase transformations in it on indentation // *Journal of Superhard Materials*. – 2014. – 36. – N 5. – P. 297–302.
6. Shul'zhenko A. A., Jaworska L., Sokolov A. N., Gargin V. G., Petasyuk G. A., Belyavina N. N., Zakora A. P., Suprun M. V., Tkach V. N. Novel Wear-Resistant Superhard Diamond Composite Polycrystalline Material // *Journal of Superhard Materials*. – 2018. – 40. – N 1. – P. 1–7.
7. Ferreira E. H. M., Moutinho V. O., Stavale F., Lucchese M. M., et. al. Evolution of the Raman spectra from single-, few-, and many-layer graphene with increasing disorder // *Phys. Rev. B*. – 2010. – 82, 125429.
8. Yuan M., Tan Z., Fan G., Xiong D.-B., Guo Q., Guo C., Li Z., Zhang D. Theoretical modelling for interface design and thermal conductivity prediction in diamond/Cu composites // *Diamond & Related Materials*. – 2018. – V. 81, N 1. – P. 38–44

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ

¹Ивченко Т.И., ²Смирнов И.В., ²Лопата А.В., ³Лопата Л.А.

¹Херсонская государственная морская академия, Украина

²НТУУ «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Украина

³Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАНУ, Украина

Введение. Условия эксплуатации и разрушения рабочих поверхностей деталей определяют необходимый состав, микростроение, фазовое состояние и свойства наносимого материала покрытия.

Для исследования особенностей структурных и фазовых превращений в поверхностях трения образцов с газотермическими покрытиями из сталей Св-08 и 40Х13 в исходном состоянии и после электроконтактной обработки (ЭКО) покрытий после ЭКО газотермических покрытий были проведены триботехнические испытания.[1]

Триботехнические испытания проводились на автоматизированном трибометре АТВП, работающем по схеме возвратно-поступательного перемещения цилиндрического образца по контртелу и оснащенном устройством для регистрации коэффициента трения в процессе испытаний. Средняя скорость перемещения образца относительно контртела в процессе трибоиспытаний составляла $\approx 0,1$ м/с. На образцы из стали Ст3 напыляли покрытия из стали 40Х13 и Св-08 толщиной от 0,25 до 0,35 мм. Твердость напыленных слоев из сталей 40Х13 и Св-08 составляет HV= 3000 и 1750 МПа соответственно. Номинальное контактное давление испытаний составляло 3 МПа. Испытания проводились на пути трения 150 м. В качестве триботехнических характеристик, подлежащих оценке в процессе испытаний, были выбраны коэффициент трения и величина износа. Измерение величины износа призматических образцов осуществлялось по потере веса при испытаниях. Взвешивание каждого образца производилось на аналитических весах АДВ-200М не менее 2-3 раз. Погрешность измерения массы образца составляла 0,05 мг.

Результаты исследований. Для противодействия износу материал покрытия должен иметь твердую составляющую. Такой составляющей могут быть карбиды, бориды, карбобориды, карбонитриды, интерметаллические соединения, а в ряде случаев эти функции в определенной степени может выполнять мартенсит. Твердые частицы карбидов и других соединений для наиболее эффективного использования должны прочно удерживаться матрицей – основой материала. Однако матрица должна не только хорошо удерживать твердые частицы, но и вносить свой вклад в обеспечение противодействия износу и повышению износостойкости. Матрицей, которая вносит свой вклад в повышение износостойкости при напылении покрытий из сталей ферритного (Св-08) и мартенситного (40Х13) классов, является мартенсит. Свойства мартенситной матрицы зависят от содержания в ней углерода. Низкоуглеродистый мартенсит будет иметь пониженную износостойкость, но благодаря высокой по сравнению с высокоуглеродистым мартенситом вязкости будет лучше удерживать включения твердых износостойких частиц и обеспечивать повышение сопротивления износу и ударным нагрузкам. При повышении содержания углерода в мартенсите износостойкость при трении по абразиву будет непрерывно повышаться. При этом повышение износостойкости будет происходить только до определенного содержания углерода в мартенсите, после чего оно будет снижаться. [2]

В нелегированных сталях (Св-08) с содержанием углерода примерно до 1,2% после закалки и низкого отпуска свободных карбидов в структуре практически нет, и изменение

содержания углерода в стали изменяет содержание углерода в мартенсите, что позволяет судить об износостойкости мартенситной матрицы. После высокого отпуска закаленных сталей (Св-08) структурное состояние их характеризуется ферритной матрицей с карбидами. Повышение содержания углерода в стали в этом случае является показателем увеличения количества карбидной фазы. Износостойкость ферритной матрицы (сталь Св-08) существенно ниже, чем мартенситной (сталь 40Х13). Увеличение количества карбидов более эффективно влияет на износостойкость при трении по абразиву и менее эффективно при ударно-абразивном изнашивании.

На рис.1 представлена зависимость интенсивности изнашивания (отношение массы потерь металла ΔI к массе абразива Q , вызвавшего это изнашивание) покрытий в зависимости от содержания в них углерода при воздействии абразивного потока.

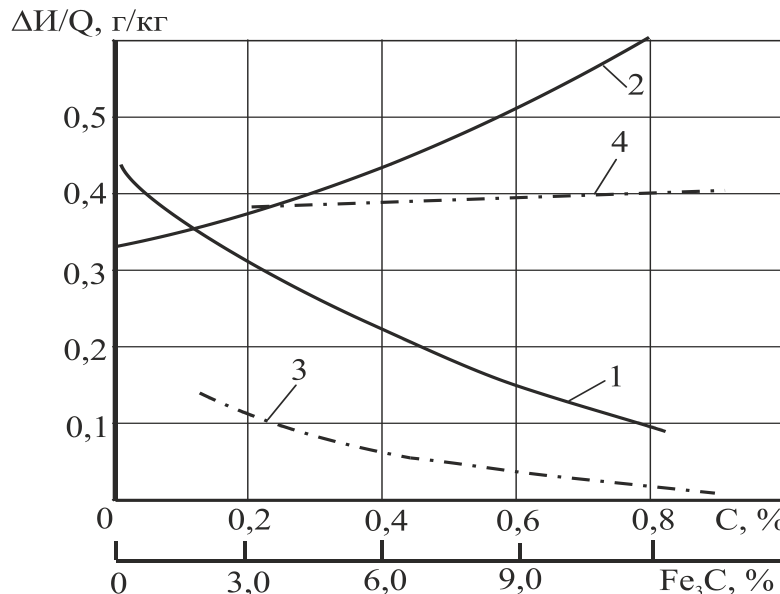


Рисунок 1 Влияние содержания углерода в покрытиях из сталей ферритного (Св-08) и мартенситного (40Х13) классов на интенсивность изнашивания $\Delta I / Q$ в абразивном потоке: 1, 2 – покрытие из СВ-08 в скользящем и ударном потоке; 3, 4 – покрытие из 40Х13 в скользящем и ударном потоке

Лучшую стойкость к абразивному изнашиванию показывает напыленное покрытие из стали 40Х13 (рис. 1). Наиболее целесообразно для повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей и изготовления элементов трибосопряжений, эксплуатирующийся при наличии абразива, использовать покрытия из сталей мартенситного класса с последующим модифицированием электроконтактной обработкой (ЭКО).

Результаты исследования показали, что режимы электроконтактной обработки покрытий из сталей мартенситного и ферритного классов значительно отличаются.

Покрытия, полученные газопламенным напылением (ГПН) и электродуговым напылением (ЭДН) сталей ферритного класса (Св-08) допускают более «жесткую» электроконтактную обработку (ЭКО). Электроконтактная обработка осуществляется на следующих режимах: ток нагрева $I_n = 4,9-5,8$ кА, давление $P = 30-40$ МПа, время нагрева $T_n = 12-15$ с, время импульсов – пауз $t = 0,02$ с.

Покрытия, полученные ГПН и ЭДН напылением сталей мартенситного класса (40Х13) требуют более «мягких» режимов ЭКО. Обработка осуществляется на следующих режимах: ток нагрева $I_n = 3,0-3,5$ кА, давление $P=20$ МПа, время нагрева $t_n = 8-10$ с, время импульсов – пауз $t = 0,02 - 0,04$ с. Охлаждение образцов осуществляется на воздухе. В результате ЭКО

напыленного покрытия из стали 40X13 в слое увеличивается содержание остаточного аустенита, что свидетельствует о его насыщении углеродом.

Выводы. На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что сравнительно более низкая эффективность ЭКО покрытия из стали Св-08 обусловлена относительно малой глубиной и низкой твердостью упрочненного слоя. Наиболее эффективно использование электроконтактной обработки для покрытий из высоколегированных проволочных сталей мартенситного класса. Научная гипотеза, положенная авторами в основу выполненных исследований, заключается в следующем. Повышенная износостойкость детали с покрытием, обеспечивается, в первую очередь, пластичностью покрытия в начальный период трения для ускорения процесса приработки и, в ходе дальнейшей работы узла. Этого можно достичь, получив покрытия из сталей, в которых сформирована двухфазная структура, содержащая метастабильный аустенит, имеющий твердость 200 - 300 НУ, а также имеется определенное количество оксидов. В процессе дальнейшей приработки вследствие интенсивной пластической деформации метастабильный аустенит будет трансформироваться в износостойкий и твердый мартенсит (НУ=700...800) за счет протекания деформационного γ — α превращения. Образованная в ходе приработки наноразмерная субструктура также будет усиливать эффект повышения триботехнических свойств.

ЛІТЕРАТУРА

1. Витязь П.А. Структура и свойства покрытий из стали 40X13, полученных с использованием различных методов газотермического напыления / П.А. Витязь, М.А. Белоцерковский, В.А. Кукареко, Д.М. Калиновский, П.Г. Сухоцкий, Ж.Г. Ковалевская//Физическая мезомеханика. - 2002, т.5, № 1. – С. 9.

2. Ляшенко Б.А., Лопата Л.А., Стрижало В.О., Новогрудський Л.С. Спосіб нанесення зносостійкого покриття Патент України №39488, бюлетень №4 від 25.02.2009.

ПРО МОЖЛИВОСТІ МОНОТОННОЇ ПОЛІНОМІАЛЬНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ВТРАТ НАПОРУ В ТРУБОПРОВОДІ

¹Курносенко Д.В., ¹Савчук В.П., ²Тулученко Г.Я., ³Білоусова Т.П.
¹Херсонська державна морська академія, Україна,
²НТУ «Харківський політехнічний інститут», Україна,
³Херсонський державний аграрно-економічний університет, Україна

Втрати напору на ділянках або елементах трубопроводу описуються залежністю:

$$h(Q) \approx K \cdot Q^m, \quad (1)$$

де K – коефіцієнт локального гідравлічного опору трубопроводу; m – показник степеня, який залежить від характеру течії; Q – витрата рідини на досліджуваній ділянці.

Експериментальні дослідження втрат напору на масляних фільтрах високообертового дизельного двигуна Д-246.4 показали, що використання сталого значення коефіцієнта локального гідравлічного опору фільтрів недостатньо для апроксимації отриманих залежностей з задовільною точністю. Експериментальні залежності отримано для масляних фільтрів марок ФМ 009-1012005, WL7133, SM 108 та M-019.

Будемо вважати, що поліном третього степеня задовільно описує зміну значень коефіцієнта локального опору K на досліджуваній ділянці:

$$h(Q) \approx K(Q) \cdot Q^m, \quad (2)$$

де $K(Q) = \sum_{n=0}^3 k_n Q^n$ – апроксимуючий поліном; k_n , ($n = 0..3$) – шукані коефіцієнти полінома.

Апроксимація експериментальних даних залежністю (2) виявляє традиційні недоліки поліноміальної апроксимації – нефізичні осциляції та порушення монотонного зростання втрат напору з ростом витрат. Таким чином, задача мінімізації середньої квадратичної похибки наближення експериментальних залежностей аналітичною залежністю (2) повинна бути доповнена умовами збереження монотонності функції (2) на всьому проміжку спостереження.

Похідна функції (2) може бути представлена у вигляді:

$$\frac{d}{dQ} h(Q) \approx Q^{m-1} \cdot G(Q), \quad (3)$$

де

$$G(Q) = \sum_{n=0}^3 (m+n) k_n Q^n. \quad (4)$$

За теоремою Штурма [1] для полінома (4) може бути побудована система спеціальних поліномів:

$$G_0(Q) = \sum_{n=0}^3 (m+n)k_n Q^n; \quad (5)$$

$$G_1(Q) = \frac{d}{dQ} G_0(Q) = \sum_{n=1}^3 (m+n)nk_n Q^{n-1};$$

$$G_2(Q) = \frac{2}{9} \left(\frac{(m+2)^2}{m+3} \cdot \frac{k_2^2}{k_3} - 3 \cdot (m+1) \cdot k_1 \right) \cdot Q + \frac{1}{9} \cdot \frac{(m+1)(m+2)}{m+3} \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_3} - mk_0;$$

$$G_3(Q) = -\frac{9}{4} \cdot (m+3) \cdot k_3 \cdot \frac{a_1}{a_2};$$

$$\begin{aligned} a_1 &= 4 \cdot (m+1)^3 \cdot (m+3) \cdot k_1^3 \cdot k_3 - (m+1)^2 \cdot (m+2)^2 \cdot k_1^2 \cdot k_2^2 - \\ &\quad - 18 \cdot m(m+1)(m+2)(m+3) \cdot k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 + \\ &\quad + mk_0 \cdot (27m \cdot (m+3)^2 k_0 \cdot k_3^2 + 4 \cdot (m+2)^3 \cdot k_2^3); \\ a_2 &= 3 \cdot (m+1) \cdot (m+3) \cdot k_1 \cdot k_3 - (m+2)^2 \cdot k_2^2. \end{aligned}$$

Для збереження монотонності функції (2) на проміжку $[0; +\infty)$ її похідна на цьому проміжку повинна набувати невід'ємних значень, тобто поліном (4) на проміжку $[0; +\infty)$ не повинен мати коренів.

Відповідно до змісту теореми Штурма були розглянуті всі можливі випадки зміни знаків спеціальних поліномів (5).

Найкращі результати апроксимації отримані при апроксимації експериментальних залежностей функцією:

$$h(Q) \approx (k_0 + k_1 Q + k_3 Q^2) \cdot Q^m, \quad (6)$$

з умовами:

$$\left\{ \begin{array}{l} m \geq 0; k_0 > 0; k_3 > 0; \\ \frac{1}{9} \cdot \frac{(m+1)(m+2)}{m+3} \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_3} - mk_0 < 0; \\ \frac{(m+2)^2}{m+3} \cdot \frac{k_2^2}{k_3} - 3 \cdot (m+1) \cdot k_1 \geq 0; \\ a_1 > 0. \end{array} \right. \quad (7)$$

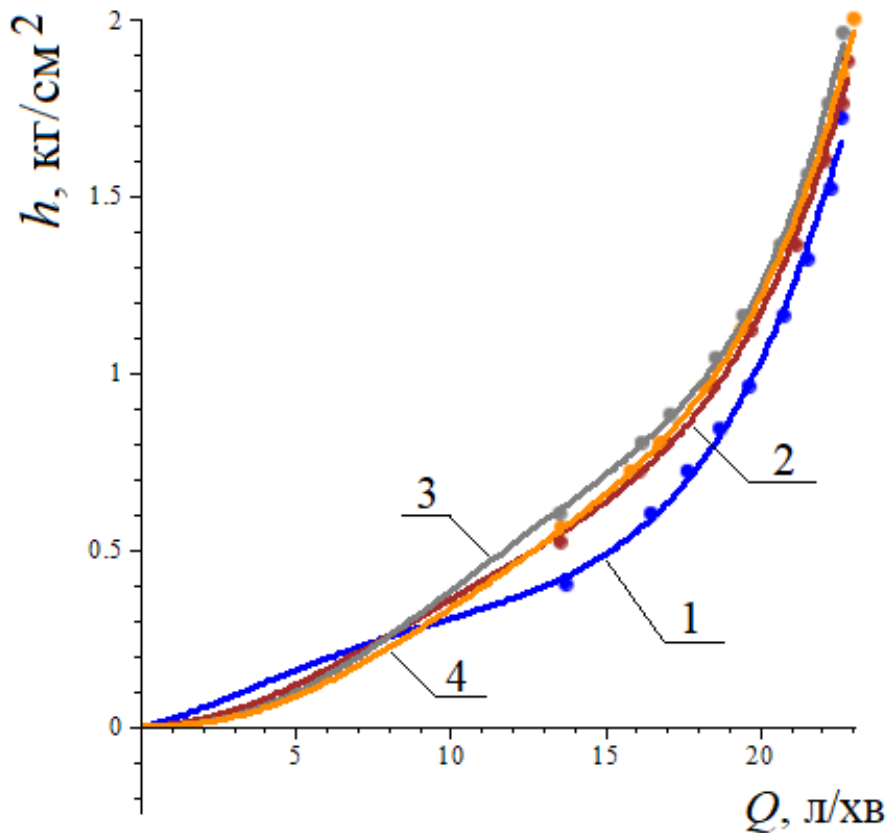


Рисунок 1 – Апроксимація функціями виду (6) з умовами (7) експериментальних залежностей втрати напору на фільтрах: 1 – SM 108, 2 – ФМ 009-1012005, 3 – WL7133, 4 – М-019

Отримані залежності характеризують експлуатаційні властивості досліджених фільтрів та є (в певному розумінні) інваріантними до умов експлуатації. Вони використовуються при моделюванні системи мащення високообертового дизельного двигуна Д-246.4. Розроблена методика поліноміальної апроксимації може застосовуватися для наближення інших монотонно зростаючих експериментальних залежностей. Перспективи подальших досліджень пов'язані з вивченням можливостей наближення даних залежностей кривими Рамсея та їх узагальненнями.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Прасолов В.В. Многочлены. М.: МЦНМО, 2001. 336 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МОТИЛЕВИХ ПІДШИПНИКІВ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА З ВИКОРИСТАННЯМ МАСТИЛ РІЗНИХ ІНДЕКСІВ В'ЯЗКОСТІ SAE

Савчук В.П., Зінченко Д.О.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Системне моделювання та аналіз стану підшипників кривошипно-шатунного механізму може значно поліпшити розуміння механізму контактної взаємодії робочих поверхонь, пов'язаного з динамічними характеристиками, і є ефективним методом для визначення граничних значень експлуатаційних показників підшипників колінчастого валу.

Матеріали присвячені дослідженню робочих параметрів мотилевих підшипників дизельного двигуна Sulzer 16ZAV40S при його експлуатації на моторних маслах із індексом в'язкості SAE 5W20, SAE30, SAE40 та 2W50, що мають показники кінематичної в'язкості 8, 12, 13 та 20 сСт відповідно при температурі 100 °С. Моделюванню показників працездатності мотилевого підшипника допоможе вдосконалити теорію аналізу мащення підшипників двигуна і може забезпечити більш повну довідкову базу для проектування шатунів та підшипників.

Результати. Результати розрахунку товщини змащувального шару, що отримано при моделюванні, представлено на рис. 1.

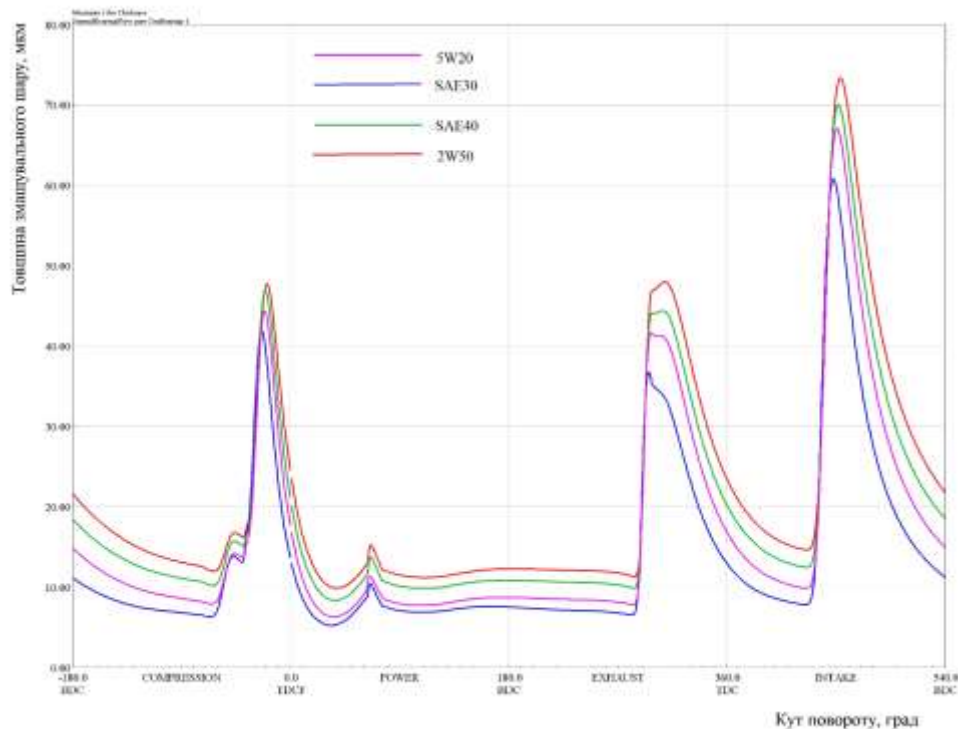


Рисунок 1 – Залежність товщини змащувального шару від кута повороту колінчастого валу

Отримані результати демонструють очікувану закономірність щодо розподілу товщини змащувальної плівки. Отримані залежності демонструють роботу підшипника при застосуванні пропонованого виробником масла класу в'язкості SAE40 $h_{\min} = 9,23$ мкм. Значно знижене значення мінімальної товщини змащувального шару буде спостерігатись при роботі на маслі 5W20 – $h_{\min} = 5,2$ мкм, що на 44 % менше.

Розподіл моменту тертя за кутом обертання колінчастого валу представлено на рис. 2. Відповідно мінімальне його значення демонструє режим роботи із використанням масла 5W20 $M_T = -65,1$ Н·м, а максимальне при роботі із маслом 2W50 $M_T = -115,6$ Н·м. Аналогічна картина втрат потужності на тертя в змащувальному шару 49,6 кВт проти 40,4 кВт для масел 5W20 та 2W50 відповідно (рис. 3).

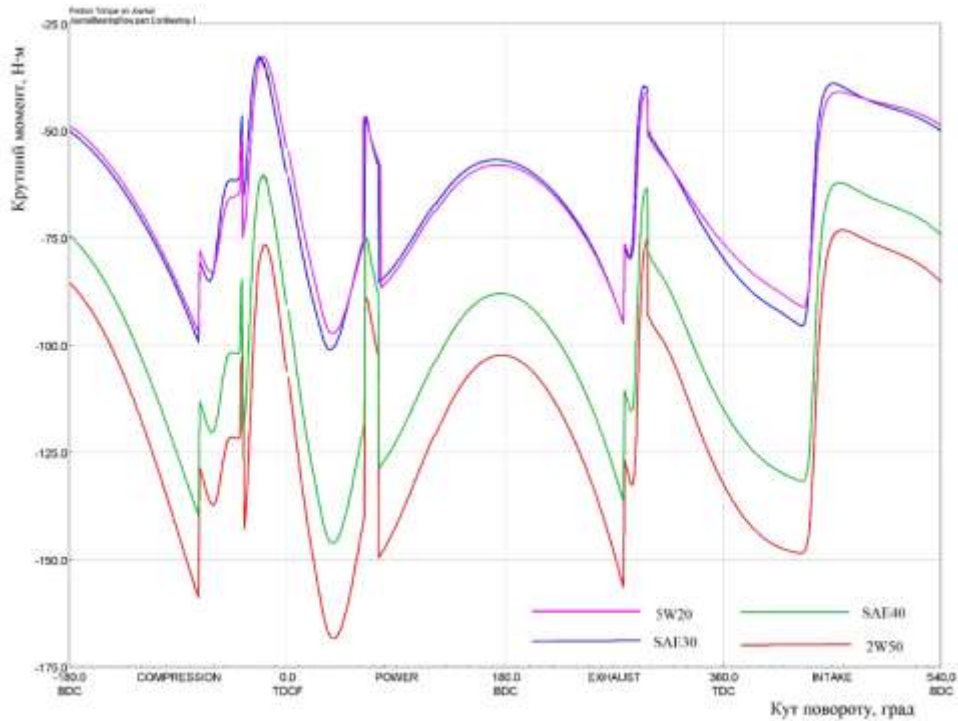


Рисунок 2 – Розподіл моменту тертя в маслі в залежності від кута повороту колінчастого валу

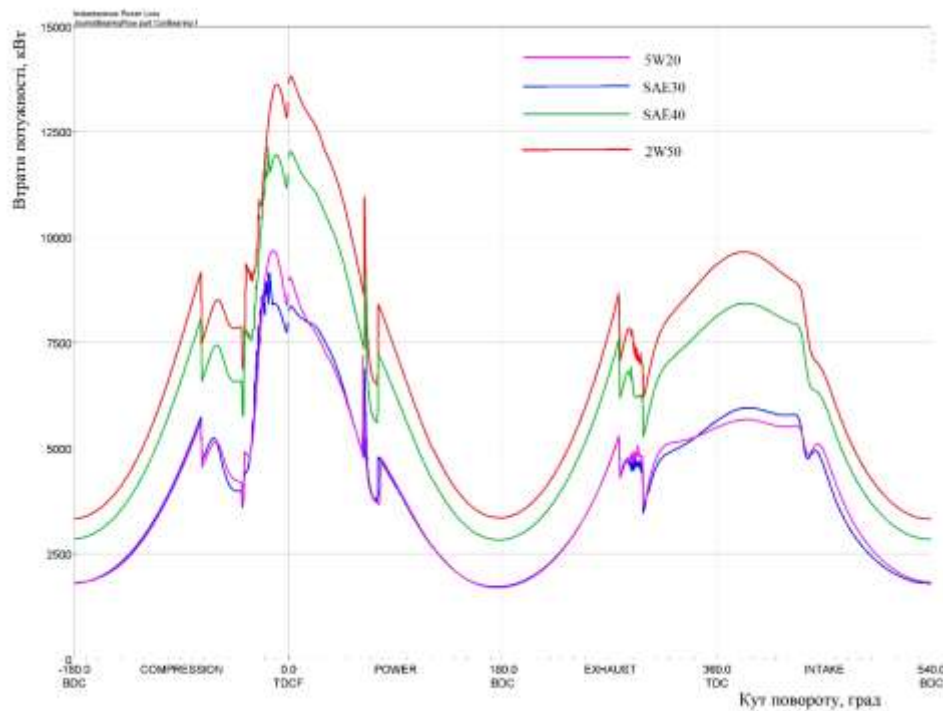


Рисунок 3 – Залежність втрати потужності в підшипнику в залежності від кута повороту колінчастого валу

Параметри в'язкості досліджуваних масел впливають на їх витрату. Графічні залежності витрати моторного масла через підшипник представлено на рис. 4.

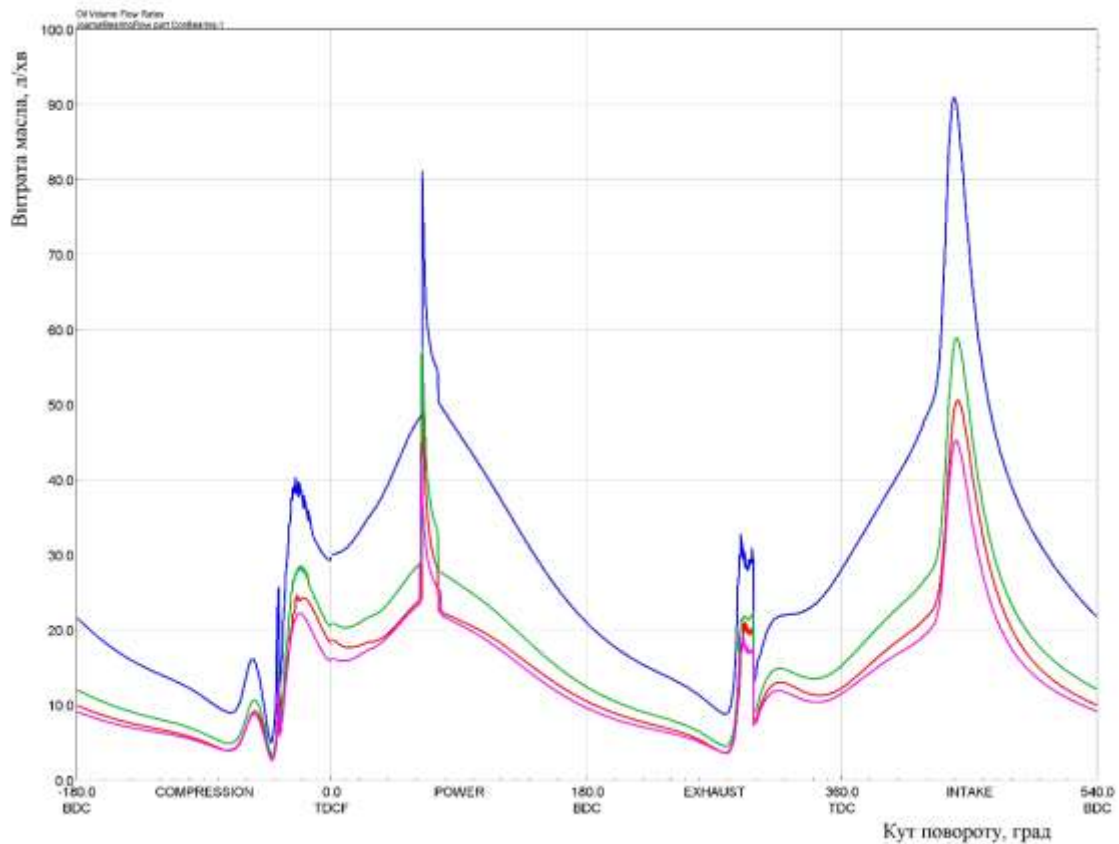


Рисунок 4 – Залежність витрати масла від кута повороту колінчастого валу

На графіках чітко спостерігаються два піки зростання витрати масла: при куті повороту колінчастого валу 65° та 440° . Дещо менші значення різкого зростання показника можемо спостерігати при положенні шийки валу відповідно -20° та 440° . Всі ці значення вказують на появу навантаженої зони підшипника в районі маслорозподільної канавки. Отримані значення витрати складають для вибраних моторних масел 21,0, 17,0, 17,5 та 17,4 л/хв в порядку зростання в'язкості.

Висновки. Таким чином, більш енергозберігаючі масла не тільки вимагають більшої продуктивності насосів системи мащення, але й мають вплив на товщину гідродинамічного шару масла, що може негативно вплинути на працездатність підшипника в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zhenpeng He, Junhong Zhang, Guichang Zhang, Zhouyu Li, Weisong Xie (2014). Crankshaft-bearing evolution indexes investigation and asperity contact identification based on neural network. *Applied Mathematical Modelling*, 38(2), 506–523.
2. Liu R.C., Meng X.H., Li P. (2018). Transient tribodynamic analysis of crankshaft-main bearing system during engines starting up. *Proc IMechE Part J: J Engineering Tribology*, 232(5), 535–549.
3. Zammit J.P., Shayler P.J., Gardiner R. (2012). Investigating the Potential to Reduce Crankshaft Main Bearing Friction During Engine Warm-up by Raising Oil Feed Temperature. *SAE International Journal of Engines*, 5(3), 1312–1319.

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ СУДНОВИХ МАЛООБЕРТОВИХ ДВИГУНІВ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕРМОПРЕСОРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ

Коновалов Д.В., Кобалава Г.О., Максимов В.І., Хаджадж Ю.М.
Херсонська філія НУК імені адмірала Макарова, Україна

Вступ. Для сучасних енергетичних установок на базі двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) заходи із зменшення шкідливих викидів в атмосферу вимагають додаткових зовнішніх енергетичних витрат. Наприклад, особливості утворення оксидів азоту NO_x вимагають необхідності до зниження максимальної температури горіння палива в циклі. Однак, при цьому зниження цієї температури зменшує енергетичну ефективність ДВЗ.

Звідси виникає необхідність до створення еколого- і енергоефективних технологій, які забезпечать зменшення шкідливих викидів і при цьому компенсують негативний вплив на паливно-енергетичну ефективність ДВЗ. Одним з перспективних напрямків є, на сьогоднішній день, застосування струминних термопресорних технологій [1, 2], в основі яких лежить використання процесу термогазодинамічної компресії, який у свою чергу, дозволить забезпечити охолодження і одночасне підвищення тиску газового потоку в схемно-конструктивних рішеннях із нейтралізації шкідливих речовин у відхідних газах ДВЗ.

Постановка мети та задач дослідження. Провідні двигунобудівні фірми Світу такі як MAN Diesel, Wartsila, Caterpillar та інш. проводять постійні дослідження щодо виявлення впливу на навколишнє середовище шкідливих токсичних речовин, що входять до складу відхідних газів суднових двигунів, а також ведуть пошуки ефективних способів, які б дозволили б скоротити ці викиди [3, 4].

Міжнародні вимоги щодо викидів оксидів азоту NO_x, оксидів сірки SO_x і твердих частинок визначаються конвенцією MARPOL (додаток VI – "Положення про запобігання забрудненню повітря з суден") [5]. Відповідно до правил, викиди NO_x з будь-якого дизельного двигуна, що встановлено на судні, побудованому після 01.01.2016, повинні відповідати рівню Tier III при роботі в зоні контролю викидів NO_x.

Існує цілий ряд способів і методів зниження викидів шкідливих газів на сучасних суднах. Як показує порівняльний аналіз, найбільш ефективним способом зниження викидів оксидів NO_x і SO_x є використання рециркуляції відхідних газів (EGR-технологія): зменшення викидів NO_x складає 70 %, зменшення SO_x – 19 % [6].

Для суднових малооборотових дизелів використовують дві основні схеми EGR-технології [7]:

1) система рециркуляції байпасування з одним наддувним турбокомпресором (застосовується для двигунів із діаметром циліндру до 700 мм);

2) система рециркуляції з двома або більше турбокомпресорами (застосовується для двигунів із діаметром циліндру більше 700 мм).

Одним з недоліків системи рециркуляції відхідних газів є збільшення протитиску через додаткові втрати тиску в скрубєрі та теплообміннику-охолоджувачі, а це, у свою чергу, сприяє погіршенню паливної економічності ДВЗ.

Слід зауважити, що створення надійного і ефективного теплообмінника для охолодження рециркуляційних газів являє собою складну задачу через відкладення та забруднення від цих газів [8].

Мета дослідження – аналіз ефективності способу охолодження відхідних рециркуляційних газів термопресором для судового малооборотового дизельного двигуна.

Основні результати. При аналізі ефективності застосування запропонованого рішення порівняння здійснено на основі базової схеми з рециркуляцією відхідних газів. Дані схеми застосовуються для зниження шкідливих викидів газів (CO_2 , NO_x , SO_x) для малооборотних двигунів фірми МАН (відповідно до умов Tier III). При цьому застосовується байпасування частини відхідних газів з наступних охолодженням і одночасним конденсаванням (очищенням) екологонебезпечних газів в скрубєрі та доохолодженням в теплообміннику-охолоджувачі газу до температури, що дорівнює температурі повітря в ресивєрі. До складу системи входять скрубєр, охолоджувач, вологовідділювач, вентилятор і система підтримки розчину NaOH з насосом і баком.

Система рециркуляції працює наступним чином: відхідні гази кількістю до 30–40 % через клапан з ресивєру відпрацьованих газів подаються в скрубєр, де вони частково охолоджуються і очищуються при розпиленні води форсунками. Потім гази охолоджуються в теплообміннику-охолоджувачі газу, конденсат відводиться в конденсатовідводнику, а очищений і охолоджений газ подається в вентилятором або електрокомпресором в повітряний ресивєр, де він змішується із повітрям.

Схемні рішення розглянуто для суднового малооборотного дизельного двотактного двигуна MAN B&W марки 6G70ME-C9.5. Для аналізу використовувався програмний комплекс SEAS. Розрахунок зроблено для наступних експлуатаційних характеристик: навантаження на двигун – 90 %; потужність – $N_e = 19656$ кВт; частота обертання – $n_e = 80,1$ хв⁻¹; питома витрата умовного палива – $g_e = 169,8$ г/(кВт·год) при ISO.

Розрахунок характеристик двигуна проводився в всьому можливому діапазоні часткових навантажень (30–100 %), а також для наступних умов:

1) ISO – температура повітря на вході турбокомпресора $t_{п1} = 25$ °С, температура охолоджуючої води в охолоджувачі наддувного повітря $t_{w1} = 25$ °С, відносна вологість повітря – $\phi_{п1} = 30$ %;

2) тропічна зона – $t_{п1} = 45$ °С, $t_{w1} = 36$ °С, $\phi_{п1} = 60$ %;

3) холодна зона – $t_{п1} = 10$ °С, $t_{w1} = 10$ °С, $\phi_{п1} = 60$ %.

Параметри відхідних газів, які йдуть на рециркуляцію та процеси їх газодинамічного охолодження в термопресорі розраховували за розробленою методикою та програмою з використанням рівнянь термодинаміки та газодинаміки потоку.

Для забезпечення ефективного охолодження відхідних газів в системі рециркуляції раціонально встановлення термопресора перед скрубєром (рис. 1). В даному випадку термопресор забезпечить підвищення тиску газу, що, у свою чергу, зменшить протитиск газового тракту двигуна і, відповідно, зменшить навантаження на вентилятор або електрокомпресор. До того ж, виходячи з умов безпеки низькотемпературної сірчистоокислої корозії, даний апарат забезпечить охолодження відхідних газів до температури вище точки роси. Таке рішення також зменшить теплове навантаження на скрубєр і поверхневий охолоджувач газу.

Уприскування слід здійснювати кількістю води понад необхідну для випаровування (не менш як 10 %). Таке рішення необхідно для забезпечення більшого ефекту від підвищення тиску в результаті термогазодинамічної компресії (за рахунок зменшення втрат на тертя), з одного боку, і для забезпечення умов до вприскування рідини в скрубєрі. Це дозволить зменшити навантаження по витраті води на вприскування в скрубєрі, а також частково або повністю компенсує втрати тиску.

Підвищення тиску в термопресорі дозволяє зменшити протитиск в системі газовихлопу, а відтак, і зменшити навантаження на вентилятор системи рециркуляції відхідних газів. Так потужність вентилятора знизилася з $N_{\text{вент}} = 120\text{--}160$ кВт до $N_{\text{вент.атп}} = 20\text{--}110$ кВт (рис. 2). В холодній зоні при навантаженні на двигун вище 75 % застосування вентилятора взагалі не

потрібно, оскільки тиск газів після термопресора достатній для забезпечення нагнітання їх до повітряного ресиверу без додаткової компенсації.

