

**Міністерство освіти і науки України**  
**Херсонська державна морська академія**  
**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова**  
**Одеський національний морський університет**  
**Національний університет «Одеська морська академія»**  
**ДП «ДержавтотрансНДІпроект»**  
**Харківський національний автомобільно-дорожній університет**  
**Національний транспортний університет**  
**Інститут газу НАН України**  
**Український державний університет залізничного транспорту**  
**Херсонський національний технічний університет**  
**Приазовський державний технічний університет**  
**University of Zilina (Словаччина)**  
**University of Warmia and Mazury in Olsztyn (Польща)**  
**Rzeszow University of Technology (Польща)**  
**Maritime University of Szczecin (Польща)**  
**University of Technology and Humanities in Radom (Польща)**  
**Науково-виробнича компанія «Modern Multi Power Systems» s.r.o. (Чехія)**  
**Крюїнгова компанія «Marlow Navigation» (Кіпр)**

## **МАТЕРІАЛИ**

**9-ї Міжнародної науково-практичної конференції**

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



Херсон – 2018

### Науковий комітет:

Білоусов Є.В. – к.т.н., доц., ХДМА;  
Варбанець Р.А. – д.т.н., проф., ОНМУ;  
Волков В.П. – д.т.н., проф., ХНАДУ;  
Волошин В.С. – д.т.н., проф., ПДТУ;  
Горбов В.М. – к.т.н., проф., НУК;  
Грицук І.В. – д.т.н., проф., ХДМА;  
Гутаревич Ю.Ф. – д.т.н., проф., НТУ;  
Жук Г.В. – д.т.н., с.н.с., ІГНАНУ;  
Івановський В.Г. – д.т.н., проф., ОНМУ;  
Іщенко І.М. – к.т.н., проф., ХДМА;  
Каграманян А.О. – к.т.н., доц., УДУЗТ;  
Клец Д.М. – д.т.н., проф., ХНАДУ;  
Колегаєв М.О. – к.т.н., проф., НУОМА;  
Кухаренок Г.М. – д.т.н., проф., БНТУ;  
Ляшенко Б.А. – д.т.н., проф., ШМ;  
Матейчик В.П. – д.т.н., проф., НТУ;  
Мнацаканов Р.Г. – д.т.н., проф., НАУ;  
Наглюк І.С. – д.т.н., проф., ХНАДУ;  
Подригало М.А. – д.т.н., проф., ХНАДУ;  
Подригало Н.М. – д.т.н., доц., ХНАДУ;  
Посвятенко Е.К. – д.т.н., проф., НТУ;  
Рева О.М. – д.т.н., проф., НАУ;  
Рожков С.О. – д.т.н., проф., ХДМА;  
Саравас В.Є. – к.т.н., доц. ПДТУ;  
Сараєв О.В. – д.т.н., проф., ХНАДУ;  
Сахно В.П. – д.т.н., проф., НТУ;  
Селіванов С.Є. – д.т.н., проф., ХДМА;  
Симоненко Р.В. – к.т.н., доц., ДП  
«ДержавтотрансНДІпроект»;

Тамаргазін О.А. – д.т.н., проф., НАУ;  
Тимошевський Б.Г. – д.т.н., проф., НУК;  
Ткач М.Р. – д.т.н., проф., НУК;  
Тулученко Г.Я. – д.т.н., проф., ХНТУ;  
Шарко О.В. – д.т.н., проф., ХДМА;  
Шостак В.П. – к.т.н., проф., НУК  
Gerlici Juraj – Dr., prof., University of  
Zilina (Словаччина)  
Kuric Ivan – Dr., Ing. prof., University of  
Zilina (Словаччина)  
Lejda Kazimierz – д.т.н., проф., Rzeszow  
University of Technology (Польща);  
Lukasik Zbigniew – д.т.н., проф.,  
University of Technology and Humanities  
in Radom (Польща)  
Matuszak Zbigniew - PhD. Eng., MU Prof.,  
Maritime University of Szczecin (Польща)  
Podprygora Olena – директор науково-  
виробничої компанії «Modern Multi  
Power Systems» s.r.o. (Чехія);  
Saga Milan – Dr., Ing. prof., University of  
Zilina (Словаччина)  
Smieszek Mirosław – д.т.н., проф., Rzeszow  
University of Technology (Польща);  
(Польща);  
Wróblewski Aleksander – д.т.н., проф.,  
University of Warmia and Mazury in  
Olsztyn (Польща).

### Організаційний комітет:

**Голова** – Чернявський Василь Васильович, ректор ХДМА;  
**Заступники голови** – Бень Андрій Павлович, проректор з НІР ХДМА;  
Білоусов Євген Вікторович, декан факультету суднової енергетики;  
Савчук Володимир Петрович, зав. кафедри експлуатації суднових енергетичних  
установок;

**Вчений секретар конференції** – Бабій Михайло Володимирович, доцент кафедри  
експлуатації суднових енергетичних установок;

**Технічний секретар** – Курносенко Дар'я Вікторівна, завідувач лабораторії  
кафедри експлуатації суднових енергетичних установок.

**Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх  
обслуговування. 9-а Міжнародна науково-практична конференція, 13-14 вересня  
2018 р.** – Херсон: Херсонська державна морська академія.

В матеріалах 9-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні  
енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування»  
представлені доповіді, які присвячені проблемам експлуатації, виробництва та  
проекування енергетичних установок та устаткування на транспорті, а також підготовці  
спеціалістів у сфері транспортної енергетики й устаткування.

## ЗМІСТ

<b>СЛОВО ГОЛОВИ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО КОМІТЕТУ КОНФЕРЕНЦІЇ, РЕКТОРА ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ ЧЕРНЯВСЬКОГО ВАСИЛЯ ВАСИЛЬОВИЧА.....</b>	<b>9</b>
<b>СЕКЦІЯ 1. ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК.....</b>	<b>10</b>
<b>Shmelov Y. M., Vladov S. I., Kryshan O. F., Nosach I. V. STRUCTURE OF THE EXPERT SYSTEM OF IDENTIFICATION, CONTROL AND DIAGNOSTICS OF AIRCRAFT ENGINE TV3-117 ON THE BASIS OF THE SEMIOTIC POTENTIAL MODEL.....</b>	<b>11</b>
<b>Булгаков М.П., Зінченко Д.О., Коротій В.О. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ ДИЗЕЛІВ.....</b>	<b>14</b>
<b>Вербовський В.С., Dalibor Barta, Podprygora Olena, Matuszak Zbigniew, Вольська О.М. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДПУСКОВОЇ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВИГУНА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ ПРОГРІВУ З ФАЗОПЕРЕХІДНИМИ ТЕПЛОВИМИ АКУМУЛЯТОРАМИ.....</b>	<b>17</b>
<b>Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В. ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ І ПРОЦЕСІВ ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В ІПК «IDENMONDIAOPERCON «HNADU-16»».....</b>	<b>23</b>
<b>Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В. ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....</b>	<b>28</b>
<b>Головань А.И., Сторчак О.О. УЛУЧШЕНИЕ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИКИ ВРАЩАЮЩИХСЯ УЗЛОВ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА.....</b>	<b>32</b>
<b>Горобченко А.Н., Гатченко В.А. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТА.....</b>	<b>34</b>
<b>Грицук А.І., Грицук В.Ю., Ченцов А.В., Матейчик П.В., Краснокутська З.І. ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ.....</b>	<b>37</b>
<b>Грицук І.В., Курносенко Д.В., Манжелей В.С., Володарець М.В. ДО ПИТАННЯ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК.....</b>	<b>40</b>
<b>Грицук І.В., Матейчик В.П., Smieszek Mirosław, Saga Milan, Kuric Ivan, Симоненко Р.В. ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ДАНИХ ПРО ПАРАМЕТРИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ І DID ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРИ ВИКОНАННІ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ І ДІАГНОСТУВАННЯ.....</b>	<b>42</b>
<b>Дощенко Г.Г., Наговський Д.А. МІКРОКОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ КРАНОМ МАРКИ MASGREGOR.....</b>	<b>47</b>
<b>Егоров О.И., Ивин П.В., Трошин Е.А. АНАЛИЗ ОШИБОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖОСЕВЫХ РАССТОЯНИЙ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ НА ТРЕХТОЧЕЧНОМ КОНТРОЛЬНОМ УЧАСТКЕ.....</b>	<b>51</b>
<b>Зенкін Є.Ю. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПРЕС ДІАГНОСТУВАННЯ ДАТЧИКІВ МАСОВОЇ ВИТРАТИ ПОВІТРЯ.....</b>	<b>52</b>

<b>Колесник Д.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ СУДОВОЙ ПРОПУЛЬСИВНОЙ УСТАНОВКИ С ВИНТОРУЛЕВЫМИ КОЛОНКАМИ.....</b>	<b>56</b>
<b>Кривошапов С.И. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ.....</b>	<b>57</b>
<b>Литвин С.Н. ПРИЧИНЫ ВЫХОДА СО СТРОЯ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ АВАРИЙНЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ.....</b>	<b>61</b>
<b>Мармут І.А. ОСОБЛИВОСТІ СТЕНДОВОЇ ПЕРЕВІРКИ ТЯГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ З ПОВНИМ ПРИВОДОМ.....</b>	<b>62</b>
<b>Муха Н.И., Шестака А.И., Дранкова А.О. ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПЛК-УПРАВЛЕНИЕМ.....</b>	<b>68</b>
<b>Наглюк М.И., Мякота Д.Ю. ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В АВТОМОБИЛЕ.....</b>	<b>71</b>
<b>Наговський Д.А., Дощенко Г.Г. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАТЧИКІВ ГАЗІВ У ВАНТАЖНИХ ПОРОЖНИНАХ НА ТАНКЕРАХ.....</b>	<b>73</b>
<b>Павленко В.М., Калашніков Є.В., Свіріна Ю.Ю. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИ ВИКОНАННІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ.....</b>	<b>76</b>
<b>Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А. ПРИВОД РУШІВ АВТОМОБІЛІВ ПІДВИЩЕНОЇ ПРОХІДНОСТІ.....</b>	<b>79</b>
<b>Погорлецкий Д.С., Грицук И.В., Булгаков Н.П., Володарец Н.В., Белай А.В. ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕОБОРУДОВАННЫМ НА ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО.....</b>	<b>83</b>
<b>Поляков В.А., Хачапуридзе Н.М. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ РЕЖИМЫ – ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЛИМИТЕРЫ ДИНАМИКИ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА.....</b>	<b>86</b>
<b>Рябушенко О.В., Наглюк І.С. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ НА ПОКАЗНИКИ РУХУ АВТОМОБІЛЯ В УМОВАХ ВЕЛИКОГО МІСТА.....</b>	<b>92</b>
<b>Саравас В.С. АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>97</b>
<b>Худяков І.В., Володарець М.В., Симоненко Р.В. АДАПТАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ РОБОТИ У СИСТЕМІ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ.....</b>	<b>99</b>
<b>Шльончак І.А., Тарандушка Л.А., Солтус А.П. ЗАСТОСУВАННЯ БІОГАЗУ В ДИЗЕЛЯХ В УМОВАХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ.....</b>	<b>104</b>
<b>СЕКЦІЯ 2. ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ЇХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ.....</b>	<b>106</b>
<b>Gerlici J., Горбунов Н.И., Кравченко Е.А., Lack T., Hauser V. ПРОБЛЕМА ЭКОНОМИИ РЕСУРСОВ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА.....</b>	<b>107</b>
<b>Бабій М.В., Скрипка Г.Л. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК.....</b>	<b>111</b>
<b>Будашко В.В., Шевченко В.А., Агапцев Д.А. ІДЕНТИФІКАЦІЙНЕ МАРКУВАННЯ ДЕГРАДАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ НА ЛІНІЇ ГРЕБНИХ ГВИНТІВ.....</b>	<b>112</b>

<b>Горбов В.М., Личко Б.М., Мітєнкова В.С. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ЗРІДЖЕНОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ТАНКЕРАХ.....</b>	118
<b>Gritsuk Igor. CREATING THE SCHEME OF THE ICE AND VEHICLE COMBINED HEATING SYSTEM AND ITS OPERATING PRINCIPLE.....</b>	124
<b>Дранкова А.О., Міхайков С.С., Красовський І.І. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ПАСИВНИХ ФІЛЬТРІВ С-ТИПУ.....</b>	130
<b>Жук Д.О., Криворучко Д.В., Жук О.К., Осадченко Ю.В. КЕРУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНИМ ГІБРИДНИМ ФІЛЬТРОКОМПЕНСУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ....</b>	136
<b>Коробко В.В. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕУ З ДОПОМОГОЮ ТЕРМОАКУСТИЧНИХ СИСТЕМ.....</b>	141
<b>Куропятник А.А. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ВЫПУСКНЫХ ГАЗОВ.....</b>	145
<b>Матвєєв В.В. ОПТИМІЗАЦІЯ ВАРТОСТІ ЗА РАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ ПАЛИВА ДЛЯ МЕ-GI (GAS INJECTION) ДВИГУНІВ НА БОРТУ LNG ПЕРЕВІЗНИКАХ.....</b>	150
<b>Молчан А.В. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ В ВІТРОГЕНЕРАТОРАХ З РЕГУЛЬОВАНОЮ ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ.....</b>	155
<b>Настасенко В.О., Шефкед С.І., Москаленко В.В., Гуртовой В.І. АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА І ОЦІНКА ЇЇ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ.....</b>	157
<b>Пелевін Л.Є., Горбатюк Є.В., Терентьєв О.О. АНАЛІЗ ТА МЕТОДИКА ВИБОРУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ АГРЕГАТІВ ДЛЯ РОЗПУШУВАННЯ ҐРУНТУ.....</b>	161
<b>Погорлецкий Д.С. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ТЕПЛОЙ ПОДГОТОВКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ РАБОТАЮЩИХ НА СЖИЖЕННОМ ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ.....</b>	166
<b>Подригало М.А., Клец Д.М., Кайдалов Р.О., Кудимов С.А. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЛНОПРИВОДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕДУЩИХ КОЛЕС.....</b>	170
<b>Скалыга Н. Н., Рудинец Н.В., Вербовский В.С. К ВОПРОСУ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СЖИГАЮЩИХ УСТРОЙСТВ КАК ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ.....</b>	175
<b>Смирнов О.П., Борисенко А.О., Марченко А.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ NISSAN LEAF..</b>	179
<b>Соловьєв А.А., Житаренко В.М. ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОДУВКИ В СУДОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ.....</b>	184
<b>Трифонов Д.М. АНАЛІЗ НАПРЯМІВ РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛОЇ ЕНЕРГІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ.....</b>	190
<b>Чабан В.А., Безкровный В.А., Камаев О.Ю. ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ.....</b>	196
<b>Чередниченко А.К. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИЕЙ СБРОСНОГО ТЕПЛА.....</b>	199

<b>СЕКЦІЯ 3. КОНСТРУКЦІЯ ТА РОБОЧІ ПРОЦЕСИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК</b> .....	201
<b>Varbanets R.A., Yeryganov O.V., Shumilo O.M., Loginov O.M., Kyrnats V.I., Maulevych V.O. MARINE DIESEL ENGINES VIBRATION DIAGNOSTICS METHODS</b> .....	202
<b>Авраменко Н.Н., Растегина Г.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ CROSS CURRENT</b> .....	203
<b>Белоусов Е.В., Грицук И.В., Варбанец Р.А., Вербовский В.С. ОРГАНИЗАЦИИ ВНУТРЕННЕГО СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В СУДОВЫХ МАЛОБОРОТНЫХ ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ ГАЗО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ</b> .....	208
<b>Горобець В.Г., Богдан Ю.О., Троханяк В.І., Антипов Є.О., Масюк М.Ю. ВИМІРЮВАННЯ ПОЛІВ ШВИДКОСТІ І ТИСКУ ПОТОКУ ПОВІТРЯ У РОБОЧІЙ ДІЛЯНЦІ РОЗІМКНЕНОЇ АЕРОДИНАМІЧНОЇ ТРУБИ ДОЗВУКОВИХ ШВИДКОСТЕЙ</b> .....	214
<b>Камишин В.В., Рева О.М., Шульгін В.А. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДІЯЛЬНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ОПЕРАТОРА «ПЕРЕДНЬОГО КРАЮ»</b> .....	218
<b>Ломакін В.О., Ільченко А.В., Кравченко О.П. ЗМЕНШЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ОБЕРТАННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ</b> .....	222
<b>Мазін В.О., Сухонос Р.Ф. ДВИГУНИ SCV STIRLING: ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ</b> .....	225
<b>Рыбалко Р.И., Гушин О.В. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АЭРОСМЕСИ НА ВЕРТИКАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ТРАНСПОРТНОГО ТРУБОПРОВОДА</b> .....	230
<b>Тарасов С.В., Редчиц Д.А., Моисеенко С.В., Тарасов А.С. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ И АЭРОДИНАМИКИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК</b> .....	233
<b>СЕКЦІЯ 4. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ, ВИРОБНИЦТВА ТА РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ЇХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ</b> .....	239
<b>Shchedrolosiev O.V., Uzlov O.M., Konovalova H.V., Kyrychenko K.V. MODERN ICE-RETAINING DEVICES FOR THE MAINTENANCE OF COMFORTABLE WORKING CONDITIONS IN FLOATING DOCKS</b> .....	240
<b>Zinchenko D.A., Bulgakov N.P. NANOMODIFIED EPOXYCOMPOSITE MATERIALS FOR METAL-POLYMERIC TRIBOSYSTEMS OF TRANSPORT VEHICLES</b> .....	244
<b>Агєєв М.С. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ АЗОТУВАННЯ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ПОКРИТТІВ ІЗ НАПЕРЕД ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ</b> .....	247
<b>Воробйов П.О., Носов П.С. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ЗВОРотної ДЕФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ СУДНА</b> .....	251
<b>Врублевский Р.Е. СОЗДАНИЕ АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ</b> .....	256
<b>Горбов В.М., Соломонюк Д.М. ВПЛИВ НА МАСОВІ ПОКАЗНИКИ РЕГЕНЕРАТИВНОЇ ГТУ УМОВ ЇЇ РОЗМІЩЕННЯ У МАШИННОМУ ВІДДІЛЕНІ</b>	258

<b>Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Володарець М.В., Курносенко Д.В.</b> СТРУКТУРА І ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МОТОРНОЇ УСТАНОВКИ З ЗАСОБАМИ МОНІТОРИНГУ НА БАЗІ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ, ОБЛАДНАНОГО ГАЗОБАЛОННОЮ СИСТЕМОЮ ЖИВЛЕННЯ, В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБАМИ ITS.....	260
<b>Захарчук В.І., Ярошук І.О., Поручник І.М.</b> ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ ДИЗЕЛІВ У ГАЗОВІ ДВИГУНИ.....	264
<b>Кампов Ю.О., Саравас В.Є.</b> ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ ЯК ІНСТРУМЕНТ АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК.....	266
<b>Ковальов С.О.</b> УНІВЕРСАЛЬНА ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ГАЗОВИМИ ДВЗ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ, КОНВЕРТОВАНИМИ НА БАЗІ ДИЗЕЛІВ ДЛЯ РОБОТИ НА ЗРІДЖЕНОМУ НАФТОВОМУ ГАЗІ.....	268
<b>Кукалець Л.М.</b> ПРО ОНОВЛЕННЯ КРУЅНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ФЛОТУ ЗМІШАНОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ПЛАВАННЯ.....	274
<b>Кухтов В.Г., Калінін Є.І.</b> ЗАСТОСУВАННЯ ЧИСЕЛЬНОГО МЕТОДУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ПІДВІСОК ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	280
<b>Литвин С.Н.</b> МОДЕРНИЗАЦІЯ ГАЗОВИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ГД100.....	286
<b>Марченко А.П., Кравченко С.А., Ткачук Н.А. Линьков О.Ю.</b> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПАРЫ «КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ-ВКЛАДЫШ» .....	288
<b>Рокицький М.О., Шут М.І., Рокицька Г.В., Шут А.М.</b> УЛЬТРАЗВУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ НАНОКОМПОЗИТИВ СИСТЕМИ ПЕНТАПЛАСТ – ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ.....	292
<b>Рудь М.П., Солтус А.П.</b> АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА В АВТОМОБІЛЬНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	293
<b>Савчук В.П., Белоусов Е.В., Кухтов В.Г., Симагин А.Ф.</b> КОМБІНИРОВАННИЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	296
<b>Савчук В.П., Грицук І.В., Сімагін А.Ф., Зінченко Д.О.</b> ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ МАСЛЯНОГО ШАРУ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ.....	301
<b>Самарін О. Є., Білоусов Є.В., Савчук В.П.</b> ЗМЕНШЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ КРЕЙЦКОПФНОГО ДВИГУНА.....	306
<b>Самарін О. Є., Білоусов Є.В., Савчук В.П.</b> ЗБІЛЬШЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ ПОРШНЯ КРЕЙЦКОПФНОГО ДИЗЕЛЯ.....	309
<b>Сахно В.П., Поляков В.М., Омельницький О.Є.</b> ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТРОБУСІВ В УКРАЇНІ.....	313
<b>Соболь О.В.</b> ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ВИБРАЦИЙ НА ПРЕДКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫЕ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .....	319
<b>Хлопенко І.Н., Рожков С.А.</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБАСТНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.....	324
<b>СЕКЦІЯ 5. ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ.....</b>	326
<b>Білоусова Т.П., Тітаренко Ю.В., Тулущенко Г.Я.</b> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ГАЛЬОРКІНА ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ.....	327
<b>Богдан Ю.О., Манжелей В.С., Сатулов А.І., Худяков І.В.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ГВИНТОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВОГО ГОЛОВНОГО МАЛООБЕРТОВОГО ДИЗЕЛЯ НА ТРЕНАЖЕРІ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ TRANSAS ERS 5000 TECHSIM.....	329

<b>Зайцева Т.В.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ РЕШЕНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ.....	335
<b>Землянский А.В., Сало Н.А.</b> МЕТОД МОДУЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ УПРАЖНЕНИЙ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ АВИАДИСПЕТЧЕРОВ.....	339
<b>Знамеровська Н.П., Васильченко Г.Ю., Татарінцева Ю.Г.</b> ПРОБЛЕМИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТНІСТНОГО ПІДХОДУ ПРИ ВИВЧЕННІ ЗАГАЛЬНОІНЖЕНЕРНИХ ДИСЦИПЛІН.....	342
<b>Каштальян П.В., Тернова Т.І., Рожков С.О.</b> ДИНАМІЧНА ГЕНЕРАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ СУДЕН-ЦІЛЕЙ В ТРЕНАЖЕРНИХ КОМПЛЕКСАХ СУДНОВОДІННЯ.....	347
<b>Кравцова Л.В., Каминская Н.Г.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРАКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ В ХЕРСОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ МОРСКОЙ АКАДЕМИИ...	351
<b>Кравцова Л.В., Пуляєва Г.В.</b> ПРОБЛЕМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ» ДЛЯ ІНОЗЕМНИХ КУРСАНТІВ В ХДМА.....	355
<b>Настасенко В.А., Проценко В.А., Бабий М.В.</b> СИСТЕМНЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ИХ АНАЛИЗ.....	360
<b>Носова Г.В., Свириденко О.В., Носов П.С.</b> ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ МОДЕЛІ ШАТУНА ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ.....	363
<b>Терещенкова О.В., Стрелковская Л.А.</b> РАЗВИТИЕ БАЗОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	368
<b>Філіппова Н.М., Мітєнкова В.С.</b> ФОРМУВАННЯ ПАСПОРТУ ТЕРМІНОСИСТЕМИ «ПРОПУЛЬСИВНІ УСТАНОВКИ» З ВИКОРИСТАННЯМ ЛІНГВОКОГНІТИВНОГО ПІДХОДУ.....	370



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

### Шановні учасники конференції!



Командування, професорсько-викладацький склад та курсанти Херсонської державної морської академії мають за честь прийняти Вас у стінах найстарішого морського навчального закладу України на 9-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». Актуальними питаннями сьогодення є підвищення ефективності та безпеки перевезень, впровадження нових технологій ресурсозбереження, екологічної безпеки та методів підвищення надійності засобів транспорту. Вирішення таких питань можливе тільки в умовах тісної співпраці наукових організацій, навчальних закладів та, безпосередньо, виробництва. На

сьогоднішній день наукові досягнення у транспортній галузі, в напрямках автоматизації процесів керування і проектування, застосування новітніх технологій в сфері експлуатації зумовлюють розробку та впровадження нової якісної системи навчання. Особливі вимоги ставлять судноплавні компанії до спеціалістів морського транспорту.

У ХДМА впроваджено компетентнісний підхід у навчально-виховний процес майбутніх фахівців морської галузі. Для реалізації компетентнісного підходу, який спрямовано на надбання професійних навичок відповідно до вимог конвенції ПДМНВ, використовується сучасна тренажерна база. Об'єднання практичного досвіду судових механіків та науково-методичного потенціалу професорсько-викладацького складу надає можливості максимально якісно здійснювати освітні послуги та підвищувати конкурентоспроможність майбутніх фахівців морської галузі на сучасному ринку праці.

Проведення щорічної Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» висвітлює основні наукові досягнення з найактуальніших питань транспортної галузі, об'єднує зусилля провідних науковців і практиків з метою покращення якості освіти в Україні.