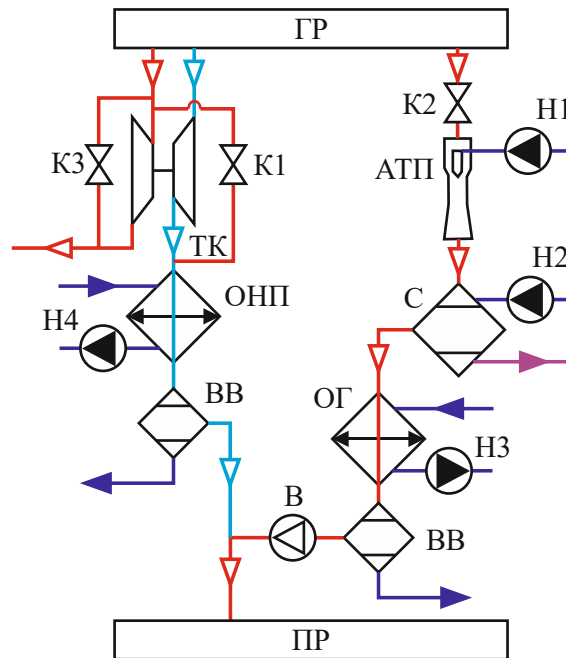


Рисунок 1 – Схема рециркуляції відхідних газів із термопресором: Н1, Н1, Н3, Н4 – насоси; ТК – турбокомпресор; К1 – байпасний клапан EGR; К2 – клапан регулювання системи EGR; К3 – байпасний клапан на лінії відхідних газів; ГР – газовий ресивер; ПР – ресивер наддувального повітря; ВВ – воловідділювач; АТП – термопресор; ОГ – охолоджувач газу; ОНП – охолоджувач наддувального повітря; В – вентилятор; С – скруббер

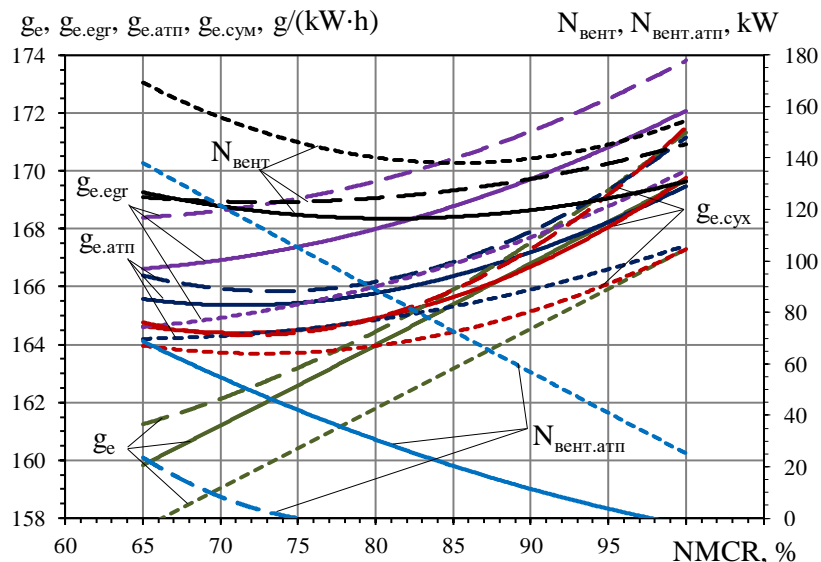


Рисунок 2 – Залежності зміни питомої витрати умовного палива для двигуна без рециркуляції g_e , питомої витрати палива для двигуна з рециркуляцією $g_{e.egr}$, питомої витрати палива для двигуна з рециркуляцією і АТП $g_{e.atp}$, питомої витрати палива для двигуна з рециркуляцією, АТП та з врахуванням зменшення навантаження на вентилятор $g_{e.total}$, потужності вентилятора системи рециркуляції N_{vent} , потужності вентилятора системи рециркуляції із АТП $N_{vent.atp}$ від навантаження на двигун NMCR: _____ - умови ISO ($t_{пов1} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{w1} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$); — — — - тропічні умови ($t_{пов1} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{w1} = 36 \text{ }^\circ\text{C}$); - - - - - холодна зона ($t_{пов1} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{w1} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$)

Зменшення навантаження на вентилятор системи рециркуляції, а також зменшення протитиску в системі дозволяє знизити питому витрату палива двигуном на $\Delta g_e = 2,5\text{--}3,0$ г/(кВт·год) (1,5–1,7 %) (рис. 2). При навантаженні на двигун близькому до експлуатаційного (90–95 % від потужності двигуна) витрати палива при застосуванні системи рециркуляції з термопресором і без рециркуляції взагалі рівні, що робить таке схемне рішення раціональним з точки зору економічності. В цьому випадку вдається поєднати високу екологічну і економічну ефективність від застосування такого рішення.

Висновки.

1. Підвищення тиску в термопресорі на $0,2\text{--}0,4 \cdot 10^5$ Па (6–12 %) дозволяє зменшити протитиск в системі газовихлопу, а відтак, і зменшити навантаження на вентилятор системи рециркуляції відхідних газів, причому в холодній зоні при навантаженні на двигун вище 75 % застосування вентилятора не потрібно, що додатково дозволяє зменшити питому витрату палива.

2. Запропоноване схемно-конструктивне рішення системи рециркуляції відхідних газів із застосуванням газодинамічного охолодження в термопресорі дозволяє при високій екологічності застосування існуючої системи рециркуляції відхідних газів забезпечити зменшення питомої витрати палива. Визначено, що зменшення питомої витрати палива двигуном при застосуванні термопресора складає $\Delta g_e = 2,5\text{--}3,0$ г/(кВт·год) (1,5–1,7 %).

ЛІТЕРАТУРА

1. Коновалов, Д. В. Методологічний підхід до охолодження наддувного повітря середньобертового двигуна [Текст] / Д. В. Коновалов, А. О. Джуринська. // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2012. – №9 (106). – С. 73–78.
2. Коновалов, Д. В. Термопресорні системи охолодження суднових ДВЗ [Текст] / Д. В. Коновалов. // *Авіаційно-космічна техніка і тех-нологія*. – 2011. – №10 (87). – С. 44–48.
3. Якунчиков, В. В. Снижение вредных выбросов судового дизеля в переходных режимах [Текст] Автореф. дис. канд. тех. наук / В. В. Якунчиков; Московская государственная академия водного транспорта – М., 1997. – 17 с.
4. Hellen, G. Paper carriers to cut NOx emissions by Direct Water Injection [Text] / G. Hellen. // *Marine News*. – 1991. – No. 1. – P. 8-11.
5. MAN B&W, Two-stroke Marine Engines. Emission Project Guide, [Text] / 9th Edition ed. // Copenhagen: MAN Diesel & Turbo. – 2018. – p. 111.
6. Bent, N. 8500 TEU Container Ship Green Ship of the Future Concept study // Odense Steel Shipyard Ltd – 2009.
7. Wartsila, Wärtsilä Environmental Product Guide, Wartsila – 2011. [Online].
8. Lance, M. J. The effect of engine operating conditions on exhaust gas recirculation cooler fouling [Text] / M. J. Lance, Z. G. Mills, J. C. Seylar, J. M. E. Storey, C. S. Sluder. // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2018. – Vol. 126. – P. 509-520.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ В ТЕРМОПРЕСОРИ СИСТЕМИ ПРОМІЖНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ КОМПРЕСОРІВ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

Кобалава Г.О., Коновалов Д.В., Карпов М.О., Адамович Є.В.
Херсонська філія НУК імені адмірала Макарова, Україна

Вступ. В сучасних умовах розвитку енергетики в Україні та Світі вкрай актуальним є впровадження високоефективних енергогенеруючих установок. Перспективним є застосування, як в стаціонарній, так і в транспортній енергетиці, газотурбінних установок (ГТУ).

Для підвищення енергетичної ефективності ГТУ широко застосовуються проміжне охолодження циклового повітря при стисненні [1].

Сучасним та розповсюдженим шляхом підвищення показників ГТУ є зволоження робочого середовища (циклового повітря). Для цього застосовується наступні технології з упорскуванням води (пари) [2, 3, 4]:

- охолодження повітря на вході в компресор;
- вологе стиснення;
- проміжне охолодження повітря в процесі підвищення тиску;
- доохолодження на виході з компресора з подальшою рекуперацією;
- упорскування пари (технологія STIG, цикл Ченга);
- упорскування води в повітряний потік у зволожуючій башті.

Постановка мети та задач дослідження. Перспективним способом зволоження циклового повітря ГТУ може бути застосування термопресора [1, 5]. В основу роботи цього апарату покладено процес термогазодинамічної компресії. Особливістю цього процесу є підвищення тиску в результаті миттєвого випаровування рідини, що упорскується в повітряний потік, який прискорений до швидкості близько звукової. При цьому на випаровування води відводиться теплота від газу, в результаті чого знижується його температура [5, 6].

До переваг застосування термопресора слід віднести наступне: підвищення тиску та охолодження робочого середовища дозволить зменшити роботу на стиснення в компресорі ГТУ; забезпечить ефективне розпилення і зволоження води між ступенями компресора, що, у свою чергу, дозволить зменшити додатково роботу компресора при випаровуванні крапель води в проточній частині при стисненні, а також дозволить збільшити кількість робочого тіла в циклі.

Рациональна організація теплофізичних процесів в проточній частині термопресора при наявності ефекту термогазодинамічної компресії та неповного випаровування можлива при виборі оптимальних геометричних параметрів [7]. Правильний вибір дозволить забезпечити випаровування основної маси рідини (80–85% від кількості рідини, що випаровується) в камері випаровування та дифузори, а довиваровування іншої частини (15–20% від кількості рідини, що випаровується) в проточній частині компресора високого тиску. При цьому діаметр крапель води, що надходить в ступені компресора не перевищуватиме 20 мкм.

Вибір таких оптимальних геометричних параметрів термопресора, а також визначення характеристики та режиму упорскування (швидкість, середній, максимальний та мінімальний діаметри краплі, температура на вході краплі та повітря, відносна витрата води, тиск повітря та його витрата та ін.) доцільно проводити за результатами експериментального дослідження робочих процесів та при чисельному моделюванні.

Для проведення чисельного моделювання роботи маловитратного термопресора використана експериментальна модель апарату (рис. 1) [5], яка була спроектована та

виготовлена для проведення експериментальних досліджень. Модель має наступні геометричні характеристики: довжина термопресора $L_{\text{атр}} = 387$ мм з діаметром камери випаровування $D_{\text{ch}} = 25$ мм і витратою повітря через нього $G_{\text{air}} = 0,29$ кг/с. Кути конусності конфузора ($\alpha_c = 35^\circ$) та дифузора ($\beta_d = 5^\circ$) було обрано з урахуванням отримання мінімальних втрат при подоланні сил тертя та місцевих опорів на звужувально-розширювальних ділянках апарату [8].

У якості чисельного методу обрано метод кінцевих об'ємів. Цей метод реалізовано за допомогою комп'ютерного CFD-моделювання в програмному комплексі ANSYS Fluent.

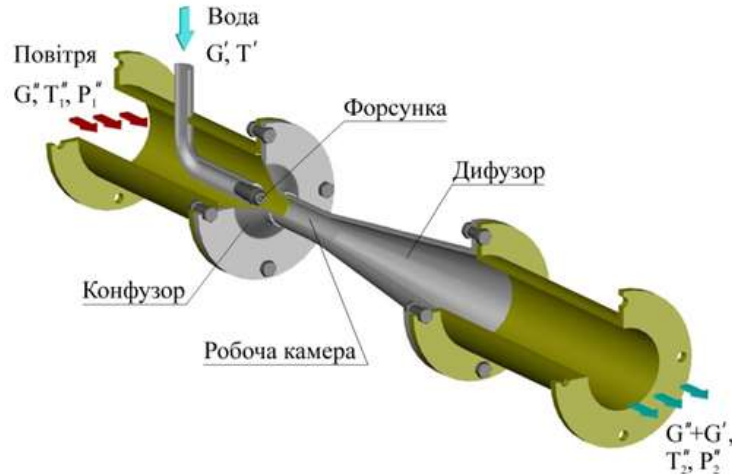


Рисунок 1 – Модель експериментального термопресора

Для моделювання взаємодії упорснугих крапель рідини та повітряного потоку використовувався Ейлерово-Лагранжевий підхід. При дослідженні поведінки потоку повітря використовувалася двопараметрична модель турбулентності k - ϵ Realizable з групи моделей RANS [9]. Модель дискретних фаз (Discrete Phase Models) була використана для моделювання руху крапель води. Проведено покрокове сіткове рішення з простим алгоритмом зв'язку між швидкістю та тиском.

В якості робочого тіла розглядається повітря з початковими параметрами тиску, температури і відносної вологості повітря, що відповідають параметрам циклового повітря ГТУ після першого ступеня компресора: тиск повітря на вході $P_{\text{атр1}} = 301,3 \cdot 10^3$ Па; температура повітря на вході $T_{\text{атр1}} = 473$ К; швидкість повітря на вході в термопресор $w_{\text{air1}} = 55$ м/с; число Маха на вході в камеру змішування $M = 0,77$; температура води, що упорскується $T_{w1} = 300$ К; відносна масова витрата води, що упорскується $g_w = 5-12$ %.

Основні результати. Було проведено моделювання «сухого» термопресора (без упорскування крапель води в камеру випаровування) для визначення втрат тиску через аеродинамічний опір в проточній частині апарату. Було встановлено, що зниження тиску повітряного потоку (рис. 2) внаслідок втрат на тертя складає $\Delta P_{\text{атр.dry}} = 17$ кПа (6 %).

При моделюванні упорскування крапель води в проточну частину термопресора (на вході в камеру випаровування) була підключена модель дискретних фаз. Проведено розрахунки при довипаровуванні крапель води в дифузори ($\delta_p = 3-30$ мкм, $G_{\text{air}} = 0,015$ кг/с) та при неповному випаровуванні, з отриманням більш дрібних крапель на виході з дифузornoї частини термопресора ($\delta_p = 3-30$ мкм, $G_{\text{air}} = 0,035$ кг/с).

Порівняння зміни тиску $P_{\text{атр}}$ по довжині проточної частини термопресора з та без упорскування (рис. 2) показує, що тиск в камері випаровування внаслідок втрат зменшується з 220 кПа до 215 кПа, тобто втрати тиску складають $\Delta P_{\text{тр1}} = 5$ кПа (1,7 %). Однак, наявність

термогазодинамічної компресії підвищує тиск і компенсує ці втрати. При цьому повний тиск в камері випаровування термопресора збільшується на $\Delta P_{\text{атр}} = 30$ кПа (10 %).

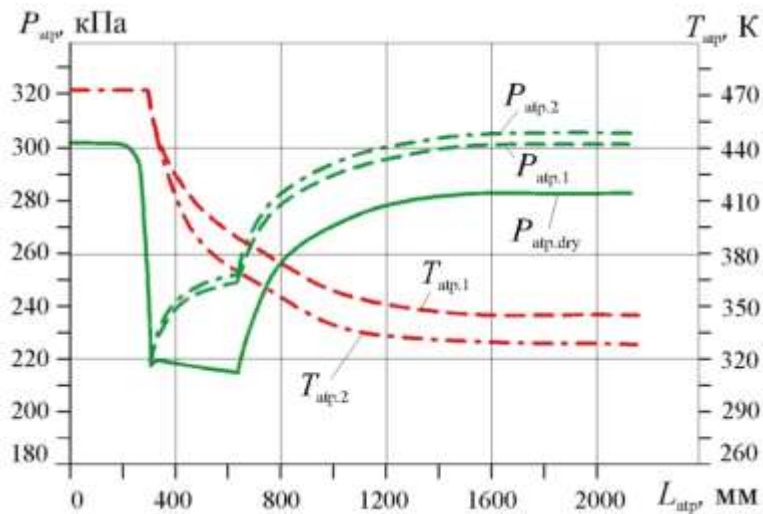


Рисунок 2 – Залежності повного тиску $P_{\text{атр}}$ та температури потоку $T_{\text{атр}}$ по довжині проточної частини термопресора $L_{\text{атр}}$: _____ – сухий термопресор; _____ – довиваровування крапель води в дифузорі; _____ – неповне випаровування, з отриманням більш дрібних крапель

При довиваровування крапель води в дифузорі підвищення повного тиску в результаті термогазодинамічної компресії (рис.2) складає $\Delta P_{\text{атр}} = 0,25$ кПа (0,08 %) відносно тиску на вході. Але більш значне підвищення тиску повітря спостерігається при неповному випаровуванні, з отриманням більш дрібних крапель на виході з дифузорної частини апарату, при цьому підвищення повного тиску складає $\Delta P_{\text{атр}} = 1,4$ кПа (0,5 %) (рис.2). Охолодження циклового повітря в термопресорі складає: при довиваровуванні крапель води в дифузорі $\Delta T_{\text{атр}} = 118$ К; при неповному випаровуванні $\Delta T_{\text{атр}} = 133$ К. Таким чином початкова температура $T_{\text{атр}1} = 473$ К (200 °С) знижується до температури на виході $T_{\text{атр}2} = 335\text{--}350$ К (62–77 °С) (рис. 2).

Дисперсність крапель води на вході в камеру випаровування складала $\delta_{p1} = 3\text{--}30$ мкм. Розподіл крапель розпиленої води в проточній частині термопресора наведено для довиваровування води в дифузорі (рис. 3, а) (при відносному значенні масової витрати води, що упорскується $g_w = 5\%$) та неповного випаровування, з отриманням більш дрібних крапель на виході з дифузорної частини апарату (при $g_w = 12\%$) (рис. 3, б).

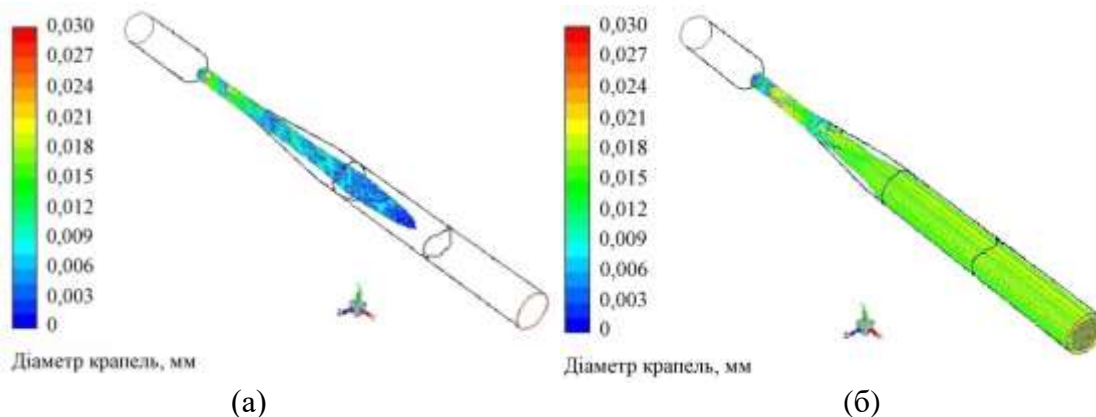


Рисунок 3 – Розподіл дисперсності δ_p розпиленої води в проточній частині термопресора: а – довиваровування крапель води в дифузорі; б – неповне випаровування, з отриманням більш дрібних крапель на виході з дифузорної частини апарату

При неповному випаровуванні, діаметр крапель зменшувався і на виході з дифузора термопресора для рідини, що не випарувалась, дисперсність складала в середньому $\delta_{p2} = 18$ мкм (рис. 3б). При цьому концентрація крапель води (дисперсний двофазний потік) на виході рівномірно розподіляється за перерізом. Надлишок води повинен випаровуватися вже в проточній частині компресора ГТУ. Ця кількість складає майже 4 %.

Отриманий діаметр крапель води на виході з термопресора (18 мкм) при неповному випаровуванні задовольняє вимогам щодо дисперсності двофазового потоку перед ступенем компресора високого тиску. А загальне підвищення тиску в термопресорі (в порівнянні до початкового тиску на вході) дозволяє компенсувати гідравлічні втрати в системі охолодження, що дає змогу говорити про доцільність застосування такого способу контактного охолодження циклового повітря між ступенями компресорів ГТУ.

Висновки. Результати чисельного моделювання роботи термопресора показали, що підвищення повного тиску циклового повітря між ступенями компресора при неповному випаровуванні, з отриманням більш дрібних крапель на виході з дифузornoї частини апарату склало $\Delta P_{\text{атр}} = 1,4$ кПа (0,5%) при охолодженні потоку повітря на $\Delta T_{\text{атр}} = 138$ К.

ЛІТЕРАТУРА

1. Jonsson, M., & Yan, J. (2005). Humidified gas turbines – a review of proposed and implemented cycles. *Energy*, 30, 1013–1078.
2. Konovalov, D. & Kobalava, H. Efficiency Analysis of Gas Turbine Plant Cycles with Water Injection by the Aerothermopressor. In V. Ivanov et al. (Eds.) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, (pp. 581-591). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_58
3. Rao, A. (2015). Evaporative Gas Turbine (EvGT)/Humid Air Turbine (HAT) Cycles. *Handbook of Clean Energy Systems. vol. 2*, (pp. 887-904). John Wiley & Sons, UK.
4. Brighenti, G. D., Orts-Gonzalez, P. L., Sanchez-de-Leon, L., & Zachos, P. K. (2017). Design Point Performance and Optimization of Humid Air Turbine Power Plants. *Applied sciences* 7(4), 413–434.
5. Konovalov D., Kobalava H., Maksymov V., Radchenko R., & Avdeev M. (2020). Experimental Research of the Excessive Water Injection Effect on Resistances in the Flow Part of a Low-Flow Aerothermopressor. In V. Ivanov et al. (Eds.) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, (pp. 292-301). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50491-5_28
6. Mee Industries Inc. 2018. [Online] <http://www.meefog.com/fog-evaporative-cooling/gas-turbine-cooling>.
7. Chaker, M. (2005). Key parameters for the performance of impaction-pin nozzles used in inlet fogging of gas turbine engines. *ASME Turbo Expo 2005: Power for Land, Sea, and Air*, 4, 863-879.
8. Kobalava H., Konovalov, D., Radchenko, R., Forduy, S., & Maksymov, V. (2021). Numerical Simulation of an Aerothermopressor with Incomplete Evaporation for Intercooling of the Gas Turbine Engine. Kobalava H. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering, ICTM 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 188, pp. 519-530.
9. ANSYS Fluent Tutorial Theory Guide Release 17.0. (2016). ANSYS, Inc. Canonsburg.

ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІЇ ЗМІНИ У ЧАСІ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО ДІЮТЬ НА БАЛКОПОДІБНІ ЕЛЕМЕНТИ КОНСТРУКЦІЙ, ЗА НЕТОЧНИМИ ВИХІДНИМИ ДАНИМИ

Сгоров П.А., Шарапата А.С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Вступ. Мета роботи – розробка та перевірка ефективності методики ідентифікації навантажень, що викликають нестационарне деформування елементів конструкцій, за неточними вихідними даними.

Об'єкт дослідження – нестационарне деформування балкоподібних елементів конструкцій.

Предмет дослідження – зовнішні імпульсні навантаження, що викликали напружено-деформований стан (НДС) досліджуваних об'єктів.

Методи дослідження – теорія інтегральних рівнянь Вольтерра, інтегральне перетворення Лапласа, теорія рядів Фур'є, теорія узагальнених функцій, метод регуляризації, аналітико-чисельні методи математичної фізики.

Актуальність досліджень. При тестових дослідженнях нових автомобілів та у випадках дорожньо-транспортних пригод виникає необхідність визначення зміни у часі нестационарних навантажень, що діяли на елементи конструкцій. Безпосередньо діючі навантаження визначити важко, більш раціонально фіксувати, наприклад за допомогою тензометричного обладнання [1], деформації і за їх значенням відтворювати зміну навантажень у часі. При цьому нерідко експериментальні дані не є абсолютно точними та можуть містити похибки, що викликані недосконалістю вимірювального обладнання.

Кузов автомобіля має велику кількість балкоподібних елементів, таких як лонжерони, траверси, поперечини та посилювачі, що і обумовило вибір об'єкта дослідження. Контактуючі з ними об'єкти у свою чергу можуть бути представлені у вигляді приєднаних чи розподілених мас [2], додаткових опор [3] та ін.

Проблемі ідентифікації навантажень, що викликали нестационарне деформування елементів конструкцій, тобто розв'язанню обернених задач механіки деформівного твердого тіла, присвячена значна кількість публікацій. Однак уточнення математичних моделей та врахування впливу приєднаних об'єктів викликає певні складнощі при розв'язанні таких задач. Зокрема інтерес представляє аналіз ефективності пропонованих методик у випадках використання неточних вхідних даних.

Постановка задачі. Розглянемо механічну систему, що складається з шарнірно-обпертої балки та приєднаної до неї маси (рис. 1). З використанням інформації щодо деформацій в деякій точці балки необхідно визначити навантаження, що викликало такий НДС.

Оскільки серед іншого за мету ставиться дослідження ефективності методики розв'язання оберненої задачі, спочатку необхідно розв'язати тестову задачу дослідження НДС механічної системи, а саме отримати значення деформацій в точці x_s за відомими значеннями функції зовнішнього навантаження $P(t)$. При розв'язанні оберненої задачі на значення деформацій $\varepsilon_s(t)$ накладемо характерне експериментальним даним

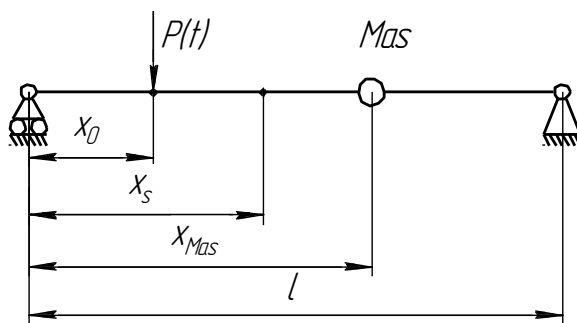


Рисунок 1 – Схема досліджуваної механічної системи

зашумлення та зіставимо результати ідентифікації із відомою функцією $P(t)$.

Результати досліджень. Процес деформування шарнірно-обпертої балки з приєднаною масою розглянемо з використанням диференційних рівнянь теорії С. П. Тимошенко [4]

$$\begin{cases} \rho F \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - k \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) FG = P(x, t) - R(x, t); \\ EI \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + k \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \psi \right) FG - \rho I \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $P(x, t) = P(t)\delta(x - x_0)$ – збурююче навантаження, $R(x, t) = R(t)\delta(x - x_{Mas})$ – контактна сила, що обумовлена приєднанням зосередженої маси. Опис інших величин, що входять у (1), наведено в [4].

Задачу з дослідження НДС механічної системи розв’яжемо з використанням розвинення функцій $w(x, t)$ та $\psi(x, t)$ у ряди Фур’є. З використанням операційного числення отримаємо систему диференційних рівнянь наступного вигляду

$$\begin{cases} w(x, t) = \frac{2}{\rho FL} \sum_{k=1}^{\infty} \left(\sin \frac{k\pi x_0}{l} \int_0^t P(\tau) \sum_{i=1}^2 (-1)^i C_{ik} \sin(\gamma_{ik}(t - \tau)) d\tau - \right. \\ \left. - \sin \frac{k\pi x_{Mas}}{l} \int_0^t R(\tau) \sum_{i=1}^2 (-1)^i C_{ik} \sin(\gamma_{ik}(t - \tau)) d\tau \right) \sin(\lambda_k x); \\ \psi(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2\lambda_k}{\rho FL} \left(\sin \frac{k\pi x_0}{l} \int_0^t P(\tau) \sum_{i=1}^2 (-1)^i \frac{b}{\gamma_{ik} \sqrt{D_k}} \sin(\gamma_{ik}(t - \tau)) d\tau - \right. \\ \left. - \sin \frac{k\pi x_{Mas}}{l} \int_0^t R(\tau) \sum_{i=1}^2 (-1)^i \frac{b}{\gamma_{ik} \sqrt{D_k}} \sin(\gamma_{ik}(t - \tau)) d\tau \right) \cos(\lambda_k x), \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{де } C_{ik} = \frac{c\lambda_k^2 + b - \gamma_{ik}^2}{\gamma_{ik} \cdot \sqrt{D_k}}, \quad c = \frac{E}{\rho}, \quad \lambda_k = \frac{k\pi}{l}, \quad \gamma_{ik} = \sqrt{\frac{(a+c)\lambda_k^2 + b + (-1)^{i+1} \sqrt{D_k}}{2}}, \quad b = \frac{k'GF}{\rho I},$$

$$D_k = ((a+c)\lambda_k^2 + b)^2 - 4ac\lambda_k^4.$$

Коливання приєднаної маси розглянемо на основі Другого закону Ньютона, розв’язуючи відповідне диференційне рівняння, отримаємо вираз для функції переміщень

$$w_{Mas}(t) = -\frac{1}{Mas} \int_0^t (t - \tau) R(\tau) d\tau \quad (3)$$

Оскільки переміщення маси та переміщення точки балки, де закріплена маса, повинні співпадати, з використанням виразів (2) та (3) можна отримати інтегральне рівняння Вольтерра I роду для невідомої контактної реакції $R(t)$. Згадане рівняння доцільно вирішувати чисельно використовуючи метод, що базується на заміні інтегралів скінченними сумами. У свою чергу отримане алгебраїчне рівняння представимо у матричному вигляді та у силу некоректності поставленої задачі застосуємо метод регуляризації А. М. Тихонова [5], у результаті чого отримаємо вираз

$$\mathbf{R} = (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A} + \alpha \cdot \mathbf{C})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{B}, \quad (4)$$

де α – параметр регуляризації, \mathbf{C} – трьохдіагональна матриця [5].

На основі (4) можна відшукати реакцію, що моделює вплив приєднаної маси, а на основі (2) визначити переміщення та кути повороту нормалей у всіх точках балки. Таким чином у даному випадку вже на етапі розв'язання прямої задачі виникла необхідність застосування спеціальних алгоритмів для ідентифікації невідомої контактної реакції $R(t)$.

Перехід від знайдених в результаті розв'язання прямої задачі кутів повороту до деформацій, які в процесі експериментальних досліджень можуть бути зареєстровані з використанням тензOMETричного обладнання, може бути виконаний за наступною залежністю:

$$\varepsilon_x = -\frac{h}{2} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (5)$$

Ідентифікація невідомого навантаження за значеннями деформацій потребує розв'язання системи інтегральних рівнянь Вольтерра, що будуть включати рівняння (5) та

рівняння для невідомої контактної сили $R(t)$ отримане на попередньому етапі. Для цього необхідно використати узагальнений метод Крамера спільно з методом регуляризації А. М. Тихонова.

В рамках розв'язання прямої тестової задачі за відомими значеннями збурюючого навантаження (рис.2 крива 1) знайдено значення деформацій (рис.2 крива 2). При цьому для наглядності вплив приєднаної маси не враховувався. З метою перевірки ефективності застосування пропонувані методів для ідентифікації невідомих зовнішніх навантажень за експериментальними даними у подальшому на значення деформацій буде накладено зашумлення та здійснено пошук навантажень за такими даними.

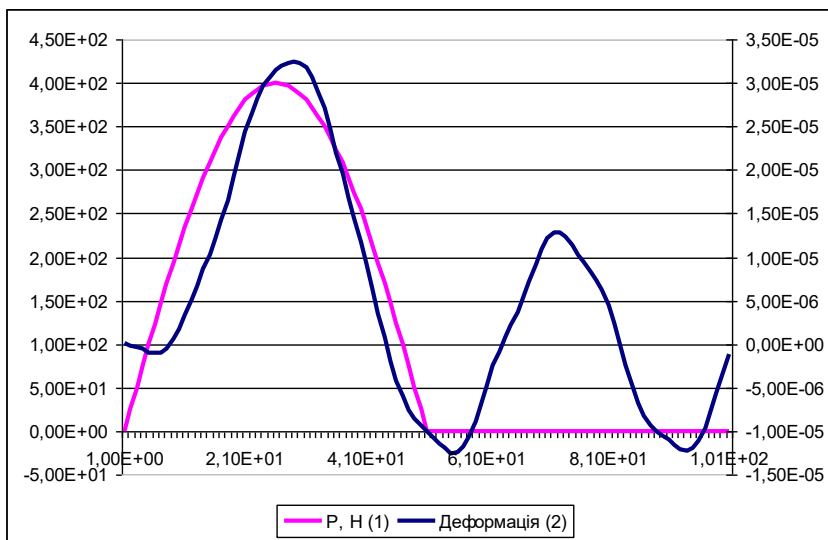


Рисунок 2 – Вхідні дані (сила) та знайдені деформації

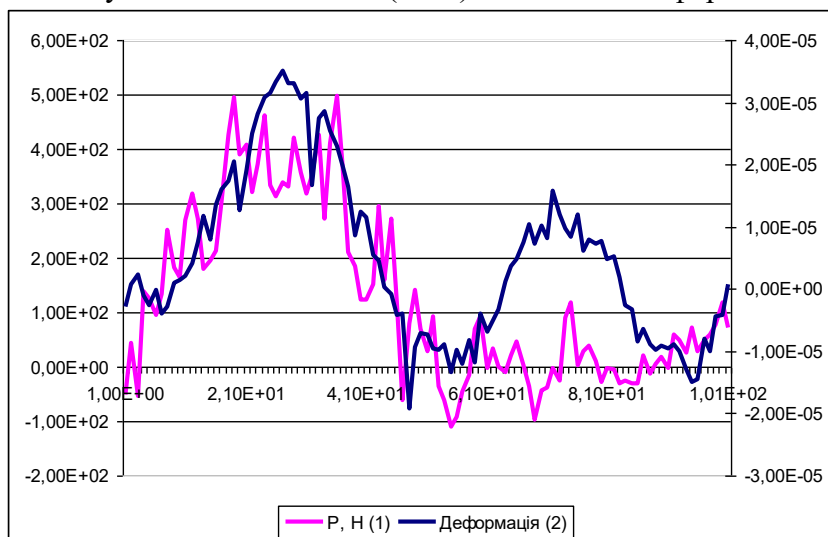


Рисунок 3 – Вхідні дані (деформації) та знайдене зовнішнє навантаження

На рис. 3 представлено графік ідентифікованих навантажень (крива 2) за значеннями деформацій, які було отримано шляхом додавання низько та високо амплітудних похибок до значень представлених на рис 2 (крива 2). Коефіцієнт кореляції при цьому склав 0,978. Для покращення результату ідентифікації коефіцієнт регуляризації α було змінено з 10^{-24} на $5 \cdot 10^{-23}$ (крива 2 на рис. 4.) та 10^{-22} (крива 3 на рис. 4.). Подальше збільшення коефіцієнта регуляризації недоцільне, оскільки може призвести до отримання хибних результатів.

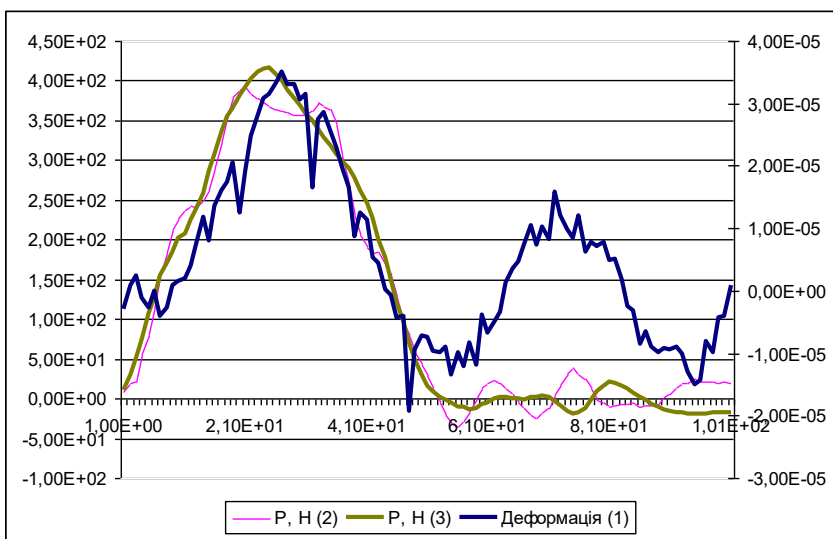


Рисунок 4 – Вхідні дані (деформації) та знайдене зовнішнє навантаження

Висновки. Запропоновані підходи і методи у сукупності дозволяють досить ефективно ідентифікувати невідомі зовнішні навантаження навіть у випадках неточних вхідних даних. В окремих випадках, коли вхідні дані містять велику кількість похибок, покращення результатів розв'язання обернених задач можна досягти шляхом оптимального вибору коефіцієнта регуляризації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Экспериментальное измерение деформаций балок из различных материалов при ударном нагружении / А. В. Воропай, А. А. Дзюбенко, П. А. Егоров, Е. С. Малахов // [Електронний ресурс] / Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове фахове видання. – Х.: ХНАДУ, 2016. – №1(9). – С. 128-138.
2. Янютин Е.Г., Егоров П.А. Нестационарное деформирование мембраны в форме прямоугольного равнобедренного треугольника с присоединенной массой // Тези доповідей II Міжнародної науково-технічної конференції «Динаміка, міцність та моделювання в машинобудуванні» 5–8 жовтня 2020 р. Харків: Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України. 2020 - С. 319-321.
3. Воропай А. В., Егоров П. А. Учёт влияния массово–инерционной характеристики дополнительной вязкоупругой опоры при нестационарном деформировании прямоугольной пластины / Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Математичне моделювання в техніці та технологіях = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Mathematical modeling in engineering and technologies : зб. наук. пр. Харків : НТУ "ХПІ", 2020. № 1. С. 15-23. ISSN 2222-0631. doi.org/10.20998/2222-0631. 2020.01.02.
4. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко – М. : Физматгиз, 1967. – 444 с.
5. Янютин Е.Г. Задачи импульсного деформирования элементов конструкций / Е.Г. Янютин., И.В. Янчевский, А.В. Воропай, А.С. Шарапата // Монографія. – Харьков : ХНАДУ, 2004. – 392 с.

Секція 4

ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ І ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ, ЙОГО ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ЗАСТОСУВАННЯ ГІС/ДЗЗ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНКИ НАФТОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ У ЧОРНОМУ МОРІ

Швиденко І.К., Рященко О.І.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, Україна

За останні 20 років світові держави активно використовують ресурси морів та океанів, а саме шельфові зони, як джерело видобутку вуглеводнів, корисних копалин, біоресурсів. Понад 1,3 мільярда тон нафти видобувається на континентальному шельфі [1]. При таких темпах на 2030-2040 рр. очікується зростання рівня видобутку нафти до 4,5–4,7 млрд. т. При цьому необхідно врахувати, що перевезення більше 90% всієї видобутої у світі нафти здійснюється морським транспортом [2]. Саме танкерний флот забезпечує транспортування половини видобутої на світовому шельфі нафти. Найбільші втрати нафти пов'язані з її транспортуванням із районів добування. Аварійні ситуації, скид за борт танкерами лляльних та баластних вод – усе це обумовлює появу забруднень на трасах морських шляхів [3].

Агентство США з Охорони Навколишнього Середовища (US Environmental Protection Agency) деталізує пояснення, що через 10 хвилин після потрапляння у воду 1 т нафти утворюється нафтова пляма товщиною 10 мм. У подальшому товщина цієї плівки зменшується до менш ніж 1 мм, але її площа збільшується. Подальші зміни відбуваються під впливом вітру, хвиль та погоди. Зазвичай пляма дрейфує під впливом вітру, розпадаючись на більш мілкі плями. Таким чином, через деякий час після надходження у водний об'єкт в емульгованому і сорбованому завислими речовинами станах у водній масі, знаходиться в середньому від 50 до 90 % нафтопродуктів, у розчиненому – від 10 до 90 %, частка плівкових нафтопродуктів не перевищує 1 % [4].

Нафта потрапляючи до водного середовища під впливом вітру розтікається у вигляді плівки, утворюючи шари різної потужності, змінюючи свій склад спектру та інтенсивність проникнення у воду світла. Пропускання світла тонкими плівками сирової нафти складає від 280 нм (1–10 %) до 400 нм (60–70 %). Плівка товщиною 30–40 мкм повністю поглинає інфрачервоне випромінювання. Змішуючись із водою, нафта створює емульсію двох типів: пряму «нафту у воді» і зворотною – «вода у нафті». Як наслідок нафта на поверхні моря може залишатись впродовж тривалого часу, незважаючи на природне вивітрювання та застосування різних засобів протидії [5]. Тому проведення екологічного моніторингу Чорного моря не можливо уявити без використання інформації, яку можливо отримати за допомогою різних методів дистанційного зондування Землі.

Супутниковий моніторинг надає можливість завдяки ефективним методам контролю відслідковувати щодня появу нафтового забруднення в акваторії Чорного моря, а саме визначати місце і час розливу нафтопродуктів, масштаб розливу (обсяг розлитого нафтового продукту, площу нафтової плями і товщину плівки), напрямок, силу вітру, швидкість течії, висоту хвиль, льодову кірку.

Мета нашої роботи полягає в оцінці нафтового забруднення акваторії Чорного моря в період 2018–2021 рр. за допомогою космічних знімків супутника Sentinel-1 отриманих в EO Browser та опрацьованих в QGIS 3.16.7 «Hannover».

EO Browser – переглядач доступних онлайн-знімків середньої і низької роздільної здатності від Європейського космічного агентства, який надає доступ до знімків із супутників: Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, Landsat, Envisat Meris, MODIS, Proba-V, GIBS (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>). QGIS одна з найбільш функціональних і зручних настільних геоінформаційних систем яка призначена для обробки і аналізу просторових даних,

дозволяє користувачам створювати карти з безліччю шарів, використовуючи різні картографічні проекції. Sentinel-1 європейський супутник ДЗЗ, який входить до космічної групи супутників Глобального моніторингу навколишнього середовища та безпеки «Copernicus». Знімки супутника знаходяться у вільному доступі та є безкоштовними для комерційних, наукових та освітніх користувачів [6].

З метою визначення нафтових плівок на поверхні Чорного моря ми застосовували custom scripts «Water Surface Roughness Visualization», сценарій який використовують для візуалізації шорсткості поверхні води, моніторингу суден, забруднення нафтою, визначення морських течій (https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-1/water_surface_roughness_visualization/#). При застосуванні вищенаведеного скрипта, вуглеводні плівки на водній поверхні відображаються контрастними ділянками (рис.1).

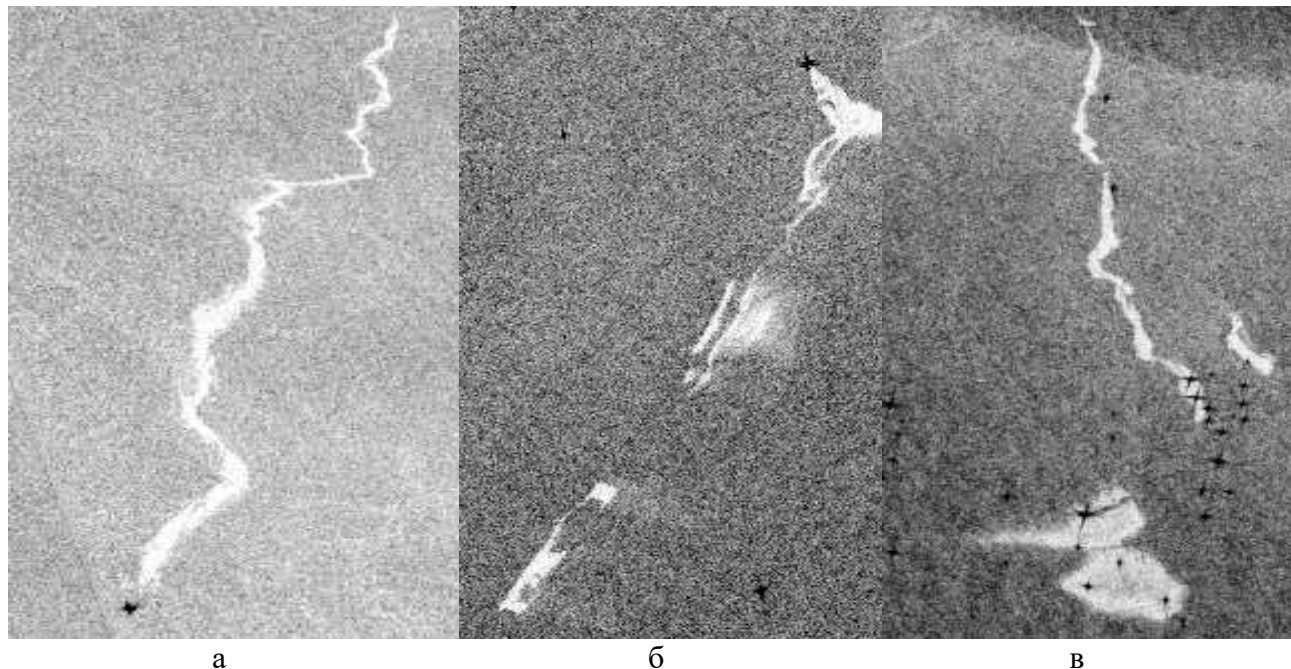


Рисунок 1 – Фрагменти супутникових знімків нафтових забруднень у Чорному морі: а) 10.03.2018 р. скиди зі суден на морського шляху Туреччини; б) 03.07.2019 р. скиди зі суден на морському шляху Туреччини, в) 01.03.2020 р. скиди зі суден біля Керченської протоки.

Вдале визначення забруднень на супутникових знімках зумовлене в деякій мірі сприятливими погодними умовами, тому більшість зафіксованих плям припадає на весняно-осінній період, коли швидкість вітру низька, а хвилі мають слабку або помірну силу [7]. З жовтня по квітень дуже часто відмічаються вітри зі швидкістю більше 12 м/с та шторми, за таких умов нафтові плівки здатні швидко розпадатись.

Для виявлення забруднень у Чорному морі за період 2018 по 2021 р. було опрацьовано більше 800 супутникових знімків Sentinel-1, нафтові плями зафіксовано лише на 184 знімках. Загальна площа забруднень нафтопродуктами суттєво різнилась, так у 2018 р. становила 574 км², у 2019 – 414,7 км², у 2020 – 1024,6 км², до серпня 2021 р. – 450,1 км². Площа плям варіювалася в межах 0,1 до 178,1 км². Максимальна площа забруднень була виявлена 28.08.2018 р. на відстані 150 км до берегової лінії м. Сочі (РФ) – 178,1 км². У 2019 р. площа найбільшої плями забруднення становила 60 км² і зафіксовано її 02.08.2019 р. на відстані 113 км до м. Стамбул.

На початку грудня 2020 р. на відстані 115 км від Турецької берегової лінії, було зафіксовано явище схоже на природне забруднення морської поверхні Чорного моря нафтою. Саме цей випадок доводить на скільки траєкторія дрейфу нафтової плями може змінюватись в

часі під впливом вітру та течії. Ближче до центру спливання плями відмічається товста плівка, а по мірі розповсюдження плями на наступний день, можна відстежити як вона змінює свою форму, а товщина плівки істотно зменшується. Довжина плями на 1 грудня становила 31,5 км, а загальна площа 87 км². На наступний день довжина зменшилась до 25 км, але загальна площа навпаки збільшилась до 122 км². Це підтверджує той факт, що з часом нафтові плівки втрачають щільність, стають тонкими, але здатні збільшуватись в площі. Очевидно, що вітер та течії є основними факторами які впливають на дрейф, розтікання та деградацію нафтових плівок природнього прояву.

У 2021 р. до середини серпня було відібрано та проаналізовано лише 24 супутникові знімки на яких зафіксовано ймовірне нафтове забруднення. Наймасштабніший витік нафти стався 7 серпня 2021 р. під час закачування нафти на судно грецького танкера «Minerva Symphony» на терміналі Каспійського трубопровідного консорціума у м. Новоросійськ (РФ). Вже 8 серпня 2021 р. загальна площа виліву нафти становила 110 км², а довжина 26 км (рис. 2).

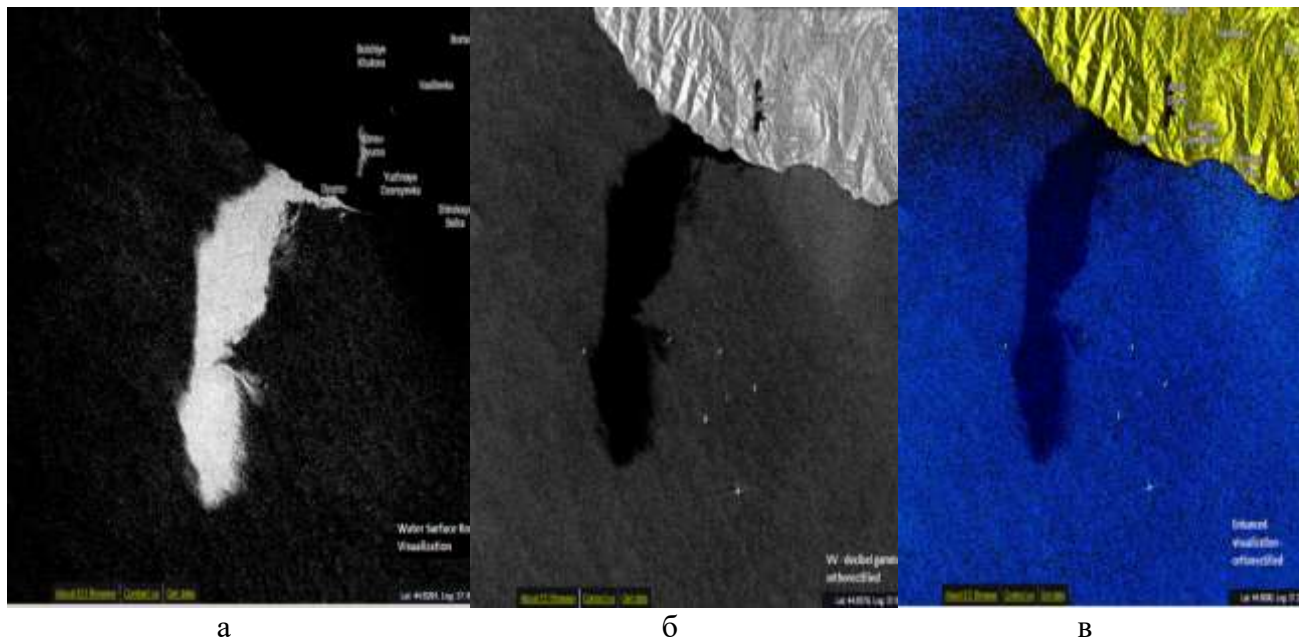


Рисунок 2 – Приклад дешифрування космічного знімку Sentinel-1 отриманого 08.08.2021 р. над м. Новоросійськ, витік нафти при закачуванні на танкер: а) скрипт Water Surface Roughness Visualization; б) спектр Enhanced visualization – orthorectified; в) спектр VV - decibel gamma0 - orthorectified

На основі отриманих супутникових знімків та їх обробці в геоінформаційній системі QGIS 3.16.7 «Hannover» нами було отримано загальну карту-схему забруднень акваторії Чорного моря з 2018 по серпень 2021 рр. Як видно з карти-схеми, основні точки забруднень були виявлені вздовж основних судноплавних шляхів до портів країн Туреччини, Болгарії, Румунії та Керченської протоки (рис. 3).



Рисунок 3 – Загальна карта-схема нафтових забруднень акваторії Чорного моря, створена на основі аналізу супутникових знімків за 2018–2021 рр.

Висновки. На основі аналізу існуючих методів детектування нафтових забруднень, проведено моніторинг нафтових забруднень на Чорному морі за допомогою супутникових знімків Sentinel-1 отриманих EO Browser та опрацьованих в QGIS 3.16.7 «Hannover».

В ході проведених досліджень виявлено 184 випадки забруднення Чорного моря. Визначено, що максимальна площа нафтового забруднення була зафіксована у 2018 р. і становила 178,1 км². Також доведено, що вітер та течії є основними факторами які впливають на дрейф, розтікання та деградацію нафтових плівок природного прояву.

На основі отриманих результатів під час дешифрування супутникових знімків Sentinel-1 та обробці їх в QGIS нами було створено карту-схему нафтових забруднень акваторії Чорного моря за 2018–2021 рр.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волович О.О., Михайлик О.Л. Стратегія освоєння енергетичного потенціалу Чорного і Азовського морів. Аналітична доповідь. За ред. А.О. Филипенка. Одеса : Фенікс. 2012. 70 с.
2. Vambulyak A., Frantzen B. Oil transport from the Russian part of the Barents Region. Status per January 2011. The Norwegian Barents Secretariat and Akvaplanntiva, Norway, 2011. 101 p.
3. Шестопалов О.В., Бахарєва Г.Ю., Мамедова О.О. та ін Охорона навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами: навч. посіб. Харків : НТУ «ХП». 2015. 116 с.
4. Карпенко О.М., Крочак М.Д., Байсарович І.М. Актуальні проблеми нафтогазової геології: навчальний посібник. Київ. 2017. 101 с.
5. Бабере О., Дакі О., Урум Н., Рященко О. Особливості використання низькозернистих палив для підвищення екологічності суднових дизелів. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського*. 2021. Т.32. №2. Ч.2. С. 167–174.
6. Довгий С.О., Лялько В.І., Бабійчук С.М., Кучма Т.Л., Томченко О.В., Юрків Л.Я.. Основи дистанційного зондування Землі : історія та практичне застосування : навч. посібник. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України. 2019. 316 с.
7. Espedal H.A., Johannessen O.M. Detection of oil spills near offshore installations using synthetic aperture radar (SAR). *International Journal of Remote Sensing*. 2000. Vol. 21. No 11. P. 2141 – 2144.

АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИЙ СПОСІБ КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ НАЯВНОСТІ ЗАХИСНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ

¹Шарко О.В., ²Марасанов В.В., ¹Алексенко В.Л., ²Степанчиков Д.М., ²Шарко А.О.

¹Херсонська державна морська академія, Україна

²Херсонський національний технічний університет, Україна

Вступ. Технічний прогрес у багатьох галузях промисловості гальмується через невирішеність низки корозійних проблем. Це набуло особливої актуальності в промислово розвинених країнах в останні роки у зв'язку з дедалі ширшим використанням в промисловості високоміцних матеріалів, особливо агресивних середовищ, високих температур і тисків. У цих умовах значно зросла питома вага втрат, що викликаються такими небезпечними формами корозії, як корозійне розтріскування, міжкристалітна корозія та ін. Економічні втрати від корозії металів є значними. За оцінками фахівців різних країн ці втрати в промислово розвинених країнах становлять від 2 до 4% валового національного продукту. При цьому втрати металу з урахуванням маси металевих конструкцій, виробів, обладнання, які вийшли з ладу, складають від 10 до 20% річного виробництва сталі. Перспективними для вирішення цієї проблеми є захисні покриття на основі епоксидних композиційних матеріалів. Такі матеріали відзначаються доброю технологічністю при нанесенні на деталі зі складним профілем поверхні [1].

Актуальність дослідження. Проблема розробки нових конструкційних матеріалів, а також контроль та прогнозування їх стану в складних умовах експлуатації вимагає створення нових методів виявлення місць зі зниженою механічною міцністю і спостереження за їх зміною у реальному часі. Аналіз сучасних досліджень, проведених в основному за кордоном, виділяє в якості перспективних напрямків діагностики та управління технологіями створення нових конструкційних матеріалів методи акустичної емісії. При експлуатації системи “захисне покриття – металева основа” маємо багатопшарову структуру. При цьому виникає потреба контролю стану як покриття, так і металевої основи. Тому актуальною є розробка методики застосування акустичної емісії для одночасного контролю стану складових багатопшарових комбінованих конструкцій.

Постановка задачі. Вивчення кінетики деформації матеріалів асоціюється з аналізом силового відгуку матеріалу на зовнішні напруги. Для цього необхідне проведення експериментальних досліджень щодо деформації матеріалів з одночасною фіксацією акустичних сигналів в реальному масштабі часу. Для металевої основи з композиційним покриттям ситуація ускладнюється генерацією акустико-емісійних (АЕ) сигналів від різних за фізичною природою матеріалів, а також необхідністю розділення цих сигналів для ідентифікації стану кожного з матеріалів і конструкції у цілому.

Метою роботи є вивчення характеристик акустико-емісійних сигналів при чотирьохточковому згині металевого зразку з нанесеним захисним покриттям та доведення можливості окремої ідентифікації механічного стану металевої основи і захисного покриття.

Для експерименту було обрано одну з поширених конструкційних вуглецевих сталей СтЗсп. Зразки для випробувань вирізалися з листового прокату розміром 200×20×3 мм. У якості захисного покриття, нанесеного з одного боку зразка використовувалася діанова смола ЕД-20 з твердником ПЕПА. Товщина покриття 1 мм. При акустичних вимірюваннях використовували широкосмугові датчики до АЕ приладу АФ-15 з пропускнуою здатністю 0,2÷0,5 і 0,2÷2,0 МГц. АЕ датчики встановлювалися як з боку металевої основи, так і з боку композитного покриття. Використана в експерименті інформаційно-вимірювальна система

забезпечувала індикацію та реєстрацію сигналів АЕ з подальшим її збереженням в пам'яті комп'ютера за допомогою цифрового осцилографа RIGOL DS1052E. Обробка результатів здійснювалася у пакеті Signal Analyzer, що входить до складу системи комп'ютерної математики Matlab2020a. При цьому була проведена низькочастотна фільтрація і спектральний аналіз АЕ сигналів.

Результати дослідження. На рис.1,2 наведено приклади типових отриманих АЕ сигналів при певному навантаженні після проведення низькочастотної фільтрації: представлено вигляд самого АЕ сигналу (а), його частотний спектр (b) і частотно-часовий розподіл у вигляді скалограм (c), де кольором показано розподіл інтенсивності АЕ сигналу.

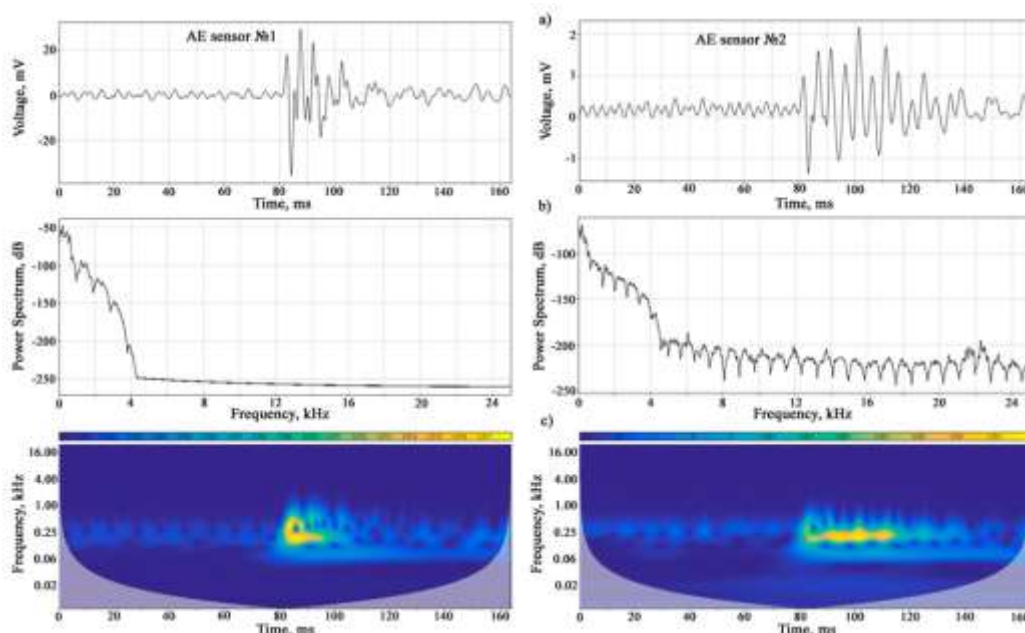


Рисунок 1. АЕ сигнали, отримані від двох датчиків при їх розташуванні на захисному покритті (а), енергетичний спектр сигналів (b), скалограма частотно-часового розподілу сигналів (c). Навантаження при чотирьохточковому згині 144,8 кг.

Аналіз отриманих результатів показує:

- часова тривалість АЕ сигналів у випадку розташування АЕ датчиків з боку захисного покриття приблизно у чотири рази менша, ніж у випадку розташування АЕ датчиків на металевій основі;
- амплітуда АЕ сигналів у випадку розташування АЕ датчиків з боку захисного покриття приблизно у п'ять разів менша, ніж у випадку розташування АЕ датчиків на металевій основі;
- область частотного спектру у випадку розташування АЕ датчиків з боку захисного покриття приблизно у п'ять разів більша, ніж у випадку розташування АЕ датчиків на металевій основі;
- амплітуда частотного спектру у випадку розташування АЕ датчиків з боку захисного покриття значно перевищує амплітуду частотного спектру у випадку розташування АЕ датчиків на металевій основі;
- частотно-часовий розподіл амплітуд сигналів показує, що у випадку розташування АЕ датчиків з боку захисного покриття максимуми спостерігаються на частотах $0,110 \pm 0,500$ кГц і $0,170 \pm 0,250$ кГц відповідно для першого та другого АЕ датчиків; у випадку розташування АЕ датчиків на металевій основі ці максимуми відповідно спостерігаються на частотах $0,085 \pm 0,110$ кГц і $0,240 \pm 0,290$ кГц;

– спостерігаються суттєві відмінності у АЕ сигналах для обох застосованих у експерименті АЕ датчиків.

Зазначені особливості отриманих спектрів АЕ сигналів дозволяють чітко розрізнити джерело їх походження (металева основа або композитне покриття) і тому окремо ідентифікувати механічний стан металевої основи і захисного композитного покриття. Для цього достатньо нанести усі отримані АЕ сигнали на діаграми деформаційного зміцнення сталі СтЗсп та епоксидної смоли ЕД-20. Методика такого дослідження описана у роботах [2,3].

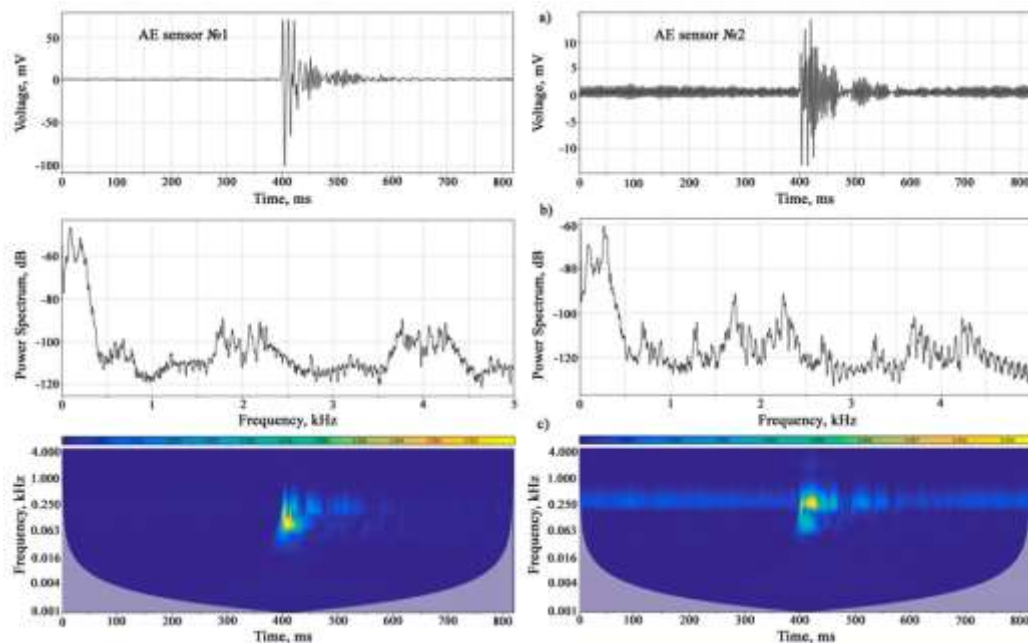


Рисунок 2. АЕ сигнали, отримані від двох датчиків при їх розташуванні на металевій основі (а), енергетичний спектр сигналів (б), скалограма частотно-часового розподілу сигналів (с). Навантаження при чотирьохточковому згині 157,8 кг.

Як було доведено [2,3], методами акустичної емісії визначаються провісники початку зміни структури матеріалу, в той час як механічні випробування фіксують його сталу стадію. Тому запропонований спосіб дозволяє не тільки ідентифікувати механічний стан технологічного обладнання з композитним покриттям, але й прогнозувати його подальший розвиток.

Висновки. Виявлено дискретний характер виникнення акустичної емісії при чотирьохточковому згині сталі СтЗсп з нанесеним композиційним покриттям. Доведена можливість окремо ідентифікувати і прогнозувати механічний стан металевої основи і захисного композитного покриття методами акустичної емісії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Букетов А.В. Епоксидні нанокompозити: монографія / А.В. Букетов, О.О. Сапронов, В.Л. Алексенко. – Херсон: ХДМА, 2015. – 184 с.
2. Алексенко В.Л. Идентификация структурных особенностей механизмов деформирования при изгибе методом акустической эмиссии / В.Л. Алексенко, А.А. Шарко, А.В. Шарко, Д.М. Степанчиков, К.Ю. Юренин // Техн. диагностика и неразруш. контроль – 2019. – №1. – С. 32-39.
3. Алексенко В.Л. Применение акустико-эмиссионных и тензометрических измерений к процессам диагностики деформационного упрочнения композиционных материалов на основе эпоксидной матрицы / В.Л. Алексенко, А.А. Шарко, Д.М. Степанчиков, С.А. Сметанкин, К.Ю. Юренин // Техн. диагностика и неразруш. контроль – 2019. – №3. – С. 49-54.

УДК 656.13-047.36(043.2)

ОСОБЛИВОСТІ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У ЗМІННИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

¹Український Є.О., ¹Українська Т.А., ¹Захаренко Н.С., ²Грицук І.В.

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Україна

²Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Ефективна технічна експлуатація транспортних засобів (ТЗ) при перевезенні вантажів має базуватися на визначенні і керуванні основними експлуатаційними показниками з урахуванням взаємодії з транспортною інфраструктурою на основі раціональної системи оперативного контролю основних параметрів технічного стану ТЗ. Вирішення подібної науково-практичної задачі можливе за допомогою створення інформаційно-аналітичної системи моніторингу, інтегрованої до процесів експлуатації вантажних ТЗ.

Актуальність досліджень. Актуальність зазначеної проблеми зумовлена тим, що розвиток сучасного транспорту неможливий без застосування інформаційно-комунікаційних технологій, в тому числі і систем моніторингу параметрів технічного стану, які постійно змінюються під впливом умов експлуатації, що в кінцевому підсумку призводить до зміни ефективності експлуатації ТЗ. Динаміка розвитку сучасних інформаційно-комунікаційних технологій та їх інтеграційні можливості в технологічних процесах різних напрямів та рівнів дозволяють розробляти інноваційні системи на транспорті.

Постановка задачі.

В системі технічної експлуатації транспортних засобів однією з найактуальніших задач є практична реалізація об'єднання комп'ютерних ресурсів усіх учасників процесу експлуатації ТЗ в єдиному інформаційному просторі. Дослідженням інтеграційних можливостей системи технічної експлуатації транспортних засобів та інтелектуальних транспортних технологій з позицій організації технічного обслуговування та ремонту, моніторингу змін дорожніх, транспортних умов, моделювання міського трафіку присвячені роботи вітчизняних та зарубіжних авторів. Однак підходам моніторингу параметрів технічного стану вантажних транспортних засобів у змінних умовах їх експлуатаційної взаємодії з інфраструктурою приділено недостатньо уваги.

Тому основним завданням дослідження є визначення особливостей та підходів дистанційного моніторингу параметрів технічного стану транспортного засобу з використанням можливостей ITS.

Результати досліджень. На ефективність функціонування транспортних засоби мають великий вплив умов експлуатації. Умови експлуатації підрозділяються на транспортні, природно-кліматичні та дорожні. Класична класифікація умов експлуатації ТЗ може бути доповнена не менш важливою умовою – культурою експлуатації. Моніторинг взаємного впливу умов експлуатації та параметрів технічного стану вантажного ТЗ є важливим механізмом забезпечення ефективності функціонування підприємства автомобільного транспорту, що експлуатує зазначені автомобілі.

Інформаційний обмін між елементами ITS, ТЗ, транспортної інфраструктури і інфраструктури автомобільних доріг, в процесах моніторингу параметрів технічного стану в умовах експлуатації, може здійснюватися в ручному, автоматизованому або автоматичному режимах.

Результатом процесів моніторингу робочих процесів ТЗ в умовах експлуатації має бути визначення фактичних параметрів технічного стану самого ТЗ, корегування умов експлуатації, а також точного визначення місця розташування та точного часу за параметрами, отриманими від навігаційних супутникових систем та обміну цією інформацією з робочим місцем моніторингу ТЗ і іншими учасниками системи оперативного контролю робочих процесів ТЗ.

На даний момент є безліч функціональних можливостей розглянутих систем, здатних поліпшити структуру управління автоперевезеннями, підвищити економічну віддачу від ТЗ за рахунок більш раціональної їх експлуатації, і як наслідок економії на паливній складовій, підвищення ресурсів їх використання, коефіцієнта завантаження, оборотності. У США понад 50% тягачів, які використовуються для перевезень вантажів, оснащені подібними системами і прогноз на найближчий рік в зв'язку з подорожчанням палива говорить про те, що буде оснащено ще понад 30%. За неофіційною інформацією від автоперевізників ЄС, на сьогодні у них оснащено подібними системами близько 70% рухомого складу.

Впровадження в технічну експлуатацію автомобілів (ТЕА) базових принципів «адаптивної» системи управління технічним станом автомобілю з елементами індивідуального підходу до кожного конкретного ТЗ вимагає оперативного контролю його поточного стану, розробки багатofакторних моделей прогнозування та створення бази даних, що дозволяють застосовувати сучасні інформаційно-аналітичні технології в технічній діагностиці.

У процесі оперативного контролю поточного стану ТЗ, для формалізації структурного взаємозв'язку елементів (модулів) інформаційної системи моніторингу ТЗ в умовах експлуатації було виділено декілька характерних для неї основних характеристик функціональних елементів – морфологічних ознак. Морфологічна структура вантажного ТЗ у складі сідлового тягача та напівпричепа має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} & (X_{1.2}; X_{2.1}; X_{3.1}; X_{4.3}; (X_{4.3.1.5}; X_{4.3.2.4}; X_{4.1.3.1}; X_{4.3.3.3}) + \\ & + (X_{5.1.2}; X_{5.2.4}; X_{6.5}) + (X_{9.1}; X_{10.3}; X_{11.2}; X_{12.1}; X_{13.1}; X_{14.1}) + \\ & + (X_{15.1}; X_{16.1}; X_{17.1}; X_{18.1}) + (X_{19.1}; X_{20.1}; X_{21.1}) + \\ & + X_{22.3} + (X_{23.1}; X_{24.3}; X_{25.5}) + (X_{26.1}; X_{26.4}; X_{26.6}) \end{aligned} \quad (1)$$

Тобто це ТЗ який працює на паливі нафтового походження ($X_{1.2}$), що зберігається в рідкому стані ($X_{2.1}$) при нормальних умовах ($X_{3.1}$) відноситься до категорії вантажний ТЗ ($X_{4.3}$) тип сідловий тягач ($X_{4.3.1.5}$), літраж двигуна великолітражні ($X_{4.3.2.4}$), тип приводу ($X_{4.1.3.1}$), клас вантажні автомобілі ($X_{4.3.3.3}$) тощо.

Відомі системи моніторингу транспортних засобів, що були розроблені в ХНАДУ і НТУ колективом вчених під керівництвом докторів технічних наук Волкова В.П., Грицука І.В. та Матейчика В.П. дозволяють здійснювати ідентифікацію транспортного засобу, безперервне автоматичне вимірювання параметрів, що характеризують стан ТЗ, діагностування, а саме контроль справності ТЗ і його складових елементів, розпізнавання і запобігання розвитку відмов у його роботі і в кінцевому рахунку – забезпечення функціонування системи технічного обслуговування і ремонту ТЗ за технічним станом. Означені системи являють собою складний комплекс бортових і стаціонарних технічних і програмних засобів.

Оперативний контроль параметрів технічного стану вантажних ТЗ доцільно розглядати в реальних умовах перевезень. Тому в рамках дослідження було проведено моніторинг вантажних ТЗ – автопоїздів, що перевозять промислову продукцію в умовах Маріупольського промислового вузла. Інтенсивна експлуатація вантажних ТЗ на маршрутах «промислові підприємства – морський порт» пов'язана зі взаємодією вантажного транспорту з міським трафіком, що призводить до перевантаженості вулично-дорожніх мереж міста і основних магістралей на підходах до них, наслідком чого є регулярні і повсюдні порушення нормальних

(встановлених) режимів руху транспортних засобів на маршрутах, зниження показників ефективності їх роботи та підвищення витрати палива.

Аналіз маршрутів автоперевезення продукції металургійних підприємств в умовах великого промислового вузла на прикладі м. Маріуполя дозволяє виявити певні закономірності: взаємний вплив параметрів загального трафіку на маршрутах перевезення промислових вантажів та параметрів транспортного потоку промислового транспорту; вплив параметрів транспортного потоку на вибір режимів руху водіями вантажних транспортних засобів; залежність експлуатаційних показників вантажних транспортних засобів, що працюють на маршрутах перевезень промислової продукції від параметрів транспортних потоків на найбільш завантажених ділянках вулично-дорожньої мережі.

Дослідження експлуатаційних показників вантажного транспортного засобу за встановленим маршрутом проводилось за допомогою системи моніторингу, до якої входить комплекс бортового обладнання (GPS-трекер, датчик витрати палива, антена) та програмне забезпечення Wialon ACG GPS Monitoring. Фіксація основних експлуатаційних параметрів ТЗ проводилась існуючими в Україні методами спостереження в реальному часі. Результати моніторингу формуються у вигляді звітів, що поєднують таблиці, графіки, картографічну інформацію (рис. 1)



Рисунок 1 – Звіт системи оперативного контролю параметрів технічного стану ТЗ за результатами моніторингу

Результати моніторингу основних експлуатаційних показників транспортних засобів проходять аналітичну обробку, на основі якої розробляються керуючі впливи на об'єкти або суб'єкти процесу експлуатації ТЗ. Потенційним напрямком розвитку розглянутої системи є комплексна система, яка здатна оперативно відстежувати транспортні умови експлуатації ТЗ, а саме завантаженість вулично-дорожньої мережі на маршруті вантажних перевезень. Для такої системи оперативного контролю транспорту, при обробці інформації враховуються не тільки параметри технічного стану ТЗ, а й макроскопічні параметри транспортного потоку: інтенсивність руху, швидкість руху транспортного потоку і його щільність.

Висновки. Аналіз сучасного стану теоретичних і практичних розробок щодо методів контролю технічного стану вантажного транспортного засобу в змінних умовах експлуатації

виявив, що традиційні методи не відповідають в цілому сучасним вимогам підтримання працездатності ТЗ і керування в оперативному режимі, особливо забезпечуючи раціональну витрату палива. Для цього потрібно впровадження в технічну експлуатацію ТЗ систем дистанційного оперативного контролю параметрів технічного стану на основі інформаційно-комунікаційних комплексів у складі інформаційно-аналітичних систем.

Оперативний моніторинг ТЗ та його основних параметрів технічного стану забезпечується комплексом бортового обладнання ТЗ, засобів та каналів передачі даних, спеціального програмного забезпечення та інформаційно-комунікаційного обладнання диспетчерського пункту. Перспективним напрямом розвитку представленої системи є впровадження додаткового моніторингу транспортних умов експлуатації ТЗ, а саме параметрів транспортних потоків на елементах вулично-дорожньої мережі на маршруті вантажних перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волков В.П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем. Монография / Под редакцией Волкова В.П. / Волков В.П., Матейчик В.П., Никонов О.Я., Комов П.Б., Грицук И.В., Волков Ю.В., Комов Е.А. // Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2013. – 398с.
2. Gritsuk, I. Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions / Gritsuk I., Volkov V., Mateichyk V., Grytsuk Y. et al SAE Technical Paper, 2018 – 2018-01-0024. doi: <https://doi.org/10.4271/2018-01-0024>
3. Матейчик, В.П. Особливості проблеми дистанційного оцінювання технічного стану складних систем на транспорті / В.П. Матейчик, М.В. Володарець, Д.В. Курносенко // Вісник Національного транспортного університету. – К., НТУ, 2018. – № 3 (42). Серія «Технічні науки». – С. 79-90.
4. Дмитриченко М.Ф. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: навч. посіб. / М. Ф. Дмитриченко, В. П. Матейчик, О. К. Грицук, М. П. Цюман // К.: НТУ, 2014. – 168 с.
5. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчетные методы исследований): монография / Н.Я.Говорущенко. Харьков: ХНАДУ, 2011. – 292 с.
6. Украинский Е.А. Формирование рациональных маршрутов движения транспортных средств в условиях индустриального центра [Электронный ресурс] / Я.И. Нефедова, А.А. Лямзин, М.С. Мнацаканян, Е.А. Украинский // Наукові вісті Далівського університету. – 2012. - №7. - Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_7/12nyuic.pdf
7. Комаров В.В. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика / В.В.Комаров, С.А.Гараган. – М. : НТБ «Энергия», 2012. – 352 с.
8. Український Є.О. Перспективи розвитку методів оперативного управління транспортними потоками в умовах вулично-дорожньої мережі міста / Є.О. Український, Т.А. Українська, Д.І. Ганжеев // Вчені записки Таврійського Національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки». – 2020. – Т. 31 (70), № 5 2020. – С.234–238.
9. Атрощенко В.А. К вопросу выбора алгоритмов решения задачи синтеза оптимальных структур распределенных баз данных на предприятиях хлебопекарной промышленности/ В.А. Атрощенко, Д.В. Тишковский //Пищевые технологии КубГТУ. 2009. - №4
10. Giovani M. Á. A Contribution to Urban Transport System Analyses and Planning in Developing Countries. Methods and Techniques in Urban Engineering Edited by Armando Carlos de Pina Filho and Aloisio Carlos de Pina Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ). Published online 01, May, 2010.

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ У ДОСЛІДЖЕННІ КІБЕРБЕЗПЕКИ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

Кравцова Л.В., Камінська Н.Г.

Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Одним з вимог, пов'язаних із загостренням кібербезпеки, обумовленої тотальною діджиталізацією у всіх сферах людської діяльності, є забезпечення підготовки морських спеціалістів основам кібербезпеки на морському судні. Так, Міжнародна морська організація (ІМО) розробила та прийняла ряд документів з кібербезпеки, які зобов'язують адміністрацію забезпечити належний розгляд кіберризиків в системах управління безпекою. Як підкреслюється в ІМО [1], ефективне управління кіберризиками повинно впроваджувати культуру обізнаності про кіберризики на всіх рівнях, та забезпечити цілісний та гнучкий режим управління кіберризиками. Херсонська державна морська академія заслужено вважається флагманом морської освіти в Україні. Такому статусу передувала дуже кропітка та тривала робота керівництва, викладачів, співробітників академії, пов'язана зі становленням стратегії її формування, впровадженням компетентнісного підходу до підготовки фахівців морського профілю. Великою нагородою за це є визнання випускників академії на світовому ринку праці, їх конкурентоспроможність та затребуваність ведучими крьюінговими компаніями. Але такий рівень треба постійно підтверджувати, оновлюючи та осучаснюючи як матеріально-технічну базу, так і програми підготовки моряків.

Актуальність досліджень. Проблемам кібербезпеки на морському транспорті, методам аналізу та прогнозування кіберзлочинів присвячено достатньо статей, авторами яких, як правило, є досвідчені моряки, які на практиці зіткнулись з проблемою захисту та збереження інформації. Для підвищення інформаційної безпеки транспортних систем необхідно проводити дослідження, які спрямовані на подальший розвиток методів та моделей розпізнавання кіберзагроз інформаційно-комунікаційному середовищу транспорту (ІКСТ) та прийняття рішень при нечітко заданій вхідній інформації. Несанкціонований доступ кіберзлочинців призводить до нової області потенційних загроз, які виходять далеко за границі фізичного піратства. Це безумовно треба признати та прийняти відповідні дії для надання допомоги власникам суден та операторам з обслуговування інформаційних судових систем, що включає також розуміння методів аналізу та прогнозування кібератак. Багато уваги кібербезпеці на морському транспорті приділяли у своїх роботах Г. Вільський [2], С. Семенов та багато інших. Аналіз їх робіт та статистичних даних з досліджуваної тематики не викликають сумнівів в її актуальності.