### Dear Conference Participants!

Kherson State Maritime Academy command, teaching staff and cadets are greatly honored to welcome you in the oldest maritime educational institution of Ukraine to the 9th International scientific-practical conference "Modern Power Plants in Transport, Technology and Equipment for Their Service". Nowadays issues are increasing the efficiency and safety of transportation, the introduction of new technologies of resource conservation, environmental safety and methods for improving the reliability of transport. The solution of such issues is possible only in the conditions of close cooperation of scientific organizations, educational establishments and, directly, production. To date, scientific achievements in the transport industry, in the areas of automation of the processes of management and design, application of the latest technologies in the field of operation, predetermine the development and implementation of a new quality education system. Special requirements are stand by shipping companies to specialists in maritime transport.

In the Maritime Academy, a competent approach to the educational process of future specialists in the maritime industry has been introduced. To implement a competency approach aimed at gaining professional skills in accordance with the requirements of the STCW Convention, a modern training base is used. Combining the practical experience of ship mechanics and the scientific and methodological potential of the teaching staff provides the opportunity to carry out the educational services as high as possible and increase the competitiveness of future specialists in the maritime industry in the modern labor market.

The holding of the annual International scientific and practical conference "Modern energy installations on transport, technologies and equipment for their service" highlights the main scientific achievements on the most urgent issues of the transport industry, combines the efforts of leading scientists and practitioners with the aim of improving the quality of education in Ukraine.

**Секція 1**

**ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА  
ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

## **STRUCTURE OF THE EXPERT SYSTEM OF IDENTIFICATION, CONTROL AND DIAGNOSTICS OF AIRCRAFT ENGINE TV3-117 ON THE BASIS OF THE SEMIOTIC POTENTIAL MODEL**

Shmelov Y. M., Vladov S. I., Kryshan O. F., Nosach I. V.  
Kremenchug Flight College of National Aviation University (Ukraine)

**Introduction.** The current trends in the field of aircraft engine building indicate a transition to a methodology for the safe operation of aircraft engines on a technical condition. The essence of the methodology for safe operation in terms of technical condition is the maximum utilization of the availability reserves of the design and components of each engine instance on the basis of the necessary monitoring and diagnostics of its technical condition during operation.

When using the methodology of safe operation of aircraft engines on a technical condition, one of the main problems is the development and implementation of effective diagnostics that allow timely detection of defects that occur on the main details when their resources are depleted [1]. Given the importance of reliable operation of the engine to ensure the safety of the aircraft's flight, the existing airworthiness requirements require a large number of different checks during both stand-by and flight tests. Thus in engines there are details and knots in relation to which diagnostics in full are inapplicable. In particular, this applies to blades and disks of compressors and turbines, as well as fuel collectors, the destruction of which leads to severe consequences, including the destruction of the engine and aircraft. To avoid such consequences, when evaluating engine life, strength calculations are used, which make it possible to identify the most damaged parts and the most damaging operating modes.

However, in order for such calculations to be objective and effective, it is necessary to have the full range of characteristics of cyclic deformation of materials, the characteristics of cyclic creep, cyclic plasticity, cyclic strength characteristics taking into account the joint action of vibrational stresses, and also the presence of a full volume of characteristics determining the development of cracks to the limit state. At present, such characteristics are not fully available, which significantly reduces the effectiveness of calculation methods. In some cases, the results of laboratory resource or accelerated equivalent-cyclic testing of turbine blades, as well as compressor and turbine disks, are used as such characteristics as they are cyclic loaded with a thermal load with a simultaneous imposition of a vibrational load. But even in laboratory tests, it is not always possible to match the loads on the units to the loads on the engine, since this load is highly dependent on the flight profile that is in operation.

All this leads to the fact that the tests cannot reproduce in full the defects such as cracking from the inside at the input edges of the high-pressure turbine blades, cracks in the fillets of titanium discs of a low-pressure turbocharger, cracks in the welded housings of the combustion chamber, cracks in the afterburner manifolds etc.

**Problem statement.** The expert information that is formed as a result of an intuitive-logical analysis of the initial data with the help of an appropriate mathematical apparatus by a group of experts can serve as an effective means of increasing the reliability of the assessment of the technical condition of aircraft engines, which allows us to reveal the objective nature of the technical state parameters of the investigated object and expand on this basis the possibilities in a reliable evaluation of the technical state of the latter.

**Material and results.** The knowledge base occupies a central place in any expert system. In the case of the expert system for assessing the technical state of aircraft engines, the knowledge base forms initial data for carrying out research procedures in the form of a sequence of checks and rules for processing their results for the purpose of diagnosing the state of the object of research. In contrast to the traditional formal model of the knowledge base, which is given by four sets:

$$FM = \langle T, P, A, R \rangle; \quad (1)$$

where  $T = X \times Y \times \Gamma$  – set of basic elements, which includes a set of  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  detailed to a certain level of possible state of the object of research, accessible research procedures  $Y =$

$\{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ , allowing to reduce uncertainty in an estimation of conditions of object and possible results  $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m\}$  the conducted experiments;  $P$  – closed set of syntactic rules, including elementary (atomic) formulas of the form:  $X_0 \in X$ ,  $Y_0 \in Y$ ,  $\Gamma_0 \in \Gamma$ , matching of the form:  $\mathbf{P}_0: (Y_0, \Gamma_0) \rightarrow X_0$ , quantifiers  $\exists, \forall$ , predicate signs and brackets, fuzzy logical formulas  $\&, \vee, \rightarrow$  ("If, then"), etc., with the help of which syntactically correct expressions are constructed from the elements of  $T$ ;  $A$  – set of syntactically correct expressions, the elements of which are called axioms;  $R$  – closed set of semantic rules (inference rules) that includes fuzzy rules of inference – translational, modifications and compositions, as well as a set of fuzzy multi-place predicates that use semantically correct expressions (derived expressions) from a set of axioms, generating model of the following form [2]:

$$FM = \langle T, P, A, R, Q(T), Q(P), Q(A), Q(R) \rangle; \quad (2)$$

where the first four components are the same as in the record of the formal model (1), and the remaining components are procedures for changing the first four components under the influence of experience accumulated in the knowledge base of the expert system on the functioning and technical state of the aircraft engine under study.

When using the semiotic generating model (2), the knowledge base will contain not only a fixed set of axioms and rules, but also a set of special procedures that are activated as necessary to modify the rules for assessing the technical state. The procedures define the sequence of actions to be performed in emerging situations. Thus it is not required to describe all possible conditions of the object of research for its diagnostics. It is sufficient to use the initial data and procedures that generate the necessary descriptions of the situations and the required actions. The main advantage of the semiotic model of knowledge representation lies in a more effective withdrawal mechanism by introducing additional knowledge about the application of procedures, that is, knowledge of how to use the accumulated knowledge to solve a specific problem. Such a structural organization of the knowledge base is particularly effective in the conditions of incompleteness of knowledge, when there is no possibility of rigorous proof of the validity of individual facts, since the latter are hypothetically recognized as true, provided that the rules for deducing the knowledge base do not allow to prove the contrary.

Intellectual analysis of problem situations arising in the assessment of technical condition is based on the system of internal representations and knowledge of specialists performing such an analysis. All this causes possible mistakes in determining the causes and consequences with respect to the situation under study, since internal representations include a set of beliefs, perceptions, values and practical attitudes of the relevant specialist with which he is guided in his activities and influences the process of resolving the problem situation. At the same time, the absence of a single conceptual system for participants in the process of assessing the situation leads to the fact that their ideas about the causes and possible ways of changing the situation turn out to be blurred, unclear and contradictory. Thus, the formalization of fuzzy representations becomes one of the main tasks that must be addressed when developing models and decision-making methods in weakly structured situations. One of the new directions in the modern theory of support and decision-making lies in cognitive modeling in the study of weakly structured systems and situations [3, 4]. The cognitive approach to the modeling and management of weakly structured systems is aimed at developing formal models and methods that support the intellectual problem-solving process by taking into account in these models and methods of cognitive possibilities (perception, representation, cognition, understanding, explanation) of management subjects in solving managerial tasks. Analysis of the cognitive model makes it possible to identify the structure of the procedure for assessing the situation by individual experts, to find the most significant factors affecting its effectiveness, to compare the impact of factors on the attainability of evaluation objectives, and to develop scenarios, management strategies for expert procedures, and formulate appropriate management decisions.

In this paper, we propose a set of cognitive models that make it possible to structure the knowledge of experts expressed in fuzzy categories and develop on this basis rules for coordinating the opinions of a group of experts with a view to preparing sound assessments of the technical state of the objects under study.

The proposed cognitive model is based on a collective causal cognitive map describing the influence, causality and system dynamics of symptom factors and factors-causes of the problem situation, as well as active subjects that influence the development of the situation. Such a cognitive model allows for a dynamic analysis of the problem situation, which underlies the generation of possible scenarios of expert assessment of technical condition. Taking into account the comments made, the analytical description of the cognitive model of the expert system will have the following form:

$$M_{\text{эс}} = K_{\kappa} \left\langle (\mathbf{X}, G, f); AS(Y, \Gamma); C(\Omega_Y, \Omega_{\mathfrak{R}_Y}, X^{\text{int}}, X^{\text{ext}}) \right\rangle; \quad (3)$$

where  $K_{\kappa}(\mathbf{X}, G, f)$  – cognitive map, given in the form of a weighted oriented graph, in which a set of vertices  $X = X_c \cup X_{np}$  is a combination of factors-symptoms and factors-causes that determine the possible conditions of the object of research, while these factors are divided into internal  $X^{\text{int}} = X_c^{\text{int}} \cup X_{np}^{\text{int}}$ , including a set of characteristics that allow to describe the current state of the problem situation, and external  $X^{\text{ext}} = X_c^{\text{ext}} \cup X_{np}^{\text{ext}}$ , including a set of conditions external to the problem situation that directly affect its condition; the set of arcs  $G$  reflects the cause-effect relationships between the factors and their influence on each other, while the weights on the arcs can take as numerical values, the sign of which determines the desired direction of influence, and the absolute value of the weight – the force of influence, and the values of the fuzzy predicates  $G_p$ , since they correspond to the highest degree to qualitative analysis, on which cognitive models are oriented; the function  $f$  determines the rules for changing the weights of arcs under the influence of experience accumulating in the knowledge base of the expert system on the structure of the conceptual framework within which the primary conceptual structuring of expert knowledge is carried out.

Further, the set of the model (3) includes the set  $AS(Y, \Gamma)$  of active subjects that have the ability to influence factors in one way or another, each active subject being specified on the set of the available research procedures mentioned above and the set of possible results of the conducted experiments. Another fundamental element of the cognitive model is the target image  $C(\Omega_Y, \Omega_{\mathfrak{R}_Y}, X^{\text{int}}, X^{\text{ext}})$  a problem situation that determines the desirable directions for changing the situation from the position of the person making the decision. The target image combines formalized characteristics that determine the purpose of the study and are dependent on the information available  $\Omega_Y$  about possible ways of conducting research and information  $\Omega_{\mathfrak{R}_Y}$  about existing preferences  $\mathfrak{R}_Y$  when choosing a particular research strategy, as well as from a variety of internal and external factors.

**Conclusions.** The developed model serves as a basis for the conceptual structuring of the knowledge of a diverse team of experts and the formation of a single conceptual system for all participants in the process of assessing the technical state of the aircraft engine TV3-117.

#### REFERENCES

1. V. Efanov and N. Ivanova, “Intelligent tools to evaluate the technical condition of complex information and management systems”, Information technologies of modeling and management, no. 9 (52), 2008. pp. 1078–1086.
2. V. Gelovani A. Bashlykov, V. Britkov and V. Vyazilov, “Intelligent decision support system in emergency situations with the use of information about the state of the environment”, Moscow: Editorial URSS, 2001, 304 p.
3. V. Efanov, S. Zhernakov and N. Ivanova “Expert system assessing the state of complex technical objects”, Control Systems and information technology, no. 3(53), 2013, pp. 4–10.
4. Z. Avdeeva and S. Kovriga “Heuristic method of conceptual knowledge in structuring the formalization of semistructured situations on the basis of cognitive maps”, Managing large systems. no. 31, 2010, pp. 6–34.

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ ДИЗЕЛІВ**

<sup>1</sup>Булгаков М.П., <sup>1</sup>Зінченко Д.О., <sup>2</sup>Коротій В.О.

<sup>1</sup>Херсонська державна морська академія (Україна)

<sup>2</sup>Харківський державний автотранспортний коледж (Україна)

**Вступ.** Технічний стан морського транспорту характеризується кількістю великою несправностей і відмов устаткування різних систем і вузлів суден. Найбільша кількість відмов припадає на дизель. З аналізу технічного стану суден видно, що кількість відмов і несправностей, пов'язаних з ушкодженням дизеля, становить близько 35%.

Відмови й несправності суднових енергетичних установок можуть бути з вини персоналу, що займається експлуатацією, з вини ремонтного персоналу або з вини ремонтних заводів і заводів-виготовлювачів. Таке положення складається через недостатні навички й уміння персоналу, що обслуговує судно, через відсутність сучасного ремонтного й діагностичного встаткування.

**Актуальність досліджень.** В експлуатації перебувають дизелі з несправностями, які можна віднести до «схованих» відмов, що приводять до збільшення витрати палива, зниження номінальної потужності, нерівномірному розподілу потужності по окремих циліндрах. Зазвичай це пов'язано з порушенням регулювання паливної апаратури, утвором коксу в соплових отворах розпилювачів, погіршенням технічного стану турбокомпресора, зношуванням циліндропоршневої групи й механізму газорозподілу.

Аналіз деяких опублікованих робіт показує, що в 30% обстежених дизелів потужність виявилася заниженою на 15...20%, а нерівномірність навантаження по циліндрах досягала 25...30%. Відмінність навантаження по окремих циліндрах залежить від нерівномірної подачі палива форсунками й нормативного значення кута випередження упорскування палива.

Кожен третій випадок непланового ремонту дизелів пов'язаний з виходом з ладу паливної апаратури (ПА). Експлуатація суден найчастіше характеризується умовами, коли окремі агрегати й двигун у цілому працюють при частковій втраті працездатності без проведення достатніх профілактичних заходів.

Якщо ПА перебуває в справному стані, але кут випередження упорскування палива встановлений невірним (наприклад, 20° замість нормативного 28°), протікання робочого процесу буде порушено, що буде видно через збільшенні витрати палива й димності відпрацьованих газів.

**Постановка задачі.** Необхідно проаналізувати різні методи діагностування паливної апаратури та дати висновок щодо їхнього використання.

**Результати досліджень.** Робота двигуна внутрішнього згоряння, його механізмів і систем супроводжується *вібрацією*. Між рівнем вібрації й технічним станом об'єкта існує взаємозв'язок. По мірі зношування деталей механізмів збільшуються зазори в сполучених парах і підвищується кінетична енергія ударних впливів.

Ударні впливи підвищуються зі збільшенням ходу голки розпилювача форсунки в процесі експлуатації. У цьому випадку визначають коефіцієнт амплітуди, який дорівнює відношенню максимального значення сигналу до його середнього значення. Середнє значення сигналу визначається для початкового значення максимального ходу голки згідно з технічними даними заводу-виготовлювача. Якщо коефіцієнт амплітуди більш 1,5, то розпилювач потребує заміни. Наприклад, у нового розпилювача максимальний хід голки 0,5 мм, у процесі експлуатації він збільшився до значення 0,8 мм. У цьому випадку потрібна заміна розпилювача.

Фазові характеристики сигналу від вібрації застосовують для визначення часу виникнення подій які супроводжуються ударними впливами в механізмах. Наприклад, при роботі дизеля ударами супроводжується робота клапанів механізму газорозподілу, насоса

високого тиску, форсунки при русі голки розпилювача.

Діагностування технічного стану форсунки по параметрах вібрації може бути виконане порівнянням еталонної вібродіаграми з фактичною. Маючи набір осцилограм із задалегідь відомими несправностями, порівняльним способом можна визначити вид ушкодження.

*Спосіб діагностування паливної апаратури за зміною температури деталей.* У процесі роботи двигуна внутрішнього згоряння хімічна енергія палива перетворюється в теплову енергію. У камері згоряння температура досягає понад 2 000 С. Усі деталі й вузли двигуна нагріваються. На заданому встановленому режимі роботи двигуна температура його деталей досягає певного постійного значення. При справному стані всіх механізмів і систем двигуна температурне поле поверхонь двигуна досягає певного припустимого значення. Технічний стан дизель-генераторної установки залежить від зміни температури її вузлів.

У роботі [1] досліджувався вплив технічного стану форсунок ПА від зміни температури поверхні нагнітального трубопроводу. Відомо, що в процесі подачі палива трубопровід, що з'єднує насос високого тиску з форсункою, нагрівається. Температура нагріву залежить від тертя палива про стінки трубопроводу. Величина тертя залежить від шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу, тиску, швидкості руху й в'язкості палива. Тертя у вигляді теплоти розсіюється в навколишньому просторі.

Для проведення безконтактного теплового контролю використовувалися пірометр Raytek Minitemp, портативний комп'ютерний термограф (тепловізор) ІРТІС 2000, що складається з приймальної камери, комп'ютера типу NOTERBOOK і спеціального програмного забезпечення.

При роботі двигуна 6ЧН 16/22,5 на режимі малих навантажень з потужністю 22,7 кВт при 450 хв<sup>-1</sup> для всіх шести циліндрів визначалися тиск у кінці стиснення, максимальний тиск згоряння і температура поверхні нагнітального трубопроводу. Потім у двигуні була проведена заміна місцями (перевстановлення) форсунок. На циліндри 1, 2, 3 були встановлені форсунки 4, 5, 6 циліндрів, а на 4, 5, 6 – 1, 2, 3. Тиск у кінці стиснення практично залишився на колишньому рівні, тому вплив зносу циліндра і поршневих кілець було виключено. Дослідження показало, що підвищення в першому циліндрі тиску згоряння палива з 2,6 до 5,2 МПа (збільшена циклова подача палива) сприяло зростанню температури поверхні нагнітального трубопроводу з 33 до 42°. Температура змінилася й в інших нагнітальних трубопроводах [1].

Аналіз результатів дослідження показав, що по зміні температури поверхні трубопроводу можна визначити технічний стан форсунок. Якщо для відомих несправностей паливної апаратури (знос плунжерної пари, утворення коксу в розпилювачі форсунок, втрата рухомості голки, зниження тиску відкриття голки) визначити зміну температури поверхні нагнітального трубопроводу, це дозволить проводити діагностування зі зміни температури, визначати вид несправності.

Недоліками даного способу є складність проведення контролю технічного стану ПА і вплив температури інших деталей двигуна на зміну температури поверхні нагнітального трубопроводу.

*Аналіз несправностей форсунок дизельних двигунів по зміні ходу голки розпилювача форсунок.* На режимах холостого ходу або малих навантажень спостерігається погіршення процесу згоряння через неякісне розпилювання палива [2].

На діаграмі руху (ходу) голки виділені характерні точки й ділянки: 1 – початок підйому голки (початок подачі палива); 1-2 – ділянка підйому голки; 2-3 – ділянка максимального підйому голки; 3-4 – ділянка посадки голки на сідло; 4 – точка закінчення посадки голки. Ці точки на діаграмі ходу голки позначені меншою величиною цифр.

Пропонується наступна послідовність діагностування по аналізі ходу голки розпилювача:

- для паливної апаратури, параметри якої відповідають вимогам заводу-

виготовлювача, на режимі холостого ходу або номінальної потужності фіксується хід голки з поясненням характерних точок і ділянок;

– для можливих несправностей, що зустрічаються в експлуатації (зміна кута випередження подачі палива, тривалості упорскування, швидкості підйому й посадки голки, поява додаткових упорскувань, зависання голки), фіксується форма руху (ходу) голки.

По розташуванню характерних точок на діаграмах тиску палива й ходу голки (по вертикалі й горизонталі) можна визначити технічний стан насоса й форсунки; хід голки, у поточний період експлуатації дизеля, порівнюють із еталонним (контрольним) ходом. Шляхом порівняння еталонної діаграми ходу голки з реальною оцінюється технічний стан ПА й визначається можливий вид несправності.

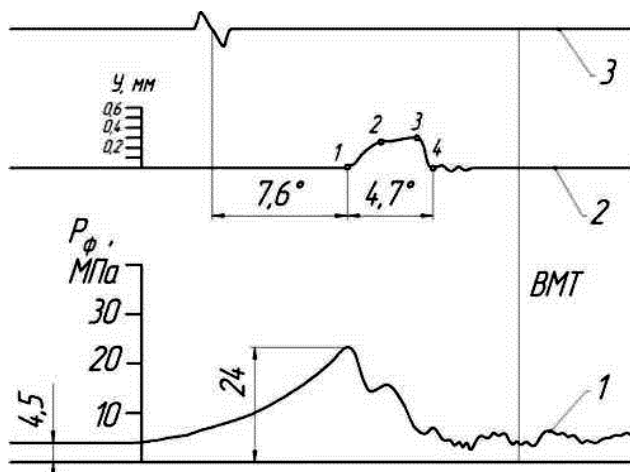


Рисунок 1. Осцилограми тиску в трубопроводі у форсунки (1), руху (ходу) голки розпилювача (2), оцінка геометричного початку подачі палива (3) і ВМТ

**Висновки.** Розглянуті методи діагностування паливної апаратури є досить інформативними та достовірними. Окрім цього вони не потребують коштовного обладнання. Усі методи можуть застосовуватися під час експлуатації суден, але їх використання потребує високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Обозов А.А. Развитие методов и систем технического диагностирования / А.А. Обозов, В.И. Таричко // Двигателестроение. – 2012. – № 4 (250). – С. 30-34.
2. Михайлова Л.Ю. Диагностика форсунки дизеля по анализу хода иглы и утечкам топлива / Л.Ю. Михайлова // Вестник инновационного евразийского университета. – Павлодар, 2011. – № 3 (43). – С. 99-105.
3. Лашко В. А. Диагностика угла опережения впрыска топлива и его влияние на протекание рабочего процесса дизеля / В.А. Лашко, Ю.П. Макушев, Л.Ю. Михайлова // Материалы Межд. науч.-техн. конф. «Двигатели 2013». – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – С. 201 – 213
4. Губертус Гюнтер. Диагностика дизельных двигателей. Серия «Автомеханик»; пер. с нем. Ю.Г. Грудского. – М. : ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. – 176 с



## **ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДПУСКОВОЇ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВИГУНА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ ПРОГРІВУ З ФАЗОПЕРЕХІДНИМИ ТЕПЛОВИМИ АКУМУЛЯТОРАМИ**

<sup>1</sup>Вербовський В.С., <sup>2</sup>Dalibor Barta, <sup>3</sup>Podprygora Olena, <sup>4</sup>Matuszak Zbigniew, <sup>5</sup>Вольська О.М.

<sup>1</sup> Інститут Газу НАН України (Україна)

<sup>2</sup> University of Zilina (Словаччина)

<sup>3</sup> Scientific Production Company «Modern Multi Power Systems» s.r.o. (Чехія)

<sup>4</sup> Maritime University of Szczecin, Польща

<sup>5</sup> ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет» (Україна)

**Вступ.** Енергетичні установки з газовими двигунами стали невід'ємною частиною систем базового, пікового та резервного енергопостачання.

**Актуальність досліджень.** Серед основних проблем ефективної експлуатації газових двигунів електростанцій є забезпечення гарантованого пуску холодного двигуна. Існуючі способи забезпечення теплової підготовки двигунів перед пуском є не досить ефективними, достатньо енерговитратними, такими, що потребують підводу теплової енергії від зовнішніх джерел. Натомість 60-70% енергії палива в газовому двигуні відводиться в навколишнє середовище і не завжди використовується за основними потребами.

**Постановка задачі.** Утилізація невикористаної теплової енергії та її накопичення в теплових акумуляторах для подальшого одночасного прогріву охолоджуючої рідини та моторної оливи перед пуском двигуна системно не досліджено.

### **Результати досліджень.**

Комплексна система передпускового прогріву (КСПП) стаціонарного газового двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14) складається з підсистем (рис. 1): прискореного прогріву (СППД), утилізації теплової енергії ВГ тепловим акумулятором (ТА) фазового переходу (СУТТА), контактного теплового акумулятора (КТА), накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором (НМОТА). КСПП конструктивно входить, як складова частина, до систем охолодження (СОД) і мащення (СМ) газового двигуна та виконує частину їх функцій та здійснює визначальний вплив на протікання робочого процесу газового двигуна [1, 2], а саме забезпечує передпусковий і прискорений післяпусковий прогрів ОР в СОД і МО в СМ газового двигуна до температури, при якій можливо здійснювати навантаження двигуна, а потім до робочої температури та довготерміново підтримує їх у межах, обумовлених робочим процесом та конструкцією двигуна.

Елементи системи передпускового прогріву газового двигуна, а саме СППД, СУТТА і КТА входять в як складові елементи в систему охолодження двигуна, а СППД, СУТТА, КТА і НМОТА - в систему мащення двигуна.

Всі перераховані підсистеми можуть працювати спільно у складі та за алгоритмом роботи КСПП, або окремо одна від одної з виконанням властивих їм функцій [2]. Принцип роботи КСПП в цілому полягає в накопиченні ТА фазового переходу теплової енергії ВГ, яка утворюється при згоранні палива та не використовується на корисну роботу, а викидається в атмосферу з ВГ.