Основна частина. Кібербезпека на сьогодні є одним із пріоритетів у системі національної безпеки України та всього світу. Оператори суден та портових об'єктів використовують комп'ютери і кіберзалежні технології для навігації, зв'язку, проектування, перевезки вантажів, баласту, забезпечення безпеки, екологічного контролю та багато інших цілей, тому частка кіберризиків у загальному обсязі уразливостей, з якими стикається морська транспортна система, постійно підвищується. Це безумовно свідчить про необхідність підготовки фахівців морської галузі в цьому напрямку. Тому в перелік дисциплін програми підготовки майбутніх моряків включений курс «Кібербезпека на морських суднах», метою якого є всебічний аналіз джерел кібербезпеки, цілей кібератак, методів прогнозування та захисту від можливих проявів небезпеки, а також підвищення безпеки моряків, оточуючого середовища, судна та вантажу. Кібербезпека – це не тільки запобігання доступу зловмисників до систем та інформації, який може привести до втрати контролю або конфіденційності. Це

також забезпечення захисту суднових систем від будь-яких втручань, підтримка належної роботи всіх модулів судна та берегових служб.

З метою кращої систематизації випадків кібератак в морській галузі ми пропонуємо використовувати деякий математичний апарат, який дозволить на підставі досліджень та математичних розрахунків визначити ймовірність наступного втручання зловмисників та заздалегідь прийняти відповідні міри запобігання цим негативним факторам. Така спроба є абсолютно новою, тобто ми знаходимось на першому етапі великої творчої роботи, та сподіваємось на гарні результати.

Зупинимося на такому розповсюдженому та найбільш часто виникаючому явищі як неправомірне використання кіберпростору, тобто кіберзловживання, яке включає злочинну діяльність низького рівню, у тому числі вандалізм, порушення роботи систем, пошкодження веб-сайтів та несанкціонований доступ до системи. Таки дії можуть здійснюватися як не дуже досвідченими спеціалістами, так і інсайдерами, тобто співробітниками, які мають право доступу до конфіденціальної інформації даної організації, або незадовільними чомусь персоналом чи підрядниками; такі дослідники отримують доступ до системи без санкції керівника системи. Хоча й не завжди такі дії можуть нести будь-який злий намір, це може бути відсутність необхідних правових знань або звичайна цікавість, але згідно законодавства такі дії вважаються кримінальною злочинністю.

Отже, припустимо, що фахівець, який відповідає за виявлення кібератак на судні, відстежує декілька позицій, на підставі аналізу яких можна стверджувати про спроби виконання кібератак на судно. По-перше, він може виявити наявність електронного листа від невідомого відправника. Такий лист може містити шкідливі файли або посилання на шкідливі веб-сайти. По-друге, досвідчений фахівець ніколи не буде використовувати судновий або власний комп'ютер для спілкування у соціальних мережах, технічних форумах тощо, але члени команди можуть нехтувати заборонами та відкривати підозрілі сайти, тому обов'язково треба відстежити які сайти відкривалися на борту судна з будь-якого пристрою. По-третє, моніторинг несправжніх або шкідливих сайтів, які змушують або заохочують персонал розкривати конфіденційну інформацію. Далі, контроль зовнішніх носіїв, які можуть бути використані для оновлення програмного забезпечення бортової системи, а також обов'язкова перевірка фактичних даних, що поступають на судно або передаються з судна на берег.

Якщо зловмисник тим чи іншим способом отримує доступ до системи, він буде намагатися поетапно використати всю систему. Це призведе до спроби завантажити скрипти, експлойти, сканування мережі. В свою чергу, він може встановити постійні інструменти або реєстратор доступу до системи.

Настав час перейти до математичного, точніше, ймовірнісного опису розглянутого процесу. З точки зору теорії випадкових процесів, кібератака (у будь-якій формі) є неперервною випадковою величиною, адже може відбуватися у будь-який момент. Але контроль з боку CySO (Cyber security officer, або офіцер кібербезпеки) здійснюється періодично за встановленим графіком, тобто дискретно, що свідчить про дискретність результатів спостереження. Звісно, за певний період накопичується статистична інформація про всі випадки кібератак, які вдалося виявити та відстежити. Структурування цієї інформації допоможе прогнозувати появу наступної кібератаки та за можливістю прийняти заходи до її запобігання. Ретельний аналіз джерел кібератак, які відбуваються найбільш часто, надає змогу припустити, що це випадковий процес, який підпорядковується законам, що в теорії ймовірностей (або, точніше, стохастичних процесів) називають Марковськими процесами.

Випадкові величини можуть бути залежними одна від одної в різні моменти часу або ні. Так, кібератаки можуть здійснювати абсолютно різні злочинці, як поодиночі, так і організованими висококваліфікованими групами. Але не виключається і така ситуація, що дехто провів кібератаку, але не був виявлений та покараний за цей злочин, тому ця особа буде

здійснювати такі атаки і надалі, причому кожен раз вдосконалюючи методи атак та розгортаючи їх цілі.

Ретельний аналіз проблем кібербезпеки на морських судах дозволив припустити, що результати спостережень підпорядковуються властивостям Марківських процесів. Це означає, що для визначення прогнозу стосовно поведінки процесу у майбутньому, достатньо інформації про сьогоdnішній стан цього процесу, тобто дані про його поведінку в минулому ніяким чином не вплинуть на прогноз майбутнього. Таким чином, результати спостережень за кібернападами можна інтерпретувати як марковський процес з дискретним часом та дискретним простором станів.

Математично визначимо ланцюг Маркова так:

$$X = (X_n) = (X_0, X_1, X_2, \dots), \quad n \in N,$$

де в кожен момент часу процес приймає значення з дискретної множини E , такий, що $X_n \in E, \forall n \in N$. Тоді послідовність станів можна визначити таким співвідношенням:

$$P(X_{n+1} = s_{n+1} | X_n = s_n, X_{n-1} = s_{n-1}, X_{n-2} = s_{n-2}, \dots) = P(X_{n+1} = s_{n+1} | X_n = s_n),$$

тобто такий математичний опис відображує основну суть процесу Маркова: розподіл ймовірностей наступного стану системи залежить тільки від її поточного стану, але не залежить від минулого стану.

В нашому випадку ми будемо досліджувати чотири позиції можливих кібератак на систему, які можуть бути виявлені при моніторингу системи. Згідно моделі, треба визначити ймовірність того що система приймає такий стан: s_0, s_1, s_2, s_3 . Тоді формальний опис стану буде мати наступний вигляд:

$$P(X_0 = s_0, X_1 = s_1, X_2 = s_2, X_3 = s_3),$$

тобто результатом буде ймовірність виникнення кібербезпеки системи на основі аналізу її попереднього стану.

Ланцюги Маркова підпорядковуються всім правилам дій з матричними формами. Якщо множину можливих кінцевих станів системи N представити як вектор-строку $E = \{e_1, e_2, \dots, e_N\}$, тоді перехідні ймовірності можна представити матрицею $N \times N$, так що

$$\begin{aligned} (q_{0,i}) &= q_0(e_i) = P(X_0 = e_i) \\ p_{i,j} &= p(e_i, e_j) = P(X_{n+1} = e_j | X_n = e_i) \end{aligned}$$

Отже, за нашим експериментом, на вахту заступив СуSO, тобто офіцер кібербезпеки. Обмежимося наступними подіями A, B, C, D , де подія A - виявлення наявності електронного листа від невідомого відправника; подія B - зафіксований факт відкриття деяким членом команди відвідування підозрілих сайтів з борту судна з будь-якого пристрою; подія C - виявлення несправжніх або шкідливих сайтів, які змушують або заохочують персонал розкривати конфіденційну інформацію; подія D - виявлення невідповідності заданого об'єму інформації з об'ємом зайнятим на носії, що може свідчати про приховані шкідливі файли. Тоді простір станів можна представити вектором - рядком $E = \{A, B, C, D\}$. Припустимо, що поточна інформація про події, тобто вектор розподілу ймовірностей, має вигляд (на підставі попереднього аналізу): $q_0 = (0.3, 0.5, 0.1, 0.1)$, тобто з ймовірністю 0,3 було виявлено

електронного листа від невідомого відправника, з ймовірністю 0,5 зафіксований факт відвідування підозрілих сайтів, з ймовірністю 0,1 виявлено сайти-боти, та з ймовірністю 0,1 виявлено деякі невідповідності отриманих даних або інформації на носіях. Перехідна матриця надає інформацію про можливі події за вказаними напрямками контролю з боку $CySO$:

$$p = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.0 & 0.3 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0.0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.3 & 0.4 \end{pmatrix}$$

Нагадаємо, що кожен рядок матриці – це можливі ймовірності подій за дослідженими станами, сума значень за кожним рядком дорівнює одиниці, тобто ймовірності достовірної події. Тоді, згідно правил дій з матричними формами, визначимо ймовірність кожного стану $E = \{A, B, C, D\}$ на наступний день:

$$q_1 = q_0 p = (0.3, 0.5, 0.1, 0.1) \begin{pmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.0 & 0.3 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0.0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.3 & 0.4 \end{pmatrix} = (0.32, 0.27, 0.16, 0.25),$$

тобто з ймовірністю 0.32 можна очікувати виявлення наявності електронного листа від невідомого відправника, з ймовірністю 0.27 можливо зафіксувати факт відкриття деяким членом команди відвідування підозрілих сайтів з борту судна з будь-якого пристрою, з ймовірністю 0.16 виявити спроби заохочування персоналу розкривати конфіденційну інформацію з боку кіберзлочинців та з ймовірністю 0.25 виявлення невідомої інформації на носіях.

Використовуючи властивості ланцюгів Маркова, можна виявити цікаві та корисні результати досліджування процесу. Так, легко довести, що у нашому прикладі ланцюг аперіодичний, не розкладається та всі його стани позитивно зворотні. Це дозволяє розрахувати період повернення у поточний стан, тобто для будь-якого початкового стану процес отримує стаціонарний розподіл.

Отримані результати дозволяють з великою достовірністю прогнозувати випадки кібератак кожній позиції та заздалегідь попередити їх або мінімізувати їх наслідки.

На наступному етапі планується розширити коло джерел кібербезпеки, що дозволить як мінімум контролювати дії членів екіпажу, які невідповідально відносяться до такої важливої ділянки роботи на судні як кібербезпека.

ЛІТЕРАТУРА

1. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты. (2011). Лондон.: ИМО. «Эшфорд Пресс».
2. Информационная безопасность судовождения : монография / Г. Б. Вильский ; Одес. нац. мор. акад. - Одесса ; Николаев : Швець В. Д., 2014. - 334 с.

РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ БЫСТРОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

¹Агеев М.С., ²Лопата В.Н., ³Скалига Н.Н., ⁴Соловых Е.К.

¹Херсонська державна морська академія, Україна

²ІЭС ім. Е.О. Патона НАН України, Україна

³Луцкий национальный технический университет, Україна

⁴Центральноукраїнський національний технічний університет, Україна

Состояние проблемы. Срок службы деталей, узлов и агрегатов средств транспорта чаще всего определяется сроком службы их двигателей. В процессе эксплуатации средств транспорта двигатели первыми из всех агрегатов выходят из строя. Это объясняется тем, что детали двигателя подвержены активному химическому и механическому воздействию и нагружены значительными усилиями.

Срок службы двигателей зависит от долговечностью его ответственных деталей. Наиболее быстро изнашиваются поршневые кольца, канавки поршней, цилиндры, шейки коленчатого вала. Коленчатые валы могут иметь следующие дефекты: овальность; конусность и повреждение шатунных и коренных шеек (задиры, глубокие риски, вмятины, следы коррозии или значительная волнистость поверхности); износ гнезда в торце коленчатого вала под шарикоподшипник вала муфты сцепления; повреждение или износ отверстий под болты крепления маховика; износ шпоночной канавки; прогиб; износ маслосгонной резьбы; износ посадочных мест под шестерни и шкив вентилятора. Шейки валов и их подшипники изнашиваются вследствие воздействия на них физических, химических и других факторов. В результате упругих деформаций в вале возникают внутренние напряжения. Основная часть работы трения между шатунами и шатунными шейками вала приходится на части шеек, направленные в сторону оси коленчатого вала. Кроме сил трения, на износ шеек большое влияние оказывают конструкция вала и его жесткость. Износ шатунных шеек на конус обуславливается главным образом перекосом шатунов на шейках. Износ коренных шеек в значительной мере зависит от несоосности коренных подшипников и шеек, несоосности коленчатого вала и вала муфты сцепления, а также от несбалансированности коленчатого вала, маховика и муфты сцепления. Соосность коренных подшипников нарушается износа постелей под вкладыши, неправильной сборки и т. п. Неисправности и дефекты остальных узлов и деталей влияют на техническое состояние двигателя, но их ремонт не вызывает необходимости полной его разборки, и эти дефекты могут быть устранены путем замены неисправных узлов и деталей новыми или отремонтированными.

Срок службы детали в первую очередь зависит от качества материала, из которого она изготовлена, ее термической и механической обработки, точности сборки и от других конструктивных и производственных факторов.

Практика показывает, что при одних и тех же конструктивных данных и одинаковых производственных условиях изготовления решающее влияние на срок службы деталей оказывают условия эксплуатации. Так, при работе двигателей важнейшие факторы, влияющие на изнашивание деталей, — это абразивная среда, число пусков и остановок, температурный и нагрузочный режимы, вибрация и деформация деталей. Резкое различие режимов работы обуславливает частое изменение скоростей и длительное применение пониженных передач с высокой степенью использования большого крутящего момента, что приводит к резкому изменению температурного и нагрузочного режимов работы двигателя.

Темп изнашивания многих деталей не находится в прямой зависимости от наработки машин, а обуславливается в большей степени конкретными условиями работы. Скорость изнашивания деталей непрерывно меняется в зависимости от таких факторов, как: пылезасоренность воздуха, число запусков и их длительность, температура окружающего воздуха, неравномерность нагрузочного и температурного режимов и т. п.

Качество и свойства смазочного масла сильно влияют на износ коленчатого вала и подшипников. Практика показывает, что неудовлетворительное состояние масла и узлов системы смазки, в особенности фильтрующих устройств, значительно усиливает изнашивание шеек коленчатых валов. Абразивные частицы и продукты износа, попадая с маслом в подшипники вала, оседают в антифрикционном слое и изнашивают шейки вала.

Появление неисправностей деталей двигателей средств транспорта приводит к необходимости разборки двигателя с последующим сложным ремонтом. Развитие и внедрение ремонтных технологий средств транспорта, и в частности двигателей, сдерживается отсутствием специализированного оборудования и материалов для ремонтных работ, низким их качеством.

Известные способы восстановления с применением наплавки или плазменного напыления трудоемки, не обеспечивают необходимого качества деталей, энергоемки и экономически нецелесообразны. Поэтому особое внимание следует уделять оснащению ремонтного производства средств транспорта, и в частности, двигателей, низкостоимостными и низкоэнергоемкими методами и материалами, технологиями и оборудованием для восстановления и повышения эксплуатационных свойств деталей.

Цель работы. Разработка и апробация низкоэнергоемкой и дешевой технологии нанесения износостойких покрытий для повышения ресурса деталей двигателей транспортных средств .

Результаты исследований. Разработана технология восстановления деталей двигателей и ходовой части средств транспорта комбинированным методом нанесения износостойких покрытий из проволочных сталей мартенситного и аустенитного классов, позволяющая получать рабочие поверхности ответственных деталей (распределительных и коленчатых валов, поршневых пальцев, катков) с покрытиями повышенной износостойкости.

В основе метода нанесения износостойких покрытий лежит процесс плавления проволок электрической дугой и распыление расплавленного металла высокоскоростной струей продуктов сгорания пропано-воздушной смеси. Использование в качестве распыляющего газа продуктов сгорания пропано-воздушной смеси позволяет значительно снизить окисление напыляемого металла и выгорание легирующих элементов. Отсутствие кислорода в качестве окислителя топлива значительно снижает себестоимость наносимых покрытий и повышает надёжность и безопасность проводимых работ. Использование эффективного катализатора горения, отсутствие водяного охлаждения камеры и наличие устройства автоматического поджига смеси существенно повышает надёжность оборудования и облегчает работу обслуживающего персонала. Высокая производительность - достоинство процесса нанесения покрытий. Производительность процесса нанесения покрытия на стали составляет 18 - 32 кг/час.

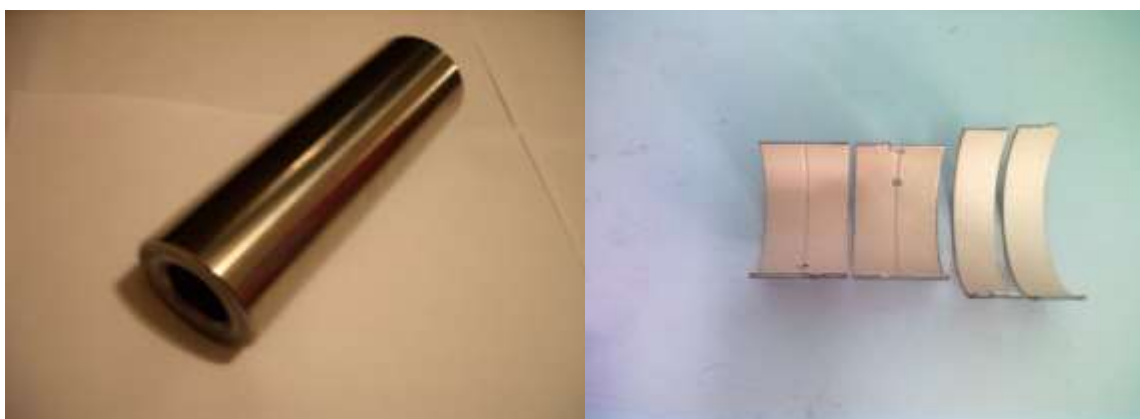
К достоинствам оборудования следует отнести: легкая и быстрая замена проволок и переход с одного диаметра проволоки на другой; высокая электро-термозащищённость; отсутствие регулировок; быстрый доступ ко всем узлам аппарата; простые и быстро заменяемые токосъёмные элементы; замена подающих роликов без разборки аппарата; блочно-узловая сборка - быстрое техобслуживание и ремонт. Стабильность ведения процесса, большое время безостановочной работы гарантированы конструкцией и применением высококачественных комплектующих.

В качестве материала для восстановления деталей средств транспорта использовали проволоку из сталей мартенситного классов (40X13). Возможно использование проволок из любых металлов выпускаемая промышленностью (углеродистая и нержавеющая сталь, в частности цинк, алюминий, медь, латунь, бронза, нихром и т.д.), комбинация из любых двух проволок. Толщина покрытий может составлять 0,1 - 7 мм и более. Примеры восстановленных деталей средств транспорта представлены на рисунке 1.



а

б



в

г

Рисунок 1 – Восстановленные детали средств транспорта: а) вал распределительный; б) вал коленчатый; в) палец поршневой; г) вкладыш опорной шейки коленвала

Выводы. Предлагается разработка технологических процессов ремонта и восстановления деталей двигателей средств транспорта нанесением износостойких покрытий, оказание помощи в организации участков под ключ, поставку и авторский надзор за работой оборудования, Возможно нанесение покрытий на крупногабаритные детали непосредственно у заказчика или изготовление небольших партий деталей на своём производстве.

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ

Погорлецький Д.С.

Херсонська державна морська академія, Україна

Тенденціями розвитку суднових енергетичних установок (СЕУ) різного призначення, основу яких складають дизельні двигуни, є підвищення паливної економічності та надійності при відповідності екологічним вимогам, які встановлені нормативами ІМО. Підвищення економічності СЕУ забезпечується, за рахунок зниження питомої ефективної витрати палива головних та допоміжних двигунів шляхом підвищення тиску наддуву p_k (до 0,6 МПа) та середнього ефективного тиску робочого циклу p_e двигунів (до 3,0 МПа) [1], що призводить до підвищення теплових та механічних навантажень на деталі і вузли двигуна. Забезпечення надійної роботи двигуна можливо лише при умові підтримки безпечного температурного рівня деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ). Температурний стан деталей ЦПГ дизельного двигуна істотно впливає на характер протікання робочого циклу, а, отже, і на індикаторні та ефективні показники, та економічність роботи двигуна. Температурний стан деталей ЦПГ визначається функціонуванням системи охолодження (СО) двигуна і ступенем її досконалості.

Модернізація системи охолодження є обов'язковою умовою форсування головних та допоміжних суднових дизелів. Системи охолодження сучасних суднових дизелів повинні забезпечувати оптимальний і стабільний тепловий стан деталей та вузлів. Оптимальним слід вважати температурний рівень, при якому матеріали деталей зберігають свої властивості міцності, моторні масла зберігають високу змащувальну і несучу здатність, а втрати теплоти через систему охолодження мінімальні. У суднових дизелях застосовуються рідинні СО, що забезпечують тепловідвід необхідної інтенсивності і володіють можливістю гнучкого регулювання теплового стану ДВЗ. Дослідження процесів переносу теплоти від робочого тіла в циліндрі двигуна до охолоджуючої рідини в системі охолодження [1-3] показали, що ефективні показники двигуна можуть бути підвищені за рахунок скорочення теплових втрат при переході на високотемпературне охолодження.

Перехід на високотемпературне охолодження забезпечує найбільш сприятливі умови для протікання робочого процесу дизеля та поліпшення його індикаторних показників на часткових навантаженнях за рахунок підвищення температури стінок камери згоряння і скорочення періоду затримки запалення; підвищення механічного ККД в усьому діапазоні навантажень за рахунок зменшення в'язкості масла на дзеркалі циліндра; перерозподіл складових теплового балансу ДВЗ в напрямку зростання частки теплоти, перетворюється на механічну роботу, і величини втрат теплоти з відпрацьованими газами з одночасним зменшенням відведення теплоти в охолоджуючу рідину, що розширює можливості утилізації енергії в системі газотурбінного наддуву та надає можливість зменшити масу і габарити теплообмінних апаратів систем мащення та охолодження двигуна. При цьому слід враховувати, що перехід на високотемпературне охолодження висуває підвищені вимоги до якості регулювання теплового стану двигуна, так як порушення необхідних режимів охолодження неминуче призводить до перегріву двигуна і різкого зниження ресурсних та економічних показників. Процеси тепловідведення в рідинних системах охолодження суднових ДВЗ супроводжуються кавітаційно-корозійними руйнуваннями елементів систем і утворенням відкладень на охолоджуваних поверхнях. З підвищенням рівня форсування двигуна і зростанням теплових та механічних навантажень інтенсивність зазначених процесів зростає. Ці процеси вкрай негативно позначаються на надійності ДВЗ. [1-5]

Для запобігання порушенню режимів охолодження необхідно вдосконалювати експлуатаційні властивості охолоджуючих рідин та забезпечувати їх необхідну якість в процесі експлуатації. Перспективи вдосконалення рідинних систем охолодження суднових двигунів пов'язані з рішенням завдань, таких як:

- визначення параметрів охолодження, які найбільш істотно впливають на надійність та ефективність роботи двигуна;
- вибір параметрів охолодження для різних швидкісних та навантажувальних режимів роботи суднового двигуна;
- розробка та впровадження механізмів, які забезпечують автоматичний контроль та регулювання параметрів систем охолодження;
- вдосконалення систем автоматичного регулювання теплового стану ДВЗ, та керування параметрами системи охолодження.

В роботі [4] показано, що функціонування рідинних систем охолодження суднових ДВЗ характеризується двома групами параметрів: режимними і водо-хімічними.

До першої групи належать температура охолоджуючої рідини T_{op} , перепад температур в контурі охолодження T , який визначає питому теплову потужність $q_{охол}$ через охолоджувані поверхні та кількість відведеної через систему охолодження теплоти $Q_{охл}$. Найбільш перспективними для суднових ДВЗ є високотемпературні системи охолодження, в яких температура охолоджуючої рідини більше 100 °С. Дослідження впливу високотемпературних систем охолодження на показники робочого циклу дизельного двигуна [5] продемонстрували, що при незначному зниженні індикаторного ККД за рахунок зростання механічного ККД має місце підвищення ефективного ККД і перерозподіл теплових потоків: збільшуються втрати з відпрацьованими газами і зменшується частка втрат з охолоджуючою рідиною. Перехід на високотемпературне охолодження можливий за рахунок підвищення тиску у внутрішньому контурі системи охолодження, в цьому випадку може бути реалізований принцип підтримання урівноваженості заданого тиску шляхом впливу на охолоджуючу рідину за допомогою стиснутого повітря.

Висновок. Таким чином, при розгляді різних робіт в яких було розглянуто шляхи вдосконалення систем охолодження суднових дизелів та запропоновані технічні рішення, які дозволяють за рахунок модернізації системи охолодження і вдосконалення автоматичного регулювання параметрів системи охолодження забезпечити підвищення надійності та економічності суднових дизельних двигунів. Було визначено, що необхідність пропонованих модернізацій обумовлена збільшенням теплових навантажень на деталі циліндропоршневої групи, викликаних форсуванням двигунів, підвищенням ресурсних та екологічних вимог, що пред'являються до суднових енергетичних установок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мировое судовое двигателестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта / Г.А. Конкс, В.А. Лашко. — М.: Машиностроение, 2005.
2. Перспективы высокотемпературного охлаждения транспортных ДВС / В.А. Жуков // Автомобильная промышленность. — 2011.
3. Повышение эффективности энергетических установок / А.В. Разуваев, Е.А. Соколова, Е.А. Разуваева // Вестник Саратовского гос. техн. ун-та. — 2010.
4. Комплексный подход к выбору конструкции и параметров систем охлаждения транспортных ДВС/О.К. Безюков, В.А. Жуков, М.А. Тарасов // Вестник двигателестроения. — 2003.
5. Совершенствование системы жидкостного охлаждения транспортных ДВС. Двигатели внутреннего сгорания/О.К. Безюков, В.А. Жуков, Е.Н. Николенко // Всеукраинский науч.-техн. журнал. — 2013.

ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РОЗВ'ЯЗУВАННІ ЗАДАЧ З КУРСУ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУДЕН

Зайцева Т.В., Кравцова Л.В., Безбах О.М., Волошинов С.А.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Дисципліна «Інформаційні системи технічного забезпечення суден» має важливе значення в освітньо-професійній підготовці спеціалістів до роботи на флоті, формування у здобувачів вищої освіти знань щодо стану та проблем сучасної автоматизації суден згідно з чинною нормативною документацією для виконання функцій у судноводінні на рівні управління. Одним з питань, що розглядаються у вказаному курсі, є оцінювання ймовірності відмови та експлуатаційної надійності компонентів навігаційно-інформаційної системи судна. Надійна робота системи забезпечує безпечну експлуатацію судна, повну ідентифікацію її показників з реальним станом судна в кожен момент часу.

Дослідженням інформаційного забезпечення систем управління рухом морських суден та проблемам їх надійності займалися такі автори як, Г.Б. Вільський [1, 2, 3], Л.Л. Вагущенко [4]. Спеціалісти з даного питання підкреслюють, що ризики аварійності морських суден є наслідком недостовірної чи несвоєчасної інформації, та вважають, що для вирішення цієї проблеми необхідно використовувати науковий підхід, який забезпечить обґрунтовану технологію проведення дослідження інформаційного забезпечення в системах управління рухом суден.

Сьогодні недостатньо бути спеціалістом у вузько спрямованій сфері професійної діяльності, це стосується і офіцерів морського флоту, які несуть відповідальність за судно, вантаж, екіпаж. Обізнаність судноводія у світових тенденціях цифровізації закладається під час його навчання у вищому навчальному закладі. Одним з таких напрямків є використання хмарних технологій в освіті, а значить, і в майбутній професійній діяльності. На даний час цій проблемі приділяється достатньо уваги. Наприклад, монографія науковців під редакцією М.П. Шишкіної [5] присвячена обґрунтуванню понятійного апарату, принципам і методам формування хмаро орієнтованого навчально-наукового середовища, виконано класифікацію електронних ресурсів, створено рекомендації щодо використання різноманітних типів сервісів.

Постановка задачі. Проблема підготовки фахівця, здатного адаптуватися до мінливих вимог сучасності в контексті глобалізації інформаційного суспільства, що використовує останні досягнення в області цифрових технологій залишається актуальним питанням.

Простим та зручним рішенням задачі впровадження Excel-документів в електронні ресурси систем дистанційного навчання є використання хмарних сервісів. За допомогою хмарних технологій можна отримати доступ до інформаційних ресурсів будь-якого рівня та будь-якої потужності, з розподіленням прав різних груп користувачів відносно до ресурсів. Для цього буде достатньо лише наявності мережі Інтернет та веб-браузера.

Впровадження технології хмарних обчислень дозволяє використовувати програми, що не потребують ліцензування, слідування за оновленням версій, позбавляє від потреби у технічній підтримці програмного забезпечення, так як провайдер здійснює контроль за його функціонуванням, збереженням даних, захистом від комп'ютерних вірусів та кібератак.

Отже, **предметом даного дослідження** є використання хмарних сервісів Microsoft та Google при підготовці майбутніх фахівців морської галузі.

Мета дослідження: застосування хмарних технологій в розв'язуванні задачі оптимізації оцінки надійності інформаційних систем технічного забезпечення суден.

Якщо познайомитися з вмістом робочої програми або силабуса вказаного курсу, який містить такі важливіші для судноводія теми як, «Основні засади передачі інформації через

суднові АІС», або «Ефективне використання АІС у режимі «судно-судно» та «судно-берег», то одразу помітимо, що вивчення теми «Оцінювання ймовірності відмови і експлуатаційної надійності компонентів навігаційно-інформаційної системи судна» потребує достатнього рівня знань з як вищої математики взагалі, так і її розділу «Теорія ймовірностей», з одного боку, та структури інформаційного забезпечення систем управління рухом морських суден, основ теорії надійності, з іншого.

Судноводій повинен вміти проводити класифікацію та кластеризацію морських відомостей і повідомлень; досліджувати процес формування і циркуляції інформації в системах управління рухом суден; розуміти кластерно – ймовірнісні методології дослідження інформаційної небезпеки руху суден та принципи формування і циркуляції даних на водних шляхах; формалізацію потоків даних навігаційного поля, що забезпечують процес судноводіння.

Враховуючи все вищезазначене та власний досвід, викладач формує оптимальну траєкторію надання інформації здобувачу освіти та методів закріплення знань, максимально використовуючи можливості сучасних технологій, насамперед хмарних сервісів, що є необхідною умовою сьогодення.

Перейдемо безпосередньо до оцінювання ймовірності відмови і експлуатаційної надійності компонентів навігаційно-інформаційної системи судна та виконання розрахунків відповідно до поставленої задачі в електронних таблицях MS Excel, в Google – таблицях або на сервісі OneDrive.

Для оцінювання ймовірності відмови і експлуатаційної надійності компонентів навігаційно-інформаційної системи судна в базі даних будемо користуватися наступними розрахунковими формулами:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}, \quad (1)$$

де T_{cp} - середній час безвідмовної роботи (згідно документації); λ – інтенсивність відмов;

$$P_C(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

де $P_C(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи, t – час експлуатації;

$$K_r = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_p}, \quad (3)$$

де T_p – час ремонту;

$$K_{np} = \frac{T_p}{T_{np} + T_p}, \quad (4)$$

де K_{np} – коефіцієнт профілактики;

$$P_E(t) = K_r \times (1 - K_{np}) \times P_C(t), \quad (5)$$

де $P_E(t)$ - експлуатаційна надійність.

Підтримання працездатності навігаційно - інформаційної системи судна відноситься до компетенції судноводія офіцерського складу. Якщо підходить до професійної компетентності офіцера-судноводія, він повинен не тільки відповідати всім вимогам за компетенціями безпосередньо професійного напрямку, а і вільно володіти сучасними цифровими технологіями, мати навик використання як стандартного програмного забезпечення, такого як Microsoft Office, так і спеціальних програм, встановлених на суднових комп'ютерах.

Всебічна оцінка компонентів навігаційно-інформаційної системи судна заснована, по-перше, на створенні бази даних цих компонентів з урахуванням їх оптимального розміщення в базі, внесення всіх необхідних параметрів, що характеризують той чи інший об'єкт дослідження; по-друге, створення розрахункової платформи, що дозволяє автоматизувати процес визначення показників надійності. Тут дуже важливо для магістранта вміння застосовувати математичний апарат при виконанні професійних розрахунків; знання основних положень теорії ймовірностей; навик практичного використання систем управління рухом

морських суден. З іншого боку, вони повинні навчитися вільно володіти сучасними засобами комунікацій, командного виконання спільних проєктів, безпечного користування інформаційним простором. В першу чергу це стосується використання хмарних технологій, що, по-перше, розширює уявлення студента про можливості дистанційної форми навчання, а по-друге, робить сучасні цифрові технології невід’ємною частиною навчання протягом життя.

Дані, які були отримані як показники приладів, судноводій повинен структурувати в електронних таблицях, побудувати зручний алгоритм обробки вхідних даних, провести серію розрахунків за заданими формулами, отримати та проаналізувати кінцевий результат. Наприклад, за даними про місцезнаходження судна (широта та довгота відходу) та точку прибуття (широта та довгота приходу), він має розрахувати курс, яким рухається судно, відстань між точками відходу та приходу, найкращу траєкторію руху, якщо на шляху опиниться штормове ускладнення, штормовий запас та багато інших показників, які забезпечують рух судна з виконанням всіх умов фрахту. Знання та навички їх практичного застосування надають студенту можливість осмислити зміст проблеми, сприймати будь-яку розрахункову формулу як керівництво до дії, вміти структурувати розрахунки та оцінити правильність отриманого результату. При цьому зрозуміло, що всі розрахунки проводяться в електронних таблицях, адже виконана заздалегідь та відредагована структурована база розрахунку дозволяє змінювати дані та миттєво отримувати гарантовано правильні результати.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|--|--|---|--------------|---------------------------------------|--|---------------------|-------------------|----------------|
| 1 | Navigation Equipment | Main Technical Characteristics | Average Uptime - According to Documentation | Failure Rate | Probability of Trouble-free Operation | Repair Time - Appropriate to Maritime Practice | Availability Factor | Prevention Factor | Serviceability |
| 2 | Northrop Grumman Sperry Marine JUPITER Magnetic Compass System | Class A compass with a card diameter of 180 mm and accuracy better than 0.5°, and a weight of just 8.8 kg. Reflector tubes are available in the following lengths: 1000, 1500 and 2000 mm. | 175200 | 0,0000057078 | 0,77880 | 24 | 0,99986 | 0,00014 | 0,77889 |
| 4 | | Dynamic Accuracy $\leq 0.4'' \cdot \sec \phi$ | | | | | | | |
| 5 | | Settling Mode 3 hours (accuracy $\leq 2''$) | 87600 | 0,0000114188 | 0,6068306597 | 72 | 0,99918 | 0,00082 | 0,60583 |
| 6 | Raytheon Anschütz Standard 22 Gyrocompass System | Main Compass Sensor Unit Weight - 17,8 kg. | | | | | | | |
| 7 | SAMYUNG SES-2000 Echo-sounder | Radiation Frequency - 50 kHz (TD-22) and 200 kHz (TD-24) | | | | | | | |
| 8 | | Beam width - 28° (50 kHz) and 5.4° (200 kHz) | 78840 | 0,0000126839 | 0,5737834207 | 168 | 0,99787 | 0,00213 | 0,57132 |
| 9 | | Radiation Power 600 W | | | | | | | |
| 10 | NAVIKNOT 450D Multi-sensor Speed Log | Speed accuracy $\pm 1\%$ or 0.1 knot, whichever is greater | | | | | | | |
| 11 | | Separate damping for display and outputs (0 - 99 seconds) | 70080 | 0,0000142694 | 0,5352614285 | 192 | 0,99727 | 0,00273 | 0,53234 |
| 12 | | Mute out for watch alarm according to IXX | | | | | | | |

Рисунок 1 – Фрагмент бази даних визначення параметрів оцінки надійності навігаційного обладнання з використанням сервісу OneDrive

Результати досліджень. Курс «Інформаційні системи технічного забезпечення суден» викладається для магістрів денної форми навчання. Частина магістрантів, а саме, 30%, повністю проходить курс аудиторно. Інша частина, приблизно 25%, поєднує аудиторну роботу з самостійним засвоєнням матеріалу на базі LMS MOODLE. Ця платформа надає можливість отримати всі теоретичні матеріали, вказівки до виконання лабораторних робіт та індивідуальних завдань, консультації викладача. Але останні 45 відсотків магістрантів більшу частину навчального часу знаходяться на судні, маючи можливість лише іноді звертатися до хмарних сервісів. Виявилось, що цього цілком достатньо для того щоб отримати шаблони та

вказівки до виконання завдань, у вільний від вахти час виконати завдання та відправити викладачеві на перевірку.

Були зібрані дані статистичного спостереження результатів засвоєння знань вказаними трьома групами магістрантів денної форми навчання за останні три навчальні роки (табл 1).

Таблиця 1. Зведена таблиця результатів оцінки якості знань магістрантів

| | Середній бал | | | | | |
|----------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
| | Перша група (30%) | | Друга група (25%) | | Третя група (25%) | |
| | Успішність | Якість знань | Успішність | Якість знань | Успішність | Якість знань |
| 2018-2019 н.р. | 100% | 63% | 92% | 47% | 83% | 54% |
| 2019-2020 н.р. | 100% | 67% | 87% | 52% | 88% | 58% |
| 2020-2021 н.р. | 100% | 67% | 95% | 55% | 92% | 62% |
| Average | 100% | 66% | 91% | 51% | 88% | 58% |

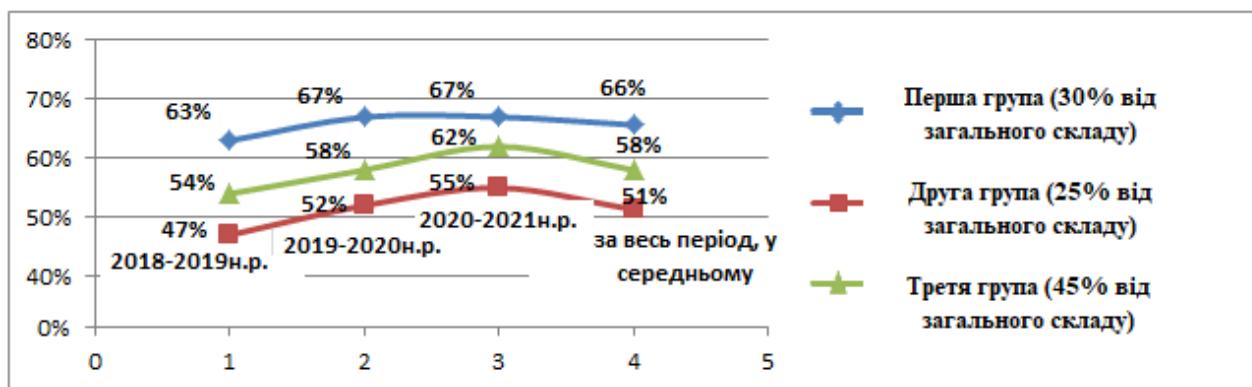


Рисунок 2 – Графічне відображення результатів оцінки якості знань магістрантів

Не всі магістранти (див. рис.2) скористалися можливістю отримання знань за допомогою стандартних або хмарних сервісів, але результати дослідження свідчать про те що зростає зацікавленість магістрантів до нових форм навчання, особливо з урахуванням специфіки саме морської освіти.