Накопичення теплової енергії в ТА фазового переходу СУТТА стає можливим завдяки встановленню паралельно глушнику в випускному трубопроводі газового двигуна утилізаційного теплообмінника (УТ), який пов'язаний з тепловим акумулятором (ТА) фазового переходу СУТТА трубопроводом, за допомогою якого, завдяки циркуляційному насосу з модульованою подачею і з власною системою керування, відбувається циркуляція теплоносія СУТТА. Теплоносій проходячи через УТ в випускному

трубопроводі розігрівається від теплової енергії ВГ до температури 150...190 (200) °С (в якості теплоносія в процесі досліджень використовувалась гальмівна рідина з температурою кипіння 220 °С). УТ встановлено в байпасі випускного трубопроводу двигуна, паралельно основному трубопроводу. Таке конструктивне рішення прийнято для того, щоб забезпечити можливість відключення його після того, як ТА фазового переходу СУТТА буде повністю заряджений.

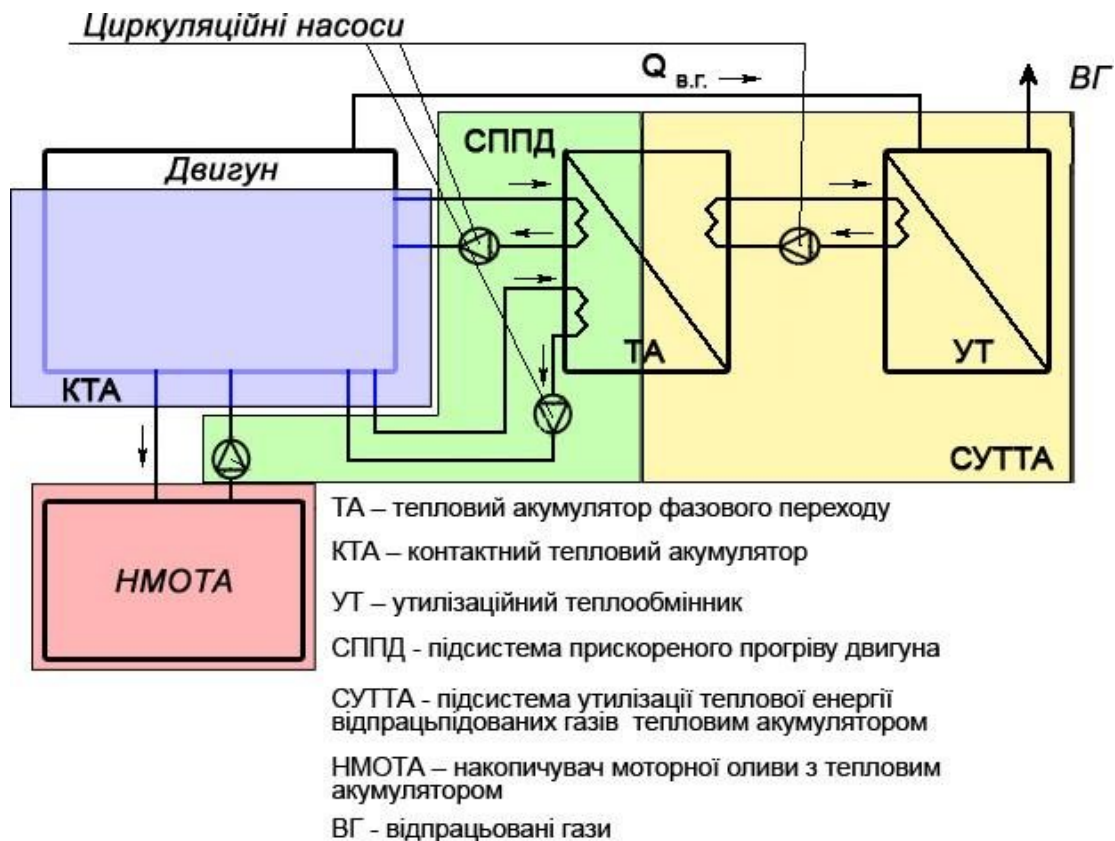


Рисунок 1. Схема експериментальної установки

Теплоносій з УТ потрапляє в ТА фазового переходу СУТТА, який заповнений фазоперехідним теплоакумлюючим матеріалом (ТАМ) і представляє собою теплоізолюваний резервуар з трьома теплообмінниками (для заряджання та розряджання ТА відповідно в СОД і СМ газового двигуна).

Теплоносій в СУТТА, при проходженні від УТ до ТА СУТТА, охолоджується та віддає накопичену теплову енергію ТАМ. В процесі накопичення теплової енергії ТАМ найбільшу ефективність являє собою процес фазового переходу речовини – наповнювача ТА, тобто зміна його агрегатного стану, на яку потрібна велика кількість теплової енергії ВГ. Попередній нагрів ТАМ в ТА, до значень температури фазового переходу, та подальший, після досягнення значень температури фазового переходу, в процесі фізичного накопичення теплової енергії ТАМ, є не таким енергоємним, як безпосередньо процес фазового переходу в ТАМ. Особливості процесі роботи ТА фазового переходу СУТТА в різних періодах накопичення і віддачі теплової енергії детально описані в [3].

Контактний тепловий акумулятор (КТА) ДВЗ (рис. 2.1) являє собою багат шаровий чохол, закріплений ззовні на оболонці блока циліндрів та піддоні двигуна, так щоб забезпечити щільне прилягання [1, 2, 4]. Особливістю конструкція КТА 17 ДВЗ є наявність секцій-контейнерів з ТАМ на основі фазоперехідного матеріалу, що закріплені ззовні на поверхнях блока циліндрів і піддона газового ДВЗ, зверху закритих теплоізоляційним чохлом, що складається з декількох шарів теплоізоляційного матеріалу [1, 2, 4]. Застосування КТА ДВЗ не вимагає внесення яких-небудь істотних змін у

конструкцію двигуна та його систем, він легко монтується, простий в обслуговуванні і не вимагає додаткового джерела енергії. Робота КТА заснована на виділенні й поглинанні теплоти блоку циліндрів і піддону газового двигуна при зміні фазового стану теплоакумулюючого матеріалу, який входить до складу його конструкції. Завдяки його використанню досягається мінімальна втрата теплоти, що виділяється газовим двигуном протягом часу його роботи, оскільки він виконує теплоізолюючу функцію, а також вдається уникнути появи термічних напруг у двигуні при його прогріві, тому що робочий процес КТА полягає в довготривалій підтримці температури ОР в СОД і МО в СМ двигуна на відміну від відомих теплових акумуляторів, де здійснюється нагрівання ДВЗ після зупинки [1, 2, 4].

Особливістю конструкції НМОТА є наявність в оболонці ємності додаткового контактного теплового акумулятора, що аналогічний за конструкцією і принципу дії КТА, але встановлений на корпусі сосуда для зливу моторної оливи. Завдяки використанню НМОТА досягається мінімальна втрата теплоти, що виділяється МО з СМ, після її зливання в теплоізолюваний посуд, під час довготривалої зупинки газового двигуна, а також при зворотному закачуванні МО в СМ двигуна вдається додатково прискорено прогріти СМ двигуна, а саме зону колінчастого валу, масляної магістралі і зону масляної оболонки ДВЗ. Температура МО з СМ двигуна в НМОТА контролювалась за допомогою вбудованого датчика температури МО.

Передпусковий і післяпусковий прогрів ОР в СОД і МО в СМ двигуна можливий при штатному прогріві ДВЗ і (або) в наступних варіантах роботи КСПП газового двигуна: при роботі тільки підсистеми СППД, при роботі підсистеми СППД з ТА фазового переходу СУТТА, поєднанні КТА (НМОТА) або КТА + НМОТА і ТА фазового переходу СУТТА. Зберігання теплової енергії ОР в СОД і МО в СМ двигуна можливо при штатній комплектації ДВЗ і (або) в наступних варіантах роботи КСПП газового двигуна: при роботі підсистеми СППД з ТА фазового переходу СУТТА, при роботі тільки КТА або НМОТА, поєднанні КТА (НМОТА) або КТА + НМОТА і ТА фазового переходу СУТТА.

При необхідності запуску двигуна після тривалої зупинки в дію включається КСПП. Комплексна система прискореного прогріву, працюючи за алгоритмами, що описані в розділі 3, включає електричні циркуляційні насоси СППД з модульованою подачею, які здійснюють циркуляцію ОР в СОД і МО в СМ газового двигуна та ТА фазового переходу СУТТА. Проходячи через ТА охолоджуюча рідина отримує накопичену ТАМ теплову енергію та передає її ОР в СОД і МО в СМ, елементам конструкції ДВЗ, а що є найголовнішим, стінці та головці циліндра та зоні колінчастого валу. Правильний вибір теплової потужності ТА дозволяє виконати швидкий попередній прогрів ДВЗ з низької температури оточуючого середовища (від  $-20^{\circ}\text{C}$ ) до температури ОР в СОД і МО в СМ на рівні  $+40...60^{\circ}\text{C}$ . Вибір теплової потужності ТА виконується на основі розрахунку теплового балансу КСПП газового двигуна, який відображає необхідну кількість теплової енергії для прогріву ОР в СОД і МО в СМ, блока циліндрів, головки блока циліндрів, з'єднуючих патрубків і трубопроводів та теплових втрат [1, 2, 4, 5].

Отримавши теплову енергію від ОР в СОД і МО в СМ елементи ДВЗ передають її камері згорання, що позитивно впливає на процес пуску ДВЗ, який відбувається після того, як датчики СКП ДВЗ зафіксують температуру ОР в СОД і МО в СМ на рівні  $+40...60^{\circ}\text{C}$ . Після цього відбувається запуск газового ДВЗ та є можливість навантаження двигуна. Після запуску ДВЗ КСПП продовжує свою роботу та сприяє більш швидкому та ефективному прогріву працюючого двигуна до температури ОР в СОД і МО в СМ на рівні  $+85^{\circ}\text{C}$ . Це досягається завдяки подальшому використанню накопиченої теплової енергії в ТА і надходження теплової енергії від енергії палива працюючого двигуна. Після досягнення температури ОР в СОД і МО в СМ  $+85^{\circ}\text{C}$  КСПП переходить в режим підтримання її в заданих межах, тобто  $85\pm 5^{\circ}\text{C}$ , а після цього підключає ШС двигуна.

Враховуючи дані отримані від датчиків температур система керування КСПП розраховує оптимальну частоту обертання циркуляційних насосів та віддає керуючі

команди на клапани системи, спрямовуючи потоки рідини через ті чи інші елементи КСПП. Функціонування розробленої КСПП газового ДВЗ побудовано на аналізі температурних значень теплоносіїв ОР в СОД і МО в СМ [1, 2, 4, 5].

В період зупинки і зберігання накопиченої теплоти в КТА непрацюючого ДВЗ робочий процес КТА 17 газового двигуна полягає в зворотньому віддаванні теплоти фазового переходу речовини КТА для здійснення довготривалої підтримки температури ОР в СОД і МО в СМ двигуна. При низькій температурі навколишнього середовища та зарядженому ТА фазового переходу СУТТА, коли накопиченої теплоти КТА ДВЗ вже недостатньо, прогрів газового двигуна внутрішнього згорання здійснюється аналогічно описаному раніше.

При довготривалій зупинці двигуна, коли потрібно МО з СМ підтримати в межах «гарячого прогріву» на протязі тривалого часу, використовуємо НМОТА, в який моторна олива зливається з піддону двигуна. При необхідності здійснення пуску двигуна та зарядженому ТА фазового переходу СУТТА, через клапани відбувається з'єднання НМОТА з піддоном двигуна і за допомогою циркуляційного насоса МО подається в газовий двигун. Подальший процес прогріву газового двигуна здійснюється аналогічно описаному раніше. За допомогою датчиків температури МО в СМ і ОР в СОД відбувається контроль роботоспроможності КСПП відносно теплових можливостей елементів і підсистем і подальшого використання самої КСПП.

За допомогою розроблених математичних моделей [6] було розраховано роботу системи прогріву (СП) з фазоперехідними тепловими акумуляторами (ТА) в процесі виконання циклу їх розрядки – зарядки у складі дослідної системи для газового двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) К-159 М2 (6Ч 12/14). В математичних моделях були враховані особливості конструкції дослідного двигуна, фазоперехідних ТА, систем охолодження (СОД) і мащення (СМ), при здійсненні прогріву моторної оливи (МО) в процесі забезпечення теплової підготовки.

Розроблені методики і математичні моделі [6] розрахунку роботи ТА, контактного теплового акумулятора (КТА), накопичувача моторної оливи з ТА (НМОТА) фазового переходу СП в процесі повного циклу їх розрядки – зарядки – зберігання теплової енергії у складі дослідної системи, як за рахунок фізичного охолодження – нагрівання, так і при здійсненні процесу кристалізації теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ) в квазіізотермічному режимі. Для формування бази вихідних даних в математичній моделі СП дослідного газового двигуна вихідні дані стосовно теплових параметрів при роботі ДВЗ в режимі холостого ходу були отримані за допомогою програмного комплексу Diesel-RK. За допомогою розробленої математичної моделі визначений вплив швидкості циркуляції МО газового двигуна на час його прогріву, який показав, що за рахунок збільшення швидкості циркуляції МО в СП до 0,22 м/с можливо скоротити час прогріву МО двигуна на 5,1 – 5,5 хв., тобто на 10,9 - 21%.

Виходячи з розроблених алгоритмів передпускового прогріву СМ газового двигуна були складені 6 основних варіантів для виконання аналізу можливостей використання складових ТА розробленої СП. При цьому, для всіх означених варіантів, під час здійснення передпускового прогріву газового двигуна з СП, оцінювались наступні режимні параметри: прогрів МО від  $T_{oc}$  до 50 °С, хв., підтримання в процесі зберігання  $T_{MO} \approx 50$  °С, хв., прогрів МО від 50 °С до 85 °С, хв. Аналіз параметрів роботи проводився для СМ двигуна при різних температурах оточуючого середовища в умовах експлуатації, а саме: 20 °С, 0 °С, -20 °С.

Оцінка впливу конструктивних параметрів та параметрів налаштування СП на час передпускового прогріву та паливну економічність газового двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14) підтвердила покращення термінових параметрів прогріву, паливної економічності при роботі газового двигуна за розробленим циклом прогріву із застосуванням системи прогріву, а також ефективність застосування СП, як одного з дієвих напрямків

покращення показників паливної економічності ДВЗ без суттєвого збільшення вартості СП двигуна енергетичної установки.

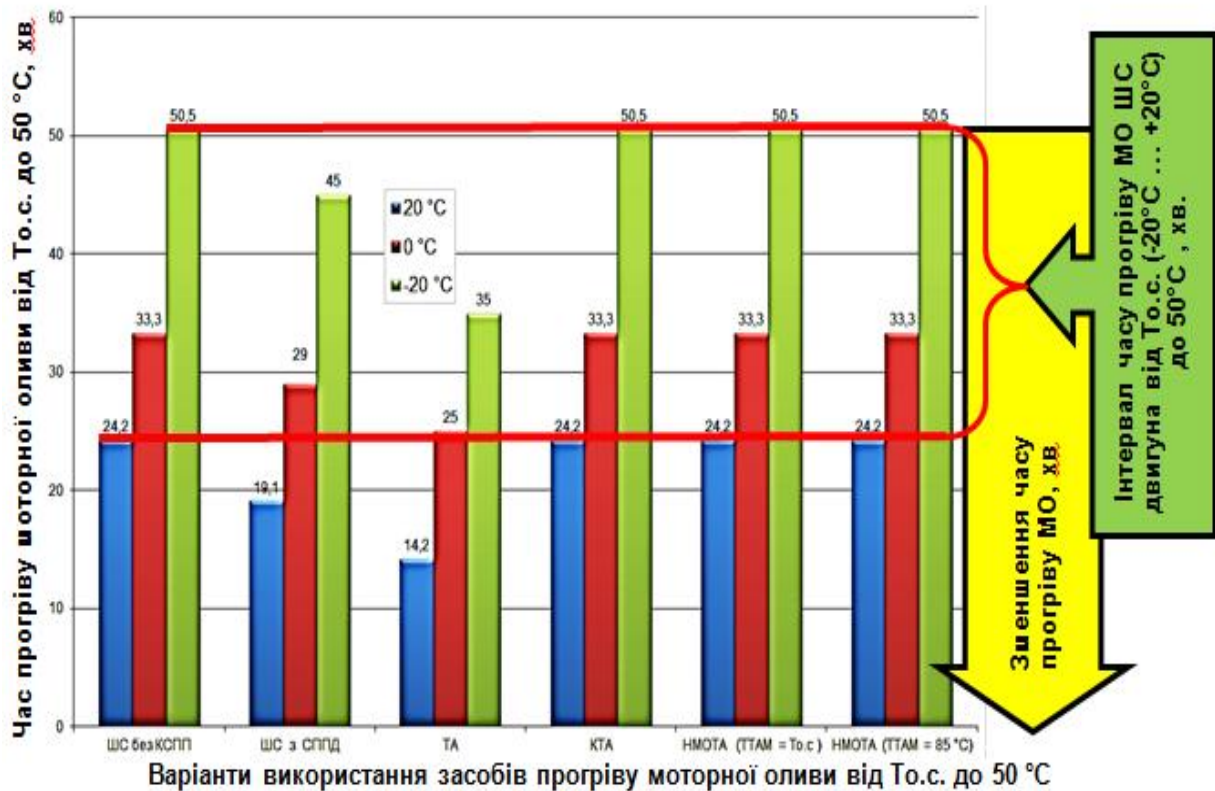


Рисунок 2. Результати дослідження впливу основних варіантів комплектації системи прогріву на час прогріву моторної оливи двигуна 6Ч 12/14 від  $T_{0.c.}$  до 50 °C

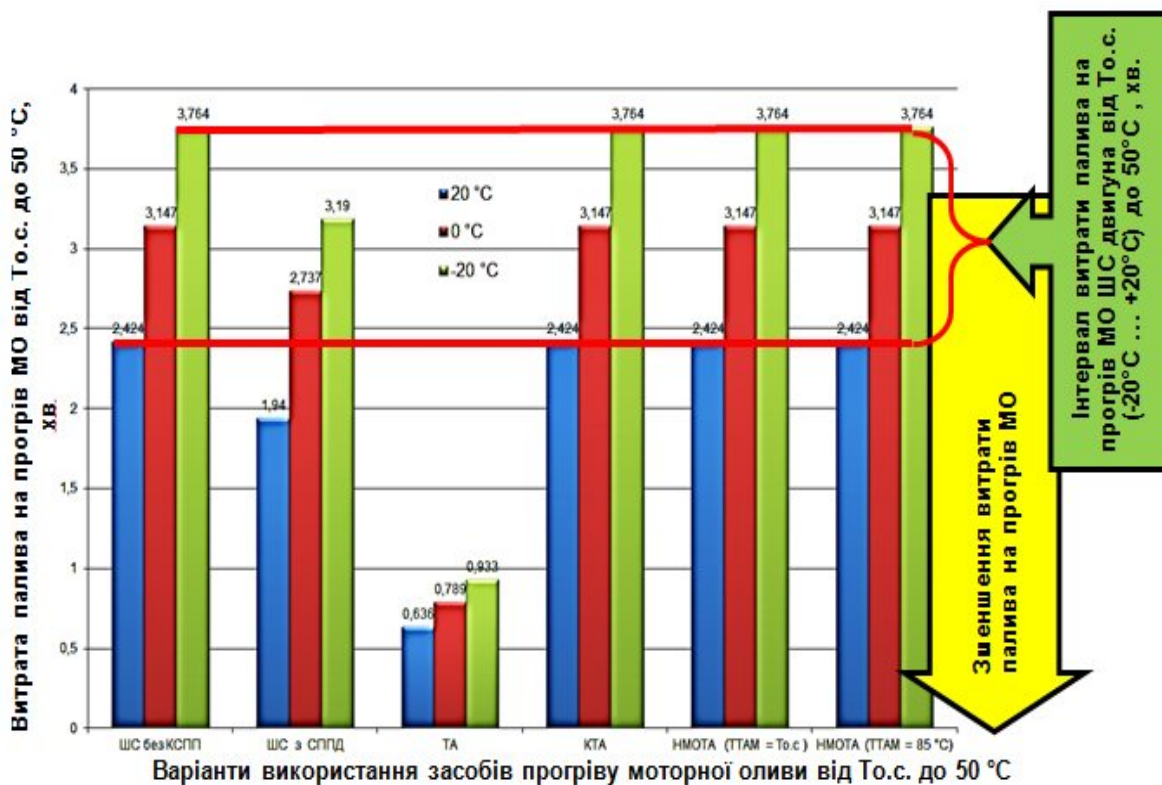


Рисунок 3. Результати дослідження впливу основних варіантів комплектації системи прогріву на витрату палива при прогріві МО двигуна 6Ч 12/14 від  $T_{0.c.}$  до 50 °C

Порівняння часу прогріву МО двигуна (рис. 2) показало, що СП з ТА дозволяє суттєво покращити показники часу прогріву МО від температури оточуючого середовища  $T_{oc}$  до 50 °С на 8,3 – 15 хв. (до 25 - 41,3%) у порівнянні зі штатною системою двигуна. При цьому витрата палива на прогрів МО двигуна в аналогічних умовах (рис. 3) зменшується на 1,79 – 2,8 кг, або до 73,8 – 75,2%, у порівнянні з використанням штатної системи (ШС) мащення двигуна. Суттєвим позитивним моментом при здійсненні прогріву МО ДВЗ є додатковий прогрів зони колінчастого валу двигуна. Саме ця особливість є суттєвою для двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14), як базового при його використанні на транспорті (залізничному і водному) і в стаціонарній енергетиці. При варіюванні використання комбінацій варіантів поєднання основних підсистем СП найбільш доцільним залишається варіант з використанням фазоперехідного ТА для розглянутого випадку, тобто прогріву МО від  $T_{oc}$  до 50 °С, хв.

В цілому використання СП доцільно для забезпечення передпускової підготовки МО газового двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14) в різних кліматичних умовах експлуатації, а особливості комплектації і технології використання вибираються в залежності від експлуатаційних потреб і призначення двигуна [7]. В результаті проведеної роботи були розроблені основні рекомендації для створення СП для газового двигуна, що враховують широкий спектр зовнішніх та внутрішніх факторів, які впливають на роботу системи, точність, надійність її роботи та зручність в експлуатації.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Gritsuk, I., Volkov, V., Gutarevych, Y., Mateichyk, V. et al., "Improving Engine Pre-Start And After-Start Heating by Using the Combined Heating System," SAE Technical Paper 2016-01-8071, 2016, <https://doi.org/10.4271/2016-01-8071>.
2. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., "Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator," SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>.
3. Адров Д.С. Покращення паливної економічності і екологічних показників двигунів внутрішнього згорання застосуванням системи комбінованого прогріву / Д.С. Адров // Автореф. ... канд. техн. наук / ДонІЗТ УкрДАЗТ. - Донецьк, 2014. - 20 с.
4. Карнаухов Н.Н., Пустовалов И.А., Яркин А.В. Тепловой аккумулятор для поддержания пусковой температуры ДВС в период межсменной стоянки строительной машины в зимний период // Отраслевой журнал «Автотранспортное предприятие». 2010, ноябрь. М.: НПП Транснавигация, Минтранс России. С. 45-48.
5. Вербовський В. С. Дослідження системи передпускового розігріву газового двигуна на основі використання теплового акумулятора з теплоакумлюючим матеріалом, що має фазовий перехід / В. С. Вербовський, І. В. Грицук, Д. С. Адров, З. І. Краснокутська // Двигатели внутреннего сгорания // Научно-технический журнал. Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – №1. - с. 110-116.
6. Вербовський В.С. Математична модель розрахунку показників роботи двигуна внутрішнього згорання з системою передпускового прогріву при здійсненні передпускового і післяпускового прискореного прогріву / В.С.Вербовський, І.В. Грицук, Д.С. Адров // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». - Луцьк: ЛНТУ, 2014. – Випуск №45, - с.64-71.
7. Вербовський В.С. Оцінка доцільності проведення передпускової і післяпускової підготовки газового двигуна К-159 М2 за допомогою комплексної системи передпускового прогріву / В.С. Вербовський // Збірник наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. - Донецьк: ДонІЗТ, 2014 – Випуск №39., с.93-99.

## **ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ І ПРОЦЕСІВ ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В ІПК ««IDENMONDIAOPERCON «HNADU-16»»»**

<sup>1</sup>Волков В.П., <sup>2</sup>Грицук І.В., <sup>3</sup>Грицук Ю.В., <sup>1</sup>Волков Ю.В.

<sup>1</sup> Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

<sup>2</sup> Херсонська державна морська академія (Україна)

<sup>3</sup> Донбаська національна академія будівництва і архітектури (Україна)

**Вступ.** Перед науковцями, що займаються питаннями експлуатації ТЗ, стоїть проблема забезпечення повноцінного зв'язку між процесами експлуатації ТЗ і параметрами умов експлуатації [1, 2], й узагальнення та удосконалення методів прогнозування технічного стану ТЗ [3]. Урахуванню та контролю параметрів технічного стану ТЗ в умовах експлуатації приділяється багато уваги, тому питання побудови систем моніторингу в різних сферах діяльності ТЗ не втрачають своєї актуальності [4].

**Актуальність досліджень.** Ефективність функціонування ТЗ, як складної технічної системи залежить від його технічного стану [3]. У зв'язку з цим впливає проблема керування технічним станом ТЗ в експлуатації на основі даних, отриманих в процесах моніторингу технічного стану та при прогнозуванні основних параметрів стану. Тому для виконання ідентифікації транспортних засобів потрібна наявність діючої методики і її програмна реалізація.

**Постановка задачі.** Задача формування діючої методики і її програмна реалізація полягає в тісному зв'язку з особливостями розробки математичних моделей оцінювання поточного і прогнозування параметрів технічного стану автомобіля, що може бути вирішена використанням бортового інформаційного програмно-діагностичного комплексу і інфраструктури автомобільних доріг (автотранспорту), для чого необхідно обґрунтувати особливості, функції і зв'язки основних його елементів для здійснення інформаційного обміну при виконанні моніторингу та визначити інформаційні складові загального процесу.

### **Результати досліджень.**

За допомогою розроблених алгоритмів і сформованої інформаційної системи моніторингу (ІСМ), засобів транспортної інфраструктури і інфраструктури автомобільних доріг проводилось дослідження процесів моніторингу параметрів технічного стану ТЗ і умов експлуатації. Основною метою дослідження було забезпечення працездатності сформованої інформаційної системи і забезпечення взаємодії з транспортною інфраструктурою і інфраструктурою автомобільних доріг. При використанні дистанційного моніторингу параметрів технічного стану ТЗ виконувалось зчитування значень штатних датчиків і робочої інформації системи керування (бортового контролера) ТЗ [1-4], а, крім цього, виконувались, функціонально поєднані вимірювальні, обчислювальні і допоміжні операції, які призначені для отримання, перетворення і обробки вимірюваної інформації з метою надання їй функцій контролю та ідентифікації параметрів технічного стану ТЗ [1-4]. Перелік одержаних сигналів від датчиків і систем двигуна проходив алгоритмічну обробку для формування масивів повідомлень [1]. Після отримання інформації з усіх датчиків масив даних з БІНК передавався на сервер за допомогою навігаційних супутникових технологій, а потім інформація надходила до центру моніторингу лабораторії, оснащеної комп'ютером з встановленим стандартним Інтернет браузером, який і виводив отримані дані на екран монітора.

Обмін інформацією в системі моніторингу здійснювався через мережі зв'язку, що дозволяє передавати як цифрові і відео -, так і голосові дані. У пам'ять БІНК закладаються вихідні параметри ТЗ та дані для роботи ІПК у складі бортової частини ІТС ТЗ. Для зручності оперативного управління здійснюється двосторонній зв'язок засобів ІТС з робочим місцем моніторингу ТЗ і іншими учасниками процесу моніторингу.

Для забезпечення дослідження використовувались технічні можливості розробленого ІПК «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»».

При запусканні програмного забезпечення першим з'являється стартове вікно «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» => «Ідентифікація ТЗ» (рис. 1). Вікно, крім стандартних елементів додатків для операційної системи Windows, містить в робочій області інформацію про експлуатацію ТЗ, в яку включено: номер державної реєстрації ТЗ (і) або VIN-код ТЗ.

Крім цього в стартовому вікні введено користувацьке вікно умов експлуатації ТЗ, що дозволяє підключати джерела інформації шляхом вибору: «Умови експлуатації ТЗ» => «Підключення джерел інформації» (рис. 1). В процесі підключення умов експлуатації користувач має можливість підключати і визначати: параметри стану і положення ТЗ, транспортних умов експлуатації, атмосферно-кліматичні умови, дорожні умови, ідентифікацію ТЗ. Спочатку одноразово вводиться вся запитувана інформацію про ТЗ, який пройшов реєстрацію в програмному забезпеченні «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» на сервері через мережу Інтернет, або за допомогою існуючої інформації у базі даних через мережу Інтернет за допомогою користувацьких програм, а саме:

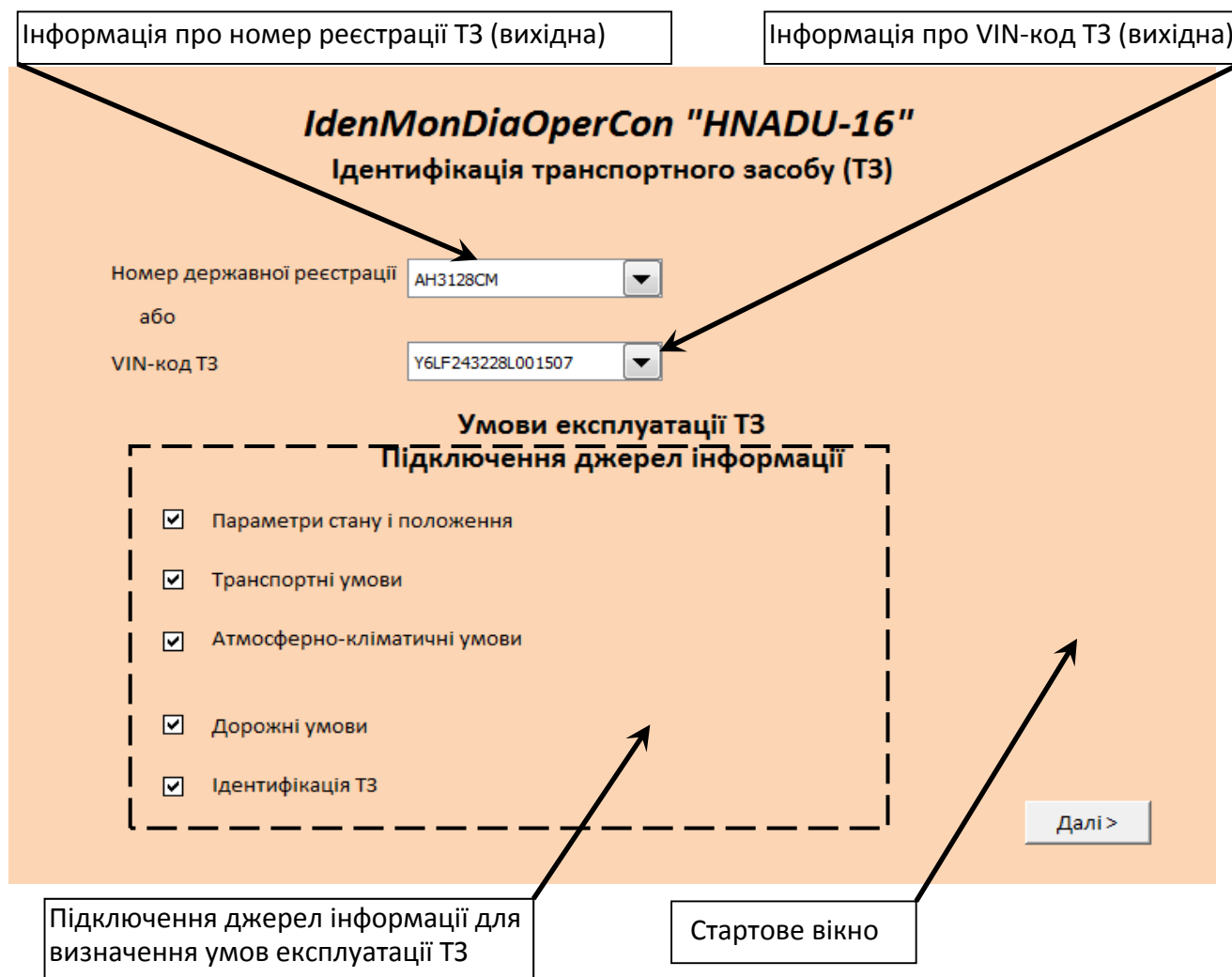


Рисунок 1. Стартове вікно програмного забезпечення

- ✓ державний реєстраційний номер ТЗ. Рядок може складатися з цифр, букв та знаків;
- ✓ VIN-код (*Vehicle Identification Number*) ТЗ. Рядок (оригінальний код ТЗ) може складатися з комбінації сімнадцяти (цифрових і літерних) знаків, яка властива тільки одному ТЗ, та є обов'язковим елементом маркування і індивідуальності кожного ТЗ (на протязі останніх 30 років).



Підключення джерел інформації для визначення умов експлуатації ТЗ відбувається шляхом підключення через додаткові кнопки: параметри стану і положення ТЗ, транспортних умов експлуатації, атмосферно-кліматичні умови, дорожні умови, ідентифікацію ТЗ. В цьому випадку ІПК дає можливість інформаційного забезпечення процесів моніторингу параметрів технічного стану ТЗ з урахуванням умов експлуатації через використання (отримання) наявних джерел інформації в частині координат ТЗ на місцевості в реальному часі, моделі автомобільної дороги, моделі об'єктів інфраструктури доріг, територіальних природних і техногенних систем, отримання результатів трекінгу ТЗ. Для більш зручної візуалізації результатів аналізу в систему додавались фрагменти зображень досліджуваних ділянок автомобільних шляхів.

При формуванні можливих варіантів інформаційної системи моніторингу ТЗ в умовах експлуатації кожна з можливих схем отримання інформації, в залежності від підключених умов експлуатації (рис. 1), запропонована розглядалась як ефективний спосіб забезпечення її дієвості для ТЗ.

Після відкриття робочої області і реєстрації ТЗ (пошуку вже зареєстрованого ТЗ) відкривається робоче вікно «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16» => «Ідентифікація ТЗ» => Інформація вихідна в умовах ITS з розширеною робочою областю, яке представлено на рис. 2.

**IdenMonDiaOperCon "HNADU-16"**  
**Ідентифікація транспортного засобу (ТЗ)**  
**Інформація вихідна в умовах ITS**

Номер державної реєстрації

або

VIN-код ТЗ

Марка ТЗ

Група ТЗ

Тип ТЗ

Модифікація ТЗ

Рік випуску

Підтвердити дані

Кнопка «Так»

Кнопка «Редагувати»

Робоче вікно з розширеною робочою областю

Рисунок 2. Робоче вікно з розширеною робочою областю Інформації про ТЗ

Після одноразового введення всієї запитуваної інформації про ТЗ, який пройшов реєстрацію в програмному забезпеченні «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» на сервері через мережу Інтернет, а саме:

- ✓ марка ТЗ (марка транспортного засобу (наприклад, KIA CEE'D), вводиться користувачем самостійно);
- ✓ група ТЗ (легкові автомобілі; автобуси масою 2,5-5,0 т; автобуси масою > 5 т (дизелі); вантажні автомобілі масою < 3,5 т; вантажні автомобілі масою 3,5-12,0 т; вантажні автомобілі масою > 12 т (дизелі));
- ✓ модифікація ТЗ (базовий автомобіль, сідельний тягач, з одним причепом, з двома причепами, самоскид з 1 причепом, самоскид з 2 причепами, спеціалізований);
- ✓ рік випуску ТЗ. Рядок складається з цифр і обирається користувачем.

Якщо інформація потребує редагування – натискається кнопка «Редагувати». Після перевірки інформації натискається кнопка «Так» (рис. 2). Подальше заповнення форми відбувалось на наступному кроці в рис. 3.

Робоче вікно з розширеною робочою

**IdenMonDiaOperCon "HNADU-16"**  
**Ідентифікація транспортного засобу (ТЗ)**  
**База даних обробки GPS-даних**

Номер державної реєстрації	АН3128СМ	<b>ДВЗ</b>	
або		Номер ДВЗ	-
VIN-код ТЗ	Y6LF243228L001507	Тип палива	бензин
Марка ТЗ	KIA CEE'D	Екологічний клас	ЄВРО-4
Група ТЗ	легковий	Об'єм двигуна	1975
Модифікація ТЗ	базовий	Витрати палива	5,9/9,2/7,1
Рік випуску	2007		

Підтвердити дані

Так Редагувати

Увімкнути накопичення інформації  
 Увімкнути останній моніторинг

1. Підключення Carlife (1)  
 2. Підключення Torque та ІПК (2)  
Виведення на екран  1  2  
 Виведення на друк  1  2

Далі >

Перемикач для вибору подальших дій

Кнопка «Далі»

Рисунок 3. Робоче вікно ІПК з розширеною робочою областю

Після відкриття робочої області і реєстрації ТЗ відкривається робоче вікно з розширеною робочою областю «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» => «Ідентифікація транспортного засобу (ТЗ)» => База даних обробки GPS-даних, яке представлено на рис. 3. При цьому одноразово вводиться вся запитувана інформація про ТЗ, який пройшов реєстрацію в програмному забезпеченні «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» на сервері через мережу Інтернет, а саме:

- ✓ номер двигуна ТЗ (номер двигуна транспортного засобу вводиться користувачем самостійно або через мережу Інтернет за допомогою відповідних сайтів);
- ✓ тип палива двигуна (бензин, газ, дизель, тощо);
- ✓ екологічний клас двигуна ТЗ (Євро-1, Євро-2, Євро-3, Євро-4, Євро-5, Євро-6);
- ✓ об'єм двигуна ТЗ. Рядок складається з цифр і вводиться користувачем самостійно;

✓ витрата палива двигуном ТЗ. Рядок складається з цифр, які отримані з паспортних даних двигуна ТЗ і вводиться користувачем самостійно.

Інформація про параметри ТЗ зберігалась у відповідній таблиці бази даних (робочій папці) для ТЗ за його номером державної реєстрації (рис. 3).

Для забезпечення проведення і отримання накопиченої інформації, підключення програмного модуля *Carlif*e [1-4], а також з використанням програмного модуля *Torque* [1-4] і ПІК ««IденMonDiaOperCon «HNADU-16»»» виведення на екран і (або) друк отриманої інформації з програмних модулів, *Carlif*e і (або) *Torque* та ПІК ««IденMonDiaOperCon «HNADU-16»»» необхідно поставити перемикач у відповідне положення - увімкнувши накопичення інформації (рис. 3). Для забезпечення необхідності проведення оцінки отриманої інформації і прогнозування технічних параметрів ТЗ ставимо перемикач у відповідне положення – увімкнути останній моніторинг.

Для забезпечення ідентифікації ТЗ вмикається перемикач підключення програмного модуля *Carlif*e, а також (або) програмний модуль *Torque* і ПІК ««IденMonDiaOperCon «HNADU-16»»» (рис. 3). При цьому, одночасно, для забезпечення реєстрації положення ТЗ на мапі в часі вмикали перемикач Положення ТЗ (рис. 3). Після цього ставимо доступними вікна (Показати *Torque*, Показати GPS-Trace Orange 1, Показати GPS-Trace Orange 2, Показати *M2M Lab* або ХНАДУ ТЕСА) з інформацією про положення і технічні параметри ТЗ (початок (дата і час) і кінець (дата і час) формування відповідного звіту про трекінг і моніторинг ТЗ виконується в кожному додатковому вікні окремо). Виведення на друк, настроювання окремих станів ТЗ, отримання індивідуальної інформації про особливості трекінгу і моніторингу ТЗ в кожному з перелічених вікон відбувалось окремо.

При натисканні кнопки підключення *Carlif*e (1) (рис. 3) відбувається підключення до програмного модуля (програми, електронного інформаційного модуля) *Carlif*e (<http://carlife.in.ua/vin-kod>. *Carlif*e - перший всеукраїнський online-сервіс перевірки історії автомобіля за його VIN-кодом. Звіти *Carlif*e містять дані про попередніх власників транспортного засобу та операціях, пов'язаних з ним, а так само про зареєстровані дорожньо-транспортні пригоди. Також, кожен автомобіль перевіряється по базах угону / розшуку . Вибір інформації ведеться на основі номера кузова (VIN-коду). Особливість сервісу полягає в тому, що виключається людський фактор. Інформація про автомобіль, заснована на аналізі VIN-коду, надходить безпосередньо з серверів різних державних і комерційних організацій, що володіють даними базами.

При натисканні кнопки підключення *Torque* і ПІК (2) (рис. 3) відбувається підключення до програмного модуля (програми, електронного інформаційного модуля) *Torque* (<http://ian-hawkins.com:8080/>) і ПІК««IденMonDiaOperCon «HNADU-16»»».

**Висновки.** Розроблена діюча методика і її програмна реалізація процесів ідентифікація транспортного засобу в ПІК ««IденMonDiaOperCon «HNADU-16»»». Наведені робочі вікна, з розширеною робочою областю інформації про ТЗ, за допомогою яких повноцінно здійснюється дистанційна ідентифікація ТЗ в умовах ITS/

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. – Харків: ХНАДУ, 2018. – 300 с.
2. Волков В.П., Мырхальков Ж.У., Грицук И.В., Никонов О.Я., Сатаев М.И., Волков Ю.В., Саипов А.А. Интеллектуальные и телематические технологии на транспорте / Под ред. доктора технических наук. профессора Волкова В.П. – Шымкент: Изд-во ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2016. – 508 с.
3. Дмитриченко М.Ф., Матейчик В.П., Волков В.П., Грицук О.К., Цюман М.П., Грицук І.В., Вайганг Г.О., Клименко О.А.. Програмне забезпечення систем моніторингу транспорту / Під редакцією Дмитриченка М.Ф. – Київ: Вид-во НТУ, 2016. – 204с.
4. Интеллектуальные системы управления работоспособностью автомобилей / В.П. Волков, В.П. Матейчик, И.В. Грицук, Ю.В. Волков / Под редакцией Волкова В.П. – Харьков: Майдан, 2016. – 504 с.

## **ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

<sup>1</sup>Волков В.П., <sup>2</sup>Грицук І.В., <sup>3</sup>Грицук Ю.В., <sup>1</sup>Волков Ю.В.

<sup>1</sup> Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

<sup>2</sup> Херсонська державна морська академія (Україна)

<sup>3</sup> Донбаська національна академія будівництва і архітектури (Україна)

**Вступ.** Використання транспортного засобу (ТЗ) в умовах експлуатації вимагає постійного контролю параметрів його фактичного стану, проведення необхідних технічних дій з обслуговування для забезпечення належного працездатного стану. У зв'язку з цим перед науковцями, що займаються питаннями експлуатації ТЗ, стоїть проблема забезпечення повноцінного зв'язку між процесами експлуатації ТЗ і параметрами умов експлуатації [1, 2], й узагальнення та удосконалення методів прогнозування технічного стану ТЗ [3]. Урахуванню та контролю параметрів технічного стану ТЗ в умовах експлуатації приділяється багато уваги, тому питання побудови систем моніторингу в різних сферах діяльності ТЗ не втрачають своєї актуальності [4].

**Актуальність досліджень.** Ефективність функціонування ТЗ, як складної технічної системи залежить від його технічного стану [3]. У зв'язку з цим впливає проблема керування технічним станом ТЗ в експлуатації на основі даних, отриманих в процесах дистанційного моніторингу технічного стану та при їх прогнозуванні.

**Постановка задачі.** Задача визначення особливостей розробки математичних моделей оцінювання поточного і прогнозування параметрів технічного стану автомобіля може бути вирішена використанням бортового інформаційного програмно-діагностичного комплексу і інфраструктури автомобільних доріг (автотранспорту), для чого необхідно обґрунтувати особливості, функції і зв'язки основних його елементів для здійснення інформаційного обміну при виконанні моніторингу та визначити інформаційні складові загального процесу.

### **Результати досліджень.**

Процеси експлуатації ТЗ супроводжується присутністю ряду негативних наслідків, серед яких є витрата значної кількості палива, забруднення навколишнього середовища тощо. Враховуючи вплив цих процесів на зовнішнє середовище і, як результат, необхідність прийняття рішень щодо розробки процесів протидії цьому явищу, адекватних результатам, що досягаються, треба мати необхідний обсяг достовірної інформації про параметри цих процесів експлуатації ТЗ в умовах експлуатації.

Сучасний стан розвитку інформаційно-комунікаційної технології руху наземного транспорту на основі практичної реалізації синергетичного об'єднання комп'ютерних ресурсів усіх учасників дорожнього руху в єдиному інформаційному просторі мережі Internet – від окремого транспортного засобу до корпоративного рівня транспортної організації є основою розв'язання задачі інформатизації цих процесів, завдяки стрімкому розвитку як інформаційних ресурсів так і інформаційного стану транспортних систем.

В дослідженні здійснено формування і практична реалізація функціональних можливостей інтелектуальної транспортної системи для ідентифікації і моніторингу технічної інформації про окремі ТЗ. Сформульовані основні положення для ідентифікації ТЗ за VIN-кодом. Наведені практичні результати ідентифікації і моніторингу технічної інформації про окремі транспортні засоби, а саме ідентифікація і моніторинг місцезнаходження ТЗ; ідентифікація і моніторинг технічної інформації про ТЗ; моніторинг параметрів технічного стану окремих ТЗ.

Робота базується на досвіді вчених в частині сучасних напрямів розвитку інформаційних технологій, мехатроніки та синергетики у транспортних додатках. На автомобільному транспорті світу в умовах сталого розвитку інтелектуальних

транспортних систем (*Intelligent Transport Systems – ITS*) [1 - 6] поступово здобувають розповсюдження пілотні проекти інформаційно-аналітичних систем оцінювання забруднення придорожного середовища транспортними потоками, що сьогодні спрямовані на пріоритетний розвиток інфраструктури доріг, яка несе головний тягар збору інформації та її передачі водіям ТЗ, що мають бортові засоби *ITS* (телематичне забезпечення борта ТЗ). Головним напрямком дій в досягненні мети роботи є «Транспортна стратегія України на період до 2020 року» (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р), згідно з якою дотримання основних принципів, зокрема, «забезпечення екологічної безпеки, обов'язкового дотримання екологічних стандартів і нормативів під час провадження діяльності у галузі транспорту» і «стимулювання розвитку енергозберігаючих і екологічно безпечних видів транспорту» здійснюється реалізацією основних напрямів, зокрема:

- ✓ оновлення рухомого складу транспорту шляхом упровадження транспортних засобів, сервісні, технічні та економічні показники експлуатації яких відповідають сучасним європейським вимогам до безпечності, екологічності та енергоефективності транспорту;
- ✓ забезпечення доступності та підвищення якості транспортних послуг шляхом: упровадження новітніх інформаційно-комунікаційних технологій на базі глобальної навігаційної системи; оснащення транспортних засобів супутниковими навігаційними системами, інтегрованими до єдиної системи координатного управління;
- ✓ інтеграція вітчизняної транспортної системи до європейської та міжнародної транспортних систем шляхом: приєднання і забезпечення виконання міжнародних транспортних конвенцій та угод; гармонізації вітчизняного законодавства з транспортним законодавством ЄС; розроблення та упровадження відповідно до міжнародних вимог технічних та технологічних регламентів і стандартів; забезпечення співпраці у використанні систем супутникової навігації у рамках Угоди про співробітництво щодо цивільної глобальної навігаційної супутникової системи між Україною та Європейським співтовариством, його державами-членами;
- ✓ забезпечення безпеки транспортних процесів шляхом упровадження сучасних інформаційних технологій здійснення контролю за безпекою на транспорті, створення супутникових систем контролю та регулювання руху транспортних засобів [7];
- ✓ підвищення екологічності та енергоефективності транспортних засобів шляхом оптимізації строку експлуатації, технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів [7 - 9].

Крім того, відповідно до транспортної стратегії Україна сьогодні залучена до участі у Рамковій програмі ЄС з досліджень та інновацій ГОРИЗОНТ 2020 (HORIZON 2020) (<http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020>) одним із напрямів досліджень якої є розробка «розумного, зеленого та інтегрованого транспорту» (Smart, Green and Integrated Transport), зокрема, розробка ефективного і екологічно чистого авіаційного, наземного і водного транспорту, який здійснює мінімальний вплив на клімат і навколишнє середовище за рахунок розвитку інтелектуальних систем, інфраструктури і послуг і поліпшення транспорту та мобільності в міських районах. Це, в свою чергу, вимагає наявності інформації про параметри технічного стану ТЗ в умовах експлуатації.

В дослідженні виконані наступні етапи робіт: аналіз теоретичних і практичних розробок щодо методів контролю технічного стану автомобіля; дослідження основних компонентів і процесів формування складових інформаційної системи моніторингу ТЗ; розробка математичних моделей, що дозволяють оцінювати поточний і прогнозувати технічний стан автомобіля; розробка математичної моделі предметної області інформаційної системи оцінювання параметрів технічного стану автомобіля в умовах експлуатації; розробка структури системи дистанційного моніторингу транспортного засобу та алгоритмів його забезпечення; реалізація інформаційних програмних

комплексів; отримання результатів експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення отриманих характеристик технічного стану ТЗ.

Аналіз сучасного стану АТ і її підсистеми – ТЕА виявив [10], що основна частина автомобілів в Україні зосереджена в невеликих за розміром і кількістю підприємствах, результатом чого є погіршення технічного стану ТЗ. Існуюча в таких підприємствах система контролю технічного стану вже не відповідає в цілому сучасним вимогам підтримки працездатності ТЗ. Це може бути вирішено впровадженням в ТЕА принципів "адаптивної" системи управління технічним станом автомобіля, основою якої є створення інформаційних систем організаційно-функціонального контролю і підтримки процесів технічної експлуатації ТЗ.

Сформований метод [10] застосування інформації про технічний стан ТЗ і класифікації умов експлуатації автомобілів (дорожні, транспортні і атмосферно-кліматичні і культура праці) в інформаційних умовах ITS, який дозволяє дистанційно отримувати оперативну інформацію про умови експлуатації і їх вплив на технічний стан ТЗ в умовах ITS.