Останнім часом масштаби впровадження хмарних технологій стрімко ростуть. Будується єдиний навчальний інформаційний простір з використанням, в основному, хмарних сервісів, які надають компанії Microsoft і Google.

Висновки. Організація навчального процесу з використанням технологій «хмарних обчислень» має наступні переваги:

- сервіси ефективно працюють з будь-якими апаратними та операційними системами;
- використовуються сучасні надбання в галузі цифрових технологій;
- зникає потреба в придбанні ліцензійного програмного забезпечення;
- забезпечення доступу до програмних додатків у будь-якій ситуації (знаходиться курсант на занятті в аудиторії чи опановує предмет дистанційно);
- здатність подальшого використання студентом хмарних сервісів в майбутній професійній діяльності.

Завдяки впровадженню хмарних технологій, магістрант, перебуваючи на практиці на судні, може користуватися створеними базами даних з оцінки надійності суднових інформаційних систем, лише змінюючи вхідні дані відповідно до параметрів системи технічного забезпечення судна на якому він перебуває. Автори дослідження вважають, що подальше залучення магістрантів до використання сучасних сервісів суттєво підвищить їх рівень професійної підготовки, що, безумовно, сприяє їх конкурентоспроможності на міжнародному ринку праці для моряків.

ЛІТЕРАТУРА

1. [Вільський Г.](#) Дослідження інформаційного забезпечення систем управління рухом морських суден. [Безпека інформації](#). - 2013. - Т. 19, № 3. - С. 198-203.
2. Вильский Г.Б. Информационные риски судовождения // Наук. Вісник ХДМА — № 1(4) / Херсон: ХДМІ, 2012. — С.17-26.
3. Вильский Г.Б. Методика вероятностной оценки безопасных параметров судна в условиях ограниченного плавания. Метод. указания для практических занятий / Г.Б. Вильский, М.М. Надыч. — Одеса: ОНМА, «ВидавІнформ», 2012. — 16 с.
4. Вагущенко Л. Л. Судовые навигационно-информационные системы. – Одесса: Феникс, 2004. – 302 с.
5. Методологія формування хмаро орієнтованого навчально-наукового середовища педагогічного навчального закладу : монографія / [Дем'яненко В. М., Коваленко В. В., Кравченко А. О., Носенко Ю. Г., Попель М. В., Рассовицька М. В., Стрюк А. М., Шишкіна М. П., Яцишин А. В.] ; за наук. ред. М. П. Шишкіної. – К. : Педагогічна думка, 2017. – 146 с., іл. ISBN 978-966-644-488-5

ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТУ AVL BOOST У ДОСЛІДЖЕННЯХ ТА НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Булгаков М.П., Дерменжи М.П.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Анотація. AVL Boost - це повністю інтегрована програма для моделювання в галузі двигунів внутрішнього згоряння. Програмне забезпечення надає широкий спектр застосувань для роботи двигуна, шкідливих викидів та акустики. Він за своєю суттю спрямований для моделювання двигунів внутрішнього згоряння, включаючи як двигуни з іскровим запалюванням, так і двигуни з запалюванням від стиску. Однак, за посиланням на інші пакети програм AVL (наприклад, Cruise або Fire), можна також моделювати гібридні транспортні засоби. Boost дозволяє користувачеві виконувати виключно обчислювальний підхід, а також порівнювати експериментальні результати з результатами моделювання. Програмне забезпечення пропонує високий рівень гнучкості типу палива та складу палива, включаючи можливість використання як звичайного, так і альтернативного палива.

Постановка проблеми. На жаль, пандемія COVID-19 змусила нас кардинально змінити методи навчання. Національні заходи, спрямовані на подолання поширення вірусу, також стосуються вищих навчальних закладів; вимагаючи, щоб попередні університетські курси викладалися в Інтернеті. Онлайн навчання було необхідним протягом більшої частини 2020 року, що перешкоджало регулярному використанню програмного забезпечення, встановленого в комп'ютерних класах. Крім того студенти та аспіранти не мали змогу відвідувати навчальні заклади з лабораторіями та необхідним устаткуванням. Програмний пакет AVL Boost може допомогти у дослідженнях без необхідності складання реальної моделі. Пошук оптимальних параметрів і пізніше тестування налаштувань на модельних двигунах може мати величезне значення для студентів-механіків та аспірантів, пошуковців. Крім того, кількісний та якісний склад відпрацьованих газів також цікавить інженерів-екологів.

Результати досліджень. Станом на січень 2021 р. Web of Science виявило майже 150 статей (статей та наукових праць), та понад 270 статей (статей та доповідей конференцій) що з'являлись у Scopus, коли термін «AVL Boost» використовувався для пошуку в базах даних. Хоча збільшення кількості публікацій з року в рік не є монотонним, цікавість у продукті за 5 років неухильно зростає.

AVL Boost є добре відомим, повністю інтегрованим програмним забезпеченням для моделювання в області ДВС. Він пропонує складні моделі, що дозволяють точно прогнозувати продуктивність двигуна, викиди відпрацьованих газів та акустику повітроводів у стаціонарних та перехідних умовах роботи. [2] Для останніх двох цілей можна використовувати підпакети Boost після обробки та акустики відповідно [3]. Boost дозволяє вченим моделювати всі типи двигунів внутрішнього згоряння, включаючи двигуни як з іскровим запалюванням (SI), так і з системою запалювання з запалюванням від тиску (CI); 4-тактні або 2-тактні двигуни; починаючи від двигунів невеликої потужності для мотоциклів [4] до авіаційних двигунів [5] і закінчуючи великими двигунами для морського руху [6]. Завдяки внутрішньому пакету для хімічних реакцій пропонується високий рівень гнучкості типу палива та складу палива, включаючи можливість використання як звичайного (наприклад, дизельного чи бензинового), так і альтернативного палива (наприклад, водню, етанолу, метанолу тощо) [3]. Для кожного палива також доступні значення за замовчуванням для нижчого значення нагріву та для стехіометричного співвідношення повітря/паливо. Якщо потрібні більш точні дані, значення за замовчуванням можуть бути перезаписані. Крім того, інші палива, такі як 2,5-диметилфуран,

DMF [7] або P. moriformis нафта з мікроводоростей, PM0 [8] можуть бути визначені шляхом додавання відповідних термодинамічних параметрів.

AVL Boost дозволяє користувачам розглядати потік у трубах як одновимірний (1D): тобто тиск, температура та швидкість потоку, отримані з розв'язання газодинамічних рівнянь, представляють середні значення по перетину труб. Втрати потоку через 3D-ефекти розраховуються за відповідними коефіцієнтами витрати [3]. Крім того, доступне посилення на AVL Fire, яке дозволяє 3D моделювання ефектів потоку та теплопередачі в трубах, колекторах та камерах згоряння. Поєднання Boost і Fire це чудовий вибір, коли потрібні достовірні оцінки для термодинаміки двигуна та оцінки спалювання/викидів [2]. Моделювання служать віртуальним тестуванням великої кількості прототипів, зменшуючи таким чином потребу у дорогих і тривалих експериментах.

Висновки. Програмне забезпечення AVL Boost пропонує широкий спектр застосувань у сферах, пов'язаних з ДВС. Хоча більшість опублікованих досліджень стосуються двигунів SI та CI, є приклади поширення досліджень на гібридні транспортні засоби за допомогою інших програм AVL. Boost дозволяє користувачеві виконувати виключно обчислювальний підхід, а також порівнювати експериментальні результати з моделюванням. Гнучкість програмного забезпечення щодо палива дозволяє вченим проводити розрахунки з альтернативними видами палива та визначеними сумішами звичайного та біопалива. Boost підходить для моделювання продуктивності двигуна та властивостей викидів. Незважаючи на те, що застосування Boost в акустиці публікується дуже рідко, програмне забезпечення також підходить для таких розрахунків.

Хоча впровадження нових програмних засобів іноді не є таким простим, хотілося б щоб студенти та аспіранти у своїх дослідницьких проектах мали можливість доповнити свої роботи таким програмним забезпеченням.

ЛІТЕРАТУРА

1. "AVL homepage." [Online]. Available: <https://www.avl.com/simulation>. [Accessed: 28-Jan-2021].
2. "AVL Advanced Simulation Technologies: Tools and Methods for Next-Level Simulation Solutions."
3. AVL User Guide. [Online]. Available: <https://www.avl.com/documents/10138/885977/AVL+Advanced+Simulation+Technologies+Catalog.pdf>
4. Khoa NX and Lim O 2019 The effects of combustion duration on residual gas, effective release energy, engine power and engine emissions characteristics of the motorcycle engine Appl. Energy 248 54-63
5. Czyz Z, Grabowski L, Pietrykowski K, Czamigowski J and Porzak M 2018 Measurement of flight parameters in terms of toxic emissions of the aircraft radial engine ASz62-IR Meas. J. Int. Meas. Confed. 113 46-52
6. Pagan Rubio JA, Vera-Garcia F, Hernandez Grau J, Munoz Camara J and Albaladejo Hernandez D 2018 Marine diesel engine failure simulator based on thermodynamic model Appl. Therm. Eng. 144 982-95
7. Nguyen DC, Dong HV and Tran QV 2019 Combustion characteristics of SI engine fueled with 2,5-dimethylfuran and gasoline blends using AVL-boost simulation J. Meeh. Eng. Res. Dev. 42 34-37
8. Raslavicius L, Felneris M, Pukalskas S, Rimkus A and Melaika M 2019 Evaluation of P. moriformis oil and its blends with diesel fuel as promising contributors to transportation energy Energy 189 116196.
9. Niculae AL Miron L and Chiriac R 2020 On the possibility to simulate the operation of a SI engine using alternative gaseous fuels Energy Reports 6 167-76

ПРИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОВНОПОТОЧНИХ МАСЛЯНИХ ФІЛЬТРІВ ТИПУ SPIN-ON ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ СИСТЕМ МАЩЕННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Курносенко Д.В., Савчук В.П., Акімов О.В., Котов А.І.
Херсонська державна морська академія, Україна

Діагностування працездатності систем мащення двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), до складу яких входять повнопоточні масляні фільтри типу «spin-on», не є можливим без визначення характеристик гідравлічного опору таких фільтрів в різних умовах експлуатації. Такі фільтри найшли широке розповсюдження в складі систем мащення тронкових ДВЗ та в гідравлічних системах.

Існує декілька варіантів моделювання масляних фільтрів:

- шляхом накладання експериментальної кривої перепаду тиску Δp в залежності від витрати Q ;
- шляхом використання безрозмірних експериментальних даних перепаду тиску в залежності від витрати;
- шляхом визначення коефіцієнту втрат C_p в залежності від числа Рейнольдса Re ;
- шляхом налаштування геометричної моделі фільтра з використанням параметрів трубопроводів, розгалужень та отворів.

Незважаючи на те, що рекомендується моделювати масляний фільтр із урахуванням їх геометрії (геометрії масляних порожнин), іноді не має можливості визначити геометричні параметри фільтра, але відомі залежності падіння тиску на фільтрі від витрати і, можливо, температури масла.

Один із найбільш відомих програмних комплексів, що здійснюють моделювання робочих параметрів систем мащення двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), є GT-SUITE, виробником якого є фірма Gamma Technologies. Для таких випадків використовують об'єкт PressureLossConn, як показано на мапі системи мащення 4-циліндрового ДВЗ, що виконано в програмному додатку GT-ISE (рис.1).

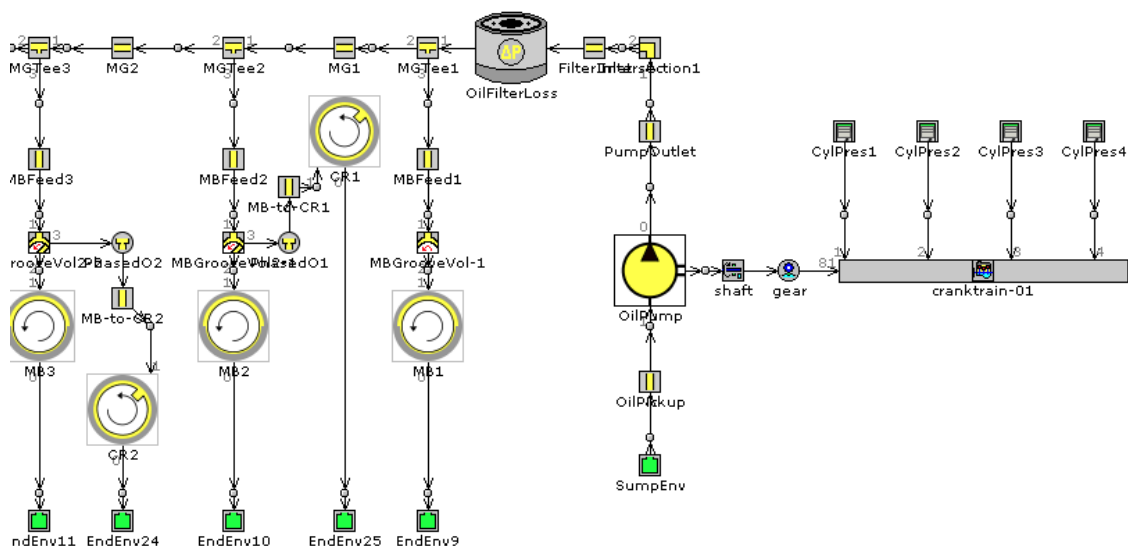


Рисунок 1 – Мапа системи мащення 4-циліндрового ДВЗ, що виконано в програмному додатку GT-ISE програмного комплексу GT-SUITE

При моделюванні фільтрів за допомогою об'єкту PressureLossConn слід враховувати об'єми, особливо при аналізі теплової реакції, прокачування або пульсацій в системі. Цей об'єкт дозволяє вибрати з шести різних опорних об'єктів, щоб накласти характеристику падіння тиску в найбільш зручний для користувача формат, включаючи:

FlowPDropTableRef – використовується залежність перепаду тиску від витрати моторного масла при заданій температурі (характеристика ΔP від витрати моторного масла є внутрішньо безрозмірною до коефіцієнту втрат C_p від числа Рейнольдса Re при використанні для декількох значень температури моторного масла);

FlowPDropTempTable – використовується визначена користувачем залежність падіння тиску від витрати і температури моторного масла перед фільтром (2D таблиця);

FlowPDropLossCoef – використовується визначена користувачем залежність коефіцієнту втрат C_p в від числа Рейнольдса Re ;

FlowPDropSimple – використовується залежність перепаду тиску від витрати моторного масла в одній опорній точці (з'єднання до фізичного отвору, яке найкраще відповідає еталонному падінню тиску при конкретній контрольній витраті та густині);

FlowPDropTable – використовується визначена користувачем залежність падіння тиску від витрати (1D таблиця) при сталому значенні температури моторного масла;

FlowPDropPowerLaw – використовується встановлена математична залежність падіння тиску від витрати.

Для параметру Pressure Drop Reference Object не повинні використовуватись об'єкти FlowPDropPowerLaw, FlowPDropTable або FlowPDropTempTable в симуляціях з пульсуючим потоком, які зазвичай вирішуються за допомогою явного вирішувача потоків. Ці опорні об'єкти визначають витрату на основі пошуку за введеними користувачем вхідними даними та перепаду тиску на фільтрі. Тому вони не можуть точно моделювати хвильову динаміку в системах з нестабільним потоком.

Об'єкти FlowPDropLossCoef та FlowPDropTableRef не слід використовувати, коли потік нестабільний або стисливий, оскільки прогнозування масової витрати та тиску можуть не точно відтворювати встановлений користувачем коефіцієнт втрат, так як ефект інерції рідини при нестационарному потоці враховується лише в рівнянні збереження імпульсу. Зі збільшенням частоти пульсацій тиску може зростати і помилка пошуку коефіцієнта втрат. Таким чином, рекомендується накладати характеристику C_p від Re лише за стійких, нестисливих умов.

Шаблон FlowPDropSimple може бути використаний у моделях з дуже нестабільним потоком, оскільки він внутрішньо створює об'єкт OrificeConn, який використовує рівняння збереження імпульсу.

З метою визначення залежностей падіння тиску на масляних фільтрах типу «spin-on» нами проведено стендові дослідження із використанням моторного масла марки M-12Дм (SAE30), що характеризується кінематичною в'язкістю $15,4 \text{ мм}^2/\text{с}$ при температурі $100 \text{ }^\circ\text{C}$ та має густину $0,897 \text{ г}/\text{см}^3$ при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура моторного масла на стіні підтримувалась в діапазоні $84,0 \dots 85,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Отримані залежності представлено на рис. 2.

Спроба апроксимувати отримані залежності мала труднощі, що пов'язані із тим, що при застосуванні інтерполяції використовуваних степеневих та поліноміальних функцій було прийнято припущення, що її початок знаходиться в точці 0. Візуальна оцінка отриманих результатів вказує на хибність прийнятого припущення. Поясненням цього є той факт, що до конструкції масляних фільтрів типу Spin-on входить протидренажний клапан для попередження витікання моторного масла із масляного фільтру на зупиненому двигуні. Він представляє собою резиновий диск, що за рахунок сили пружності притискається до кришки фільтра і перекриває вхідні отвори. За даними заводів-виробників тиск відкриття

протидренажних клапанів становить 0,1 МПа. Очевидно, що наявність даного клапану і вносить зміни в характеристику гідравлічного опору масляного фільтра. Для підтвердження даного припущення нами проведено експериментальні дослідження перепаду тиску на масляному фільтрі в діапазоні витрати моторного масла від 1,0 до 20,0 л/хв, результати якого представлено на рис. 3. Отримана графічна залежність вказує на наявність трьох ділянок, що характеризують умови роботи фільтра. На ділянці, що представлено витратою в діапазоні до 4,0 л/хв можна спостерігати практично відсутність впливу витрати на перепад тиску. Цей факт можна пояснити домінуючим впливом на гідравлічний опір фільтру перепускного клапану над опором його фільтрувального елемента. Подальший ріст витрати має лінійну залежність, що спостерігається впродовж до витрати біля 14 л/хв. Подальше зростання витрати має форму, що можливо описати степеневою чи поліноміальною залежністю, що й демонструє рис. 2.

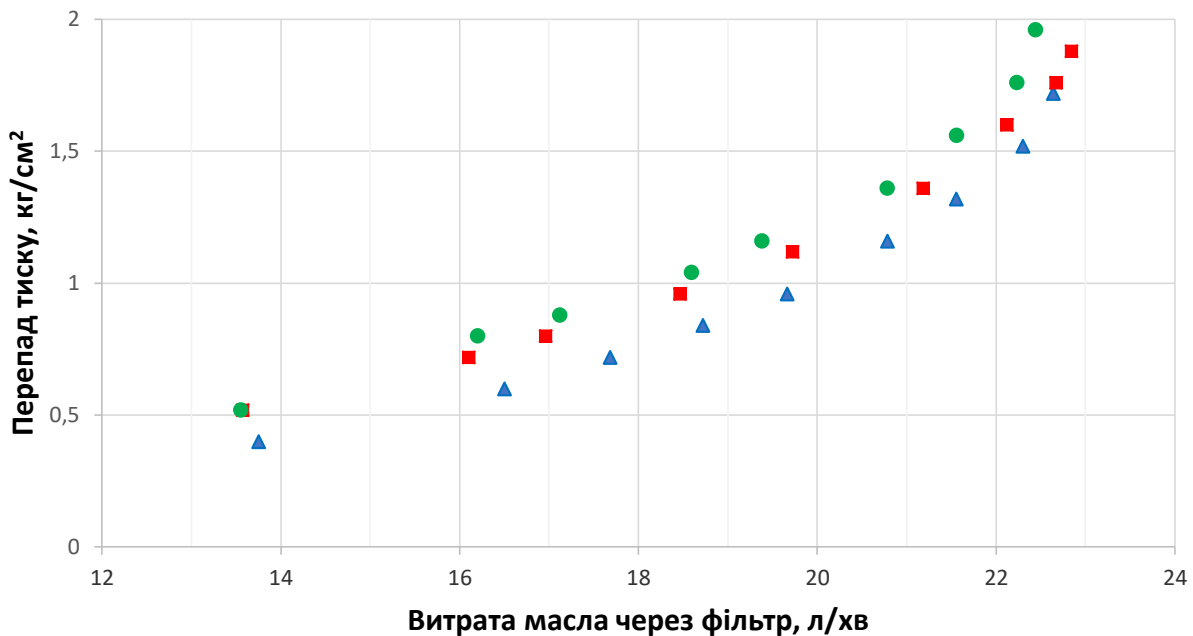


Рисунок 2 – Залежність перепаду тиску на фільтрах типу від витрати: ● – фільтр WL7133, ■ – фільтр ФМ009-1012005, ▲ – фільтр SM108

Ефективне використання апроксимуючих залежностей при описі гідравлічного опору в повнопоточних масляних фільтрах типу «spin-on» для діагностування їх працездатності можливе при умові, коли вони описують фізичні процеси, що відбуваються в складових елементах фільтрів при різних умовах експлуатації. На гідравлічну характеристику фільтра явно впливають в'язкість моторного масла, характеристика протидренажного клапану та гідравлічний опір фільтрувального елемента. Виявлені три режими роботи фільтрів, що характеризуються залежністю $\Delta p=f(Q)$, яку можливо використовувати для визначення працездатності їх складових елементів. Можна припустити, що на величину перепаду тиску при мінімальних витратах моторного масла основний вплив здійснює налаштування протидренажного клапану. Після того, як домінуючий вплив на гідравлічний опір буде мати безпосередньо фільтрувальний елемент, його характеристика описується лінійною залежністю. Прогнозуємо, що перехід між лінійною та степеневою залежностями буде залежати від характеристик фільтрувального паперу, його забруднення та налаштування диференційного тиску перепускного клапану при інших рівних умовах роботи системи мащення.

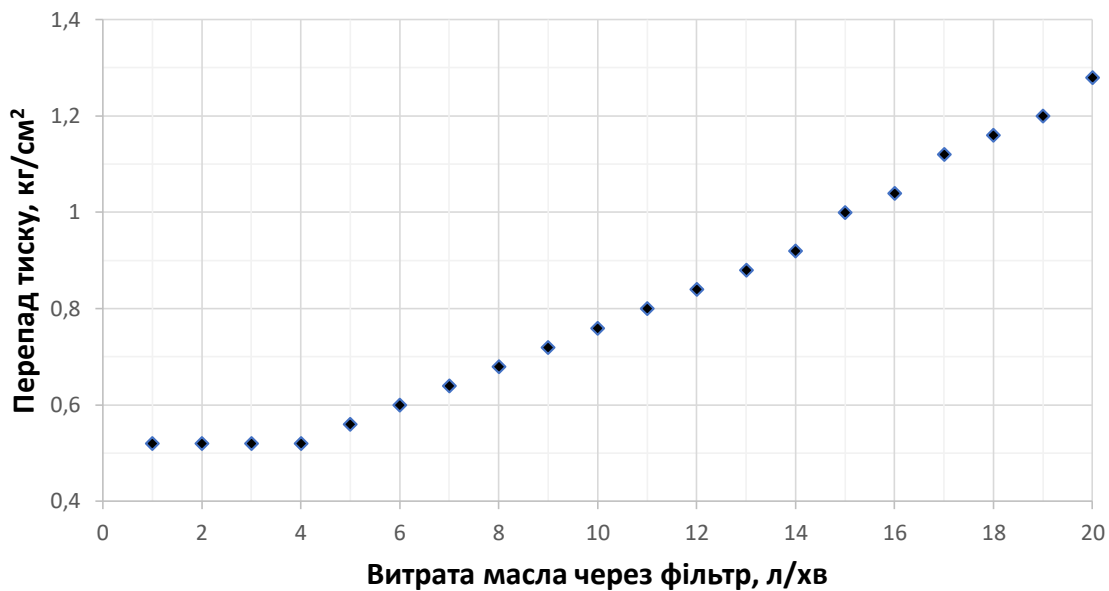


Рисунок 3 – Залежність перепаду тиску на фільтрі ФМ009-1012005 від витрати моторного масла

Для встановлення математичних залежностей гідравлічного опору окремо кожного із складових елементів масляних фільтрів типу «spin-on» необхідно провести додаткові експериментальні стендові дослідження із розширеним діапазоном температур та витрати моторного масла.

ЛІТЕРАТУРА

1. GT-SUITE. Lubrication Tutorials. VERSION 2016.
2. GT-SUITE. Lubrication Application Manual. VERSION 2016.
3. Sergiy Botov / Investigation on Novel Polymer Filter Medium for Filtration of Automotive Lubricants / Dissertation Submitted to the Department of Mechanical Engineering, University of Sheffield in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Philosophy May 2016
4. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. — СПб. : Издательство «Лань», 2012. — 384 с.

Секція 5

**ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЇ
ГАЛУЗІ**

ПРАПОР КАТАСТРОФ «ГІСТЕРЕЗИС» ЯК МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗВИТКУ / РУЙНАЦІЇ ЗНАНЬ, УМІНЬ, НАВИЧОК

¹Рева О.М., ²Камишин В.В., ³Сагановська Л.А.

¹Національний авіаційний університет, Україна

²Український інститут науково-технічної експертизи та інформації, Україна

³Льотна академія Національного авіаційного університету, Україна

Перманентний інформаційного буму, що спостерігається, сприяє, відповідно до так званого закону Мура, подвоюванню обсягу знань у світі кожні два роки. Тому все більш актуальною постає проблема наукового обґрунтування організації плідного опанування учнями, студентами, слухачами хоча б тезаурусу кожної навчальної дисципліни (НД), з якими вони стикаються в середніх і вищих закладах освіти (ЗО) чи на виробництві.

Природно, що засвоєння величезного обсягу знань, його творча переробка користувачем для подальшого використання в практичній діяльності чи в суспільному житті вимагає або збільшення часу навчання, що недоцільно з огляду на низку очевидних причин, або комплексного впровадження у сферу педагогіки нових прогресивних інноваційних інформаційних технологій (ІТ), які зазвичай мають міждисциплінарний характер.

Серед такого роду технологій особливу роль грає синергетика як новий науковий напрям, що спрямований на дослідження складних, нелінійних, відкритих, динамічних (нестационарних) систем, які прагнуть до самоорганізації, мають складну ієрархію і невід'ємною властивістю яких є також прагнення до деякої рівноваги в умовах динамічного та мінливого оточуючого середовища [1-3 та ін.]. Використовуючи перелічені ознаки, нескладно довести, що до таких систем, які є об'єктом застосування синергетичного підходу, варто, безумовно, зарахувати й освітянську систему, а отже і навчально-виховний процес (НВП), що в неї відбувається [4-8 та ін.].

В працях [7, 8] обґрунтовано виникнення синергетичного ефекту, спираючись на відомий спиралевидний діалектичний закон Гегеля. Однак, прогнозування і досягнення відповідної точки біфуркації в опануванні, знаннями, вміннями, навичками (ЗУН) має відбуватися, спираючись на так звані прапори катастроф [9-11 та ін.], серед яких в контексті цієї публікації привернено увагу то такого прапора, як «гістерезис». Оскільки саме він, на нашу думку найкращим чином описує і моделює процеси розвитку і руйнації зазначених ЗУН (рис. 1, 2) [7, 8, 12 та ін.].

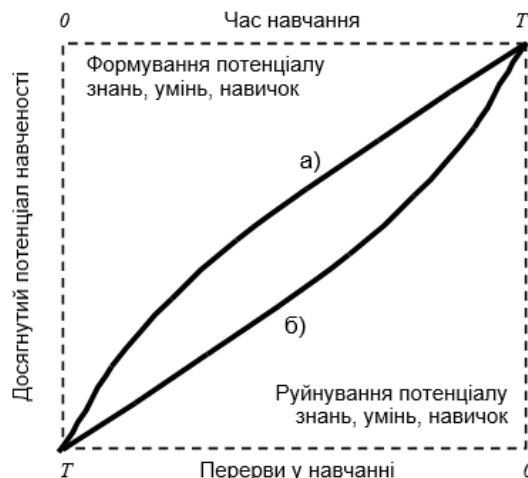


Рисунок 1 – Ілюстрація простого гістерезису у процесах розвитку / руйнації навчального потенціалу: а) формування потенціалу; б) руйнація потенціалу

Наведена на рис. 1 модель формування / руйнації ЗУН може бути описана, наприклад, не лише однією експонентою, декількома експонентами, тобто бути багатокроковим (багатоетапним), що відображено відповідно на рис. 2. привертаємо увагу, що кількість етапів розвитку / руйнації навчального потенціалу (ЗУН), зображені на рис. 2 виходить з пропонованих МОН України рівнів навчальних досягнень (РНД): початковий (низький) – середній – достатній – високий. Математичний опис такого роду моделей може бути зроблений спираючись або на методологію прогнозування кількісних показників випадкових процесів [8, 13], або на методологію сплайн-функцій [8, 14].

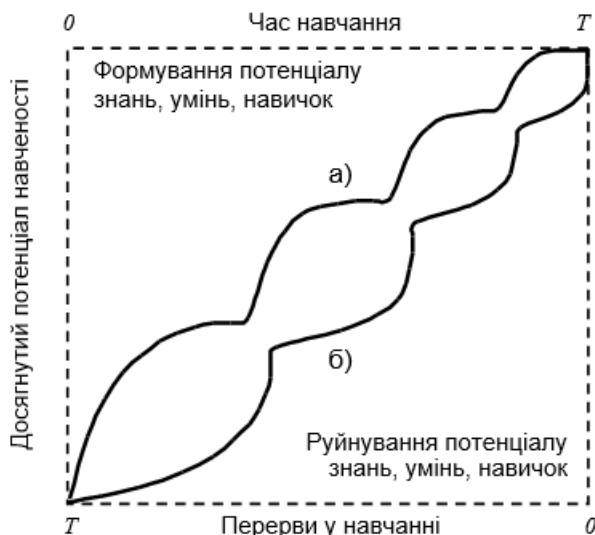


Рисунок 2 – Ілюстрація складного гістерезису в процесах розвитку / руйнації навчального потенціалу: а) формування потенціалу; б) руйнація потенціалу

Таким чином, з огляду на подані теоретичні результати аналізу процесів передбачуваного розвитку / руйнації навчального потенціалу в тих, хто навчається, можна дійти висновку про існування у НВП простого (рис. 1) і складного, багатоетапного (рис. 2) гістерезису. Причому варто звернути увагу на необхідність обґрунтування кількості етапів формування / руйнації рівнів навчальних досягнень. Предметом досліджень мають також стати й інші прапори катастроф (модальності, недосяжності, катастрофічних стрибків, розбіжності, розбіжності лінійного відгуку, критичного уповільнення і аномальної дисперсії), що визначають досягнення точки біфуркації і виникнення синергетичного ефекту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хакен Г. Синергетика: Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – М. : Мир, 1985. – 424 с.
2. Пономарев А. А. Синергетика живых систем / А. А. Пономарев; НАН Украины, Научно-учебный центр прикладной информатики. – К., 2004. – 77 с.
3. Шатковська Г. І. Синергетика як метод дослідження складних відкритих систем / Г. І. Шатковська // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. – 2009. – С. 331–334.
4. Євтодюк А. В. Синергетичні засади моделювання освітніх систем : автореф. дис. ... канд. філософ. наук: 09.00.03 / А. В. Євтодюк. – Київ : Ін-т вищої освіти НАПН України, 2002.
5. Кремень В. Г. Синергетика в освіті: контекст людиноцентризму / В. Г. Кремень, В. В. Ільїн. – Київ : Пед. думка, 2012. – 368 с.
6. Анісімов І. О. Синергетика : навч. посіб. – Київ: КНУ ім. Т. Шевченка, 2014. – 511 с.

7. Синергетика особистісно-орієнтованого розвитку академічної обдарованості / В. В. Камишин, О. М. Рева, Є. А. Бурдельна, К. Ю. Трушковський // Освіта та розвиток обдарованої особистості. – 2019. – № 1 (72). – С. 53–62.
8. Методи і моделі кваліметрії синергетичного ефекту у дидактиці : монографія / О. М. Рева, В. В. Камишин, С.В. Радецька, А. В. Малиновшевська, Є. А. Бурдельна, Л. М. Липчанська. – Київ : ІОД НАПН України, 2019. – 235 с.
9. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин. – М. : Мир, 1979. – 512 с.
10. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф : в 2-х кн. / Р. Гилмор. – Кн. 1. – М. : Мир, 1984. – 350 с. ; Кн. 2. – М. : Мир, 1984. – 285 с.
11. Арнольд В. И. Теория катастроф / В. И. Арнольд. – М. : Наука, 1990. – 128 с.
12. Салливан Б. Эффект плато. Как преодолеть застой и двигаться дальше / Б. Салливан и Х. Томпсон ; пер. с англ. П. Миронова. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 320 с.
13. Камишин, В. В. Теоретична модель кваліметричного прогнозування розвитку академічної обдарованості / В. В. Камишин, О. М. Рева // Освіта та розвиток обдарованої особистості : щомісячний науково-методичний журнал, 2016. - № 2. – С. 13-20.
14. Сплайн-модель формирования профессиональных навыков у авиационных операторов / А. Н. Рева, С. П. Борсук, Б. М. Мирзоева, В. В. Камышин // Elmi məsələlər: Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin. – Bakı, yanvar–mart 2013. – Cild. 15. – № 1. – С. 89–97.

FORMAL-LOGICAL APPROACHES TO DESCRIPTION OF HUMAN FACTOR INFLUENCE ON THE VESSEL CONTROL

Ben A.P., Nosov P.S., Zinchenko S.M.
Kherson State Maritime Academy, Ukraine

Introduction. Taking into account the peculiarities of performing mooring operations, the most preferable to be used approach is said to be the SS one. The deterministic process of it is envisaged to take place [1,2]. Then, the mooring of the vessel s can be described by the following $(w, t | w \in W, t \in T)$, where $w = \langle \Theta_A^w, \Theta_O^w, \Theta_F^w, R_O^w \rangle$. Therewithal, variations of the mooring trajectory of the operations are able to be described by a variety of $S_w = \{(w, t) | t \in T\}$.

Research model and method. General number set of mooring situations are defined as $S = \bigcup_{w \in W} S_w$, where $s = , s \in S$ and time can be reported by a sequence of actions in the path of trajectory (t_0, \dots, t_k) , $\forall u \in \{0, \dots, k-1\}$, $(t_u | u \in N)$, $(t_u, t_{u+1}) \in R_w$ is considered to be a typical one in the initial stages [3,4]. Nevertheless, an action plan is being formed at the time of t_{u+1} . As a rule, the initial plan of the development of the trajectory of actions has been formed [5]. However, all possible factors forming its Δ_p are not taken into consideration [6,7].

To be precise, exactly these factors will make major contribution towards the supposition of the development of trajectories. We are to mention that it is the information- plan of its carrying out $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ that is formed initially being fragmented as $\Delta_{\beta(t_u)}$. Situation identification $\delta \subseteq S \times S$ depends greatly on restrictions such as $((w, t), (w', t')) \in \delta$ and supposes $(s, s') \in \delta$ as a part of class-forming set Δ_δ .

So, hereby, the result of the variable formation of the trajectory can be described as being very different (Fig. 1. a and b).

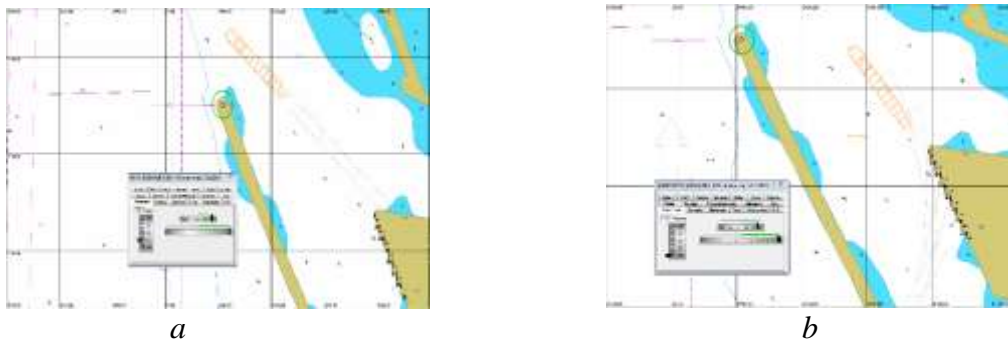


Figure 1 – The variable formation of the trajectory

In the Figure 2 the changes of strategies of maneuver carrying out $\beta_1 \vee \beta_2$ are vividly reflected. They are being dependable on the limitations of $w', t' \in \delta$ when cadet is involved in choosing the direction and speed of the ship to prevent vessel collision.

Let's describe the cadet action plan β aiming to keep the ship in the place while performing mooring operations and pulling it towards the pier using engines. It is given by the predicate $\otimes(\beta, p, u, v)$, where p is the way to the complete mooring operation and $[u, v] \in T$ is time intervals allotted for the maneuver carrying out. The time span is to be taken as no more than one hour as the

overheating of the thruster is highly likely to happen [8-10]. Then the trajectory of the mooring task \otimes will be described by the following dependencies:

$$\otimes(\alpha, p, u, v) \Leftrightarrow (v = u + 1) \wedge (Af(p(u), p(u + 1) = \alpha)), \alpha \in \Theta_A;$$

$$\otimes(\beta; \beta', p, u, v) \Leftrightarrow (\exists n \in [u, \dots, v]) \wedge (\otimes(\beta, p, u, v)) \wedge (\otimes(\beta', p, u, v));$$

$$\otimes(\beta | \beta', p, u, v) \Leftrightarrow (\otimes(\beta, p, u, v)) \wedge (\otimes(\beta', p, u, v));$$

$$\otimes(\beta \parallel \beta', p, u, v) \Leftrightarrow (\otimes(\beta, p, u, v)) \wedge (\otimes(\beta', p, u, v));$$

$$\otimes(\beta^*, p, u, v) \Leftrightarrow ([u = v]) \vee (\otimes(\beta; (\beta^*) p, u, v));$$

$$\otimes(s', p, u, v) \Leftrightarrow (s \in (w, p(u))).$$

Thus, the experimental study of the mooring operation provides a sufficiently high possibility to identify the effectiveness of the action plan $\otimes(\beta, p, u, v)$ (Fig. 2-5):



Figure 2 – Time: 07.33.30. When speed is getting to be decreased (reverse small stroke) fixed pitch right rotation rotor lets you shift the stern towards the berth. Having the bow thruster as an assistant bow is replacing to the pier

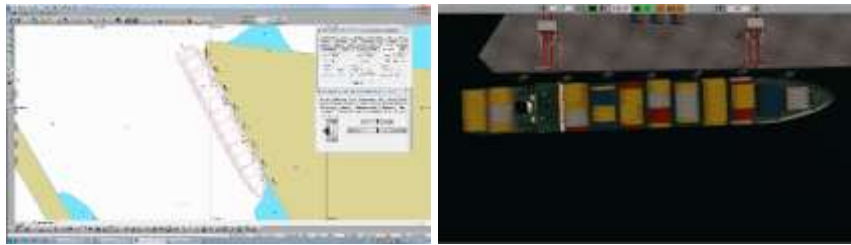


Figure 3 – Time: 07.36.30. The vessel is practically motionless and is located near the berth protection fender



Figure 4 – Time: 07.38.50. Give the head and stern mooring lines

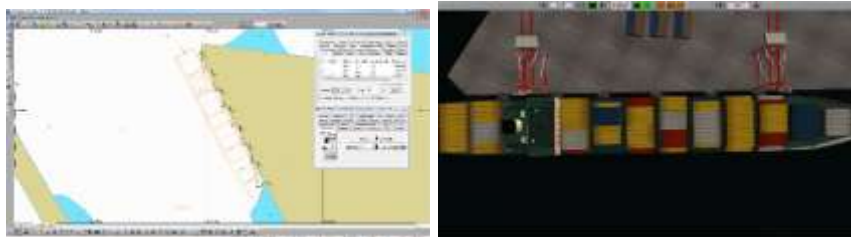


Figure 5 – Time: 07.46.00. Tighten up the head and stern mooring lines, make all fast

During the semester an experiment was conducted having 74 cadets involved in participating and performing the typical operation of vessel mooring various degrees of fatigue.