Розроблена [10] математична модель інформаційної системи оцінювання параметрів технічного стану автомобіля в умовах експлуатації, а на її базі створено інформаційний програмний комплекс «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»», у вигляді множини інформаційних елементів системи моніторингу у складі 60 елементів, множини елементів групи у складі 7 елементів, існуючого загального інформаційного елементу для всіх сімох інформаційних груп - «Час збирання інформації», який є ключовим з причини семантичної залежності одержуваних даних моніторингу параметрів технічного стану ТЗ від часу збирання інформації.

Розроблена [10] модель системи дозволяє формувати можливі варіанти інформаційної системи моніторингу автомобіля в умовах експлуатації на основі загального підходу до дослідження системи, що базується на положеннях теорії експлуатації автомобілів, включенні і взаємодії складових компонентів моніторингу таких як: автомобіль з водієм і бортовим інформаційним комплексом; умов експлуатації ТЗ (дорожні, транспортні, атмосферно-кліматичні умови і культура праці); транспортної інфраструктури і інфраструктури автомобільних доріг.

Розроблено структуру і принцип інформаційної взаємодії в процесах дистанційного моніторингу транспортних засобів між БІНК і елементами ITS, що дозволяють забезпечити визначення положення і моніторинг параметрів технічного стану ТЗ в умовах експлуатації, вирішення задачі допомоги водієві ТЗ в процесі експлуатації ТЗ, забезпечення транспортної безпеки ТЗ. Застосування розроблених алгоритмів дозволяє автоматизувати процес моніторингу параметрів технічного стану ТЗ в межах розробленого ППК «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» засобами ITS. За допомогою розроблених алгоритмів і сформованої інформаційної системи моніторингу, є можливість в межах ППК, поєднувати інформацію про дорожні, транспортні і атмосферно-кліматичні умови експлуатації ТЗ на сервері оператора мережі.

В результаті експериментальних досліджень [10] було виконано визначення фактичних параметрів технічного стану самого ТЗ, корегування умов експлуатації, а також точного визначення місця розташування і точного часу за параметрами, прийнятими від навігаційних супутникових систем, що виконується GPS приймачем, та обміну цією інформацією з робочим місцем моніторингу ТЗ і іншими учасниками моніторингу робочих процесів ТЗ.

Запропоновано технологію обробки результатів моніторингу параметрів технічного стану ТЗ в умовах експлуатації, що дозволяє отримати значення середніх швидкостей руху для дільниці з урахуванням геозон, витрати палива і відносного коефіцієнту зміни швидкості руху, який є основним орієнтиром при визначенні умов експлуатації ТЗ.

## **Висновки.**

Максимально ефективна реалізація технічних можливостей розробленого інформаційного комплексу і взаємодії технічних засобів моніторингу транспорту вимагає застосування потужного програмного забезпечення, необхідного для автоматизованої обробки і аналізу технічної інформації про параметри і стан ТЗ з метою прийняття ефективних рішень, спрямованих на підвищення ефективності технічної експлуатації ТЗ на різних ієрархічних рівнях ЖЦ як окремих ТЗ, так і транспортних підприємств та транспортних потоків.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. Майоров С.А. Основы теории вычислительных систем: учеб. пособие / С. А. Майоров, Г. И. Новиков, Т. И. Алиев, Э. И. Махарев ; под ред.С. А. Майорова. – М. : Высш. школа, 1978. – 408 с.
2. Шебшаевич В. С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В.С. Шебшаевич, П. П. Дмитриев, Н. В. Иванцев и др. — 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
3. Интеллектуальные транспортные системы [Электронный ресурс] / Федеральная целевая программа "Повышение безопасности дорожного движения в 2013 - 2020 годах"— Режим доступа: [http://www.fcp-pbdd.ru/special\\_equipment/transport\\_systems/](http://www.fcp-pbdd.ru/special_equipment/transport_systems/) (дата обращения 13.09.201 г.). – Название с экрана.
4. Peter Mountney, Danail Stoyanov & Guang-Zhong Yang. "Three-Dimensional Tissue Deformation Recovery and Tracking: Introducing techniques based on laparoscopic or endoscopic images." IEEE Signal Processing Magazine. 2010 July. Volume: 27". IEEE Signal Processing Magazine. 27 (4): 14–24. doi:10.1109/MSP.2010.936728
5. Monitoring and Evaluation Strategy [Electronic resource] / Department for Transport – Mode of access: World Wide Web: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/175300/monitoring-evaluation-strategy.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/175300/monitoring-evaluation-strategy.pdf) (viewed on June 13, 2017). – Title from the screen.
6. World Geodetic System. National Geospatial-Intelligence Agency [Electronic resource] / National Geospatial-Intelligence Agency – Mode of access: World Wide Web: <https://web.archive.org/web/20120402143802/https://www1.nga.mil/ProductsServices/GeodesyandGeophysics/WorldGeodeticSystem/Pages/default.aspx> (viewed on June 17, 2017). – Title from the screen.
7. GPS трекер – система спутникового моніторингу автотранспорту. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://130.com.ua/gps-treker/> (дата обращения 13.09.2017 г.). – Название с экрана.
8. Статус // Малый энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 4 т. — СПб., 1907—1909.
9. Організація баз даних: практичний курс : Навч. посіб. для студ. / А. Ю. Берко, О. М. Верес; Нац. ун-т «Львів. Політехніка». - Л., 2003. - 149 с.
10. Волков В.П. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. / Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В. – Харків: ФОП Панов А.М., 2018. – 299 с.

## **УЛУЧШЕНИЕ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИКИ ВРАЩАЮЩИХСЯ УЗЛОВ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Головань А.И., Сторчак О.О.

Одесский национальный морской университет (Украина)

Гармонический анализ занимает важное место среди основных методов решения задач диагностики вращающихся узлов двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Основные трудности применения метода гармонического анализа заключаются в том, что на практике мы не можем получить непрерывный и бесконечный во времени сигнал о работе вращающихся узлов ДВС, а лишь получаем его дискретную во времени часть. С целью анализа полученного дискретного сигнала применяется дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Предметом анализа является дискретный амплитудный спектр сигнала. В работе рассматривается процесс диагностики транспортного средства на примере диагностики судового комбинированного двигателя оборудованного газотурбонагнетателем (ГТН).

В связи с внедрением на двигателях внутреннего сгорания, работающих по циклу Дизеля, систем электронного управления газораспределением и топливоподачей (common rail и вес), с повышением их моторесурса, топливной экономичности и «экологичности» современные средне- и высокооборотные дизели (СОД и ВОД) все чаще применяются на новых морских судах [4]. При этом на большинстве ВОД отсутствуют индикаторные краны и, таким образом, отсутствует возможность их индицирования. Механизм газораспределения и форсунка на многих СОД и ВОД закрыты колпаками, под которым во время работы происходит интенсивное разбрызгивание масла, топливные системы высокого давления защищены двойными трубками. Современный судовой дизель становится все более «закрытым» для исследований и диагностики. В этом случае актуальным, на наш взгляд, является анализ виброакустических полей, производимых разными узлами двигателя. Для некоторых блочных ВОД гармонический анализ его виброакустических полей является единственным решением. Кроме определения частот вращения (особенно с высокой точностью это происходит для ГТН) гармонический анализ позволяет делать комплексную оценку технического состояния подшипников и проточной части ГТН.

Анализ литературы [4, 5-8] и проведенные натурные испытания показывают, что в спектре виброакустического сигнала двигателя, в области низких частот (до 100 Гц) выделяется гармоника, соответствующая частоте работы цилиндров. В практике эксплуатации судовых дизельных установок (СДУ) существует проблема постепенного снижения мощности и повышения тепловой напряженности одновременно с повышением расхода топлива, что связано с накоплением не критических, трудно выявляемых дефектов топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы. Это происходит из-за непринятия своевременных мер по восстановлению работоспособности основных узлов двигателя, что в свою очередь является следствием отсутствия точной и детальной информации об эксплуатационных параметрах [4-6].

Поскольку речь идет о численном анализе амплитуд и частот отдельных гармоник в дискретном спектре виброакустического сигнала, автор столкнулся с проблемой существенного искажения амплитуды [8] в дискретном преобразовании Фурье. Без решения этой проблемы производить какой-либо частотный, а тем более амплитудный анализ отдельных гармоник не имеет смысла [9]. Анализ источников [1-4] показал, что искажение амплитуды сигнала, полученной в результате ДПФ может достигать 50%.

С помощью методов гармонического анализа на базе дискретного преобразования Фурье (ДПФ) [1-4] и последующего численного решения задачи устранения искажения



амплитуды в дискретном спектре можно определить частоту вращения ротора турбины и проанализировать тенденцию изменения амплитуды основной гармоники.

Рассмотрена разработка процесса диагностирования узлов ДВС путем применения гармонического анализа. Разработана система формирования информационного пакета повышающего качество обработки дискретных сигналов. Улучшен процесс получения диагностической информации за счет применения уточняющего метода. Структура единой системы диагностики была разработана для любого вращающегося агрегата. В процессе экспериментальных исследований был получен результат, который показал значительное сокращение погрешности дискретного метода определения амплитуды и частоты сигнала. Проведенный эксперимент показал, что использование метода уточнения результата ДПФ уменьшает погрешность расчета амплитуды сигнала на 2,9 - 26,6% (максимально возможная погрешность определения амплитуды составляет 50%), а уменьшение погрешности расчета частоты сигнала составляет 1%. Использование указанного метода уточнения расчета позволяет, без дополнительных материальных затрат, существенно повысить класс точности устройства. Представленная диагностическая система позволяет проводить расчет частоты вращения узла, измеряет уровень шума и вычисляет уровень вибрации, возникающие при его работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Henri J. Nussbaumer "Fast Fourier Transform and Convolution Algorithms" - Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1982, 276 p.
2. Anton Deitmar, Siegfried Echterhoff "Principles of Harmonic Analysis" - Springer International Publishing Switzerland 2014, 332p.
3. V. S. Varadarajan "An Introduction to Harmonic Analysis on Semisimple Lie Groups" - Cambridge University Press 1999, 328p.
4. Дворкович В.П., Дворкович А.В. "Оконные функции для гармонического анализа сигналов" - М.: Техносфера 2014, 112р.
5. Головань А.И. "Виброакустический контроль частотных характеристик судового дизеля с турбонаддувом" - Авиационно-космическая техника и технология. Научно-технический журнал. Харьков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» - 2012. - №10(97). – С. 98-105.
6. Варбанец Р.А. "Мониторинг частотных параметров судового дизеля с турбонаддувом" - Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология". Астрахань. – 2013. – № 1. – С. 103-110.
7. Варбанец Р.А. "Диагностика и моделирование рабочего процесса СДВС" - V Международная научно-техническая конференция «Эффективность, надежность и безопасность энергетических установок (Энергоустановки-2010)»: сб. научн. тр. по материалам междун. научно-практ. конф., 07-11 июня 2010г., СевНТУ, Севастополь – Батилиман, 2010. – С. 241-243.
8. Головань А.И. "Виброакустический контроль частотных характеристик судового дизеля с турбонаддувом" - Авиационно-космическая техника и технология. Харьков: ХАИ. 2012., - №10(97). – С. 98-105.
9. Головань А.И. Метод устранения эффекта утечки в дискретном преобразовании Фурье / Р.А. Варбанец, А.И. Головань // II Международная научно-техническая конференция «Современное состояние и проблемы двигателестроения»: сб. научн. тр. по материалам междун. научно-практ. конф., НУК им. адмирала Макарова – Николаев, 28-29 ноября 2012г. – С. 251-254.

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТА**

Горобченко А.Н., Гатченко В.А.

Государственный университет инфраструктуры и технологий (Украина)

Введение. Одним из основных направлений совершенствования управляющей деятельности машиниста, как человека-оператора, является разработка интеллектуальных локомотивных систем поддержки принятия решений. В этом случае система создает ряд сценариев дальнейшей деятельности машиниста, прогнозирует результаты реализации каждого из этих сценариев и выдает ту последовательность управляющих воздействий на поезд, которая является наиболее желательной (полезной) в конкретной поездной обстановке. Проблема повышения качества управления в настоящее время решается путем повышения уровня подготовки локомотивных бригад, разработкой защитных систем, созданием необходимых стимулов а также условий труда для человека [1,2]. Однако непосредственный процесс управления поездом, а именно фаза принятия управляющего решения и его оценка в настоящее время освещена не достаточно.

Распределенная СППР для локомотивных бригад представляет собой сложную систему с комплексным взаимодействием расположенных на большом расстоянии бортовых локомотивных систем и качество ее организации определяет эффективность системы в целом [3].

Если  $\Pi$  – множество возможных принципов  $n \in \Pi$  построения системы и ее элементов;  $F$  – множество взаимосвязанных функций, выполняемых системой;  $A$  – множество взаимосвязанных бортовых локомотивных систем, тогда согласно [4], задача синтеза рациональной структуры распределенной СППР заключается в определении множества принципов построения ( $n \in \Pi$ ), множества функций, выполняемых системой ( $f \in F(n)$ ), множества элементов, способных реализовать избранные принципы и выполнить функции ( $\bar{A} \in A$ ), а также оптимального отображения элементов множества  $f$  на элементы множества  $\bar{A}$ . При выборе варианта структуры сложной системы возможны два вида отображения  $f \rightarrow \bar{A}$ : первый, когда каждая задача выполняется лишь одним из нескольких возможных узлов системы, и второй, когда задача выполняется несколькими узлами системы. Условия работы локомотивных систем требуют реализации их по второму варианту.

На практике для решения задачи создания оптимальной структуры СППР широко применяется агрегативно-декомпозиционный метод [5], который включает два этапа: декомпозицию задачи на ряд частных задач и агрегирование частичных результатов. Таким образом, под проектированием оптимальной структуры СППР будем понимать процесс постепенного решения задач синтеза основных элементов и частей системы (рис. 1).

Приведенные на рисунке 1 задачи решаются итерационно в силу их взаимосвязи, неполноты исходных данных и необходимости корректировки полученных решений.

Локомотивная СППР воспринимает внешнюю среду с помощью датчиков  $x_1, \dots, x_m$  и влияет на нее с помощью исполнительных органов  $z_1, \dots, z_m$ , подобно тому, как человек воспринимает внешнюю среду с помощью органов чувств и воздействует на нее с помощью таких частей тела, как руки, ноги и т.п.

Обычное влияние системы на среду является реакцией, а восприятие системой среды – восприятием. Если каждый исполнительный орган  $z_j$  сопоставить с одноименной выходной переменной  $z_j$ , принимающий множество значений  $y_j$ , и каждое такое значение назвать микрореакцией, то реакция будет представлять собой набор значений  $y_1, \dots, y_n$ . Аналогично, если каждый датчик  $x_i$  сопоставить с одноименной переменной  $x_i$ , которая принимает множество значений  $\alpha_i$  (микровосприятие), то восприятие будет представлять собой набор значений  $\alpha_1, \dots, \alpha_m$ . Поведение интеллектуальной системы состоит в

переработке восприятий в реакции. Эта переработка осуществляется с помощью специального решателя, функционирующего на основе заложенных в него знаний.

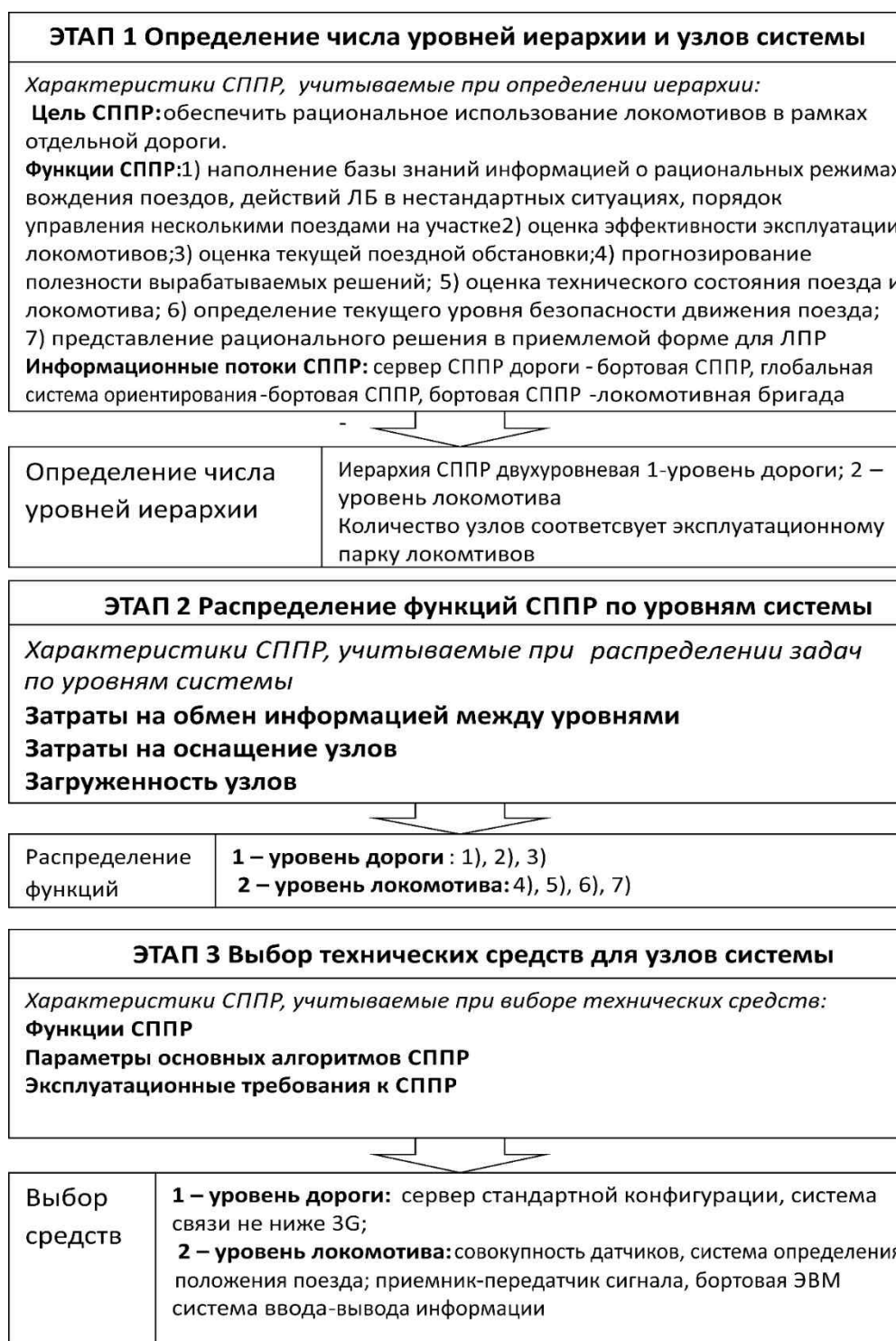


Рисунок 1. Схема синтеза структуры интеллектуальной локомотивной СППР

В результате анализа существующих типов интеллектуальных систем, иерархий и алгоритмов их работы, учитывая условия работы локомотивных бригад и железнодорожного транспорта в целом, разработаны параметры интеллектуальной СППР (сведены в таблицу 1).

Таблиця 1. Характеристики СППР для локомотивних бригад

Признак, по которому классифицируется СППР	Наименование параметра	Описание параметра
Тип структурированности проблем, решаемых	Слабоструктурированные	Выходные параметры содержат как количественные, так и качественные элементы: прогнозные значения скорости и тягового усилия, сложность НС, состояние пути, состояние агрегатов локомотива и т.п.
Характер распределенности	Пространственно и функционально распределенные	Состоит из отдельных связанных между собой бортовых локомотивных СППР, которые вместе решают общую проблему: безопасного и эффективного управления движением поездов на участке.
Характер оценки результатов решения	Объективно оцениваемые решения	Оценка результата основана на явно заданных критериях, определяющих достижение цели: расход топлива, межремонтный пробег, показатели безопасности движения.
Характер ситуации, в которой ЛПР принимает решение	Экстремальные ситуации	Принятие решения по управлению поездом характеризуется дефицитом времени и быстро меняющейся обстановкой.
Тип компьютерного анализа ситуаций	Динамический	Имеется набор сценариев по управлению поездом, из которого выбирается один наиболее эффективный на данный момент

Вывод. В работе определены этапы синтеза структуры СППР для локомотивных бригад. Используя эти этапы создана конструкция системы, что позволит повысить эффективность эксплуатации локомотивов за счет определения и сохранения в базе знаний рациональных приемов управления. Во время ведения поезда машинисту предлагается применить определенный режим, который лучше всего соответствует текущим значениям профиля пути, массы состава, показаниям светофоров, погодным условиям и др. Особенностью данной структуры является наличие блока, который оценивает текущую степень сложности нештатной ситуации, что позволяет вырабатывать решения не только с позиции снижения энергозатрат, но и учитывать влияние реализации этих решений на безопасность движения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горобченко О. М. Формалізація задачі поточної оцінки безпеки руху при управлінні локомотивом. //Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 24. - К.: ДЕДУТ, 2014. - С. 214-221.
2. Горобченко А. Н. Методология определения величины параметра сложности нештатной ситуации во время ведения поезда //Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2014. – №. 6 (54).
3. Tartakovskiy E., Gorobchenko O., Antonovych A. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Т. 5. – №. 3 (83). – Р. 4-11.
4. Цвиркун, А. Д. Основы синтеза структуры сложных систем. [Текст] / А. Д. Цвиркун. – М.:Наука, 1982. – 200 с.
5. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: теория, синтез, эффективность [Текст] / В. А. Тарасов, Б. М. Герасимов, И. А. Левин, В. А. Корнейчук. – Киев : МАКНС, 2007. – 336 с.

## **ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ**

<sup>1</sup>Грицук А.І., <sup>2</sup>Грицук В.Ю., <sup>3</sup>Ченцов А.В., <sup>4</sup>Матейчик П.В., <sup>4</sup>Краснокутська З.І.

<sup>1</sup> Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Україна

<sup>2</sup> Національний технічний університет «ХПІ», Україна

<sup>3</sup> Приазовський державний технічний університет, Україна

<sup>4</sup> Національний транспортний університет, Україна

**Вступ.** Використання транспортного засобу (ТЗ) в умовах експлуатації вимагає постійного контролю його положення, параметрів його фактичного стану, проведення необхідних технічних дій з обслуговування для забезпечення належного працездатного стану. У зв'язку з цим перед науковцями, що займаються питаннями експлуатації ТЗ, постійно стоїть проблема використання сучасного програмного забезпечення для аналізу та моніторингу технічного стану транспортного засобу під час експлуатації

**Актуальність досліджень.** Ефективність функціонування ТЗ, як складної технічної системи, залежить від його технічного стану [1 - 7]. У зв'язку з цим впливає проблема керування робоздатністю і технічним станом ТЗ в умовах експлуатації на основі даних, що отримані в процесах дистанційного моніторингу технічного стану та при їх прогнозуванні.

**Постановка задачі.** Задача визначення особливостей розробки математичних моделей оцінювання поточного і прогнозування параметрів технічного стану ТЗ може бути вирішена спільним використанням бортового інформаційного програмно-діагностичного комплексу ТЗ і інфраструктури автомобільних доріг (автотранспорту), для чого необхідно обґрунтувати особливості, функції і зв'язки основних його елементів при здійсненні інформаційного обміну в процесах виконання моніторингу та визначити інформаційні складові загального процесу експлуатації ТЗ і умовах ITS.

### **Результати досліджень.**

Згідно аналізу [1] можна побачити, що при розробці автоматизованих систем управління велике значення мають бази даних. Застосування баз даних дозволяє збирати інформацію про потреби транспортних підприємств і параметри роботи автомобілів на маршрутах. Також вони дають можливість оцінити рівень якості обслуговування, надійності і ефективності роботи автомобілів на маршрутах, прогнозування попиту на перевезення.

Починаючи з 70-х років 20-го сторіччя, коли Едгаром Ф. Коддом [2] було здійснено наукове обґрунтування реляційної моделі даних, бази даних побудовані на основі такої моделі набувають широку популярність. У реляційній моделі досягається більш високий рівень абстракції даних, ніж в ієрархічній або мережевій. В роботі [2] стверджується, що «реляційна модель надає засоби опису даних на основі тільки їх природної структури, тобто без потреби введення якоїсь додаткової структури для цілей машинного представлення». Іншими словами, подання даних не залежить від способу їх фізичної організації. Це забезпечується за рахунок використання математичного поняття відношення (сама назва «реляційна» походить від англійського relation – «відношення») [3].

Для реляційних систем характерні:

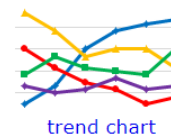
- ✓ клієнт-серверна архітектура;
- ✓ управління розподіленими базами даних;
- ✓ паралельна обробка запитів і багатопотокова архітектура;
- ✓ технологія тиражування даних і ряд інших сучасних досягнень в області обробки даних.

Згідно статистиці використання [4] саме реляційні бази є найбільш розповсюдженими для рішення різноманітних задач (рис. 1), в тому числі і в автомобільному транспорті.

## DB-Engines Ranking

The DB-Engines Ranking ranks database management systems according to their popularity. The ranking is updated monthly.

Read more about the [method](#) of calculating the scores.



345 systems in ranking, September 2018

Rank			DBMS	Database Model	Score		
Sep 2018	Aug 2018	Sep 2017			Sep 2018	Aug 2018	Sep 2017
1.	1.	1.	Oracle +	Relational DBMS	1309.12	-2.91	-49.97
2.	2.	2.	MySQL +	Relational DBMS	1180.48	-26.33	-132.13
3.	3.	3.	Microsoft SQL Server +	Relational DBMS	1051.28	-21.37	-161.26
4.	4.	4.	PostgreSQL +	Relational DBMS	406.43	-11.07	+34.07
5.	5.	5.	MongoDB +	Document store	358.79	+7.81	+26.06
6.	6.	6.	DB2 +	Relational DBMS	181.06	-0.78	-17.28
7.	↑ 8.	↑ 10.	Elasticsearch +	Search engine	142.61	+4.49	+22.61
8.	↓ 7.	↑ 9.	Redis +	Key-value store	140.94	+2.37	+20.54
9.	9.	↓ 7.	Microsoft Access	Relational DBMS	133.39	+4.30	+4.58
10.	10.	↓ 8.	Cassandra +	Wide column store	119.55	-0.02	-6.65

Рисунок 1. Статистика використання баз даних

Розповсюдженню саме реляційних баз (у відмінності від баз з ієрархічною або мережною схемою даних) сприяли наступні фактори сформульовані в [5]:

- ✓ в реляційній системі дані представлені у вигляді таблиць (відносин), пошук і обробка даних в яких не залежить від організації і зберігання в пам'яті машини;
- ✓ з математичної точки зору реляційна база – це кінцевий набір відносин, що дозволяє розглядати її з боку математичної логіки та реляційної алгебри;
- ✓ більшість об'єктів реляційної моделі даних є однорідним – структура даних визначається тільки в термінах відносин, тобто основна одиниця обробки в операціях реляційної моделі даних не запис (як в мережних або ієрархічних моделях даних), а множина записів (відносин).

В нереляційних базах (у відмінності від реляційних) важко передати усі наявні залежності, тобто зв'язати одне з одним дані з різних таблиць. Також, слід зауважити, що завдяки наявним зв'язкам в реляційних базах існує можливість уникнути дублювання інформації та встановлення помилкових зв'язків між різноманітними таблицями даних.

До найбільш розповсюджених автомобільних баз даних можна віднести [6, 7]: ALLDATA (найбільш повна з існуючих, містить відомості щодо електрики, механіки та запасним частинам); Mitchell On Demand5 Repair + Estimator (повні інформаційні дані, щодо автомобілів, які офіційно поставлялися на ринок США та Канади); AUTODATA (відомості з книг «Системи впорскування палива»); VIVID WORKSHOP (моторна електрика європейських автомобілів); BOSCH ESITronic тощо.

### Висновки.

В роботі розглянуто можливості використання реляційних баз даних як при проектуванні транспортних підприємств, так і під час моніторингу технічного стану транспортного засобу.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Алексеев О.П. Применение баз данных для оценки работы пассажирского транспорта / О.П. Алексеев, С.В. Пронин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dSPACE.khadi.kharkov.ua/dSPACE/bitstream/123456789/1623/1/20.pdf> (дата звертання 13.09.2017 г.). – Название с экрана.
2. Codd E.F. A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks // Communications of the ACM. – vol. 13. – num. 6, 1970. – pp.377-387.

3. Карпова Т.С. Базы данных. Модели, разработка, реализация. – С-Пб.: Питер, 2001. – 304с.
4. DB-Engines Ranking [Electronic resource]. – Mode of access: World Wide Web: <https://db-engines.com/en/ranking> (viewed on June 24, 2017). – Title from the screen.
5. Бородина А.И. Реляционная модель данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.bseu.by/it/tohod/lekcii2\\_3.htm](http://www.bseu.by/it/tohod/lekcii2_3.htm) (дата звертання 01.09.2018 г.). – Название с экрана.
6. Программы и базы данных по диагностике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agson.net/databases/> (дата звертання 13.09.2017 г.). – Название с экрана.
7. Gritsuk, I., Volkov, V., Mateichyk, V., Grytsuk, Y. et al., "Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions," SAE Technical Paper 2018-01-0024, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-0024>.

## **ДО ПИТАННЯ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

<sup>1</sup>Грицук І.В., <sup>1</sup>Курносенко Д.В., <sup>1</sup>Манжелей В.С., <sup>2</sup>Володарець М.В.

<sup>1</sup>Херсонська державна морська академія (Україна)

<sup>2</sup>Український державний університет залізничного транспорту (Україна)

Підвищенню ефективності використання суднового устаткування сприяє вдосконалення практичних і теоретичних методів дослідження надійності суднової техніки. Тільки на основі аналізу надійності можна прогнозувати безпеку її експлуатації, розробляти заходи щодо підвищення довговічності і безвідмовності суднових енергетичних установок, обґрунтовувати міжремонтні періоди, нормативи витрат змінно-запасних частин і обсяги ремонтів. У свою чергу, надійність в залежності від призначення системи визначається ймовірністю втрати працездатності, шкоди і ризику відмов їх елементів, залежить від умов експлуатації. Проблема підвищення надійності і безпеки експлуатації суднових енергетичних установок викликала розвиток методів оцінки і прогнозування їх технічного стану. Цій темі присвячено роботи П.П. Акімова, Б.П. Башурова, І.В. Возницького, В.В. Маслова, В.І. Самсонова, В.А. Шишкіна, Е.Дж. Хенлі, Х. Кумамото і інших.

Міжнародний кодекс з управління безпечною експлуатацією суден і запобігання забрудненню (ISM Code) та Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (SOLAS-74), вимагає, щоб суб'єкти господарювання, які відповідають за експлуатацію суден, визначили своєю метою «оцінку всіх виявлених ризиків для своїх суден, персоналу та навколишнього середовища і створення відповідного захисту». Ця вимога відповідає резолюції Міжнародної морської організації (ІМО) MSC.273 (85). У свою чергу, резолюція ІМО А.1022 (26) наказує, щоб вищевказані вимоги знайшли відображення в системах управління безпекою, а адміністрації держав контролювали їх виконання.

Для підвищення надійності суднових енергетичних установок застосовуються різні методи, засновані на використанні даних, отриманих поєднанням кількісних та якісних методів оцінок ризику відмов, що дозволяє здійснити аналіз ризику відмови енергетичних установок судна з використанням меншого обсягу інформації і з меншою трудомісткістю.

На сьогодні ІМО послідовно вирішує завдання підвищення безпеки мореплавання шляхом розробки цільових стандартів будівництва нових суден. Одним із прикладів системного підходу до їх розробки є формалізована оцінка безпеки (ФОБ). Інструмент ФОБ заснований на завчасних діях і являє собою структурований метод, що дозволяє визначити потенційно небезпечні ситуації до виникнення аварії з тим, щоб після цього оцінити величину ризику, провести оцінку витрат і вигод, пов'язаних із застосуванням можливих варіантів управління ризиками і, на підставі систематизованого аналізу, прийняти обґрунтовані рішення щодо зниження величини ризику. Метод ФОБ в даний час знаходиться на стадії розвитку.

З точки зору технічної безпеки кількісні оцінки ризику відмов і шкоди енергетичним установкам, необхідне і досить складне завдання, вирішення якого потребує розробки і застосування спеціального математичного апарату. Рішення прикладних задач такого типу часто ґрунтується на методах математичного та статистичного моделювання, метод «аналізу дерева відмов» і т.д.. Моделювання процесів функціонування енергетичних установок дозволяє визначити збитки і ризик відмов систем в різних умовах їх експлуатації. Серед методів моделювання надійності має місце розвинена технологія автоматизованого структурно-логічного моделювання і розрахунку надійності, живучості, безпеки складних системних об'єктів і процесів, ефективності і ризику функціонування енергетичних установок.

Надійність і безпека енергетичних установок залежать від великого числа



факторів, що визначаються їх конструкцією, умовами виробництва і експлуатації. Це призводить до того, що процеси зміни технічного стану, надійності і безпеки носять випадковий характер, а при оцінці і аналізі показників надійності і безпеки необхідно використовувати методи теорії ймовірності. Імовірнісна методологія оцінки ризику експлуатації небезпечних виробничих об'єктів, вперше використана Н. Расмуссеном, знайшла розвиток в роботах Е.Дж. Хенлі, Х. Кумамото, Дж. Раста, Л. Уивера, В. Маршала, І.А. Рябініна, А.С. Можаяєва, К.В. Фролова, Н.А. Махутова, В.А. Острейковській, Ю.В. Швиряєва, С.Г. Шульмана, А.Н. Бірбраер, П.Г. Белова, А.І. Гражданкіна і ін. Питання оцінок ризику і безпеки експлуатації суден відображені в працях В.А. Абчука, Г.В. Єгорова, А.А. Захарова, А.М. Нікітіна, Н.А. Решетова, В.П. Топалова та ін.

З аналізу літературних джерел випливає висновок, про необхідність застосування імовірнісних підходів на основі концепції прийнятних результатів оцінки ризику відмов підсистем енергетичних установок. Проте відсутність єдиного підходу до завдань імовірнісного аналізу ризику відмов цих підсистем при різних зовнішніх і внутрішніх впливах і їх обмежений характер в більшості випадків дозволяють виконати тільки приблизні оцінки ризику відмов.

Отже, прогнозування стану енергетичних установок створює передумови для визначення раціональних термінів проведення профілактичних заходів і ремонтів. Прогнозування технічного стану може здійснюватися із застосуванням багатofакторних моделей старіння енергетичних установок.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Balland O. Optimized selection of air emission controls for vessels [Text] / O. Balland, S.O. Erikstad, K. Fagerholt // *Mar Policy Manag* 39(4), 2012. - P. 387-400.
2. Changben J. Ship Hull and Machinery Optimization using Physics Based Design Software [Text] / J. Changben, F. Brian, L. David, R. Oen // *Marine Technology*, 2002. - Vol. 39. - No. 2. - P. 109-117.
3. Возницкий И.В. Предотвращение аварий судовых двигателей внутреннего сгорания [Текст] / И.В. Возницкий, Л.А. Иванов. - М.: Транспорт, 1971. - 92 с.
4. Овсянников М.К. Эксплуатационные качества судовых дизелей [Текст] / М.К. Овсянников, В.А. Петухов. - Л.: Судостроение, 1982. - 208 с.
5. Биргер И. А. Техническая диагностика [Текст] / И. А. Биргер. — М.: «Машиностроение», 1978. - 240 с.

## **ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ДАНИХ ПРО ПАРАМЕТРИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ І DID ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРИ ВИКОНАННІ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ І ДІАГНОСТУВАННЯ**

<sup>1</sup>Грицук І.В., <sup>2</sup>Матейчик В.П., <sup>3</sup>Smieszek Miroslaw, <sup>4</sup>Saga Milan, <sup>4</sup>Kuric Ivan, <sup>5</sup>Симоненко Р.В.

<sup>1</sup> Херсонська державна морська академія (Україна)

<sup>2</sup> Національний транспортний університет (Україна)

<sup>3</sup> Rzeszow University of Technology (Польща)

<sup>4</sup> University of Zilina (Словаччина)

<sup>5</sup> ДП «ДержавтотрансНДІпроект» (Україна)

**Вступ.** Для ефективної роботи транспортних засобів (ТЗ) в умовах оточуючого середовища необхідно постійно здійснювати їх конструктивну модернізацію та використовувати нові технологічні і інформаційні методи та підходи вибору стратегії технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) ТЗ. Конструктивна модернізація ТЗ, полягає у широкомасштабному використанні електронних (комп'ютерних, інформаційних) систем, які контролюють різноманітні процеси, що протікають під час виконання поставлених завдань перед ТЗ, забезпечують інформатизацію означених процесів, оптимізують та планують їх роботу, а також створюють умови для проведення моніторингу параметрів технічного стану у системі V2I. При цьому важливим завданням є оптимізація та обґрунтування комплексу технічних дій для поліпшення ТО і(або) Р й забезпечення високого коефіцієнту технічної готовності ТЗ в умовах експлуатації, що змінюються у часі [1 - 7].

**Актуальність досліджень.** Використання ТЗ в нестационарних умовах експлуатації вимагає постійного контролю параметрів фактичного його стану, проведення необхідних технічних дій з обслуговування для забезпечення належної працездатності. Подібна інтерпретація умов використання ТЗ можлива лише за рахунок моніторингу параметрів технічного стану, які ґрунтуються на обробці апріорної інформації, безперервній діагностиці та прогнозуванні технічних параметрів. У зв'язку з цим перед науковцями, що займаються питаннями експлуатації ТЗ, стоїть проблема забезпечення повноцінного зв'язку між процесами експлуатації ТЗ і параметрами умов експлуатації [2, 3, 6, 7], й узагальнення та удосконалення методів прогнозування технічного стану ТЗ [1 - 7]. Урахуванню та контролю параметрів технічного стану ТЗ в умовах експлуатації приділяється багато уваги, тому питання побудови систем моніторингу на основі систем V2I в різних сферах діяльності ТЗ не втрачають своєї актуальності [4]. Створення інформаційного простору моніторингу ефективності експлуатації ТЗ з урахуванням ієрархічності та багатооб'єктності умов експлуатації є важливим завданням. [4 - 7].

Моніторинг ТЗ – це одна з функцій менеджменту стану і умов експлуатації ТЗ, що заснована на зборі інформації про об'єкт дослідження та спрямована на дотримання режимів функціонування, встановлених значень показників використання та виконання запланованих заходів, а також прогнозування та контролювання, конкретизованих специфікою конструкції і умов експлуатації ТЗ та поставленими задачами [4 - 7].

**Постановка задачі.** Процеси технічної експлуатації сучасних ТЗ доцільно розглядати як складну динамічну систему, функціонування якої відбувається при дії різних випадкових факторів як зі сторони внутрішніх процесів в їх агрегатах та системах так і при дії процесів (умов) зовнішнього середовища [1, 3, 6, 7]. Тобто, в повному обсязі відносяться до структурованих систем типу V2I.

**Результати досліджень.** На базовому рівні ТЗ може бути досить простою машиною. Двигун внутрішнього згорання повертає вал, щоб забезпечити рух коліс, система рульового керування дозволяє правильно вказувати напрямок, а гальмівна система допомагає зупинитися. Оскільки людство розвивається все більше і більше технологічно, воно додає все більше і більше сучасних конструкцій і технологій в створенні ТЗ.

Сучасні ТЗ мають різну кількість комп'ютерів, які контролюють різні аспекти його діяльності, що дозволяє більшу частину часу навіть не замислюватися над процесами управління. Тобто до тих пір, поки не почнеться дратівливий контроль двигуна. Тоді раптово виникає нагадування, що ТЗ багато думає про інші системи, які можуть правильно не працювати. При цьому можливо відвезти ТЗ механіку, але можливо і самостійно скласти уявлення про проблему з бортовим сканером OBD II.

Ці інструменти легко можуть прочитати файл помилки, через які загоряється індикатор попередження. Деякі можуть дати код, інші можуть показати, в чому проблема. що цього можна вирішити, що можливо виправити, або, щоб хтось інший впорався з цим. У будь-якому випадку, озброївшись сканером OBD II, можливо мати уявлення про те, що відбувається під капотом. При цьому, дана задача може бути вирішена методами дистанційної діагностики.

Загалом, віддалена діагностична система надає ті ж функції, що і бортовий діагностичний тестер на місці або майстерня з обслуговування, наприклад. зчитування діагностичних даних, запуск діагностичних фракцій або оновлення прошивки ECU. Крім того, дистанційна діагностична система може одночасно акцентувати увагу на кількох ТЗ, забезпечуючи можливість збору даних про транспорт і використовувати інформацію, наприклад, для інтелектуального обслуговування.

Діагностичний зв'язок характеризується тим, що зовнішній діагностичний тестер відповідає ECU або групі ECU. Для цієї мети діагностичного тестера необхідно підключити і запустити мережу в автомобілі. Діагностичний зв'язок між діагностичним дистанційним листом (набором інформаційних повідомлень) і ТЗ вимагає відповідного протоколу діагностики. Оскільки впровадження стандартизованих протоколів поступово замінює реалізацію еталонних, діагностичні протоколи, зазначені в SAE J1979 (OBD II), SAE J1939 (HD OBD) ISO27145 (WWH OBD) і ISO 14229 (UDS), можуть розглядатися як звичайні [8].

CAN (рис. 1) може використовуватися як функція корекції VCI-DLC для коректора OBD II відповідно до SAE J1962: А (для автомобілів з напругою живлення 12 В постійного струму), або В (для автомобілів з напругою живлення 24 В постійного струму), або SAE J1939-13 для високопродуктивних, вантажних автомобілів [8].

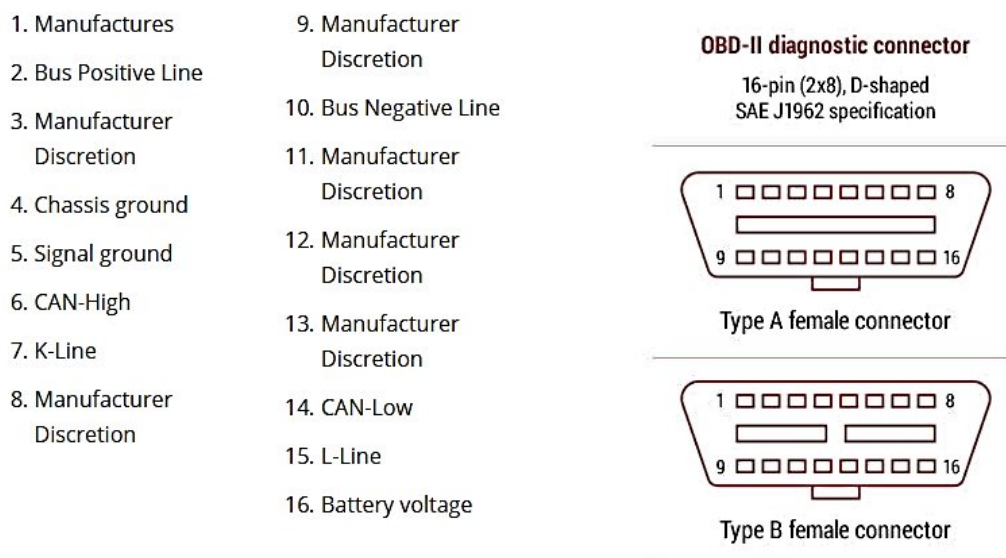


Рисунок 1. Особливості бортових діагностичних конекторів OBD II [8]

Сьогодні ТЗ, потужні вантажні автомобілі і автобуси, а також позашляхові машини оснащені електронними блоками управління (ECU), які з'єднані з датчиками і приводами. Крім того, ECU підключаються один до одного через бортові мережі, такі як мережа контролерів (CAN). Збірка всіх електричних і електронних компонентів називається системою E / E дорожнього транспортного засобу або мобільної машини. Система E / E

обробляє цифрову кодовану інформацію, що означає, що вона працює з даними і створює їх. Таким чином, система E / E служить джерелом даних.

Передача даних між ECU називається бортовий зв'язком. Крім того, дані можна зчитувати з ECU, відправляючи запит діагностичної служби, такий як запит служби ISO 14229 на читання даних за ідентифікатором. У табл. 1 наведено уривок ідентифікаторів даних (DID), які можуть запитуватися. У прикладах табл. 1 показані тільки статичні дані, які визначають архітектуру системи E / E.) [8].

Таблиця 1. Ідентифікатори даних (DID) служби ISO 14229 на читання даних за ідентифікатором [8]

<b>DID (hex)</b>	<b>Description</b>
0xF180	Boot software identification
0xF187	Vehicle manufacturer spare part number
0xF18A	System supplier identifier
0xF18C	ECU serial number
0xF190	Vehicle Identification Number (VIN)

Відправлення запитів діагностичних служб і відповідей на прийом називається діагностичної зв'язком, яка вимагає, щоб протокол діагностики підтримувався як системою E / E, так і системою збору даних. Прикладами діагностичних протоколів є OBD або вбудована діагностика (SAE J1979), SAE J1939-73 і UDS на CAN (ISO 14229 та ISO 15765). OBD юридично потрібно US EPA і Каліфорнійський рада з повітряних ресурсів для всіх дорожніх транспортних засобів, включаючи важкі вантажні автомобілі і автобуси.

Найважливіше питання дистанційного моніторингу та діагностування це які дані необхідні для його забезпечення? Нефільтроване безумство даних закінчується на декількох терабайтах даних на один транспортний засіб в день. Замість цього користувач даних повинен спочатку вказати необхідні дані, а потім знайти джерела. Приклади джерел даних включають в себе специфікацію ТЗ (наприклад, VIN, модель, тип, модельний рік), дані, що відносяться до конкретних власникам (місця проведення сервісних семінарів, розмір транспорту, варіанти використання), дані про конкретний драйвер (години роботи і т . Д.), географічні дані (широта і довгота місця розташування GPS, якість дорожнього покриття, барометричний тиск, температура навколишнього середовища), дані обслуговування (останній сервіс, наступний сервіс, час простою, час безвідмовної роботи, виконання роботи) і, нарешті, дані E / E-системи, як це зазначено в табл. 2.

Таблиця 2. Витяг з даних E / E-системи [8]

VIN	Engine Load	Vehicle speed	Grouped measurement data
MIL Status	Engine RPM	Mileage	Diagnostic data from distributed functions
DTCs	OBD PIDs	Fuel Consumption	Temperature values
Ignition state	DEF (AdBlue) level, temperature, quality	Distance / time since last engine on	Tire pressure (warning)
GPS latitude	GPS longitude	GPS altitude	GPS heading / precision

Для важких транспортних засобів (вантажних автомобілів і автобусів), наприклад, дані, що надаються системою E / E, можуть бути згруповані таким чином: дані бортового зв'язку CAN (наприклад, SAE J1939); дані OBD (SAE J1939-73, SAE J1979); розширені (ISO 14229-3 по ISO 15765-2).

На CAN-шині є безліч даних, так званих бортових даних. Щоб прочитати ці дані, пристрій має бути підключений до CAN-шині, і повинні бути відомі специфічні для CAN

параметри (CAN-ID і пов'язаний контент поля даних). Якщо система E / E підтримує SAE J1939, інформація доступна у вигляді таблиці Excel SAE J1939-DA і може бути отримана у SAE International. Підмножина фактично доступних даних є частиною специфікації системи E / E і має бути відомо користувачеві. Якщо система E / E не підтримує J1939, повинна бути доступна специфікація CAN-матриці, яка зазвичай зберігається в dbc-файлі.

На рис. 2 показано, як пристрій збору даних (xTCU або розширений блок управління телематикою T3) підключено до системи E / E дорожнього ТЗ. У цьому спрощеному прикладі модуль управління двигуном (ECU / ECM), модуль управління передачею (TCM) і шлюз (GW) з'єднані між собою з CAN роз'ємом.

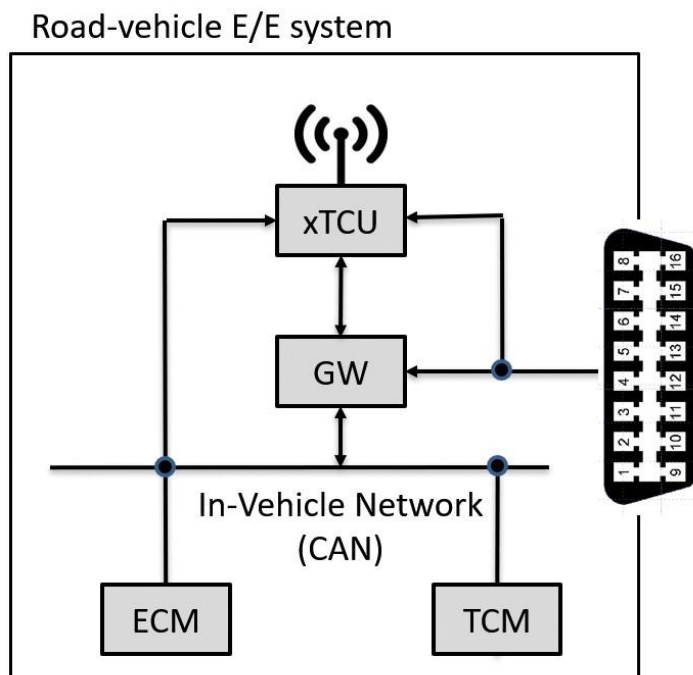


Рисунок 2. Фрагмент системи E / E дорожнього транспортного засобу [8]

У лівій частині рис. 1 xTCU підключається до шини CAN, зчитуючи бортове повідомлення. З правого боку він підключений до роз'єму лінії передачі даних (DLC), який зазвичай відомий як порт OBD II. Також xTCU підключається до GW для забезпечення діагностичного зв'язку з протоколом, відмінним від SAE J1979.

Якщо пристрій збору даних підключено до шини CAN, воно може виконувати діагностичний зв'язок для отримання даних, які не є бортовими даними. Сьогодні використання UDS на CAN в якості діагностичного протоколу, особливо в складі трансмісії дорожніх транспортних засобів, можливо розглядати як звичайну практику.

Підключення парку ТЗ до хмарних серверів підтримує отримання даних, які служать для прогностичних додатків. Для діагностичного зв'язку прошивка xTCU оснащена інтелектуальним діагностичним механізмом або sDE (рис. 3). SDE складається з D-сервера сумісного з MVCI (модульного засобу транспортного зв'язку) відповідно до ISO 22900, який обробляє дані виконавчі ODX, і OTX-RT, який служить в якості інтерпретатора для послідовностей OTX. OTX вказано в ISO 13209, форматі ODX в ISO 22901. База даних ODX містить протокол діагностики та будь-яку інформацію, необхідну для інтерпретації відповідей діагностичної служби.