Conclusion. The experiments are noticed to demonstrate clear evidences of hypothesis confirmation of the formation of class-forming structures in the form of trajectories of transitions being under fatigue factor influence and circumstantial implicit evidences. They can be such as posture abnormalities, speed of movements, and physiological indicators of the cadet. It must be emphasized that proposed logical formal approaches enabled the stages of formation of action trajectories to be differentiated in the form of a plan as well as provided a beneficial possibility to describe an impact of individual behavioral strategies on the final result. The obtained results give valuable grounds for quality retraining of navigators in cases of negative manifestations of behavior patterns and strategy shaping of action plans in the form of maneuver.

REFERENCES

1. Nosov, P., Ben, A., Zinchenko, S., Popovych, I., Mateichuk, V., Nosova, H.: Formal approaches to identify cadet fatigue factors by means of marine navigation simulators. CEUR Workshop Proceedings, 2732, 823-838 (2020).

2. Popovych, I. S., Cherniavskiy, V. V., Dudchenko, S. V., Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Yevdokimova, O. O., Burak, O. O. & Mateichuk, V. M. (2020). Experimental Research of Effective “The Ship’s Captain and the Pilot” Interaction Formation by Means of Training Technologies. Revista ESPACIOS, Vol. 41(№11). Page 30.

3. Serhii Zinchenko, Oleh Tovstokoryi, Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Vitaliy Kobets, Gennadii Abramov. Mathematical support of the vessel information and risk control systems P. 335-354. // CEUR Workshop Proceedings, 2805. <http://ceur-ws.org/Vol-2805/paper25.pdf>.

4. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Popovych I.S., Ben A.P., Nahrybelnyi Y.A., Mateichuk V.M. Diagnostic system of perception of navigation danger when implementation complicated maneuvers // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020. - № 1. – P146-161. DOI:10.15588/1607-3274-2020-1-15.

5. Носов П.С., Тонконогий В.М. 3D оценивание траектории обучения студента // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса: ОНПУ, 2007. – Вып. 2(28).– С. 129-131.

6. Nosov P.S., Palamarchuk I.V., Safonov M.S., Novikov V.I. Modeling the manifestation of the human factor of the maritime crew // Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro) № 5 (77). – 2018. Pages 82-92. DOI:10.15802/stp2018/147937.

7. Nosov P., Ben A., Safonova A., Palamarchuk I. Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations // Radio Electronics, Computer Science, Control № 2(49). - 2019. Pages 140-150. DOI:10.15588/1607-3274-2019-2-15.

8. Nosov P.S., Popovych I.S., Cherniavskiy V.V., Zinchenko S.M., Prokopchuk Y.A., Makarchuk D.V. Automated identification of an operator anticipation on marine transport // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020. - № 3. – P 158-172. DOI:10.15588/1607-3274-2020-3-15.

9. Капліна А., Кущенко Ю., Бараненко Г. Виникнення пожежі на судні та шляхи усунення небезпечних факторів. Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації: матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 30 квітня 2021, Переяслав, 2021, Вип. 70, С. 390-394.

10. Золотаренко В., Кущенко Ю., Бараненко Г. Особливості безпечного буксирування суден лагом. Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку: матеріали Всеукр.наук.-практ. інтернет-конф., (Переяслав, 21 травня 2021 р.) Вип. 70, С. 185-191.

APPROACHES TO THE AUTOMATION OF MARITIME EDUCATIONAL PROCESSES PLANNING SYSTEM

Ponomaryova V.P., Dyagileva O.S., Nosov P.S.
Kherson State Maritime Academy, Ukraine

Introduction. Strategic planning of educational processes in the training of maritime specialists is one of the maritime higher educational institutions main tasks [1]. The peculiarities of this process are that it is necessary to take into account many factors that determine internal and external strategies for the development of maritime transport industry. This feature distinguishes maritime educational institutions from the total number of the higher education system in Ukraine [2]. Due to the complexity and versatility of planning educational processes parallel and sequential stages, it becomes necessary to create an appropriate specialized automated planning system.

The main material of the study. Based on the principles of a systematic approach, we will consider the process of planning educational processes focused on final result as a closed system. Consequently, the cyclical algorithm of system will assume an assessment of its effectiveness at all chronological stages. Of course, the resulting assessment of system's performance can ultimately be reduced to the assessment of each individual student [3-6], however, when considering the entire complex of educational tools, the study should have a large-scale approach. At the same time, the mechanisms of influence on the quality the formed qualification knowledge and skills of future maritime specialists are directly concentrated in the activities of educational institution teachers (Fig. 1). Thus, the complexity of building a planning system for education largely depends on the complexly formalized processes of teachers' activities, especially in the context of passing simulator training on automated simulators [7-9].

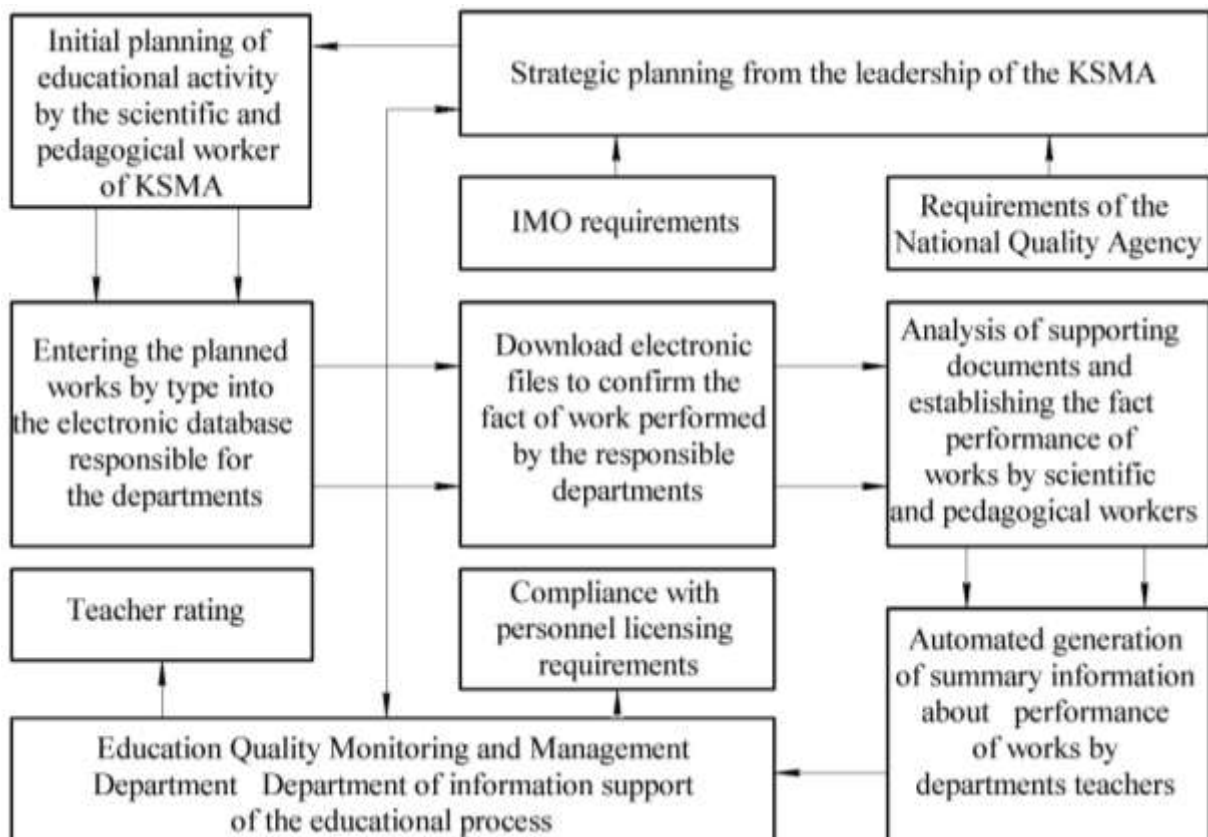


Figure 1 – Information model of planning educational processes

The planning model analysis of educational processes allows us to present its elements in terms of decision-making theory under the influence of the information structure subjects motivation [10]. Then the situational management of the educational processes planning assumes that the subject will be the leadership of the educational institution. At the same time, making management decisions involves a two-tier approach; exogenous, aimed at external government and international maritime organizations; and endogenous, aimed at the teacher.

Based on indicated principles, the subject forms a control action based on the currently accepted utility function w^s regarding situations $x \in X$ for which it is true: $w^s : (Y \times S \times X) \rightarrow R^1$. Decision-making process can be formalized in the case of using mechanisms and automated tools to determine the current state $s \in S$ of dynamic planning system. In turn, the decision-making process can be feasible in presence of appropriate structural alternatives $g \in G$, and managers $y \in Y$, which forms the condition: $y' \succ y \Leftrightarrow w^s(y', s, x) > w^s(y, s, x)$.

The expected utility y' will always be higher than the result of decision making due to presence of stochastic and fuzzy uncertainties due entropy caused by a number to a large number of factors that are difficult to take into account.

To solve this problem, it is proposed to involve the department for monitoring and managing for quality of education in cooperation with the department for information support of the educational process. The work result of these departments within the framework of the model will be direct determination of such x_s and y_s for which the utility function will be maximum for a given situation.

Thus, accuracy of diagnosing the state of system determines the effectiveness of decisions made at time t_i . As a consequence, the formalization and algorithmization of diagnostic processes is of paramount importance and requires an increase in quality, reliability and transparency at all stages of the planning system life cycle. Violation of these processes leads to undesirable risks of the decisions made, which in a dynamic system can be irreversible. The balance of system at each step t_i will depend on the strategy of not only planning in form of decision-making, but also the strategy of transition to desired state, in which risks are minimal and the utility function is maximal.

Depending on specifics of transition, it is possible to use two different approaches: probabilistic, when the set of states is known a priori, but can vary depending on the diagnosis [11]; fuzzy, in the case when the state is blurry and one can only speak about the belonging of "similarity" to a number of parameters states that are closest in terms. In both cases, the problem of classifying the sets of states n and their combinations arises C_n^m , which, with an intuitive approach, can lead to subjectivity. Within the framework of combinatorics, combinations of conditional states can be described: $C_n^m = \frac{A_n^m}{m!} = \frac{n(n-1)\dots(n-m+1)}{m!}$, however, this is difficult to implement in practice due to heterogeneity of states and their differences in structure.

All of the above points to an objectively existing technical problem of identifying (recognizing) states, their dynamics by automated means in order to reduce risks and increase utility function of management decisions.

Conclusion. Approaches describing the actual scientific and applied problem of educational processes planning automation in a maritime higher educational institution are considered on the example of the Kherson State Maritime Academy (Ukraine). Within the framework of study, the main tasks and problems associated with the complexity of formalization and algorithmization the indicated processes. Attention is paid to application of modern decision-making theory and risk theory, the possibility of using probabilistic and fuzzy systems is analyzed. An information model of decision-making is proposed and its main structural elements are described, on which the quality and effectiveness of higher maritime educational institution directly depends strategic planning.

REFERENCES

1. Cherniavskiy, V., Popova, H., Sherman, M., Voloshynov, S., Yurzhenko, A. (2020). Mixed reality technologies as a tool to form professional competency of sea transport professionals. CEUR Workshop Proceedings, 2740, P. 217–231.
2. Mokrane Fedila. Appropriateness of problem based learning in maritime education and training (2007). World Maritime University. The Maritime Commons: Digital Repository of the World Maritime University. Dissertation. Malmö, Sweden.
3. Nosov, P., Ben, A., Zinchenko, S., Popovych, I., Mateichuk, V., Nosova, H.: Formal approaches to identify cadet fatigue factors by means of marine navigation simulators. CEUR Workshop Proceedings, 2732, 823-838 (2020).
4. Носов П.С., Тонконогий В.М. 3D оценивание траектории обучения студента // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса: ОНПУ, 2007. – Вып. 2(28).– С. 129-131.
5. Popovych, I. S., Cherniavskiy, V. V., Dudchenko, S. V., Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Yevdokimova, O. O., Burak, O. O. & Mateichuk, V. M. (2020). Experimental Research of Effective “The Ship’s Captain and the Pilot” Interaction Formation by Means of Training Technologies. Revista ESPACIOS, Vol. 41(№11). Page 30.
6. Serhii Zinchenko, Oleh Tovstokoryi, Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Vitaliy Kobets, Gennadii Abramov. Mathematical support of the vessel information and risk control systems P. 335-354. // CEUR Workshop Proceedings, 2805. <http://ceur-ws.org/Vol-2805/paper25.pdf>.
7. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Popovych I.S., Ben A.P., Nahrybelnyi Y.A., Mateichuk V.M. Diagnostic system of perception of navigation danger when implementation complicated maneuvers // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020. - № 1. – P146-161. DOI:10.15588/1607-3274-2020-1-15.
8. Nosov P., Ben A., Safonova A., Palamarchuk I. Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations // Radio Electronics, Computer Science, Control № 2(49). - 2019. Pages 140-150. DOI:10.15588/1607-3274-2019-2-15.
9. Nosov P.S., Popovych I.S., Cherniavskiy V.V., Zinchenko S.M., Prokopchuk Y.A., Makarchuk D.V. Automated identification of an operator anticipation on marine transport // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020. - № 3. – P 158-172. DOI:10.15588/1607-3274-2020-3-15.
10. Баранов В. В. Процессы принятия управляющих решений, мотивированных интересами. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 296 с. — ISBN 5-9221-0610-4.
11. Баврин И.И., Матросов В.Л. Краткий курс теории вероятностей и математическая статистика. — М.: Прометей, 1989. — 136.

DEVELOPMENT OF THE IDENTIFICATION SYSTEM OF CADETS' QUALIFICATION CHARACTERISTICS REGARDING STAKEHOLDER REQUIREMENTS

Mariia Masonkova, Olena Dyagileva, Pavlo Nosov
Kherson State Maritime Academy, Ukraine

Introduction. One of the most significant aspects of maintaining safety in maritime transport is the means of leveling the negative human factor of the crew on the ship [1-4]. If the indicators of fatigue and some other physiological causes of its occurrence can be eliminated through proper planning of the watch and physical activity, then the qualification characteristics require deeper research and analysis [5-7]. It is certain fragments of qualification knowledge and skills that allow a specialist to identify the situation and make the right management decision. At the same time, the difficulty is about the fact that it is not possible to eliminate the lack of necessary knowledge and skills quickly, directly on the ship [8,9]. At the same time, the complexity of the specialist's orientation in the current problem situation (difficult navigation situation; overloads in the engine room; power outages, etc.) leads to high probability of the risk of catastrophic consequences due to the human factor.

In turn, stakeholders requirements are aimed directly at leveling such dangerous manifestations on the ship, therefore, to a greater extent, this research is focused on a complex of identification tools, including simulator training and imitating virtual and augmented reality systems.

It is the qualification skills of the cadets that determine how much the stakeholders are satisfied with the training in higher educational maritime institutions. At the same time, the most important thing for stakeholders is how quickly the cadet adapts within the framework of the position held regarding his specialization. The faster the adaptation takes place, the more effective the strategy of maritime specialists training is.

The main material of the study. Based on the above problems, there is a research hypothesis - the elimination of the human factor leading to disorientation of a specialist when analyzing the situation while on watch can be eliminated with the help of automated systems of integrated management by formation of qualification elements.

In particular, according to the proposed hypothesis, in order to timely prevent negative manifestations of the human factor, it is necessary to develop a system that allows accumulating data and knowledge about the course of the qualification elements formation during simulator training within the framework of IMO-model courses. According to this the system being developed is supposed to be based on three interrelated subsystems: a subsystem for collecting data-results of cadets' educational activities; subsystem for automated analysis of cadet actions during simulator training; a subsystem for predicting negative manifestations of the human factor on a ship by means of data analysis of the first and second subsystems.

The first subsystem assumes the data synthesis during the learning process. It is planned to develop a method for deriving an integral indicator of cadet's educational activity in the context of specialty. Depending on the investigated factor of influence on the situation, the weight coefficients affecting the integral indicator may be different. An important point is the determination of the functional dependence in relation to the indicator and the influencing factors that determine the situation and the adoption of managing decisions by specialist.

The second subsystem assumes an intelligent analysis of the trajectory of cadet's behavior in the process of performing tasks using simulators. Depending on the specialization, the specificity and direction of the tasks may be different: navigation and ship handling at sea; management of ship technical systems and complexes; ship electrical equipment and automatic devices operation. At the

same time in certain situations there can be considered tasks common to each specialization. The complexity of data collection within the framework of the second subsystem is that it becomes necessary to build an individual model of behavior for each cadet. It is the individualization of the processes of situations perception for making decisions in the course of simulator training that makes adjustments to analyze the compliance of each specialist regarding stakeholder requirements.

It is assumed that development of the third subsystem on the basis of the data and model of each maritime transport specialist will allow at the early stages to predict the trajectory of the development of qualification characteristics in time. The complexity of this subsystem is that it is necessary to determine not only the vectors of the formation of qualification characteristics regarding stakeholder requirements within the framework of specialization, but also individual temporal characteristics, depending on the psychological characteristics of cadets.

Thus, the system for identifying cadets' qualification characteristics assumes the following schematic interpretation (Fig. 1).

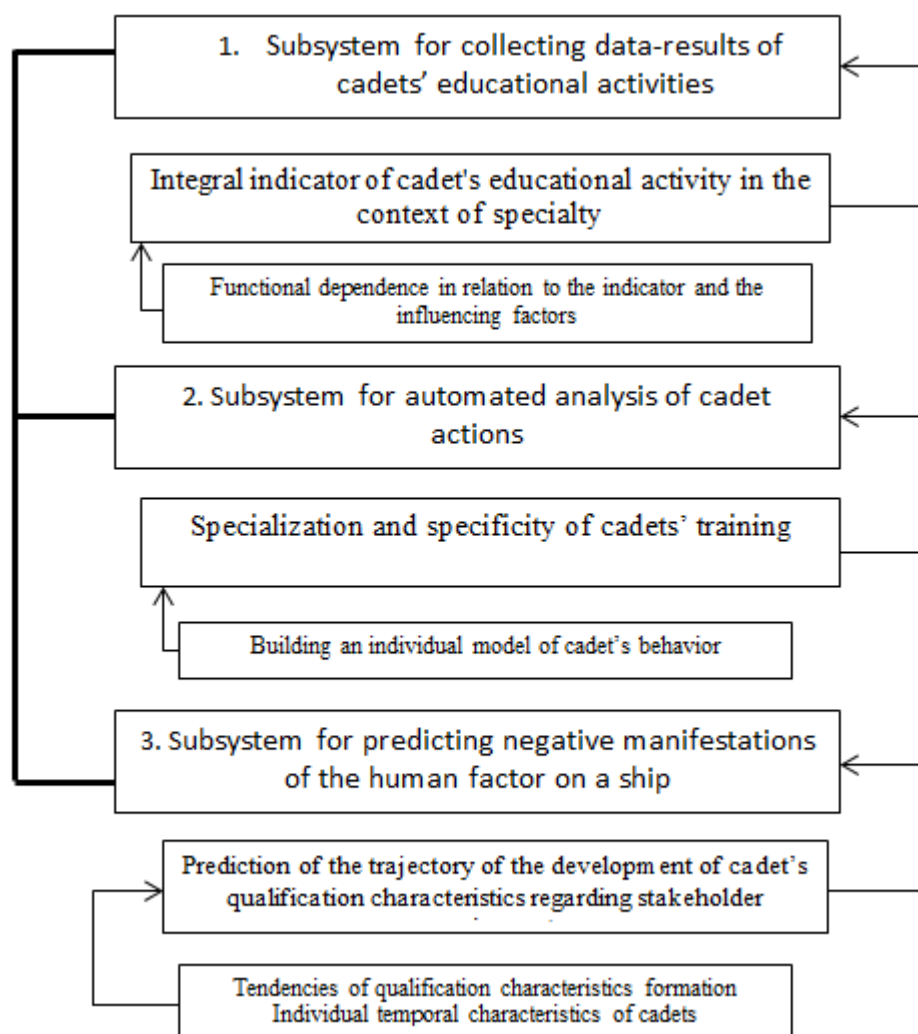


Figure 1 – Scheme of identifying cadets' qualification characteristics

Conclusion. According to the proposed scheme, the sequence of extraction and analysis of data and knowledge about the formation of qualification characteristics has been determined. Subsequent researches assume building a database structure for complex data analysis in order to determine the most significant factors affecting the final result of educational activities in the context of stakeholder requirements. This working-out will allow to identify hidden trends in the formation of

qualification characteristics elements and to prevent the development of those that contribute to the manifestations of a negative human factor in the practice of sea transport operation.

REFERENCES

1. Nosov P., Ben A., Safonova A., Palamarchuk I. Approaches going to determination periods of the human factor of navigators during supernumerary situations // *Radio Electronics, Computer Science, Control* № 2(49). - 2019. Pages 140-150. DOI:10.15588/1607-3274-2019-2-15.
2. Popovych, I. S., Cherniavskiy, V. V., Dudchenko, S. V., Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Yevdokimova, O. O., Burak, O. O. & Mateichuk, V. M. (2020). Experimental Research of Effective “The Ship’s Captain and the Pilot” Interaction Formation by Means of Training Technologies. *Revista ESPACIOS*, Vol. 41(№11). Page 30.
3. Nosov P.S., Popovych I.S., Cherniavskiy V.V., Zinchenko S.M., Prokopchuk Y.A., Makarchuk D.V. Automated identification of an operator anticipation on marine transport // *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2020. - № 3. – P 158-172. DOI:10.15588/1607-3274-2020-3-15.
4. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Popovych I.S., Ben A.P., Nahrybelnyi Y.A., Mateichuk V.M. Diagnostic system of perception of navigation danger when implementation complicated maneuvers // *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2020. - № 1. – P146-161. DOI:10.15588/1607-3274-2020-1-15.
5. Cherniavskiy, V., Popova, H., Sherman, M., Voloshynov, S., Yurzhenko, A. (2020). Mixed reality technologies as a tool to form professional competency of sea transport professionals. *CEUR Workshop Proceedings*, 2740, P. 217–231.
6. Mokrane Fedila. Appropriateness of problem based learning in maritime education and training (2007). World Maritime University. The Maritime Commons: Digital Repository of the World Maritime University. Dissertation. Malmö, Sweden.
7. Носов П.С., Тонконогий В.М. 3D оценивание траектории обучения студента // *Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса: ОНПУ*, 2007. – Вып. 2(28).– С. 129-131.
8. Nosov, P., Ben, A., Zinchenko, S., Popovych, I., Mateichuk, V., Nosova, H.: Formal approaches to identify cadet fatigue factors by means of marine navigation simulators. *CEUR Workshop Proceedings*, 2732, 823-838 (2020).
9. Serhii Zinchenko, Oleh Tovstokoryi, Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Vitaliy Kobets, Gennadii Abramov. Mathematical support of the vessel information and risk control systems P. 335-354. // *CEUR Workshop Proceedings*, 2805. <http://ceur-ws.org/Vol-2805/paper25.pdf>.

ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ 3D МОДЕЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ СЕУ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Кісетов Ю.В., Кукліна О.Ю.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

Вступ. Системи автоматизованого проектування, які базуються на трьохмірному моделюванні (3D) в теперішній час стають стандартом для створення конструкторської та технологічної документації. Це обумовлює деякі спеціальні вимоги до навчальної підготовки інженерів-механіків машинобудівного профілю. Якість підготовки фахівця оцінюється умінням втілити технічну ідею в графічних образах (кресленнях), адже графічна діяльність невід'ємна від проектної роботи конструкторів на усіх її етапах. Тривимірне моделювання є найбільш наочним, точним і повним джерелом інформації про об'єкт, з використанням якого може бути сформована і оформлена, при необхідності, конструкторська документація на електронних або паперових носіях.

Актуальність досліджень. Інформаційні технології кардинально змінили принципи конструювання: процеси розробки виробів став інтенсивнішим, значно збільшилася їх надійність і точність. За допомогою тривимірного моделювання в середовищі графічних пакетів завдання візуального представлення геометричних об'єктів значно спрощується. Таким чином конструкторська діяльність стає привабливішою для молоді.

Актуальність проблеми грамотного використання комп'ютерних технологій при вивченні графічних дисциплін і особливо технологія навчання на основі 3D моделювання вимагає особливої уваги.

Постановка завдання. Впровадження в учбовий процес курсу інженерної графіки завдань по виконанню креслень з використанням елементів конструювання мають ряд переваг перед традиційним – це краще візуальне представлення проєктованих виробів, більш висока точність проектування, особливо складних просторових об'єктів, а також необмежені можливості і легкість в редагуванні тривимірної моделі в процесі проектування на будь-якому етапі. Встановлений асоціативний зв'язок модель виробу – креслення – документація на виріб дозволяє на будь-якому етапі коригувати завдання, яке виконується. При внесенні зміни в 3D модель, вона автоматично відображається в інших документах, пов'язаних з цією моделлю, наприклад, кресленні і специфікації. У зв'язку з цим досягається значне заощадження часу на проектування.

У даній роботі пропонується використання середовища AutoCAD, яке має значні можливості моделювання тривимірних об'єктів.

Результати досліджень. Розробка тривимірної моделі – це досить складний процес, який вимагає не лише знань комп'ютерних програм і основ проектування, а також гнучкого розуму і неординарного мислення. Величезне значення має вибір раціонального способу конструювання деталі, максимально використовуючи можливості графічних програм. Розглянемо особливості створення 3D-моделі зубчастого колеса.

Для успішної побудови креслення зубчастого колеса необхідно знати наступні параметри: діаметр дільного кола d , діаметр кола виступів зубців колеса d_1 , діаметр кола впадин d_2 , число зубців z (в прикладі, що розглядається $z=8$). Пропонується наступна послідовність побудови [1,2].

Будуємо кола діаметрами d , d_1 , d_2 (рис.1).

Будуємо відрізок m з центра кола під кутом α до вертикальної вісі (значення α розраховується за формулою $\alpha=k \times 90/z$, де коефіцієнт $k=0.9 \dots 0.98$, z – кількість зубців).

Проводимо коло з центром в точці 1 діаметром $d_3=d/3$. Потім побудоване коло переміщуємо в точку 2, отримуючи коло, що формує ліву криволінійну частину поверхні зуба (рис.2).

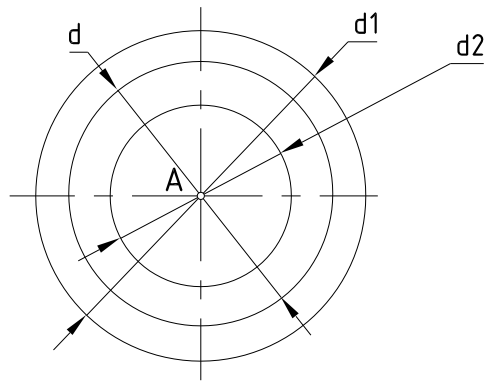


Рисунок 1.

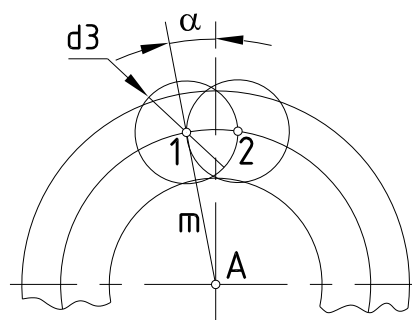


Рисунок 2.

Обрізаємо зайві частини кіл та виконуємо спряження радіусом r (рис.3).

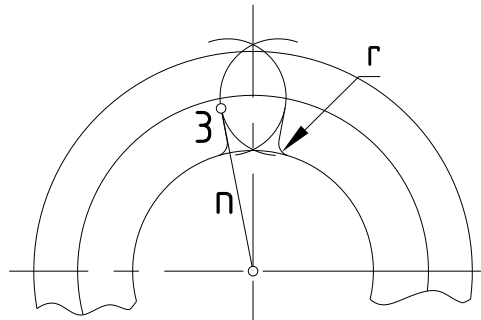


Рисунок 3.

Таким чином отримуємо контур зуба (рис.4).

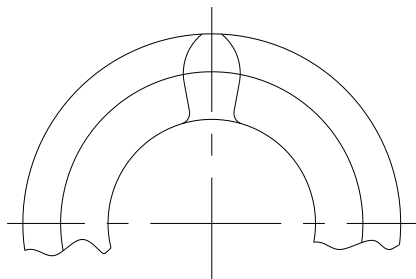


Рисунок 4.

За допомогою команди МАСИВ будуюмо круговий масив усіх зубців колеса та об'єднуємо їх контури у область командою ОБЛАСТЬ (рис.5).

Потім витискуємо отриманий контур на задану висоту і в результаті отримуємо 3D-модель зубчастого колеса (рис.6).

З наведеного прикладу видно, що сучасний студент повинен: мати представлення про об'єкт проектування, добре орієнтуватися у геометричному моделюванні та у відповідному програмному забезпеченні систем автоматизованого проектування.

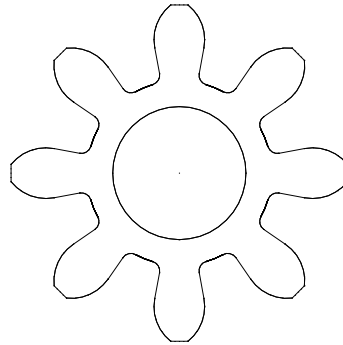


Рисунок 5.

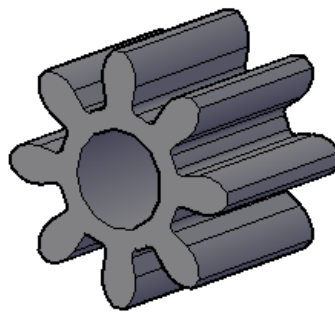


Рисунок 6.

Висновки та рекомендації. Використання студентами комп'ютерних засобів підвищує їх інтерес до матеріалу, формує і поглиблює теоретичні знання, а тим самим сприяє результативнішому учбовому процесу. Отримані знання по створенню тривимірних об'ємних моделей складної форми при виконанні завдань з інженерної графіки реалізуються у подальшому учбовому процесі і творчій діяльності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Хайфец А.Л. 3D – технологии построения чертежа AutoCAD.–3-е изд. перераб. и доп. / Под ред. А.Л. Хайфеца.–СПб.: БХВ–Петербург, 2005.– 256 с.

2. Куклина О.Ю. Лабораторные работы по компьютерной графике в среде проектирования AutoCAD: учебное пособие [Текст] / О.Ю. Куклина, А.П. Бойко. – Николаев: Издательство НУК, 2013. – 110 с.

ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ І ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ В ТУРИЗМУ

Шарко М.В., Любчук О.К.

ДВНЗ «Приазовській державний технічний університет», Україна

Сьогодні туризм вважається одним з головних факторів, які визначають попит на пасажирські перевезення у світі. Туризм повністю залежить від транспорту, його безпеки, швидкості пересування, наданих знижок і преференцій.

Сучасний туризм досяг значного рівня свого розвитку завдяки розвитку транспорту. Транспорт не створює нового продукту. Його продукція є процес переміщення пасажирів і вантажів у часі і просторі. Корисний ефект проявляється лише під час використання транспортних засобів. Пандемія COVID-19 стала причиною серйозних соціально-економічних наслідків і потрясінь. Схема характеристик транспортних засобів складена по десятибальної шкалі на підставі [1] представлена в табл.1.

Таблиця 1. Схема характеристик транспортних засобів складена по десятибальної шкалі

| Критерій оцінки | Види транспортних засобів | | | | | |
|--|---------------------------|---------------|-------------------|----------|--------------------|--------|
| | Річкові судна | Морські судна | Залізничні вагони | Автобуси | Легкові автомобілі | Літаки |
| 1. Безпека руху | 7 | 5 | 6 | 4 | 5 | 7 |
| 2. Екологічна безпека | 6 | 6 | 7 | 5 | 6 | 8 |
| 3. Вартість перевезення | 8 | 6 | 9 | 8 | 2 | 1 |
| 4. Експлуатаційна швидкість | 1 | 2 | 6 | 4 | 6 | 10 |
| 5. Мобільність | 1 | 1 | 1 | 8 | 10 | 5 |
| 6. Можливість зупинки на шляху прямування за бажанням туристів | 2 | 1 | 1 | 8 | 10 | 1 |
| 7. Можливість довготривалого життєзабезпечення в дорозі | 8 | 10 | 5 | 3 | 2 | 5 |
| 8. Ємність | 7 | 10 | 6 | 4 | 1 | 7 |
| 9. Питомі капіталовитрати | 2 | 1 | 5 | 8 | 10 | 2 |
| 10. Рівень комфорту | 8 | 10 | 2 | 4 | 6 | 6 |
| Всього балів | 50 | 52 | 48 | 56 | 58 | 52 |

Безпосередній фізичний контакт, недостатня вентиляція, прийом їжі в загальних приміщеннях, переміщення на роботу в громадському транспорті сприяють більш високу ймовірність виникнення спалахів COVID-19, що вимагає розробка захисних і відповідних захисних заходів. Це необхідно для того, щоб розробляти превентивні заходи щодо забезпечення безпеки, подорожей створюючи відповідні методичні, технологічні, інформативні інструменти [2,3].

В умовах коронавірусу використовуються всі види зазначених категорій, проте проявлятися деякі особливості їх застосування. При переміщенні повітряним транспортом різко скоротилася кількість рейсів за розкладом у зв'язку зі зменшенням кількості пасажирів. Переважно використання чартерних рейсів, які не піддаються розкладом повітряних пасажирських перевезень, а так же оренда повітряних суден з екіпажем, які повністю орендуються у перевізника туристичною фірмою.

При переміщеннях водним транспортом туристичні круїзи стають менше популярним в зв'язку з низькою нестабільністю обмежених нечисленних групи туристів. Перевага віддається каботажним маршрутам уздовж узбережжя країн які відкрили свої кордони для відвідування іноземних туристів. Отримує поширення внутрішньої водної туризм.

Чи не найбільший удар пандемія коронавірусу завдала авіакомпаніям. Карантин і заборона на міжнародні перевезення авіапасажирів залишили авіакомпанії без основного джерела заробітку, змусивши їх заморозити діяльність в звичайному режимі свого існування. Перші рішення, які брали Уряди країн у зв'язку з пандемією, стосувалися саме закриття пасажирського авіасполучення і кордонів для іноземців. Мільйони людей в світі змушені були скасувати відпустки і повертати квитки. За розрахунками міжнародної організації цивільної авіації (ICAD) збитки пасажирських авіакомпаній від пандемії склали близько 160 млрд. дол. США. Падіння активності авіакомпаній вплинуло на інші галузі, наприклад, енергетичну через те, що літаки не літають і не споживають паливо. Рекордно впав попит на нафту. Особливо болючим виявилась стан аеропортів. Зокрема аеропорт «Бориспіль» змушений був відправити 70% своїх працівників в простий.

Міжнародна асоціація повітряного транспорту запропонувала багатьом авіакомпаніям впроваджувати профілактичні заходи продавати квитки на всі місця прямо в салоні літака, якщо будуть бажаччі їх купити. Дозволено не розсаджувати пасажирів через одного як це зроблено в поїздах. В аеропортах обов'язково вимірювати температуру у всіх без винятку пасажирів і співробітників. У аеровокзалах повинні обов'язково бути закриті кафе і магазини. Але летіти всім доведеться в масках і в рукавичках. Бортпровідники повинні в польоті носити маски. Щоб авіаперевезення були рентабельними борт літака повинен бути заповнений на 75%.

При виборі способів пересування в умовах коронавірусу для країн, які відкрили свої кордони для відвідування іноземних туристів керуються в основному відстанню, а при виборі типу транспортного засобу його комфортністю, швидкістю, місткістю. При пересуваннях на далекі відстані домінує повітряний транспорт у всіх його проявах і різновидах. При пересуваннях на короткі відстані домінує автомобільний транспорт, що з одного боку пояснюється його широкою можливістю використання, тому що у приватній власності знаходиться велика кількість автомобілів, власники яких знають їх особливості і надійність експлуатації.

Привабливість туристичних продуктів забезпечується за рахунок трансформації послуг і зміни послідовності їх реалізації шляхом урахування змін зовнішніх умов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Герасименко В.Г., Замкова А.В. Організація транспортних подорожей і перевезень туристів Навчальний посібник 2010 К. 95с.
2. Qu, Q.-K., Chen, F.-J., Zhou, X.-J. Road traffic bottleneck analysis for expressway for safety under disaster events using blockchain machine learning. Safety Science, 2019 118, pp. 925-932. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.06.030
3. Sharko M., Liubchuk O., Fomishyna V., Yarchenko Y., Fedorova N., Petrusenko N., Ohorodnyk R. Methodological Support for the Management of Maintaining Financial Flows of External Tourism in Global Risky Conditions (2020) Communication in Computer and Information Sciences, 2020, 1158, pp. 188–201. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4>

ОРГАНІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТЮ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Мосін М.С.

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Україна

Складність і динамізм реалій сучасних ринкових процесів, масштабні технологічні зміни, впровадження наукоємної техніки, цифровізації, інтелектуальних інформаційних мереж і комунікацій відкривають нові можливості для організації інноваційної діяльності в виробництві військової техніки Збройних сил України. Проблема стратегічного управління інноваційною діяльністю Збройних сил України пов'язана з нестабільністю впливу зовнішнього середовища. Природа такої невизначеності полягає в фіксації зовнішніх проявів, в той час як для прийняття обґрунтованих управлінських рішень необхідно мати свідомості про джерела збурень для їх компенсації або нівелювання.

В умовах сучасної ринкової економіки, коли інноваційна діяльність стає основним фактором розвитку виробництва, розробка механізму управління інноваційною діяльністю стає необхідною умовою функціонування підприємства в цілому. У порівнянні з ресурсно-мобілізаційним типом розвитку, інноваційний тип характеризується не тільки можливістю отримання більшого прибутку, але й підвищеного ризику внаслідок об'єктивно непереборний невизначеності [1].

Інноваційна діяльність відрізняється від інших бізнес-процесів значною невизначеністю і високими ризиками, пов'язаними з труднощами в прогнозі результатів внаслідок коливань зовнішнього середовища і ситуаційних змін, які характеризуються неоднозначністю і невизначеністю. У стані невизначеності ризик прийняття неправильних управлінських рішень дуже високий. Інноваційна діяльність, яка несе радикальні зміни в виробничі процеси істотно зменшує невизначеність [2].

Стратегічне управління інноваційною діяльністю має розглядатися як система управлінських рішень, орієнтованих на функціонування підприємства в довгостроковій перспективі за допомогою встановлення динамічного балансу результатів інновацій із середовищем функціонування.

Сучасний розвиток інноваційної діяльності оборонно-промислового комплексу України тісно пов'язан з процесами інтеграції та інтенсифікації інноваційних перетворень.

Характерними ознаками інноваційної діяльності є її постійна спрямованість на домінування високотехнологічних галузей, інформаційних та комп'ютерних технологій, високоінтелектуальних послуг і операцій.

Складено автором модель організації управління інноваційною діяльністю Збройних сил України представлена на рис.1.

При виробництві нової техніки військового призначення досягнення конкурентних переваг происходит не за счет ценовой политики, ресурсных и организационных затрат, а вследствие внедрения новой техники, современных технологий и управленческих инноваций.

Інноваційний тип розвитку Збройних сил України характеризується формуванням інформаційних ресурсів, розробкою нових і вдосконаленням існуючих технологій, методів організації та управління.

ООО "Конструкторське бюро. "Логіка" розробило бойову машину і автоматизовану систему управління артилерійських вогнем " Кропива ", що дозволяє скоротити час реакції на зміну в обстановці в 5-7 разів.