Приклади послідовностей OTX для збору даних включають в себе зчитування наборів значень вимірів і зчитування діагностичних даних з розподілених функцій, які виконуються декількома ЕБУ.

Програмні модулі sDE доступні як готові продукти для Windows, iOS, Android і Linux. Їх можна легко інтегрувати в існуюче обладнання, таке як цифрові тахографи або TCU.

У минулому діагностичні дані від ТС збиралися в майстернях обслуговування, а потім агреговались і аналізувалились виробником ТЗ. Завдання розробників інформаційних

програмних комплексів полягає в тому, щоб обслуговувати транспортний засіб і як можна швидше доставляти його в дорогу - не обтяжуючи збір даних.

sDE

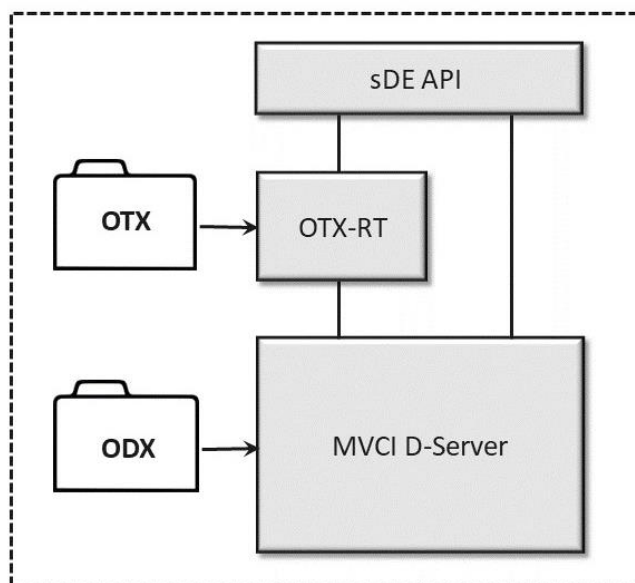


Рисунок 3. Компоненти прошивки xTCU для діагностичної зв'язку [8]

Завдяки розширеному TCU, встановленому в ТС, дані про бортах і діагностиці можуть збиратися на льоту. Якщо TCU оснащені радіоканалом передачі даних, дані з парку транспортних засобів можуть бути відправлені на хмарний сервер. Інтелектуальні процедури аналізу даних, які підтримують прогностичне обслуговування, допоможуть значно збільшити час автономної роботи ТЗ і автомобілів великої вантажопідйомності.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Гриньків А.В. Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів / А.В. Гриньків // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, вип. 29, 2016, С. 25 - 32
2. Говорущенко Н.Я. Системотехніка автомобільного транспорту (расчетные методы исследований): монографія / Н.Я.Говорущенко. Харків: ХНАДУ, 2011. – 292 с.
3. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей / [Н.Я.Говорущенко]. - Харків: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. – 312 с.
4. Троицкий-Марков Т.Е., Сенновский Д.В. Принципы построения системы мониторинга энергоэффективности / Т.Е. Троицкий-Марков, Д.В. Сенновский // Мониторинг. Наука и безопасность. - 2011. - № 4. - С. 34-39.
5. Давиденко Л.В. Функції енергетичного моніторингу складних виробничих систем та їх завдання для підвищення рівня енергоефективності / Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко, Н.В. Коенда, Н.В. Ярмольська // Вісник ХНТУСЕ. Технічні науки. Випуск 153 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. - Харків: ХНТУСЕ, 2014. - С.125-127.
6. Gritsuk, I., Volkov, V., Gutarevych, Y., Mateichyk, V. et al., "Improving Engine Pre-Start And After-Start Heating by Using the Combined Heating System," SAE Technical Paper 2016-01-8071, 2016, <https://doi.org/10.4271/2016-01-8071>.
7. Gritsuk, I., Volkov, V., Mateichyk, V., Grytsuk, Y. et al., "Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions," SAE Technical Paper 2018-01-0024, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-0024>.
8. Best OBD2 Scanner Tools – Reviews, Comparison, and In-Depth Buyer’s Guide // GarageChief [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://www.garagechief.com/best-obd2-scanner-tool-reviews/#ftoc-best-obd2-scanner-reviews-the-bottom-line> – 15.05.2017

## **МІКРОКОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ КРАНОМ МАРКИ MACGREGOR**

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

Незалежно від наявності в морських і річкових портах досить потужного підйомно-транспортного устаткування судна повинні бути забезпечені вантажопідйомними пристроями, кранами або вантажними стрілами. При цьому забезпечується незалежність суден від наявності в порту вільних вантажопідйомних машин, скорочуються терміни навантаження та розвантаження судна, а відповідно, і час їх оборотності. Крім того, в морських портах нерідко проводиться перевалка вантажів з морських суден на річкові, і навпаки. Але портові крани не завжди мають достатній виліт для забезпечення таких операцій. У цих умовах використовуються суднові крани.

Відмінною особливістю суднового електричного крана є компактність і маневреність, що дозволяє успішно виконувати підймання і розподіл вантажів в обмежених умовах, де немає можливості управління стандартними підйомними механізмами. Електричний кран незамінний для роботи з нестандартними вантажами. Сучасне обладнання проводиться з урахуванням можливості роботи в різноманітних кліматичних умовах, в сейсмічних зонах і при різному стані водосховищ [1].

Аварійні ситуації, які можливо попередити за допомогою автоматики і датчиків:

- зниження рівня мастила в редукторі електроприводу;
- виявлення витіку мастила в порожнину гідروприводу;
- надмірне збільшення швидкості розмотування барабана при аварії або втрати швидкості електроприводу - автоспрацювання гальма;
- попередження при роз'єднанні приводу і барабана;
- попередження при критичному крені щогли підйомного механізму (палуби);
- більш точне вимірювання довжини стравленого каната - попередження по закінченню троса;
- тривога при розвитку критичної аварії з швидким розмотуванням троса;
- попередження при перевантаженні електродвигуна;
- можливість побудови системи автоматичної компенсації розгойдування і крену вантажу, різко знижує кількість аварій і дозволяє комфортно працювати оператору крана.

Управління електрогідравлічним краном марки MacGREGOR заснована на мікрокомп'ютерній системі CC3000. Ця система основана на урегулюванні вхідних та вихідних сигналів від електричної частини управління краном.

Встроений програмований логічний контролер фірми SIMENS (PLC) дозволяє розширити можливості в системі управління судновими кранами.

Принцип роботи PLC фірми SIMENS CU 320-2 дещо відрізняється від «звичайних» мікропроцесорних пристроїв. Програмне забезпечення універсальних контролерів складається з двох частин. Перша частина це системне програмне забезпечення. Проводячи аналогію з комп'ютером можна сказати, що це операційна система, тобто управляє роботою вузлів контролера, взаємозв'язку складових частин, внутрішньої діагностикою. Системне програмне забезпечення PLC розташоване в постійній пам'яті центрального процесора і завжди готовий до роботи. За включення живлення, PLC готовий взяти на себе управління системою вже через кілька мілісекунд. PLC працюють циклічно за методом періодичного опитування вхідних даних.

На рисунку 1 зображено схему з'єднання системи CC3000 з мікроконтроллером SIEMENS CU 320-2.

Робочий цикл PLC включає 4 фази:

1. Опитування входів.
2. Виконання користувальницької програми.
3. Установку значень виходів.

4. Деякі допоміжні операції (діагностика, підготовка даних для відладчика, візуалізації і таке інше).

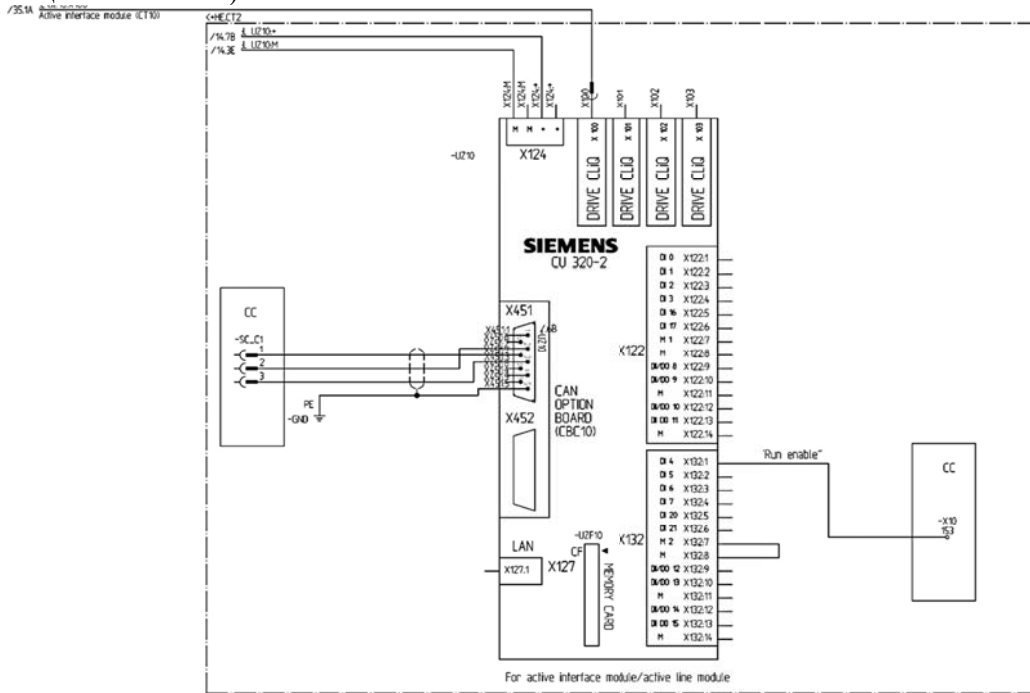


Рисунок 1. Схема з'єднання системи CC3000 з мікроконтролером SIEMENS CU 320-2

Виконання 1 фази забезпечується системним програмним забезпеченням. Після чого управління передається прикладній програмі, тій програмі, яку ви самі записали в пам'ять, за цією програмою контролер робить те що ви побажаєте, а по її завершенню управління знову передається системному рівню. За рахунок цього забезпечується максимальна простота побудови прикладної програми - її творець не повинен знати, як здійснюється управління апаратними ресурсами. Необхідно знати з якого входу приходить сигнал і як на нього реагувати на виходах [2].

Очевидно, що час реакції на подію буде залежати від часу виконання одного циклу прикладної програми. Визначення часу реакції - часу від моменту події до моменту видачі відповідного керуючого сигналу - пояснюється на рисунку 2.

Маючи пам'ять, PLC здатний реагувати по-різному на поточні події. Можливості перепрограмування, управління по часу, розвинені обчислювальні можливості, включаючи цифрову обробку сигналів, піднімають PLC на більш високий рівень на відміну від простих комбінаційних автоматів.

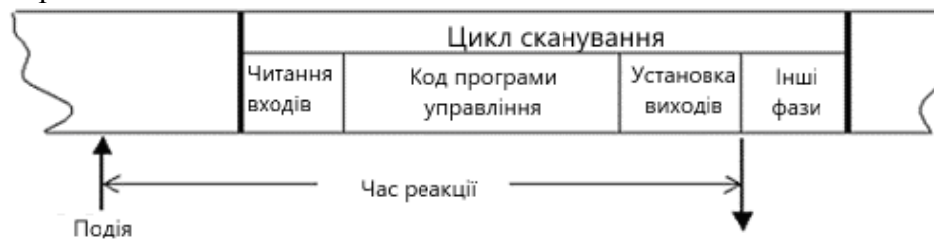


Рисунок 2. Схема по визначенню часу реакції

Розглянемо вхід та вихід PLC. Існує три види входів дискретні, аналогові та спеціальні.

Один дискретний вхід PLC здатний приймати один бінарний електричний сигнал, що описується двома станами - включений або виключений. Всі дискретні входи (загального виконання) контролерів зазвичай розраховані на прийом стандартних



сигналів з рівнем 24 В постійного струму. Типове значення струму одного дискретного входу (при входній напрузі 24 В) становить близько 10 мА.

Аналоговий електричний сигнал відображає рівень напруги або струму, відповідний деякої фізичної величини, в кожен момент часу. Це може бути температура, тиск, вагу, положення, швидкість, частота і таке інше.

Оскільки PLC є цифровою обчислювальною машиною, аналогові входні сигнали обов'язково піддаються аналого-цифровому перетворенню (АЦП). В результаті, утворюється дискретна змінна певної розрядності. Як правило, в PLC застосовуються 8 - 12 розрядні перетворювачі, що в більшості випадків, виходячи з сучасних вимог по точності управління технологічними процесами, є достатнім. Крім цього АЦП вищої розрядності не виправдовують себе, в першу чергу через високого рівня індустріальних перешкод, характерних для умов роботи контролерів.

Практично всі модулі аналогового вводу є багатоканальними. Входний комутатор підключає вхід АЦП до необхідного входу модуля [3].

Стандартні дискретні і аналогові входи PLC здатні задовольнити більшість потреб систем суднової автоматики. Необхідність застосування спеціалізованих входів виникає у випадках, коли безпосередня обробка деякого сигналу програмно затруднена, наприклад, вимагає багато часу. Найбільш часто PLC оснащуються спеціалізованими рахунковими входами для вимірювання тривалості, фіксації фронтів і підрахунку імпульсів.

Наприклад, при вимірі положення і швидкості обертання валу дуже поширені пристрої, що формують певну кількість імпульсів за один оборот - поворотні шифратори. Частота проходження імпульсів може досягати декількох мегагерц. Навіть якщо процесор PLC має достатню швидкодію, безпосередній підрахунок імпульсів в призначеній для користувача програмі буде дуже марнотратним за часом. Тут бажано мати спеціалізований апаратний входний блок, здатний провести первинну обробку і сформувавти, необхідні для прикладної задачі величини.

Другим поширеним типом спеціалізованих входів є входи здатні дуже швидко запускати задані користувальницькі завдання з перериванням виконання основної програми - входи переривань.

Дискретний вихід також має два стани - включений і виключений. Вони потрібні для управління: електромагнітних клапанів, котушок, пускачів, світлові сигналізатори і таке інше. Загалом сфера їх застосування величезна, і охоплює майже всю промислову автоматику.

Програмне забезпечення PLC реалізує наступні можливості:

- Автоматизоване управління механізмами крана по командам, що надходять від органів управління крісла-пульта оператора крана;
- Обмеження команд оператора крана у випадках, коли це може призвести до виходу обладнання з ладу, завдати шкоди або суперечить правилам експлуатації, техніки безпеки;
- Контроль стану всіх елементів системи (модулів двигунів, модулів управління, автоматичних вимикачів і таке інше);
- Гнучке параметрування основних характеристик механізмів крана (швидкість, час розгону / гальмування і таке інше.);
- Взаємодія з підсистемою візуалізації (панелями оператора) для відображення і зміни параметрів і характеристик крана.

Програмне забезпечення виконується на стандартизованій мові програмування Ladder Diagrams (LAD). Фрагменти математичної логіки і непряма адресація для роботи з архівами даних можуть бути виконані на мові Statement List (STL). Кожен блок, мережи супроводжується докладними коментарями російською або англійською мовою. Всі використовувані змінні іменовані відповідно до рекомендацій угорської нотації і

включають короткий опис, позиційне позначення на схемі електричної принципової пов'язаного з даними сигналом пристрою.

Панель оператора (HMI) в кабіні кранівника в режимі реального часу відображає напрямки руху механізмів крану, швидкості, які отримані від командоапаратів пульта управління.

За допомогою інженерного меню панелі оператора можливо:

- встановити значення часу розгону / гальмування, швидкості для кожного з положень командоапарату для кожного механізму окремо;
- переглянути поточні аварійні повідомлення та історію аварій;
- переглянути поточні електричні параметри двигуна: температуру, частоту, струм, напруга, момент і таке інше;
- переглянути мнемосхему нульовий ланцюг крана та її стан і таке інше.
- оперативна інформація і статистика роботи крана зберігається на карті пам'яті в циклічному архіві не менше 45 діб. Статистична інформація в архіві може включати в себе наступні характеристики:
  - спільне напрацювання годин крана і кожного механізму окремо;
  - число циклів підйому з диференціацією по навантаженню;
  - число спрацьовувань обмежувача вантажопідйомності;
  - і таке інше, на вимогу технічного завдання.

На рисунку 3 зображено схему з'єднання електричного двигуна типу 1LG4 288-4AA51-Z фірми SIEMENS з мікроконтролером SIEMENS CU 320-2 для керування різними режимами роботи суднового крану.

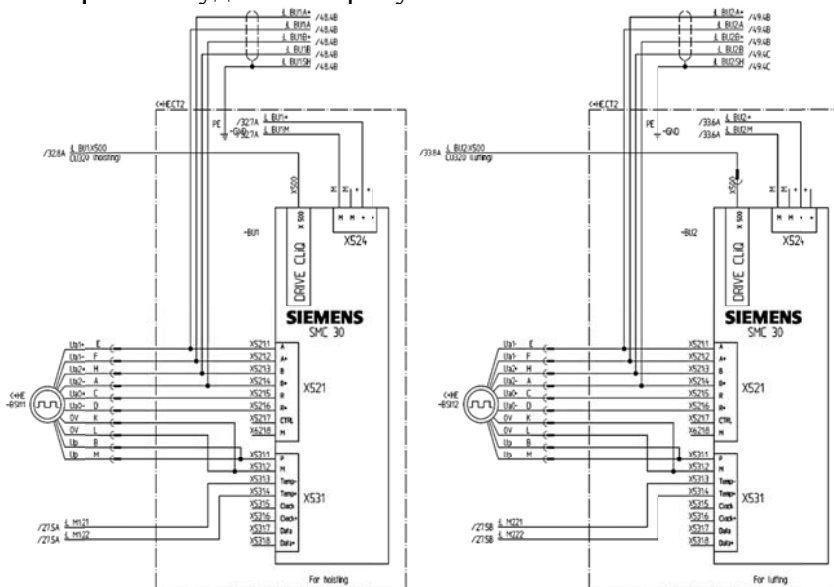


Рисунок 3. Схема з'єднання ЕД типу 1LG4 288-4AA51-Z фірми SIEMENS з мікроконтролером SMC 30 для керування різними режимами роботи суднового крану

У статті розглянуті питання та дана характеристика мікрокомп'ютерної системи CC3000, яка є основою системи управління електричним краном марки MacGREGOR. Ця система основана на урегулюванні вхідних та вихідних сигналів від електричної частини управління краном марки MacGREGOR за допомогою програмованого логічного контролера фірми SIEMENS (PLC).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Устройство и эксплуатация электрооборудования морских судов: Учебное пособие. / Н.М. Будянов– Одесса: Транспорт, 2010. – 228 с.
2. MacGREGOR Crane manual.
3. [https://seaspirit.ru/marine\\_books/mcgregor-crane-manual.html](https://seaspirit.ru/marine_books/mcgregor-crane-manual.html)

## **АНАЛИЗ ОШИБОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖОСЕВЫХ РАССТОЯНИЙ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ НА ТРЕХТОЧЕЧНОМ КОНТРОЛЬНОМ УЧАСТКЕ**

Егоров О.И., Ивин П.В., Трошин Е.А.

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна (Украина)

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

Данные о возможных значениях ошибок определения межосевых расстояний можно получить с использованием имитационной модели, или воспользовавшись аналитическими зависимостями, для выбранного контрольного участка, датчиков и межосевого расстояния подвижных единиц. Данные для определения допустимых значений ошибки определения межосевых расстояний необходимо можно взять из таблиц межосевых расстояний парка вагонов колеи 1520. Допустимые значения ошибок представлены в виде разницы межосевых расстояний двух подвижных единиц одинаковой осности и с наиболее близкими значениями. Для выполнения сравнения выполним преобразование допустимых значений ошибок от абсолютных значений к значениям среднего квадратического отклонения, используя для этого правило 3-х сигм. Алгоритм преобразования состоит из следующих операций:

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

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

Проведя анализ межосевых расстояний вагонов можно сделать следующее заключение: наиболее оптимальное качество идентификации подвижной единицы можно получить только при длине контрольного участка равной не менее 12 м и среднее квадратическое отклонение зоны срабатывания датчика не более 3 мм. Однако в ряде случаев это не является приемлемым как для длины контрольного участка, так и для возможных характеристик датчика. Поэтому необходимо разработать соответствующую методику, которая даст положительный результат при критических значениях исходных данных.

## **ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПРЕС ДІАГНОСТУВАННЯ ДАТЧИКІВ МАСОВОЇ ВИТРАТИ ПОВІТРЯ**

Зенкін Є.Ю.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

Вступ. Витрати палива транспортним засобом у першу чергу залежать від точної роботи датчиків електронної системи керування впорскуванням. Одним з основних датчиків, що впливають на озування циклової порції палива є витратомір повітря. Бо кількість палива та повітря, що повинні потрапляти у циліндр ДВЗ жорстко пов'язані між собою через коефіцієнт надлишку повітря та стехіометричне співвідношення. У статті розглянуто питання отримання діагностичної інформації при діагностиці витратомірів повітря масового типу. Як приклад розглянута перевірка витратоміра повітря системи впорскування пального Motronic легкового автомобіля.

Актуальність. Якщо брати ситуацію в Україні то можна спостерігати що одночасно в експлуатації перебувають три категорії різних автомобілів. У першу категорію можна віднести старі автомобілі випущені ще в 80-ті роки та першій половині 90х років – вони оснащені карбюраторними двигунами. У другу категорію можна віднести сучасні автомобілі, оснащені системами упорскування з електронним керуванням. Більшість цих автомобілів відносно нові, перебувають у справному стані й частина з них ще перебуває на гарантії на станціях сервісного обслуговування. У третю категорію будуть віднесені автомобілі також з електронним керуванням упорскуванням, але, що вже мають досить великий пробіг і термін служби в результаті чого могли виникнути неполадки які підвищують витрату палива, та й знижують екологічні властивості. У ряді випадків система упорскування з електронним керуванням розрахована на норми токсичності Euro перебуваючи в несправному стані може мати гірші експлуатаційні показники ніж справний автомобіль із карбюратором [1].

В експерименті був використаний автомобіль Skoda Octavia 1.8Turbo, на якому встановлений датчик масової витрати повітря. Відповідно для датчика масової витрати повітря експерименти потрібно проводити, оцінюючи стан термоанемометричного елемента. Крім перевірки вищезгаданих датчиків у статичному стані при подачі живлячої напруги, їх також необхідно було перевіряти в динаміці, тобто на різних режимах роботи автомобіля. Як відомо з теорії двигунів внутрішнього згорання, режими роботи автомобіля визначаються двома основними параметрами: навантаженням і частотою обертання колінчатого вала двигуна. На вищезгаданому автомобілі сигнал частоти обертання колінчатого вала двигуна досить легко виміряти - записати на осцилограф і синхронізувати з іншими сигналами для того, щоб усе перераховане вище було можливе. Для цього використовується датчик частоти обертання двигуна, також його називають датчиком положення колінчатого вала[3].

В Škoda Octavia використовується сигнал термоанемометричного елемента, діапазон виміру якого становить 5 В. Сигнал виводиться по одному дроті в аналоговій формі. У даному експерименті вимір сигналу витрати повітря й усі записувані сигнали були об'єднані в єдину синхрограму із загальною шкалою часу але різними шкалами по амплітуді [2].

Підготовка й проведення експерименту складається з декількох етапів : на першому етапі підготовки до проведення вимірів здійснюється діагностування транспортного засобу через рознімання OBD з метою виявлення помилок і несправностей у системі керування подачі палива й повітря. Які можуть спотворити результати проведених вимірів. Якщо помилки відсутні й усі вимірювані величини в нормі то можна переходити до наступного етапу. Якщо присутні помилки по яких-небудь системах то їх попередньо потрібно усунути. Якщо ж є присутнім помилка саме по датчикові витрати повітря, причому це відома помилка й для неї чітко проявляються симптоми то можливе

використання несправного витратоміра повітря саме для одержання порівняльних справним характеристикам [4].