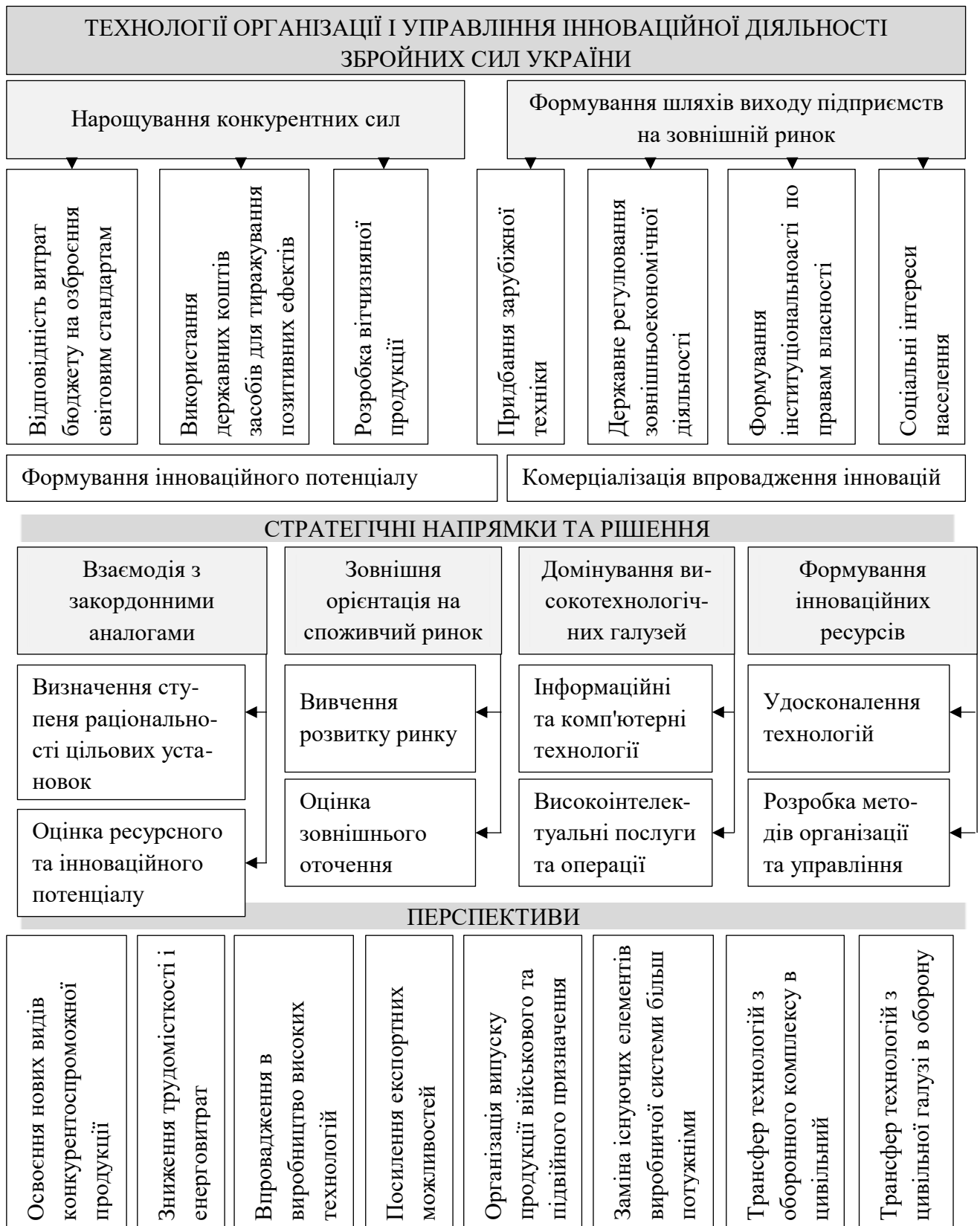


Рисунок 1 – Модель організації управління інноваційної діяльності Збройних сил України

До числа продукції військового і подвійного призначення можуть бути віднесені дистанційно керовані бойові модулі, "Лезо" і "Шило", для систем наведення артилерії, які розроблені компанією "Арга", а також кулеметної комплекс "Хижак" для кулемета ПК / ПКМ, розробки Харківського заводу засобів індивідуального захисту "RAGS" з розміщенням боєкомплекту стрілка в на спинному ранці.

К числу інноваційних розробок Збройних сил України слід віднести прототип багатофункціонального безпілотного авіаційного комплексу "Горлиця", дослідний зразок багатоцільового транспортного засобу "Фантом", бойовий модуль "Тайлан", цифрову систему управління вогнем "Мисливець", бойові модулі "Дуплет" і "Кастет".

На Черкаському автомобільному заводі розроблен бронеавтомобіль "Барс-8". Він має енергоємне шасі підвищеної прохідності та броньований протимінний захист до стандарту STANAG 4569 Level 2 системи забезпечення життєдіяльністю екіпажу, пуску димових ракет.

Новинки проблем оборонної галузі спрямовані також на модернізацію озброєння радянських часів. Так протикорабельна ракета "Нептун", яку українські військові почали відчувати в 2018-2019 роках є по суті модифікацією радянської ракети Х-35. Виготовлений комплекс керованого озброєння 524Р в системі основного виробів вертольотів Мі-24, Мі-8, Мі-2 має в своєму боєкомплекти використанням вітчизняної ракети, виробництва ГК КБ "Луч" РК-20, що забезпечує дальність виявлення і ураження цілі на 7,5 км. Завдання трансферу технологій з оборонного комплексу в цивільний в даний час найбільш актуальною. Однак не менш важливі і зворотні завдання. З ростом значущості програмного забезпечення в секторі наукоємних технологій і приладобудування напрацювання, які проводяться незалежними компаніями і стартапі можуть бути використані і для складних систем управління незалежно від того до яких конкретно секторах застосування вони відносяться.

Наведені автором спостереження за розвитком інноваційної діяльності в Україні в різні часів її існування показали, що максимум інноваційної активності припадає на періоди, коли спостерігаються вичерпність технологічних засад і виникає потреба докорінної модернізації. При цьому створюються передумови переходу до нових поколінь техніки, що обумовлюється впливом суспільних потреб.

Аналізуючи стан інноваційної діяльності підприємств оборонно-промислового комплексу можна запропонувати ряд рекомендацій. Орієнтація на виробництво різних видів військової техніки обумовлює момент прискорення розвитку інноваційних процесів. Однак реалізовувати цю стратегію потрібно виключно з перспективою виходу готової продукції на зовнішні ринки, оскільки внутрішнє споживання призводить до нераціонального використання коштів і нестабільності. Виробництво військової техніки і озброєння повинно бути спрямовано на застосування інноваційних розробок.

У цих умовах рекомендуються варіанти інноваційних стратегій, які спрямовані на мінімізацію витрат, стратегії, пов'язані зі спеціалізацією у випуску продукції для того, щоб стає лідером у виробництві цієї продукції, стратегії збільшення певного сегмента ринку, стратегії диверсифікації засновані на концентрації ресурсів зміні в асортименті продукції для підвищення економічної стійкості підприємств.

ЛІТЕРАТУРА

1. Концерн «Укроборонпром» – Офіційний сайт – Режим доступу <http://ukroboronprom.com.ua/uk>
2. Сухорукова Т.П., Дорошенко Д.А., Литвин С.В. Анализ проблем и перспективы развития машиностроительных предприятий Укроборонпрома / Вісник економіки транспорту і промисловості 2019 – №66 – С. 118-130
3. Sharko M., Gonchar O., Mosin M. et. al. Intellectual Information Technologies of the Resources Management in Conditions of Unstable External Environment / Lecture Notes on Data Engineering and Communication Technologies. Springer 2021 – V.77 – p.519-533

ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ІНТЕРАКТИВНИХ СИСТЕМ – ГОЛОВНИЙ ЧИННИК ПРИ ПІДГОТОВЦІ ВИСОКОКВАЛІФІКОВАНИХ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОЇ ГАЛУЗІ

Аппазов Е.С., Круглий Д.Г., Бушуєв П.І., Кузьменко П.Л.
Херсонська державна морська академія, Україна

У сучасних економічних умовах, коли зростає попит на висококваліфікованих фахівців, надання освітніх послуг стає повноцінним ринковим товаром, тому забезпечення конкурентоспроможності є першочерговою задачею вищого навчального закладу. Майбутні професіонали морської галузі – це спеціалісти, що конкуруватимуть на світовому ринку праці, тому морські ВНЗ мають орієнтуватися на міжнародні вимоги та стандарти. Основними документами, що регламентують підготовку фахівців морської галузі є Міжнародна конвенція про підготовку, дипломування моряків та несення вахти ПДНВ-78/95 р. з Манільськими поправками 2010 р. (Розділи А-IV/2, А-I/12 та В-I/12 та пунктів 29 - 44 розділу В-IV/2) та ІМО MODEL COURSE 1.25. Аналізуючи зміст цих документів, маємо зазначити, що сьогодні пріоритетом для висококваліфікованого фахівця є демонстрація засвоєних знань та використання власних практичних вмінь та навичок.

Сучасні педагогічні підходи та методи, впровадження новітніх та інтерактивних технологій в освітній процес дозволяють значно підвищити рівень знань здобувача вищої освіти. При вивченні дисципліни «Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування» було застосовано навчання на симулюючому обладнанні – мережевому тренажері компанії TRANSAS TGS 5000, що надає змогу працювати з таким обладнанням: SAILOR 2000, SAILOR 4000, SAILOR 5000, SAILOR 6000, Furuno. Завдяки цьому здобувач вищої освіти має змогу відпрацювати навички користування обладнанням глобального морського зв'язку різних виробників та систем за роками.

Мультимедійні засоби представлення інформації, доступ до електронних бібліотек та матеріалів на офіційних сайтах організацій, дозволяють оперативно корегувати навчальні матеріали, що мають бути продемонстровані під час проведення заняття, аналізувати зміни, що відбулися, одночасно вивчаючи принципи пошуку необхідних даних, що будуть потрібні при виконанні обов'язків на судні. Тобто отримати всі теоретичні знання, ознайомитися з інтерфейсом приладів ГМЗЛБ, вивчити процедури щоденної їх експлуатації, такі як проведення обов'язкових перевірок з занесенням у журнал ГМЗЛБ, отримання інформації з безпеки на морі та інше.

Методи, що були запропоновані та впроваджені: збагачення курсу аудіовізуальним матеріалом; додавання до слайдів аудіосупроводу, для надання необхідного емоційного забарвлення; додавання до стаціонарної картинки рухомої складової, наприклад, графічний супровід тексту, розпис формули чи концепції безпосередньо при її поясненні замість пояснення на готовому слайді; супровід тексту за слайдом субтитрами англійською мовою. Імітація реальних аварійних ситуацій, участь в пошуково-рятувальних операціях, щоб здобувач вищої освіти розумів своє місце та роль на містку у таких випадках. Особлива увага під час проведення занять приділяється відпрацюванню загальноприйнятих комунікативних фраз, механізмів спілкування на радіобуднанні.

Кожна тема сегментується та структурується. Здійснення контролю проводиться, як безпосередньо викладачем під час вивчення матеріалу, так і проходженням електронного тесту безпосередньо на тренажері. Причому, кожен тест на виконання за замовчуванням містить тест на теоретичні знання. Внаслідок впровадження інтерактивних систем з вмістом електронних

складових спостерігаємо підвищення якості навчання і вміння застосовувати ці придбання на практиці.

| Заклад | Тест англійською мовою | Теоретичний тест | Практичний тест |
|--------|------------------------|------------------|-----------------|
| ХДМА | 9,94 | 4,38 | 4,79 |
| ХДМА | 10,00 | 2,08 | 3,13 |

Рисунок 1 – Результати тестування, отримані під час проведення експерименту. В другій та третій колонці наведено результат проходження тесту після підготовки без використання тренажера, в першій – результат тесту після занять в навчальній лабораторії на тренажерному обладнанні

Заняття на тренажерному обладнанні дозволяє не лише підвищити рівень знань здобувача вищої освіти, а й оволодіти компетентностями відповідно до стандартів ІМО. Тож саме тренажерній підготовці необхідно приділити особливу увагу при навчанні майбутніх фахівців морського флоту, навіть в умовах скорочення часу аудиторних занять та збільшення матеріалу на самостійне опрацювання.

Відпрацьована структура викладення дисципліни дозволяє запропонувати ці методи навчання та використовувати рекомендований комплекс та передові віртуальні системи для підготовки високкваліфікованих фахівців морської галузі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. General operators certificate for the Global Maritime Distress and Safety System. Model course 1.25. IMO. London, 2015. 304 с.
2. Restricted operator's certificate for the Global Maritime Distress and Safety System. Model course 1.26. IMO. London, 2015. 188 с.
3. SOLAS - International Convention for the Safety of Life at Sea. IMO. London, 2015. 910 с.
4. Admiralty List of Radio Signals. Vol. 5 NP281: Global Maritime Distress and Safety System, 2019/20 Edition. UK: Hydrographic Office, 2020. 512 с.
5. Admiralty list of radio signals. Vol 1. NP281(2) (ALRS). 2018/2019 Maritime radio stations. Europe, Africa and Asia (excluding the Far East). UK: Hydrographic Office, 2018. 424 с.
6. Assessment, examination and certification of seafarers. Model course 3.12. Vol. 1. IMO. London, 2000. 196 с.
7. Assessment, examination and certification of seafarers. Model course 3.12. Vol. 2. IMO. London, 2000. 343 с.
8. List of Coast Stations and Special Service Stations of International Telecommunication Union. ITU. Geneva, 2019. 320 с.
9. IAMSAR manual. Vol.1. IMO. London, 2016. 116 с.
10. IAMSAR manual. Vol.2. IMO. London, 2016. 312 с.
11. IAMSAR manual. Vol.3. IMO. London, 2016. 84 с.
12. List of Ship Stations and Maritime Mobile Service Identity Assignments of International Telecommunication Union. Vol. V. UK: Hydrographic Office, 2015. 311с.
13. GMDSS manual. IMO. London, 2015. 700 с.

ФОРМУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ КОМПЕТЕНЦІЙ ФАХІВЦІВ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК В ПРОЦЕСІ ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ В ДИСТАНЦІЙНІЙ ФОРМІ

Васильченко Г.Ю., Знамеровська Н.П., Татарінцева Ю.Г.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. У процесі розвитку сучасного інформаційного суспільства величезне значення мають проблеми, пов'язані з організацією освітнього процесу.

Перспективна система морської освіти повинна бути здатна не тільки озброювати знаннями здобувача вищої освіти (ЗВО), а й внаслідок постійного і швидкого оновлення техніки формувати потребу в безперервному самостійному оволодінні знаннями, вміннями і навичками самоосвіти, а також самостійної і творчої діяльності протягом всього активного життя людини. Реалізація цих вимог для фахівців з експлуатації морського транспорту обумовлена умовами сьогодення, які передбаченні вимогами міжнародної морської організації (ІМО), кодексом ПДМВ і прийнятими на їх основі навчальними планами, що передбачають до 70% навчальних годин на самостійну роботу і значне збільшення часу на практичну підготовку. Специфіка морського навчального закладу змушує ЗВО все частіше переходити на індивідуальний графік навчання і здобувати знання самостійно. Раніше ці проблеми повставали на старших курсах при вивченні спеціальних дисциплін циклу професійної підготовки. Дисципліни загальноінженерної підготовки «Матеріалознавство та технологія матеріалів», «Інженерна графіка», «Теоретична механіка», «Прикладна механіка», «Комп'ютерна інженерна графіка» викладаються на молодших курсах, коли ЗВО присутні на заняттях, тому організації самостійної роботи у дистанційній формі належної уваги не приділялось.

Останні події, пов'язані з розповсюдженням епідемії COVID-19 загострили питання організації дистанційної освіти, що й обумовило **актуальність теми** дослідження.

Останнім часом в освітній сфері пропонуються різні технології і форми навчання, що дозволяють підвищити рівень і ефективність освіти. Технологія дистанційного навчання (ДН) є однією з найбільш прогресивних, зародившись в кінці ХХ століття, вона увійшла в ХХІ ст. як одна з найбільш ефективних і перспективних систем підготовки фахівців[3].

Це обумовлюється тим, що навчальний процес у вищій школі повинен бути підпорядкований не тільки задачі інформаційного насичення, скільки формуванню продуктивного мислення, розвитку інтелектуального потенціалу особистості, становленню способів логічного аналізу та всебічної обробки споживаної інформації, творчому конструюванню. Сьогодні основою педагогічного процесу у вищій школі є формування потреби в самоосвіті за допомогою навчання методології самостійної роботи в інформаційно-освітньому середовищі і при збільшенні її частки в освітньому процесі. Система дистанційної освіти (СДО) розглядає студента як суб'єкта навчання, а освітній процес спрямований не стільки на трансляцію знань, скільки на розвиток пізнавальних здібностей. При цьому функції педагога варіюються від інформаційно-контролюючих до консультаційно-координуючих[5].

Заходи по організації дистанційного навчання на належному рівні можна умовно розбити на три групи:

- 1) Матеріальні;
- 2) Організаційні;
- 3) Педагогічні.

Матеріальне забезпечення ХДМА знаходиться на належному рівні: достатня кількість комп'ютерних класів з необхідним програмним забезпеченням, наявність доступу до Інтернету, служба технічної підтримки та. інше.

Організаційне забезпечення в ХДМА реалізується кафедрами та відділами де вивчається дисципліна «Інформаційні технології», що готує студентів як користувачів, реалізується система електронного супроводу навчального процесу та робота LMS Moodle.

Таким чином маються всі передумови для організації дистанційної освіти належного рівня ЗВО всіх форм навчання, але реалізація потребує значних зусиль педагогічного колективу, які повинні здійснюватися на основі врахування педагогічної теорії.

У зв'язку з цим величезну роль відіграє організаційно методична діяльність викладача з управління навчальним процесом з використанням інформаційних і комунікаційних технологій і діяльність із забезпечення процесу навчання навчально-методичними матеріалами, що забезпечують самостійну навчальну діяльність студентів.

Під принципами розуміється певна система вихідних основних дидактичних та інших вимог до процесу навчання в СДО, яка і повинна формуватися з урахуванням цих вимог. Здебільшого вони присутні в традиційній системі навчання. Принципи навчання детально викладені в працях Ю.К. Бабанського, В.А. Сластенина, П.І. Пидкасистого, М.Н. Скаткина іт. Серед них можна виділити такі: свідомості; активності; наочності навчання; його доступності; навчання на високому рівні труднощів; науковості; колективізму і індивідуального підходу; проблемності; єдності освітньої та виховної системи, розвиваючих функцій навчання; стимулювання і мотивації позитивного ставлення до навчання. Всі ці принципи взаємопов'язані і взаємозалежні, доповнюють один одного і можуть бути реалізовані в системі дистанційного навчання. У практиці навчання вони знаходять застосування у вигляді правил, методів і форм організації та проведення навчальної роботи.

Виходячи з визначення дистанційного навчання як організації пізнавальної діяльності, заснованої на самоосвіті, де безпосереднє педагогічне спілкування зведено до мінімуму, базовими принципами можна вважати наступні [2, 4, 6]:

1. Процес навчання будується на принципі самостійної пізнавальної діяльності ЗВО, який реалізується під керуванням викладача, що включає в себе розробку змісту, консультування і контроль якості знань.

Цей принцип визначає ставлення суб'єктів процесу навчання і роль викладача в навчальному процесі.

При цьому функція інтерпретатора знань, яка в традиційній моделі навчання належить викладачеві, переходить до самого студента. Друге - виховна функція викладача. У дистанційному навчанні зовсім не скасовується безпосереднє спілкування викладача і студента. Але кількість годин, які передбачаються на консультації при дистанційній організації навчання є критично недостатньою. Консультації, перевірка присланих робіт, рецензування через Інтернет всіх ЗВО займає велику кількість часу, який не оплачується. Виходом може бути організація спілкування викладача і студентів через тьюторіал як систему підтримки і супроводу навчального процесу за допомогою тьюторів - викладачів-консультантів. В системі освіти України така практика не передбачена, хоча може бути реалізована через викладачів-асистентів чи аспірантів-практикантів.

2. Пізнавальна діяльність студента повинна носити активний характер.

Цей принцип визначає рівень мотивації студента до отримання знань. Активна участь визначається внутрішньою мотивацією, вираженою як бажання вчитися. Традиційна педагогіка рекомендує при організації процесу навчання дистанційно необхідно будувати взаємини між суб'єктами навчання з використанням активних методів навчання (рольові ігри, дискусійні групи, форум, проектні групи і т.д.). Основою застосування даних методів є телекомунікаційні мережі та інформаційні технології. На наш погляд сучасна парадигма активізації повинна

передбачати орієнтацію на свідоме засвоєння знань потрібних в подальшій професійній діяльності. Це реалізується використанням при розгляді технічних закономірностей на конкретних прикладах з практики подальшої професійної діяльності.

3. Дистанційне навчання має бути особистісно орієнтованим

Цей принцип визначає індивідуальний характер дистанційного навчання. Поняття «особистісно орієнтоване навчання» передбачає диференціацію та індивідуалізацію навчання в залежності від психолого-педагогічних властивостей ЗВО, його здібностей і базової підготовки.

Основною ідеєю методики дистанційного навчання є створення навчальної інформаційного середовища, що включає комп'ютерні інформаційні джерела, електронні бібліотеки, відео- і аудіотеки книги і навчальні посібники. Складовою частиною такої навчальної середовища є як студенти, так і викладачі, взаємодія яких здійснюється за допомогою сучасних телекомунікаційних засобів [9]. Таке навчальне середовище надає унікальні можливості студентам для отримання знань як самостійно, так і під керівництвом викладачів.

Методи навчання, які реалізуються за допомогою взаємодії учня з освітніми ресурсами при мінімальній участі викладача та інших учнів (самонавчання).

Для розвитку даних методів характерний мультимедіа підхід, коли за допомогою різноманітних засобів створюються освітні ресурси: друковані, аудіо-, відеоматеріали і, що особливо важливо для дистанційного навчання - навчальні матеріали, що доставляються по комп'ютерних мережах. Це перш за все:

- інтерактивні бази даних;
- електронні журнали;
- комп'ютерні навчальні програми (електронні підручники, симулятори програмних і апаратних систем).

Для ефективності самостійної роботи студентів необхідно виконати **ряд умов**:

- 1) забезпечення правильного поєднання обсягів аудиторної та самостійної роботи;
- 2) методично правильна організація роботи;
- 3) забезпечення студента необхідними методичними матеріалами;
- 4) контроль за організацією і ходом самостійної роботи і заходів, що заохочують студента за її якісне виконання [1].

Перша умова полягає в необхідності оптимального структурування навчального плану не тільки в сенсі послідовності вивчення окремих курсів, а й розумного співвідношення аудиторної та самостійної роботи. Складання такого плану має передувати серйозне вивчення бюджету часу студента, оснащеності методичною літературою та врахування національних традицій в системі освіти.

Друга умова - це методично раціональна організація роботи. Важливо поступово змінювати відносини між студентом і викладачем. Якщо на перших курсах викладачеві належить активна творча позиція, а студент найчастіше ведений, то в міру просування до старших курсів ця послідовність повинна деформуватися в сторону спонукання студента працювати самостійно, активно прагнути до самоосвіти. Виконання завдань самостійної роботи повинно вчити мислити, аналізувати, враховувати умови, ставити завдання, вирішувати виникаючі проблеми, тобто процес самостійної роботи поступово повинен перетворюватися в творчий. У цьому можуть допомогти нові інформаційні технології. Як показує досвід, студент з великим інтересом вирішує поставлені завдання, коли використовує сучасні пакети або сам програмує рішення того чи іншого завдання. В ході вирішення він глибше пізнає сутність предмета, вивчає літературу, шукає оптимальні шляхи вирішення. Це стимулювання цікавістю.

Третя умова - це забезпечення студента відповідної навчально-методичною літературою. На сьогодні доцільний перехід на електронні видання лекційних матеріалів викладачів, що зараз вже частково реалізується. Разом з тим перехід на такий спосіб спілкування зі студентом вимагає розробки електронних навчальних матеріалів.

Розглядаючи організацію самостійної роботи як деякий компонент управління самостійною роботою студентів, П.І. Підкасистий формулює наступні принципи управління самостійною роботою студентів:

- 1) розчленування навчального матеріалу дисципліни, що вивчається на навчальні одиниці;
- 2) визначення дидактичних цілей навчальних одиниць за допомогою термінів, що виражають контрольовану діяльність студентів;
- 3) управління самостійною роботою студентів за допомогою методичних інструкцій;
- 4) систематичний зворотний зв'язок, який виступає у вигляді самоконтролю і включає також контроль з боку викладача;
- 5) повне освоєння відповідних дидактичних цілей, перевтілених в пізнавальні завдання кожної навчальної одиниці [7].

Висновки:

1. Організація самостійної роботи в дистанційній формі засобами комп'ютерних технологій є вимогою сучасної морської освіти.
2. Впровадження такої системи потребує значних матеріальних, організаційних та методичних зусиль закладів освіти.
3. Організація дистанційної освіти ЗВО повинна здійснюватися на основі визначених педагогічних принципів: самостійності, активності, доступності, науковості.
4. Забезпечення якості можливі за умови чіткої організації контролю знань та зворотнього зв'язку, що в свою чергу потребує запровадження системи тьюрінгу (педагогічного супроводу) або значного збільшення педагогічного навантаження для роботи в системі LMS Moodle.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Аналитические обзоры Центра проблем развития образования Белорусского государственного университета. Управление самостоятельной работой студентов [Электронный ресурс] // <http://charko.narod.ru/tekst/an4/3.html>
2. Андреев А.А. Дидактические основы дистанционного обучения / А.А. Андреев. — М., 1999.
3. Волженина, Н.В. Организация самостоятельной работы студентов в процессе дистанционного обучения : учебное пособие / Н.В. Волженина. — Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2008.
4. Демкин, В.П., Технологии дистанционного обучения / В.П. Демкин, Г.В. Можяева. — Томск, 2006.
5. Дистанционная форма образования [Электронный ресурс] // <http://concep.chat.ru/concd01.htm>
6. Основы открытого образования / А.А. Андреев, С.Л. Каплан., Г.А. Краснова, С.Л. Лобачев, К.Ю. Лупанов, А.А. Поляков, А.А. Скамницкий, В.И. Солдаткин ; отв. ред. В.И. Солдаткин.— М., 2002.
7. Підкасистий, П.И. Сущность самостоятельной работы студентов и психолого-дидактические основы ее классификации / П.И. Підкасистий // Проблемы активизации самостоятельной работы студентов. — Пермь, 1979.
8. Рекомендации по организации самостоятельной работы студентов [Электронный ресурс] // <http://www.isuct.ru/umo/orgproc10.html>
9. Соловов, А.В. Введение в проблематику дистанционного обучения / А.В. Соловов [Электронный ресурс] // http://cnit.ssau.ru/do/review/do_world/index.htm

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ МОРСЬКИХ ФАХІВЦІВ ЗАСОБАМИ VR-ТЕХНОЛОГІЙ

Волошинов С.А., Попова Г.В.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Розвиток інноваційних технологій у морській справі, прискорення темпу життя, зростаючий об'єм знань, запровадження новітніх педагогічних методик навчання змушують систему сучасної морської освіти розробляти новітні підходи до підготовки майбутніх морських фахівців. Модифікація морської освіти у відповідності до міжнародних стандартів дозволяє українським морським фахівцям бути успішними на світовому ринку праці.

Як правило, підготовка моряків передбачає засвоєння практичних навичок безпосередньо на судні, що нерозривно пов'язано із ризиком ускладнень як матеріального так людського фактору. Тому ІМО передбачила необхідність використання тренажерів для підготовки майбутніх морських фахівців. Ця вимога визначена в конвенції ПДМНВ, виконання якої освітніми закладами є необхідним для здобуття морськими фахівцями встановленого стандарту компетентності відповідно до конвенції ПДМНВ [1].

Тренажери транспортних засобів, які використовуються в наш час (легкові автомобілі, грузовики, танки, літаки, космічні кораблі) є комерційно доступними та ефективними в процесі навчання. Симуляційне навчання є однією із основних методик практичної підготовки морських фахівців у розвинених країнах. Віртуальна технологія (VR) створює симуляційне освітнє середовище, а VR-тренінги дозволяють студентам всебічно та систематично формувати професійні компетентності.

Сучасне високотехнологічне суднове обладнання вимагає спеціалізованого навчання, що реалізується на фантомах, муляжах, тренажерах, симуляційних моделях.

Як свідчить зарубіжний досвід в освітній процес майбутніх морських фахівців необхідно включати етап симуляційного навчання. А до факторів, які сприяють розвиткові симуляційного навчання було віднесено компетентнісний підхід до навчання та зміну парадигми освіти з акцентом на дуальну та неперервну освіту, впровадження змішаного навчання. Запровадження та удосконалення сучасних методик формування ПК об'єктивно підвищує потребу у спеціалістах, які здатні до використання високотехнологічного цифрового обладнання. Значущість симуляційних технологій для морської освіти як галузі наукових знань та практичної спеціальності не викликає сумнів. Поряд з тим необхідно визначити актуальні проблеми формування професійних компетентностей, де використання симуляційних технологій є особливо корисним та буде мати велике значення для подальшого розвитку.

Актуальність дослідження.

У закладах вищої морської освіти на більшості професійно-орієнтованих дисциплінах використовуються тренажери для засвоєння навичок роботи з великою кількістю навігаційного обладнання, яке характеризується складністю та різноманітністю інтерфейсів в залежності від моделей приладів та їх виробників.

При цьому розуміння основних принципів роботи таких приладів та набуття навичок роботи на моделях надають реальні переваги при несенні вахти на судні порівняно із тільки теоретичними знаннями. Однак у реалізації в освітньому процесі професійної підготовки як правило, стискаються з низкою труднощів: вимоги роботодавців (міжнародні круїнгові компанії) чітко визначають, що формування професійних компетентностей та їх оцінювання повинно відбуватися за допомогою сучасних симуляторів (тренажерів), електронного навчання сучасної системи візуалізації, а на практиці маємо недостатню розробленість теоретичних та практичних засад їх впровадження в освітній процес під час викладання

професійних дисциплін. Аналіз наукових публікацій щодо застосування VR - технологій в освіті свідчить про високу швидкість розвитку та подальший потенціал до застосування.

Поряд із цим, проблема розвитку симуляційних технологій віртуальної реальності в поєднанні з електронним навчанням у професійній підготовці майбутніх морських фахівців, а також відповідний досвід на прикладі вищих закладів морської освіти України недостатньо представлені в дослідженнях та потребують додаткового розгляду.

Метою дослідження є вибір моделі підвищення ефективності засвоєння навчального матеріалу з фахових дисциплін у практичному розрізі за допомогою віртуальної технології (VR) для ефективного формування професійних компетентностей майбутніх спеціалістів. Результатом дослідження є побудова концептуальної моделі професійної підготовки майбутніх морських фахівців, що має за мету формування професійних компетентностей засобами цифрових, симуляційних, хмарних і дистанційних технологій.

Результати дослідження. Одним із засобів вирішення задачі є співпраця освітніх організацій та компаній, що спеціалізуються на розробці програмного забезпечення у галузі морської професійної освіти. Прикладом такої співпраці в частині розвитку електронного навчання, надання хмарних сервісів є взаємодія ХДМА з компанією OMS-VR (м.Одеса, Україна) [2]. Розробники сучасного програмного забезпечення працюють у напрямку підготовки та перепідготовки морських фахівців.

Компанія розробила серію курсів (симуляторів) на основі віртуальної реальності, що охоплюють майбутні професійні ситуації на судні, які складно повторити та тренувати в процесі підготовки.

Використання симуляційного навчання дозволяє створювати проблемно-орієнтований освітній процес, де в якості навчальної задачі формується вирішення певної ситуації. Курс симуляційного навчання – запланований план навчання, що містить цілі, задачі освітньої діяльності та їх послідовність, а також оцінку їх виконання.

Програмний комплекс створений для навчання та автоматизованої перевірки знань морських фахівців у відповідності до міжнародних та національних вимог. Віртуальна реальність, що формується, є інтерактивним середовищем – дії користувача призводять до змін, на екрані відображається рухи та взаємодія з інструментами. Таким чином, система VR дозволяє імітувати одночасно зорові, тактильні та слухові образи, що підсилює ефект реальності середовища.

Всі курси віртуального навчання запускаються через веб-сервер. Відомості про проходження курсів студентами збираються та сервері даних для отримання сертифікатів про проходження курсів. Для запуску курсу потрібно запустити відповідний модуль на комп'ютері, і одягнути окуляри доповненої реальності. Навчання відбувається індивідуально через занурення в професійну ситуацію. Викладач має змогу спостерігати за тим, що відбувається на екрані комп'ютера. Важливим у курсі є не високий рівень реалістичності, а досягання поставлених навчальних задач у формуванні професійних компетентностей. Так, всі віртуальні курси розроблені згідно нормативних вимог та чітко описують очікувані компетентності курсу. Кожний курс містить тренувальний блок та блок оцінювання, що включає критичні та аварійні ситуації.

В тренувальному блоці всі дії відображаються за допомогою візуальних підказок, анімації, текстових та графічних елементів, які містять навчальний характер.

Навчання відбувається згідно певного алгоритму, що визначений у відповідному нормативному документу для кожного курсу. Кожний етап курсу наочно демонструє порядок дій, що супроводжуються візуальними та голосовими підказками, який необхідно провести для виконання технологічної операції.

В умовах оцінювання після проходження певного циклу дій по завершенню завдання автоматично генерується файл зі звітом, де вказані об'єктивні параметри виконання завдання,

тривалість часу та оцінка його окремих етапів. Для цього розроблено чек-листи, які містять повну інформацію з балами за кожну виконану дію [3].

Висновки. За підсумками експерименту, який був проведений в ХДМА, можна стверджувати, що результати студентів, які займалися на VR-тренажерах не відрізняються від тих, хто проходив навчання за стандартною методикою. Згідно з прогностичною валідністю можна стверджувати, що студенти продемонстрували не менший рівень сформованості професійних компетентностей і на судні, в реальних професійних ситуаціях. Ці результати є попередніми, які тільки демонструють можливість використання VR-тренажерів для експериментальних психолого-педагогічних досліджень. Одночасно вони свідчать про актуальність сумісної роботи розробників та методистів. Ця робота є важливою для інтеграції двох професійних груп дослідників з метою напрацювання єдиної теоретичної та методичної основи для забезпечення впровадження тренажерів в освітній процес, розробки єдиної термінологічної бази та напрацюванні методичного обґрунтування використання VR-тренажерів

Беручи до уваги переваги використання технологій віртуальної реальності в навчанні і нові можливості цифрових технологій представляється необхідним розвивати ці технології в морській освіті з метою більш якісного формування професійних компетентностей майбутніх морських фахівців.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers as amended, including the 1995 and 2010 Manila Amendments. STCW Convention and STCW Code. 2011 edition. Language(s): ENG, FRE, SPA, RUS, CHI, ARA (IMO-IC938).
2. OMS-VR Maritime trainer is global.2021. URL: <https://oms-vr.com/>
3. S. A. Voloshynov, F. M. Zhuravlev, I. M. Riabukha, V. V. Smolets, & H. V. Popova, 2021. Application of VR technologies in building future maritime specialists' professional competences, 2021. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2898/paper03.pdf>.

СИМУЛЯТОР ЯК ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ НАВЧАННЯ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ МОРСЬКОЇ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ

Волкова А.С.

Херсонська державна морська академія, Україна

Розвиток морського торговельного флоту вносить корективи до навчального процесу в цілому, та до підходів навчання англійській мові, як до критично важливого компоненту серед вимог до майбутніх морських фахівців. Сьогодні, судноплавство адаптує нові технології та передовий досвід. Структура конкурентного підходу змінилася. Співпраця між державами та судовласниками для створення інноваційних стратегій, які матимуть змогу задовольнити вимоги диференціального ринку, є ключовим елементом сьогодення.

Основна частина світової зовнішньої торгівлі припадає на морські перевезення. Якщо країна хоче стати державою із сильним торговельним флотом, потрібно враховувати аспекти сьогоднішніх та майбутніх вимог. Наявність кваліфікованих фахівців є ключовим елементом для досягнення вищезазначеної цілі. Зростаючий флот означає зростаючу потребу у висококваліфікованому персоналі. Тренажерна підготовка та навчання морських фахівців, це динамічна поле, яке потребує постійного перегляду та оновлення з урахуванням розвитку новітніх технологій. Саме через це, запровадження новітніх технічних засобів навчання ТЗН у навчальний процес є першочерговим завданням для морських освітніх закладів по всьому світі.

Розвиток морського торговельного флоту є вкрай важливим завданням в рамках покращення світової економіки. Новітні судна будуються повністю автоматизованими. Для безпечного та ефективного управління такими суднами, морська індустрія потребує висококваліфікованих морських фахівців, зокрема офіцерів. Навчання та тренажерна підготовка морських фахівців є ключовим елементом для досягнення даної цілі, а для того щоб забезпечити якість тренажерної підготовки та навчання морських фахівців, необхідно вдосконалювати освітні процеси з урахуванням розвитку інноваційних технологій. Завдяки швидкісному розвитку технологій обумовлюються зміни у формуванні професійних компетентностей майбутніх морських фахівців. Тезу присвячено висвітленню значущості тренажерно-симуляторного обладнання у процесі вивчення англійської мови в вищих навчальних закладах (ВНЗ) морського профілю.

Аналіз специфіки використання тренажерно-симуляторного обладнання у процесі навчання англійській мові для підготовки морських фахівців, опанування професійних компетентностей у лабораторіях тренажерних симуляторів та практичне відпрацювання ситуацій на заняттях з англійської мови є головним завданням морських ВНЗ. Реалізація мети висуває наступні завдання для її досягнення: 1) проведення аналізу систем вправ для відпрацювання на тренажерно-симуляторному обладнанні із зарахуванням компетентнісного підходу у викладанні морської англійської мови; 2) формування структури вправ для відпрацювання та удосконалення навичок, умінь та знань за допомогою ТЗН.

Дослідження BIMCO ISF Manpower Report 2005, 2010 та 2016 років, засвідчили нестачу висококваліфікованих офіцерів [1]. Дана ситуація змушує переглянути освітній процес та програму підготовки морських фахівців. Дослідження методологічних підходів у викладанні морської англійської мови з використанням тренажерно-симуляторного обладнання, привело до висновку, що сучасне комунікативно-орієнтоване навчання у морських ВНЗ має готувати здобувачів вищої освіти (ЗВО) до використання морської англійської мови в реальному житті, що уможливується багаторазовим відпрацюванням потенційно-можливих критично-важливих ситуацій на тренажерно-симуляторному обладнанні для удосконалення набутих знань, умінь та навичок.

А. Макаренко в своїх працях зазначав, що педагог повинен вміти проектувати особистість, тобто чітко знати, які саме якості вихованця мають бути сформованими у процесі виховання [9]. Саме А. Макаренко був першим, хто запровадив термін «технологія» в освітній процес.

Слово «технологія» (англ. *technology* від давньогрек. *τέχνη* — уміння і *λόγος* — думка), за визначенням тлумачного словника іншомовних слів, означає: 1. Сукупність знань, відомостей про послідовність окремих виробничих операцій у процесі виробництва чого-небудь. 2. Сукупність способів обробки або переробки матеріалів, виготовлення виробів, проведення різних виробничих операцій тощо. 3. розм. застосування наукових знань для вирішення практичних завдань [12].

Лише на початку ХХ століття, з'явилося поняття «педагогічна техніка», що включає прийоми та засоби, які застосовуються для покращення ефективності організації освітнього процесу. Починаючи з 40-х років ХХ століття, ТЗН почали імплементуватися у освітній процес і, вже починаючи з 60-х років ХХ століття, виникає поняття «технологічний підхід» до навчання.

Ю. І. Пассов вважає, що навчання іноземної мови повинно будуватися як модель процесу реальної комунікації [13]. Таким чином, комунікативні ситуації, які використовуються в навчанні іноземної мови у морських ВНЗ, мають моделювати типові ситуації реального життя на борту судна.

Програма з англійської мови для професійного спілкування вимагає вивчення іноземної мови не як набору окремих елементів, а як інтегровану систему вмінь і знань [14]. Дана диверсифікація мовної освіти служить для освоєння знань, навичок та умінь у їх взаємодії, що набуваються за допомогою використання ТЗН. Тренажерні лабораторії навігаційного містка та машинного відділення обладнані ідентичними до реальних приладами, що забезпечують результативне сприйняття навчального матеріалу ЗВО. Тренажно-симуляторне обладнання сприяє ознайомленню ЗВО безпосередньо з їхніми прямими обов'язками на судні та подальшій адаптації до реального суднового обладнання та систем.

ТЗН включають устаткування, прилади та обладнання, що використовуються у освітньому процесі. Говорячи про морські освітні заклади, одним із найновітніших є тренажер. Тренажер створений для практичного набуття морськими фахівцями навичок та вмінь. Відповідно до Конвенції ПДНВ зі змінами «...будь-який симулятор, що використовується у навчальному процесі, повинен бути здатним імітувати можливості суднового обладнання на рівні фізичного реалізму...» [7, Розділ А-І/12, С. 93]. Це має особливе значення, так як морська галузь продовжує приймати підготовку та навчання із застосуванням тренажерів на рівні проходження практики на борту судна. Можливо, цей факт, можна пов'язати із критичною нестачею офіцерів на флоті [2]. За визначенням міжсесійної робочої групи (ISWG) 1994 року Міжнародної морської організації (ІМО), тренажером називається реалістична імітація, в режимі реального часу, керування судном, радаром та навігацією, двигуном та іншими судновими системами, з використанням інтерфейсу ЗВО або стажером, в межах або поза межами робочого середовища [5, 6].

Згідно зі статистичними даними 2012 року, від 60% до 94% нещасних випадків у морській галузі стається через людський фактор [10]. У зв'язку з цим, Конвенція та Кодекс ПДНВ, висунула вимогу до офіцерів, рівнів експлуатації та керування, на обов'язкове проходження курсу Управління морськими ресурсами (МРМ) [8]. Метою навчання даного курсу є набуття ЗВО нетехнічних навичок, відсутність котрих, як стверджується, збільшує потенційну можливість виникнення аварійних ситуацій через людський фактор.

Створення системи вправ для формування мовленнєвої компетенції з морської англійської мови є критично важливим інструментом для набуття інтегрованих знань, умінь та навичок. Конфігурації систем вправ, уроків можуть відрізнятися, але матимуть єдину ціль.

Симуляція є одним із методів інтерактивного навчання, що дозволяє досягти поставленої мети завдяки зануренню ЗВО в атмосферу вирішення завдань квазіпрофесійної діяльності. Сьогодні, для формування професійних компетентностей використовуються такі сучасні види ТЗН: електронні підручники, інтерактивні навчальні посібники, тренажерно-симуляторне обладнання, тренажери з доповненою та віртуальною реальністю, а також електронне навчання. Електронне навчання являє собою вагомий інструмент для неперервної самоосвіти та саморозвитку ЗВО, які знаходяться в тисячах миль від берегу.

Після опанування компетентностей на тренажерно-симуляторному обладнанні, ЗВО мають змогу закріпити набуті навички на заняттях з англійської мови. Для таких цілей застосовуються такі види вправ, як:

- обговорення кейсів з відповідаючими дійсності поламками та можливими шляхами їхнього вирішення;
- формування звітів з виконаної роботи із встановлення несправностей;
- дебати щодо відстоювання певної точки зору з погляду на проблему;
-

При вдалому підборі матеріалу та його цілеспрямованому плануванні, набуті знання на заняттях у тренажерно-симуляторних лабораторіях вносять елементи новизни у навчальний процес, зацікавлюють ЗВО до вивчення іноземної мови, надаючи їм доступ до автентичних матеріалів та можливість працювати у зручній для них час, сприяючи навчальному процесу в цілому.

Процес формування компетентностей при вивченні морської англійської мови у ВНЗ України морського профілю має бути спрямований на:

- забезпечення необхідного рівня іншомовної комунікативної компетентності в основних видах мовленнєвої діяльності;
- формування загальної компетентності морських фахівців;
- інтеграцію компетентності в процесі самостійної діяльності;
- розвиток творчого потенціалу ЗВО, їх інтелектуальних і професійних здібностей у процесі професійної підготовки;
- розширення їх світогляду на основі вирішення професійно-значущих завдань;
- збільшення професійної мотивації;
- розвиток особистісних і професійних якостей.

На заняттях з англійської мови, здобуті компетентності відпрацьовуються для закріплення мовного матеріалу, а також для отримання професійних навичок, таких як: вміння проводити переговори, робити презентації, а також розвивати критичне мислення, вміння приймати та обґрунтовувати рішення. За гарної організації, лексичні і граматичні помилки швидко зникають. У ЗВО зникає страх говорити англійською мовою і з'являється довгострокова мотивація вивчати англійську мову, так як вона є засобом для досягнення мети.

Вважаємо, що структура вправ для відпрацювання та удосконалення навичок, умінь та знань за допомогою тренажерно-симуляторного обладнання повинна містити наступне:

- інструкцію, яка зазначатиме ціль та покрокові етапи виконання завдання;
- матеріали необхідні для виконання вправи;
- зразок виконання та ключ для самоконтролю можуть бути у наявності (за вимогою) як факультативні компоненти;
- також, було б доцільним виконання тестових завдань у період пост-тренажерного відпрацювання.

Даний підхід у навчанні відрекомендував себе з найкращої сторони і є причиною виникнення багатьох міжнародних морських освітніх платформ, таких як: Міжнародна асоціація морських лекторів (IMLA), Міжнародна асоціація морських університетів (IAMU), GlobalMET, MariFuture та інші [3, 4].

Функції впровадження новітніх технологій та підходів у навчальний процес морських ВНЗ:

- Систематичне використання тренажерів для імітації реальних умов задля застосування навичок, вмінь та розуміння та їх досконалого відпрацювання
- Проходження реальної практики на борту судна для ознайомлення з реальними умовами та застосування набутих навичок, вмінь та розуміння, їх апробації та відпрацювання
- Покращення навичок управління ресурсами для набуття ними навичок проведення ризик менеджменту
- Розробка цілісних навчальних програм для їх відповідності професійним та академічним вимогам
- Вдосконалення навичок роботи з інформаційними технологіями (ІТ) для розуміння та безпечного керування сучасними системами автоматизації на борту судна
- Використання електронних методів навчання з ціллю полегшення навчального процесу морських фахівців під час проходження практики на борту судна
- Налагодження міцної співпраці та координації з морською індустрією для покращення академічної програми та якості проходження підготовки на борту судна
- Зовнішнє оцінювання та верифікація результатів навчання з ціллю забезпечення їхньої якості [11].

Для досягнення поставлених задач, пропонуємо такі дії:

- залучення підтримки морської індустрії на всі стадії освітнього процесу;
- впровадження новітніх ТЗН в освітні процеси та програми підготовки;
- створення синергії професійно-технічної та академічної освіти.

Спільною метою є вдосконалення освітніх процесів та підготовки морських фахівців для забезпечення безпеки персоналу та судна в цілому. Нові можливості, що відкриваються завдяки технологіям та використанню передових координаційних методів, дозволять покращити рівень та якість підготовки морських фахівців.

Таким чином, можемо дійти висновку, що розвиток іншомовної професійної компетентності у майбутніх фахівців морських ВНЗ України реалізовується через впровадження комунікативного підходу у викладанні морської англійської мови. Невід'ємною частиною опанування спеціальності є заняття на тренажерно-симуляторному обладнанні для підвищення рівня формування професійних компетентностей та особистісних якостей. Саме правильно організований навчальний простір, поєднання навчання з ситуаціями, потенційно-можливими в професійній діяльності дає істотні результати у вивченні морської англійської мови завдяки закріпленню досвіду на тренажерно-симуляторному обладнанні. Морська індустрія стрімко розвивається в усіх країнах світу та вимагає постійного розвитку та вдосконалення систем та процесу освітньої підготовки фахівців. З огляду на це, важливо зазначити високо пріоритетну зацікавленість морських освітніх закладів у створенні відповідної системи підготовки персоналу, яка б задовольняла міжнародним вимогам. На сучасному етапі розвитку, до освітнього процесу підготовки морських фахівців існує велика кількість питань, які потребують подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. BIMCO/ISF. *Manpower Report. The global supply and demand for seafarers in 2015*. Bagsværd, Denmark. URL: <https://www.ics-shipping.org/publication/manpower-report-2015-executive-summary/>

2. Cross S. *Quality MET through quality simulator applications*. Proceedings of the 19th Conference of International Maritime Lecturers' Association. 2011. URL: https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1257&context=all_dissertations
3. IMLA Conference. *The Impact of the Revised STCW Convention on Maritime English-Tightening the Communicative Competence Provisions*. Proceedings of the 18th Conference of International Maritime Lecturers' Association. Shanghai. China. 2010. P. 467
4. IMLA Conference. *Developing an Effective Maritime Education and Training System - TUDEV Experiment*. Conference of International Maritime Lecturers' Association. Accra. Ghana. 2009.
5. IMO. URL: <https://www.imo.org/>
6. IMO Inter-sessional Simulator Working Group (ISWG), STW 26/Inf. 7. Sub-Committee STCW, Submitted by IMO ISWG Consultants, London. 1994. p. 94
7. IMO. *Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers including 2010 Manila amendments. STCW Convention and STCW Code*. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/STCW-Conv-LINK.aspx>
8. International Shipping Federation (ISF). *Guidelines on the IMO STCW Convention including the 2010 Manila Amendments*. (3rd Ed.). London. Marisec Publications. 2010. p. 96
9. Макаренко А.С. *Методика воспитательной работы*. М.: Сов. шк., 1990. 336 с.
10. Mende S., Ziegler P. *Human factors within the Maritime Training Aspects. A report concerning the implementation of STCW Manila 2010 "Human Factors amendments" into practical trainings*. Proceedings of the 20th Conference of International Maritime Lecturers' Association. Terschelling. Netherlands. 2012. P. 67
11. Oral Erdogan, Ergun Demirel. *New Technologies in Maritime Education and Training, Turkish Experiment*. Universal Journal of Educational Research 5(6). 2017. Pp. 947-952, 2017. URL: <http://www.hrpub.org/>
12. Тлумачний словник іншомовних слів. URL: <https://dictionary.cambridge.org/>
13. Самойленко Н. Б. *Міжкультурна компетентність майбутніх фахівців гуманітарного профілю*. Севастополь: Рібест, 2013. 412 с.
14. Гришкова Р. О. *Методика навчання англійської мови за професійним спрямуванням студентів нефілологічних спеціальностей: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів*. Миколаїв: ЧДУ, 2015. 220 с.

ПРІОРИТЕТНІ ОБЛАСТІ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ ПРОГРАМНИХ ЗАХОДІВ РЕАГУВАННЯ НА ПАНДЕМІЮ COVID-19 ТА ХРОНІЧНІ ПРОБЛЕМИ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І ТОРГІВЛІ КРАЇН, ЩО РОЗВИВАЮТЬСЯ

Акімов О.В., Нагрибельний Я.А, Барильник-Кураков І.Л., Кухтіна В.П.
Херсонська державна морська академія, Україна

Пандемія Коронавірусного захворювання (COVID-19) наочно продемонструвала глобальну взаємозалежність держав і послужила поштовхом до розвитку нових тенденцій, які змінять вигляд морського транспорту. Сектор знаходиться на переломному етапі, стикаючись не тільки з безпосередніми проблемами, викликаними пандемією, але і з довготривалими факторами в діапазоні від зрушень в структурі виробничо-збутових систем і моделей глобалізації до змін стереотипів споживання і витрачання коштів, зростаючої уваги до питань оцінки ризиків та підвищення стійкості до потрясінь, а також широкої глобального порядку денного в галузі сталого розвитку та низьковуглецевої економіки. Крім того, в даному секторі доводиться вирішувати проблеми, обумовлені згубними наслідками зростаючого торгового протекціонізму і егоїстичною політики.

В умовах пандемії на перший план вийшло питання про значення морського транспорту як ключового сектора для здійснення безперебійних поставок життєво важливих товарів і глобальної торгівлі в кризовий період, на етапі відновлення і після повернення до нормального життя. Багато організацій, в тому числі UNCTAD та інші міжнародні органи, опублікували рекомендації та роз'яснення, в яких наголошується на необхідності забезпечення безперебійного функціонування даного сектора з захистом при цьому працівників портів і моряків від пандемії. Вони підкреслили, що судна повинні відповідати міжнародним вимогам, включаючи санітарні обмеження, а порти - залишатися відкритими для морських і змішаних перевезень.

До пріоритетних областей для прийняття програмних заходів реагування на пандемію COVID-19 і хронічні проблеми морських перевезень і торгівлі країн, що розвиваються, можна віднести наступні щість:

1. Підтримка торгівлі, щоб вона могла служити реальною основою зростання і розвитку. Торгові протиріччя, протекціонізм, експортні обмеження, особливо щодо товарів першої необхідності в період кризи, обертаються економічними і соціальними витратами. Їх потрібно по можливості уникати. Крім того, слід вирішувати проблеми нетарифних заходів та інших перешкод для торгівлі, в тому числі шляхом розширення діяльності щодо спрощення процедур торгівлі та автоматизації роботи митних служб.

2. Допомога трансформувати процеси глобалізації в інтересах забезпечення стійкості і стійкості до потрясінь. Руйнування зв'язків, викликане спалахом COVID-19, змусило ще раз задуматися про ризики, пов'язані з міжнародним промисловим виробництвом і розширеними виробничо-збутовими системами. Важливо ретельно проаналізувати різні варіанти в питанні зміни побудови виробничо-збутових систем і отримання результатів, які узгоджуються з цілями в галузі сталого розвитку та Порядком денним в галузі сталого розвитку на період до 2030 року. Наприклад, скорочення протяжності виробничо-збутових ланцюжків за рахунок повернення перенесених раніше в інші країни виробництв назад в країни базування або в довколишні країни може дозволити знизити транспортні витрати і витрати палива, але при цьому виробничо збутові системи не обов'язково будуть захищені від перебоїв, які можуть статися незалежно від місця їх розміщення. Підходи с використанням декількох джерел поставок можуть гарантувати більш високу ступінь стійкості в порівнянні з варіантами концентрації виробництва в одному місці і в середині країни, так і за кордоном. Обговорення

питань глобалізації слід націлити на виявлення шляхів згладжування наслідків нестійких моделей глобалізації для отримання більшої віддачі для більш широкого кола країн.

3. Сприяння більш широкому впровадженню технологій та цифровізації. Проведена політика повинна служити основою для впровадження цифрових технологій, що підвищують стійкість виробничо-збутових ланцюжків і обслуговуючих їх транспортних мереж. Виконуючи свою роль сполучної ланки між глобальною економікою і виробничо-збутовими системами, сектор морських перевезень повинен використовувати кризову ситуацію, вкладаючи кошти в технології та приймаючи рішення, що відповідають потребам виробничо-збутових систем майбутнього і підкріплюють зусилля по підвищенню стійкості до потрясінь. Зусилля в області цифровізації повинні сприяти підвищенню ефективності, включаючи енергоефективність, і продуктивності на транспорті (наприклад, «розумні» порти і морські перевезення). Крім того, цифровізація повинна допомогти країнам використовувати можливості електронної торгівлі та переваги спрощення процедур перевезень, які сприяють розвитку торгівлі. Для забезпечення більшої віддачі слід зміцнювати кібербезпеку на всіх рівнях.

4. Використання даних для відстеження ситуації і прийняття програмних заходів. Застосування швидко розвиваючихся засобів обробки даних дозволяє підкріпити зусилля по прогнозуванню зростання і відстеження тенденцій після кризового відновлення. Нові джерела даних і додаткові можливості, що виникають завдяки цифровізації, відкривають широкі можливості для аналізу і доопрацювання заходів політики. Пандемія чітко показала потенціал використання даних в режимі реального часу про рух суден і вантажообіг портів, а також інформації про графіки відвантаження для створення систем раннього попередження в інтересах забезпечення економічного зростання і морських перевезень.

5. Забезпечення динамічних і стійких до впливу зовнішніх факторів системи морських перевезень. Необхідно вкладати кошти в управління ризиками та забезпечення готовності до надзвичайних ситуацій не тільки в разі пандемій. Робота з перевірки на міцність в майбутньому ланцюжків поставок і систем управління ризиками в секторі морських перевезень вимагає більшої прозорості транспортних операцій «від дверей до дверей». Для цього необхідно розробити плани з викладенням ключових дій і протоколів, які повинні здійснюватися в разі виникнення криз, в той же час забезпечуючи безперерйне здійснення діяльності. Особливу увагу необхідно приділити проблемам моряків, більшість з яких є громадянами країн, що розвиваються.

6. Належний темп у вирішенні питань сталого розвитку, адаптації до зміни клімату та підвищення стійкості до потрясінь. Докладені в даний час зусилля щодо вирішення проблем, пов'язаних з викидами вуглецю в результаті судноплавства і енергетичним переходом з відмовою від викопних видів палива, повинні і надалі носити пріоритетний характер. Уряду могли б орієнтувати пакети заходів стимулювання на підтримку відновних процесів, сприяючи при цьому рішенням інших пріоритетних завдань, таких як пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптація до них. Таким чином, політика, що проводиться в умовах після пандемії, повинна сприяти подальшому прогресу в процесі переходу галузі морських перевезень на шлях екологічного і стійкого розвитку. У той же час ключовими пріоритетами залишаються питання стійкості і стійкості до потрясінь, наприклад забезпечення транспортних зв'язків між малими острівними державами, що розвиваються і адаптація до зміни клімату. У цих державах найважливіша прибережна транспортна інфраструктура служить життєвою артерією зовнішньої торгівлі, туризму та забезпечення продовольчої та енергетичної безпеки. Підготовка та розповсюдження спеціалізованих даних і інформації відіграє важливу роль в оцінці ризиків, підвищенні рівнів підключеності до системи транспортного сполучення, розробці ефективних заходів адаптації, підготовці цільових досліджень та розвитку ефективної міжвідомчої співпраці за участю широкого кола зацікавлених сторін.

Крім того, пандемія COVID-19 виступає свого роду пробним каменем не тільки для глобалізації, а й для глобальної солідарності та співпраці. Успіх згаданих програмних заходів буде залежати від ефективного міжнародного співробітництва в цілях забезпечення прийняття скоординованих заходів політики.

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕСТУВАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ В МЕЖАХ ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Богдан Ю.О., Богомолова І.В., Сатулов А.І.
Херсонська державна морська академія, Україна

Підготовка сучасних фахівців морського та річкового транспорту в епоху інформаційних технологій не представляється можливою без застосування новітніх технологій: мультимедійних дошок, віртуальних тренажерів, тренінгів на комп'ютерній основі, систем управління навчанням, на кшталт LMS Moodle, електронних бібліотек, тощо. Тому виникає необхідність досліджень особливостей впровадження в освітній процес зазначених технологій та ефективності їх використання, впливу на якість та кількість отриманих здобувачами вищої освіти (ЗВО) знань та навичок.

Одним із методів наукового пізнання емпіричного рівня являються тести. За допомогою тестів виконується: вхідний контроль інженерного мислення або іншого критерію, з метою ранжування базових знань за рівнями, для коректної кореляційної оцінки в подальшому результатів вихідного тесту, проміжні та вихідні контролю з метою оцінки отриманих знань, набутих навичок тощо.

В доповіді розглянуто методологічні аспекти проведення тестування ЗВО в межах наукових досліджень з впровадження новітніх технологій в освітній процес, а саме впливу віртуальної реальності на рівень знань та навичок ЗВО.

Для визначення наявних рівнів інженерного мислення здобувачів було проведено вхідне тестування за допомогою тесту Беннета (The Bennett Mechanical Comprehension Test, ВМСТ) [1, 2]. Дана методика орієнтована на виявлення технічних здібностей як підлітків, так і дорослих. Стимульний матеріал представлено 68 нескладними фізико-технічними завданнями у вигляді малюнків та трьох варіантів відповідей на кожне завдання, причому тільки один з них є правильним. Учаснику опитування необхідно вибрати й указати правильну відповідь. На виконання всіх завдань дається 30 хв.

Процедура підрахунку отриманих результатів досить проста й полягає в нарахуванні 1 балу за кожне правильно виконане завдання. Переклад на стандартні шкали не проводиться, інтерпретація здійснюється відповідно до норм, отриманих на конкретній вибірці випробуваних.

В межах нашого дослідження ми скористалися тестом Беннета адаптованим Г.В. Резапкіною [3], який було оцифрований й розміщений на сайті дистанційного навчання Херсонської державної морської академії (ХДМА) [4].

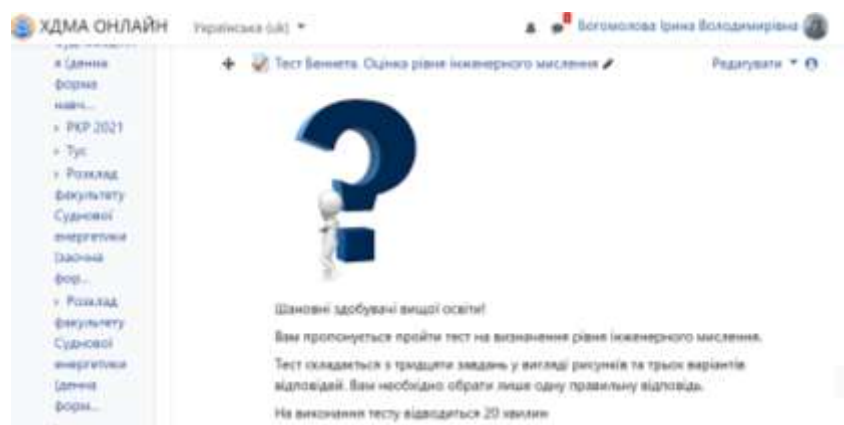


Рисунок 1 – Вигляд сторінки з тестом Беннета на сайті дистанційного навчання ХДМА

В тестуванні взяли участь 188 ЗВО першого та другого курсів факультетів суднової енергетики та судноводіння. Отримані за тест бали було проранжовано наступним чином: 25-30 балів – високий рівень інженерного мислення; 19-24 балів – рівень, вищий від середнього; 13-18 балів – середній рівень; 7-12 балів – рівень, нижчий від середнього; 0-6 балів – низький рівень інженерного мислення.

На рисунку 2 зображено діаграму розподілу рівнів інженерного мислення ЗВО відповідно до результатів опитування. З рисунка видно, найбільше здобувачі з високим рівнем інженерного мислення виявилось у майбутніх механіків – 34 курсанти, з середнім рівнем інженерного мислення – у майбутніх судноводіїв – 34 курсанти. Електромеханіки не продемонстрували значних показників високого рівня інженерного мислення, а також, серед них не було жодного курсанта з низьким та нижчим від середнього рівнями.

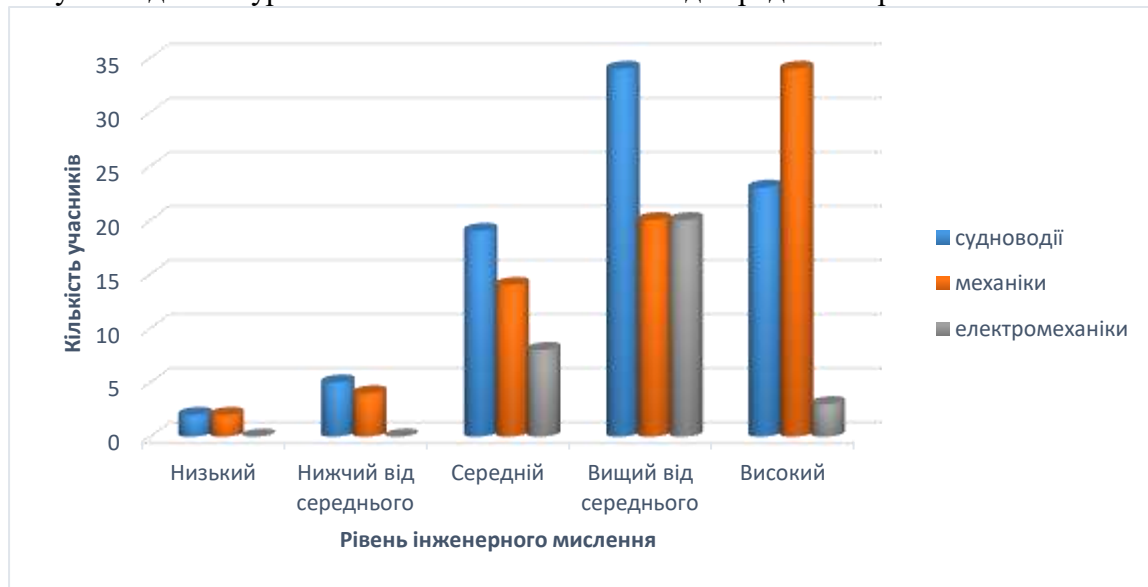


Рисунок 2 – Діаграма розподілу рівнів інженерного мислення здобувачів вищої освіти

В межах дослідження до подальшої експериментальної роботи були залучені лише ЗВО першого курсу факультету суднової енергетики, які навчаються за освітньо-професійною програмою бакалавр «Управління судновими технічними системами і комплексами» та «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» механіки й електромеханіки відповідно.

Експериментальна робота проводилась в різних лабораторіях ХДМА: «Навчально-методична лабораторія інноваційних технологій», «Повнофункціональний тренажер машинного відділення», «Суднові енергетичні установки»

Експеримент проходив в наступній послідовності:

- спочатку учасники отримали теоретичні знання про підготовку до пуску та пуску аварійного дизель-генератора (АДГ), інструктаж з техніки безпеки та були наочно ознайомлені з реальним АДГ;

- далі учасників було поділено на дві рівноцінні групи - контрольну та експериментальну;

- учасники експериментальної групи, після теоретичних уроків, мали заняття з підготовки до пуску та пуску АДГ на тренажері машинного відділення (МВ) різних типів суден та тренажері з поглибленою віртуальною реальністю за допомогою окулярів віртуальної реальності;

- у контрольній групі заняття на тренажері МВ та тренажері поглибленої віртуальної реальності не проводились;

•після експерименту всі учасники перевірялись за допомогою когнітивного тесту.

Когнітивний тест було складено з урахуванням особливостей експерименту, та розміщено на сайті дистанційного навчання ХДМА. До тесту було включено питання на ранжування дій у правильному порядку при підготовці та запуску АДГ (15 кроків по 1 балу) та 15 тестових запитань (1 бал за правильну відповідь) для перевірки знань рівня палива у танку, рівня мастила в двигуні, а також питання, які перевіряли знання вимог СОЛАС, Державного портового контролю, класифікаційних товариств до експлуатації аварійних джерел живлення. Результати тесту зображено на діаграмі нижче.



Рисунок 3 – Результати когнітивного тесту експериментальної та контрольної груп

З рисунку 3 видно, що учасники експериментальної групи мають вищі показники за результатами когнітивного тесту аніж учасники контрольної групи. Вісім учасників експериментальної групи продемонстрували середній рівень знань та чотири – високий. У той час, у контрольній групі високий рівень знань не показав жоден учасник.

Висновки. Запропоновано використання у якості вхідного контролю адаптованого тесту Беннета для визначення наявних рівнів інженерного мислення здобувачів вищої освіти.

З огляду специфіки дослідження рівня набутих знань та навичок з підготовки до пуску та пуску АДГ з використанням технологій віртуальної реальності для вихідного контролю розроблено когнітивний тест.

За результатами проведених тестів визначено залежність рівня інженерного мислення здобувача та результатів проходження когнітивного тесту, вищому рівню інженерного мислення відповідають вищі результати когнітивного тесту.

Отримані результати показали, що використання віртуальних тренажерів дає максимальний ефект з отримання знань та навичок для здобувачів на відміну від чисто теоретичного навчання.

ЛІТЕРАТУРА

1. The Bennett Mechanical Comprehension Test (BMCT). Режим доступу: <https://www.practiceaptitudetests.com/bennett-mechanical-comprehension-tests/>
2. George K. Bennett, Bennett Mechanical Comprehension Test, Pearson, 2008
3. Тест механической понятливости Беннета (модификация Г.В. Резапкиной) <https://www.stu.lipetsk.ru/fak/fdo/dept/proforient/school/tests/test1.pdf>
4. Тест Беннета на сторінці системи управління навчанням (LMS Moodle) ХДМА. Режим доступу: <https://mdl.ksma.ks.ua/course/view.php?id=3994>

ПРОБЛЕМИ ІНЖЕНЕРНО-ГРАФІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ ІНЖЕНЕРІВ –МЕХАНІКІВ

Знамеровська Н.П., Васильченко Г.Ю., Татарінцева Ю.Г.
Херсонська державна морська академія, Україна

Вступ. Завдання суднового інженера-механіка полягає у створенні та обробці конструкторської документації, виготовлення на її основі необхідного виробу. Інженерна графічна підготовка у закладах вищої освіти (ЗВО) потребує систематичного пошуку шляхів вдосконалення методик навчання, що пов'язане із створенням комп'ютерних графічних програм і систем.

Визначення причин низької якості графічної підготовки здобувачів вищої морської освіти дозволить знайти ефективні шляхи підвищення якості викладання графічних дисциплін, що буде сприяти підвищенню якості фахової підготовки суднових інженерів-механіків.

Компетентнісне навчання та логіка викладення інженерної графіки дозволить майбутнім судновим інженерам-механікам набути навичок розроблення конструкторської документації.

Актуальність. Набуття майбутніми судновими інженерами-механіками інженерно-графічних компетенцій у закладах вищої морської освіти потребує постійного вдосконалення, що пов'язане з розвитком комп'ютерних графічних технологій.

Здобувачі вищої морської освіти, які вивчають інженерну графіку на перших курсах у ЗВО, важко опановувати методи графічного одержання зображень, оскільки просторова уява формується в шкільному віці, а сучасні шкільні програми не передбачають вивчення курсу креслення, лишаячи майбутніх інженерів однієї з важливих компетентностей - інженерно-графічних. Нами проводилися опитування серед першокурсників Херсонської державної морської академії (ХДМА), і за його результатами можна зробити висновок що, всього 5-6 відсотків з них вивчали креслення в своїх навчальних закладах, тому, як ми бачимо, не виконується принцип спадковості в засвоєнні графічних дисциплін у ЗВО. А це у свою чергу ускладнює ефективне засвоєння дисциплін, які ґрунтуються саме на інженерно-графічних елементарних компетентностях.

Ще однією причиною необхідності пошуків шляхів удосконалення інженерно-графічної підготовки морських фахівців виступає постійне зменшення кількості аудиторних годин на вивчення інженерної графіки при сталих вимогах ІМО до відповідних компетентностей здобувачів вищої освіти (далі – здобувачі ВО). Те що за рахунок загальноінженерних дисциплін впроваджують дисципліни гуманітарного циклу, здобувачі ВО – суднові механіки відчувають гострий брак саме фахової підготовки, яка потрібна їм у майбутній практичній діяльності на судні.

Основний матеріал. Аналіз навчальних планів показує, що графічні дисципліни стають підґрунтям для великої кількості спеціальних дисциплін. Дуже часто в межах навчальних годин кількість аудиторних годин зменшується, натомість велика частина матеріалу виноситься на самостійну роботу. Однак здобувачі ВО вивчають графічні дисципліни на перших курсах і поки не мають навичок самостійної роботи.

Проблема ця виникла вже давно і досліджувалась ученими саме для підвищення якості формування графічних компетенцій, знань та умінь здобувачів вищої освіти у закладах ЗВО. Це такі вчені: А.Верхола (дидактичні основи оптимізації процесу навчання графічній грамоті); В.Буринський (самостійна робота - засіб удосконалення графічної підготовки); Й.Гушулей (формування просторового образу на основі графічного зображення); О.Глазунова, А.Корнеєва, В.Ткаченко, М.Юсупова (методика використання комп'ютерної графіки)[1]. та ін.

Інформатизація вищої освіти, насичення навчального процесу сучасними інформаційними засобами посилюють потребу в удосконаленні інформаційних засобів і в цілому програмно-методичного забезпечення навчання здобувача вищої освіти у ЗВО.

Проблема забезпечення навчального процесу в умовах інформаційного освітнього середовища знаходиться в центрі уваги педагогів дослідників [1].

Розвиток сучасних інформаційних технологій вимагає від навчальних закладів впровадження нових підходів до навчання, які забезпечували б розвиток комунікативних, творчих і професійних знань, потреб в самоосвіті. У ХДМА аудиторії обладнані мультимедійними проекторами, комп'ютерами для викладачів, екранами, мультимедійними дошками або мультитордами. Крім того, в ХДМА створені умови для відкритого доступу до баз електронних бібліотек, медіатек, мережі Інтернет, а також для проведення відео конференцій в освітньому процесі на платформі MOODLE.

Одним з таких підходів є інтерактивна технологія. Однак до сих пір немає усталеного терміну, який визначає, що розуміється під інтерактивними технологіями. Інтерактивність (від англ. interaction - взаємодія) передбачає взаємодію на декількох рівнях: інтерфейс «людина-машина» - взаємодія через команди і маніпуляції через клавіатуру, «мишку», пульт дистанційного керування; обмін даними різноманітних форматів (аудіо, відео, графічні та ін.).

Інтерактивна технологія – це програмне забезпечення, яке дозволяє керувати процесом навчання. Інтерактивні технології збільшують ефективність навчання здобувачів ВТО, підвищують продуктивність.

Окремо хотілося б відзначити два напрямки, що найбільш стрімко розвиваються в процесі навчання - це дистанційне навчання через мережу інтернет і електронні книги, адаптовані для сучасних планшетних комп'ютерів.

Експерименти підтвердили, що якість і структура навчальних курсів, так само як і якість викладання при дистанційному навчанні, часто набагато краще, ніж при традиційних формах навчання. Нові електронні технології можуть не тільки забезпечити активне залучення учнів у навчальний процес, а й дозволяють управляти цим процесом на відміну від більшості традиційних навчальних середовищ. Інтерактивні можливості систем дистанційного навчання і систем доставки інформації дозволяють налагодити і стимулювати зворотний зв'язок та забезпечити діалог і підтримку, які відсутні в більшості традиційних систем навчання. Сучасні комп'ютерні телекомунікації здатні забезпечити передачу знань і доступ до різноманітної навчальної інформації на рівні, а іноді і набагато ефективніше, ніж традиційні засоби навчання[3].

Електронна пошта економічно і технологічно є найбільш доцільною технологією, яка може бути використана в процесі навчання для доставки змістовної частини навчальних курсів і забезпечення зворотного зв'язку здобувачів вищої освіти з викладачем.

Для удосконалення методів навчання здобувачів ВО, викладачеві необхідно використовувати комп'ютерні програми і засоби для пошуку ефективних шляхів організації роботи здобувачів ВО як на заняттях, так і при самостійній роботі [3].

У процесі навчання інженерній графіці передбачається засвоєння системи теоретичних знань та формування інженерно графічних компетенцій, вироблення практичних умінь у здобувачів ВО за допомогою самостійної роботи, систематичного виконання всіх розрахунково-графічних робіт, доведення до автоматизму роботи з сучасними креслярськими інструментами та графічними комп'ютерними програмами.

Комп'ютерні технології спонукають викладання інженерної графіки перевести на шлях широкого використання графічних програм. Це потужний графічний інструмент, який перетворюється в електронний кульман. А використання здобувачами ВО 3D-моделювання дозволяє отримати наочне зображення конкретної деталі аналізу і створення відповідної конструкторської документації.

Створення 3D-моделі здобувачем ВО передбачає побудову окремих її елементів з використанням простих геометричних побудов, які базуються на навичках, що набуті під час вивчення нарисної геометрії, інженерної графіки [3].

Для зберігання оформлених конструкторських розробок застосовуються ДСТУ, міждержавні стандарти на електронну документацію, необхідні для нормоконтролю робіт здобувачів вищої освіти. Вони передбачають розробку робочих креслеників 3D-моделі із усіма вимогами до оформлення, а також методичних розрахунків елементів деталі або виробу. Навички в оформленні машинобудівного кресленика здобувач ВО отримує під час вивчення дисципліни «Комп'ютерна інженерна графіка», що є дисципліною за вибором здобувачів ВО.

Таким чином, здобувач ВО перетворюється з інженера-механіка в оператора комп'ютера з пакетом графічних редакторів, якому потрібно лише знати, на яку кнопку відповідної команди натиснути. З цього ми бачимо, що протиставлення традиційних і комп'ютерних методик не доречно. Є необхідність знайти раціональне «зерно» для використання сучасних об'єднаних методик, які стають актуальними. Вивчення дисципліни «Комп'ютерна інженерна графіка» паралельно з інженерною графікою не дає можливості здобувачам ВО усвідомити логіку утворення кресленика і показують слабе володіння уміннями з графічної діяльності [3].

Класичні методики викладання актуальні, але їх треба удосконалити. Сучасні комп'ютерні графічні технології дозволяють вирішити розрахунково-графічні завдання з меншою трудомісткістю і затратами часу.

Висновки. Сучасне програмне забезпечення надає широкі можливості для реалізації проєктних можливостей, суттєво зменшити затрати часу на виконання розрахунково-графічних робіт. Особливу увагу необхідно приділяти оформленню креслеників згідно державних стандартів ДСТУ ISO. Організація навчального процесу вимагає саме тієї послідовності, що зазначена вище і буде сприяти формуванню у здобувачів ВО фундаменту знань, розуміння процесів утворення креслеників деталей та де саме застосувати їх в майбутній трудовій діяльності.

Послідовність і логічність зв'язків викладання дисциплін для формування в майбутніх судових інженерів-механіків навичок створення конструкторської документації повинна відповідати вимогам існуючих і нових технологій виробництва, а міжнародним стандартам і вимогам СКД та ДСТУ.

Все вище сказане, вимагає проведення додаткових досліджень наступності традиційних та інноваційних технологій навчання графічних дисциплін для здобувачів морської вищої технічної освіти.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Джеджула Олена Михайлівна. Теорія і методика графічної підготовки студентів інженерних спеціальностей вищих навчальних закладів : Дис. д-ра наук: 13.00.04 - 2007.
2. М. Галімова, І. В. Суровцев, С. К. Галімов.- Застосування комп'ютерних технологій у підготовці сучасних фахівців - екологів.// Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Серія «Педагогіка. Психологія. Філософія» / Ред.кол.: Ніколаєнко С.М. (відп. ред.) та ін. – К.: Видавничий центр, 2014. – Вип. 199. – Ч. 2. С. 58.
3. О. М. Джеджула, А. Й. Островський, Ю. Л. Хом'яковський. Особливості графічної підготовки майбутніх інженерів-механіків на основі комп'ютерно орієнтованих технологій.-// Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Серія «Педагогіка. Психологія. Філософія» / Ред.кол.: Ніколаєнко С.М. (відп. ред.) та ін. – К.: Видавничий центр, 2014. – Вип. 199. – Ч. 2. С. 92.

НОТАТКИ

Відповідальні за випуск *Р.Є. Врублевський, В.П. Савчук*
Технічний редактор *Д.В. Курносенко*
Друк, фальцювально-палітурні роботи *В.Г. Удов*

Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Ум. друк. арк 18,76
Підписано до друку 03.09.20 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