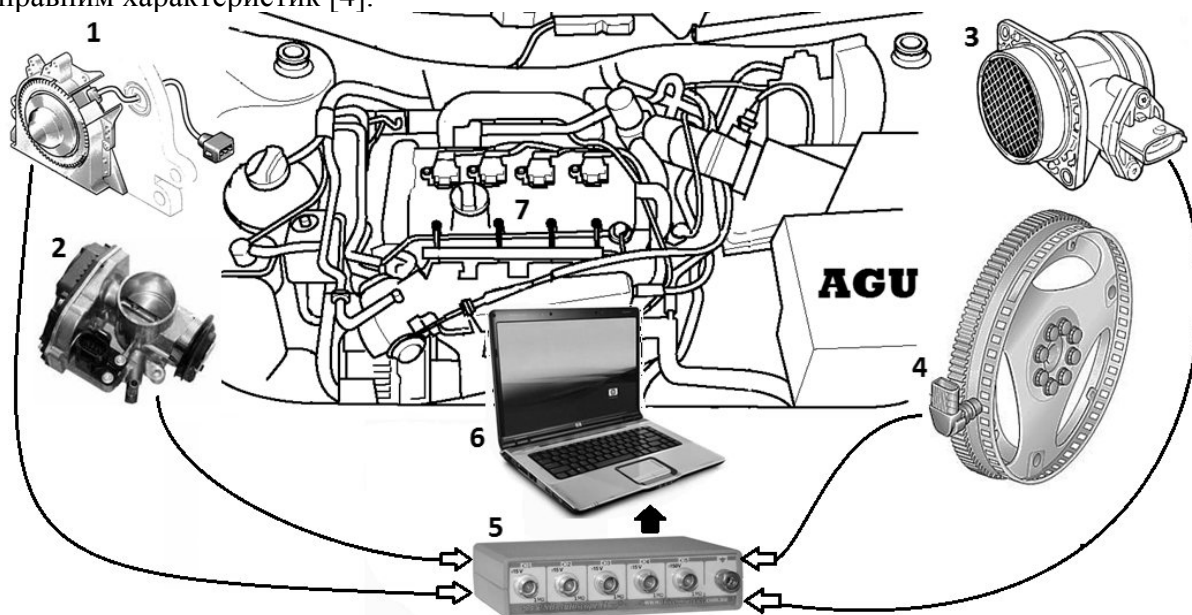


Рисунок 1. Підключення до автомобіля Škoda Octavia:

1 – датчик розподільного вала (Хол); 2 – дросельний модуль із датчиком положення заслінки; 3 – датчик масової витрати повітря; 4 – датчик положення колінчатого вала; 5 – осцилограф; 6 – ноутбук; 7 – ДВЗ AGU

#### Аналіз результатів випробувань

Першим режимом, котрий був обмірюваний був режим холостого ходу. При високій частоті дискретизації осцилограми на низьких обертах колінчатого вала осцилограма записалася досить чітко - добре помітні не тільки імпульси коливання повітря й сигнали датчика холу - положення розподільного вала, але й імпульси від кожного з 60ти зубів імпульсного диска датчика положення колінчатого вала (рис. 2 і 3).

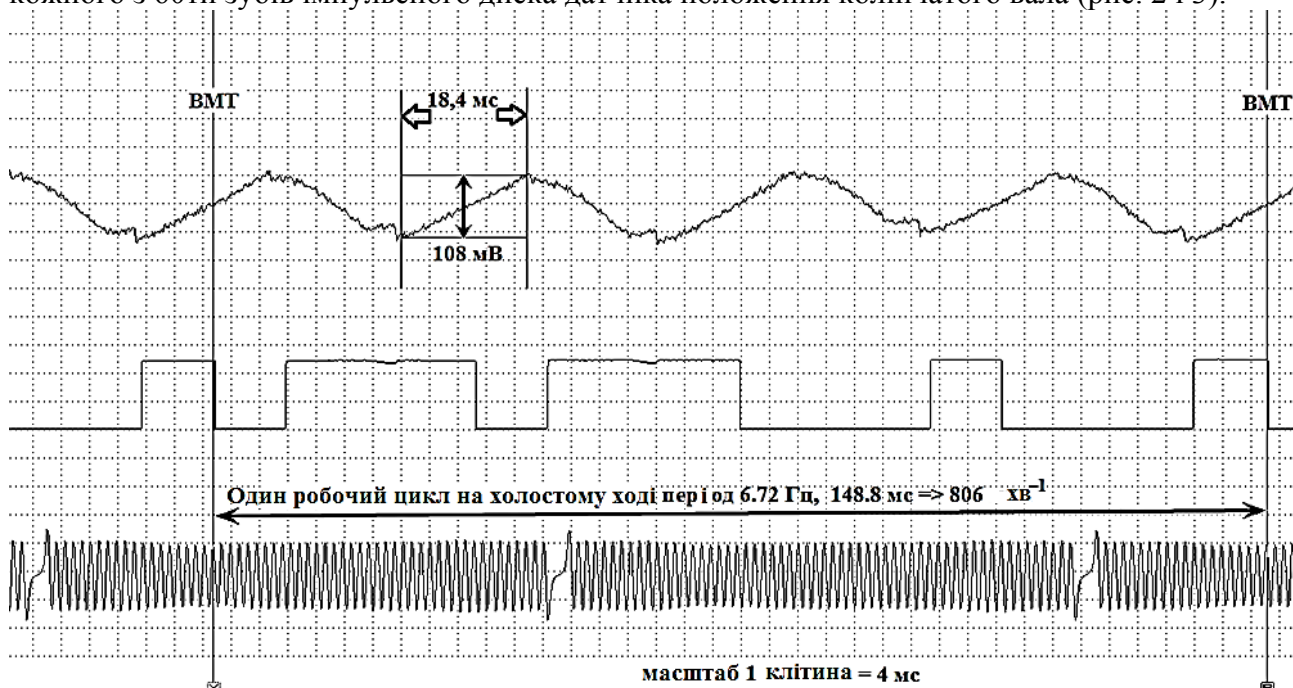


Рисунок 2. Сигнал справного датчика масової витрати повітря на ХХ:

1 – сигнал витрати повітря; 2 – сигнал фази розподільного вала; 3 – сигнал датчика колінчатого вала

Як можна побачити з рис. 2 із сигналом справного датчика на холостому ходу - можна добре відстежити чотири ( по числу циліндрів) характерних коливання повітря у впускному колекторі за період одного робочого циклу.

Як відомо з теорії двигунів внутрішнього згоряння ці коливання викликані роботою циліндро-поршневої групи й газорозподільного механізму. При однаковій загальній формі коливань для всіх чотиритактних двигунів внутрішнього згоряння із клапанним розподілом повітря параметри самих коливань будуть різнитися залежно від двигуна й чутливого елемента датчика витрати повітря. Однак на тому самому автомобілі при відсутності несправностей форма й параметри коливань спотворюватися не повинні. Знаючи ціну розподілу розгорнення осцилограми й амплітуду сигналу датчика витрати повітря можна записати еталонні значення для справного датчика. У якості еталонного критерію оцінки чутливості термоанемометричного елемента приймається відносний показник реакції термічної пластинки тобто швидкість наростання сигналу при зміні повітряного потоку  $dU_{maf}/dt$ . Якщо брати конкретне значення для холостого ходу двигуна автомобіля Škoda Octavia то швидкість зміни повітряного потоку справного датчика буде співвідноситися як зміна вихідного сигналу приблизно на 108 мВ за 18,4 мс. Тобто приблизно 5,9...6 мВ/мс. Якщо при цьому було проведено усереднення сигналу, те можна було б помітити, що сигнал коливається в районі середньої точки ледве більш 1...1,2 вольта значення менше цієї середньої величини означають зворотний потік повітря, а більше прямий потік повітря на холостому ходу. При обробці аналогічного сигналу отриманого для холостого ходу на автомобілі Škoda Octavia і його термоанемометричного датчика витрати, який несправний можна побачити як повну відсутність яких-небудь коливань повітря, так і низький середній рівень сигналу витрати (рис.3).

Тобто певна кількість бруду, що пройшов крізь повітряний фільтр (порушена герметичність) осіло на чутливому елементі датчика й не дозволяє йому правильно оцінювати потік повітря. Забруднення чутливого елемента завжди буде зменшувати робочий сигнал. Це означає що кількість прохідного повітря в циліндри двигуна буде більше чому розраховане під нього паливо суміш буде збіднюватися й машина втратить стабільність холостого ходу.

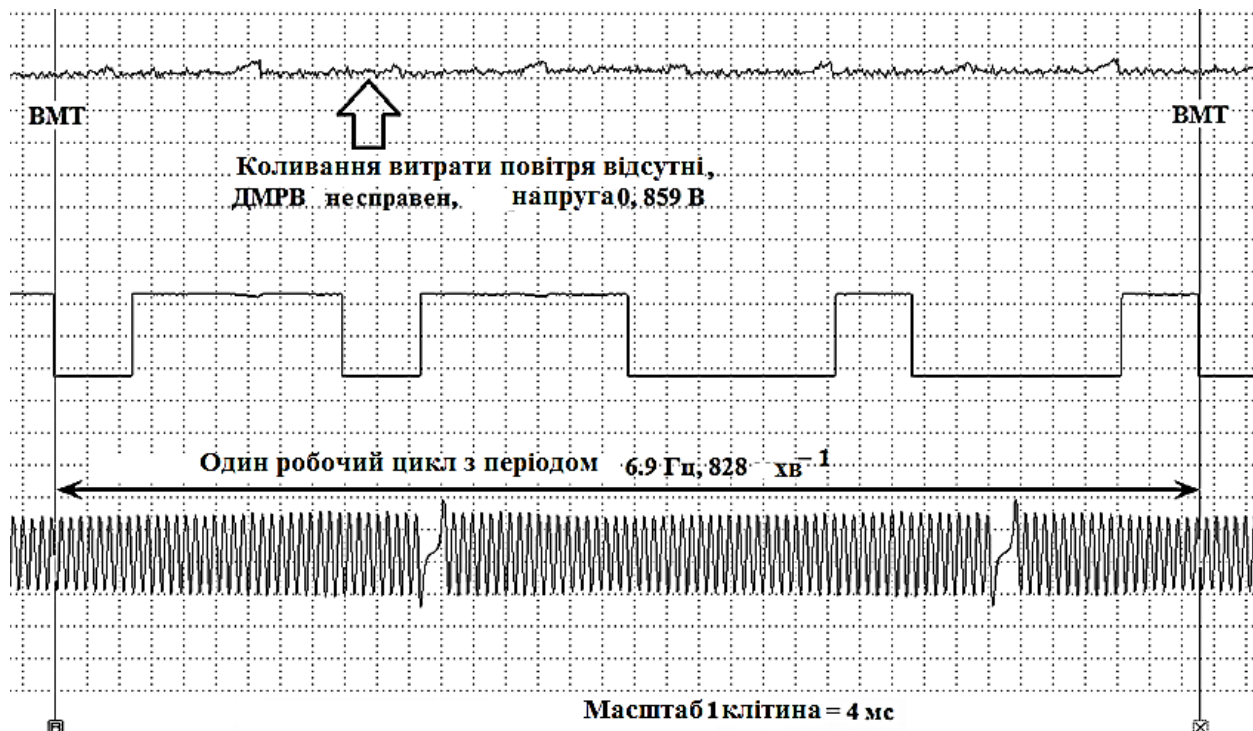


Рисунок 3. Сигнал забрудненого датчика масової витрати повітря на ХХ:  
 1 – сигнал витрати повітря; 2 – сигнал фази розподільного вала; 3 – сигнал датчика колінчатого вала

Висновки. Як і сам метод проведення вимірювань сигналу датчика за допомогою високочастотного цифрового осцилографа, так і отримані еталонні осцилограми сигналу можуть бути використані для діагностування датчиків такого типу виробництва Bosch на сучасних СТО. Проведення вимірювань за допомогою запропонованого методу дозволяє знизити час потрібний для діагностування транспортного засобу та підвищити точність встановленого діагнозу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/ [С.И. Ефимов, Н.А.Иващенко, В.И. Ивин и др.]; Под ред. А.С.Орлина, М.Г. Круглова. – [3 – е изд., перераб. И доп.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.
2. Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей / Хрулёв А.Э. - М.: За рулем, 1999. — 440 с. Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей / Хрулёв А.Э. - М.: За рулем, 1999. — 440 с.
3. Системы управления бензиновыми двигателями Bosch. Узлы и агрегаты./ [Перевод с нем. Ю.Г.Грудский, А.Г.Иванов]. – М.: «КЖИ За рулём», 2005. – 432 с. – (Первое русское издание).
4. Райф Конрад. Датчики в автомобиле. – М.: «КЖИ За рулём», 2013. – 165с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ СУДОВОЙ ПРОПУЛЬСИВНОЙ УСТАНОВКИ С ВИНТОРУЛЕВЫМИ КОЛОНКАМИ**

Колесник Д.В.

Морское инженерное бюро (Украина)

В последнее время всё чаще в качестве судовых движителей используются винторулевые колонки (ВРК), которые в отличие от традиционной пропульсивной установки позволяют поворачивать гребной винт на 360°, направляя тем самым упор в любую сторону. Это обеспечивает значительное улучшение маневренности судна.

В качестве привода ВРК, как правило, используются дизели. В отличие от пропульсивной установки с винтом фиксированного шага, в установке с ВРК нагрузка дизеля зависит не только от скорости судна и частоты вращения гребного винта, но ещё и от угла разворота ВРК.

Представляет интерес исследование зависимости параметров приводного дизеля от угла разворота ВРК. Для этого предполагается разработать математическую модель дизеля работающего на ВРК.

В качестве примера мы будем рассматривать среднеоборотный дизель Wartsila 6L20 мощностью 1200 кВт при 1000 об/мин и ВРК Schottel SRP1012, которые получили широкое распространение на современных судах внутреннего и смешанного (река-море) плавания.

Для моделирования дизеля предполагается использовать пакет AVL BOOST™, который является очень мощным программным комплексом для моделирования 2-х и 4-х тактных двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Он позволяет рассчитать полный рабочий цикл двигателя, включая процесс сгорания. Исследование проводится на кафедре СЭУ и ТЭ ОНМУ, обладающего лицензией на использование AVL BOOST™.

С помощью математической модели предполагается определить нагрузку на валу дизеля, а также отклонение его основных показателей при значительных углах разворота ВРК.



## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Кривошапов С.И.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (Украина)

### **Введение**

Автомобильный транспорт во всем мире является основным потребителем энергетических ресурсов. Во всем мире за день сжигается более 14 миллиардов литров нефти. Только за июль 2018 года на Украине было потреблено 1314 млн. м<sup>3</sup> природного газа, бензина - 48 тыс. тонн, 420 тыс. тонн дизельного топлива и 12 тыс. тонн сжиженного газа [1]. Задача государства – разработка комплекса мероприятий по сокращению потребления не возобновляемых источников энергии, большая часть которого ввозится в страну из-за рубежа.

Существует различные пути снижения негативных последствий эксплуатации автомобилей: конструктивные, организационные, эксплуатационные, транспортные, законодательные и другие мероприятия. Уточнение нормативов расхода и контроль потребления горюче-смазочных материалов также способствует повышению эффективности автотранспорта.

Деятельность любого предприятия связана с обработкой информации производственно-хозяйственного характера. Специфика предприятий автомобильного транспорта заключается в том, что необходимо проводить учет и контроль материальных средств и ресурсов, привязанных к перевозочному процессу, которые изменяется в зависимости от технических параметров, как самого транспортного средства, так и условий его эксплуатации. Применение компьютерных технологий позволит автоматизировать процесс сбора, обработки и анализа поступающей информации, с учетом всех особенностей и требований.

### **Цель исследования**

Необходимо разработать общие требования к программному обеспечению по нормированию и учету расхода топлива на предприятиях автомобильного транспорта.

### **Анализ нормативной базы**

Нормативное значение расхода топлива предложено рассчитывать по методике Министерства инфраструктуры [2]. Однако этот нормативный акт не имеет государственную регистрацию Министерства юстиции Украины, что подтверждается письмом Министерства инфраструктуры N 1545/25/10-14 от 17.02.2014 [3]. Поэтому данный нормативный акт не имеет статус межведомственного акта, следовательно, для предприятий не входящих в систему Минтранса, носит рекомендательный характер и не является обязательным к исполнению. Кроме того, данная методика имеет ряд недостатков [4], ограничивающих ее использование. В этом случае предприятиям целесообразно производить учет горюче-смазочных материалов только по фактическому потреблению, а для контроля нецелевого использования топлива использовать другие средства.

В соответствии с законами Украины «Об автомобильном транспорте» от 05.04.2001 г. № 2344-III, «О дорожном движении» от 30.06.93 г. № 3353-XII и Закона Украины «О милиции» от 20.12.90 г. № 565-XII, путевой лист не относится к числу обязательных документов перевозочного процесса. У водителя может не быть путевого листа, и это, согласно Кодекса Украины об административных правонарушениях от 07.12.84 г.

№ 8073-Х, не является правонарушением. В законе Украины «О бухгалтерском учете и финансовой отчетности в Украине» от 16.07.99 г. № 996-XIV настоятельно рекомендовано использовать путевой лист для подтверждения хозяйственной деятельности предприятия, нормирования труда водителя, списания горюче-смазочных материалов и учета пробега транспортного средства. Можно использовать любую форму путевого листа, лишь бы она отвечала общим требованиям, предъявляемых к первичным документам.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что на предприятии может осуществляться учет потребления горюче-смазочных материалов по первичному документу произвольной формы, составленного по факту его потребления. Для автоматизации такого учета целесообразно использовать компьютерные технологии, где учет и хранения первичной информации осуществлять в электронном виде с возможностью ее дублирования на бумажном носителе.

### **Анализ существующих систем**

Базовая функциональность информационных систем (ИС) заключается в: учете АТС, агрегатов и ГСМ; учете персонала АТП с указанием специальностей и квалификации; учете подвижного состава, его закрепление за водителями и перемещение по колоннам, выполнение капитального ремонта и списание; учете номерных агрегатов, шин, аккумуляторов, ГСМ. Первичной информацией является путевые документы, по которым осуществляется: выписка и печать путевых листов; обработка путевых листов; учет выполненных транспортных операций в денежном и натуральном формате; начисление заработной платы водителям; учет расхода ГСМ.

Примерами реализации ПО для разного типа предприятий автомобильного транспорта являются следующие продукты: «АвтоПредприятие», «АвтоПеревозки», [5], «Logist.ua» [6], «АвтоДилер», «Solvo.WMS» [7] и др. Программная среда «1С-Предприятие» комплектуется дополнительными модулями отраслевых и специализированных решений 1С и 1С-Парус. Применительно для транспорта используются следующие компоненты: Автобизнес, Транспорт, Логистика [8].

В настоящее время широко внедряются системы мониторинга транспортных средств, оснащенных навигационным оборудованием с использованием спутниковой навигации. Использование таких систем позволяет получить историю движения автомобиля по карте, высоту расположения дороги, изменение скорости и пробега машины в любой момент времени. Системы мониторинга могут включать датчики контроля расхода топлива, а также передавать информацию о режиме работы и состоянии автомобиля [9].

### **Основные требования к программному обеспечению**

Хранение первичной информации осуществлять на основе систем управления базами данных и систем поддержки принятия решений. В зависимости от размера предприятия и удаленности его подразделений можно использовать локальные или сетевые хранилища данных. Предпочтение отдается сетевым реляционным базам со свободной лицензией: MySQL, Firebird, PostgreSQL и др.

Организация доступа к данным должна осуществляться программными средствами, которые способны работать с различными операционными системами. В настоящий момент наибольшее распространение имеют следующие ОС для ПК: Windows (Win32 или NET), Linux, Mac OS X. Для смартфонов и планшетов – Android, iOS, Windows Phone.

Взаимодействие клиентской программы с серверной базой данных должна быть построена по технологии «толстого» или «тонкого» клиента. В последнем случае клиентское приложение взаимодействует не с самой базой данных, а через

дополнительное приложение, которое администрирует пользователей и защищает данные, снижая нагрузку на сеть.

Для создания прикладного программного обеспечения необходимо использовать соответствующую программную среду разработки. Предпочтительны системы, способные генерировать код для нескольких ОС, поддерживающие кроссплатформенную среду исполнения и имеющие свободную лицензию. Пример, QDevelop, Android Studio, Lazarus и др.

Взаимодействие пользователя с базой данных можно организовать через Веб-приложение. Тогда клиентом выступает браузер, в среде которого работает приложение, не зависящее от конкретной операционной системы пользователя. Большая часть логики приложения осуществляется на стороне сервера. На стороне клиента используются HTML, XHTML, CSS, JavaScript и Java, а на сервере: ASP, PHP, Python, Perl, Ruby.

Фактическое значение расхода топлива на автомобиле может быть получено в результате визуального контроля остатка топлива в баке до и после смены. В этом процессе желательно исключить водителя, как лицо, которое заинтересованно в завышении показаний потребленного расхода топлива. Поэтому более эффективный способ – это производить измерения уровня топлива в баке электронными измерительными средствами. Потребление топлива может быть также определено по расходомеру топлива, установленного в топливную систему автомобиля, а также по данным контролера управления двигателем, информация которого может быть получена компьютером через диагностический разъем.

Информация о расходе топлива может быть получена одновременно (по возвращению автомобиля на базу) контактным или бесконтактным методом. Также можно организовать постоянный мониторинг расхода топлива в процессе движения автомобиля и передачей данных, как по накоплению, так и постоянно во время движения автомобиля.

Компьютерная система должна обладать комплексом интерфейсов для взаимодействия с измерительной аппаратурой по проводным и беспроводным каналам, а также возможность взаимодействия с другими системами для получения данных, используя различные протоколы передачи данных. Например, в системах спутникового мониторинга транспорта необходимо организовать взаимодействия между несколькими серверами: базы данных, картографической подсистемы, телекоммуникационным сервером и сервером приложения.

При нормировании расхода топлива в базе данных кроме первичной информации необходимо размещать результаты расчетов и анализа, справочную и служебную информацию. Необходимо предусмотреть средства визуализации полученной и обработанной информации, возможность составления и распечатки отчетов по каждому объекту наблюдения за определенный период времени, генерации сводных ведомостей по всем автомобилям предприятия или по отдельным подразделениям.

Программная система должна иметь возможность импортировать результаты в текстовом, графическом и табличном виде в другие программы системы. Для удобства составления отчетов необходимо иметь возможность сохранять файлы в форматы MS Office (Word, Excel, Access), Adobe Acrobat, Open Office (Writer, Calc, Base) и др., или взаимодействовать с этими программами в процессе работы по технологии COM/DCOM.

Результаты по нормированию и учету расхода топлива могут использоваться в других системах. Необходимо организовать передачу данных в систему управления предприятием и бухгалтерского учета материальных ценностей. Наиболее распространенной средой является: Платформа 1С:Предприятие фирмы «1С» [8], и построенные на ее базе типовые конфигурации «1С:Бухгалтерия», «1С:Зарплата и управление персоналом», «1С:Торговля и Склад», «1С:Комплексная автоматизация», «1С:Управление бизнесом» и др.

К сожалению, в нормативной базе [2] не приведены значения базовой нормы расхода топлива для большого количества автомобилей, находящихся в настоящее время

в эксплуатации. Численные значение базовой нормы расхода топлива можно получены расчетным путем по методике, которая была разработана проф. Говорущенко Н.Я. [10]. По математическим моделям, учитывающие конструктивные особенности транспортного средства, а также условия эксплуатации, рассчитывается основная и дополнительная нормы расхода топлива для любого транспортного средства. При этом достаточно иметь информацию об общих технических данных на автомобиль, предоставляемых заводом-изготовителем. Кроме того, данная методика позволяет в полной мере учитывать реальные условия эксплуатации транспортного средства через среднюю техническую скорость. В программное обеспечение интегрирован модуль для расчета реальных норм расхода топлива, с учетом дорожных, транспортных и атмосферно-климатических условий. Отклонение фактического расхода топлива от расчетных значений свидетельствует о нарушениях правил эксплуатации автомобиля.

Расход топлива может выступать интегральным диагностическим показателем характеризующего общее техническое состояние транспортного средства, по которому можно корректировать периодичность технического обслуживания машин и оценивать необходимость проведения ремонта.

### **Выводы**

Рассмотренные требования к программному обеспечению лишь частично отражает тенденции и технологии построения программных продуктов. Требования могут меняться в зависимости от специфики предприятий и подвижного состава, оснащенности компьютерным оборудованием, доступности сетевых технологий, удаленности подразделений и других факторов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Использование топливных продуктов / Минфин – Режим доступа: <https://index.minfin.com.ua/economy/energy/>.
2. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті [Електронний ресурс] / Затверджено наказом Міністерства транспорту України від 10 лютого 1998 р. N 43. – Режим доступу: [http://prock.com.ua/wp-content/uploads/2011/10/norms\\_ukr.doc](http://prock.com.ua/wp-content/uploads/2011/10/norms_ukr.doc).
3. Лист Мінінфраструктури N 1928/25/10-16 від 26.02.2016 р. «Щодо деяких питань норм витрат палива» - Режим доступу: <http://www.profiwins.com.ua/uk/letters-and-orders/transport/8861-1928.html>.
4. Кривошапов С.И. Нормирование расхода топлива на транспорте [текст] / С.И. Кривошапов // Наукові нотатки : Міжвузівський збірник (за галузями знань "Машинобудування та металообробки", "Інженерна механіка", "Металургія та матеріалознавство"). - Луцьк: ЛНТУ. - Вип. 45. - 2014. - С. 308-316.
5. Программное обеспечение для автомобильного бизнеса / Официальный сайт Компании "АвтоСофт". – Режим доступа: <http://www.autosoft.ru>.
6. GPS-мониторинг и управления транспортом. - Режим доступа: <http://systemgroup.com.ua/ru/content/logistua-sistema-upravleniya-transportom>
7. Solvo – комплексная система управления. – Режим доступа: <http://www.solvo.ru>.
8. Фирма «1С». – Режим доступа: <http://www.1c.ru>.
9. Волков В.П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем : Монография / В.П. Волков, В.П. Матейчик, О.Я. Никонов [и др.]. – Донецк: Ноулидж, 2013. – 398 с.
- 10 Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) [текст] / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. – Харьков: ХНАДУ, 1999. – 457 с.

## **ПРИЧИНЫ ВЫХОДА СО СТРОЯ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ АВАРИЙНЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ**

Литвин С.Н.

ООО «Мотортех», г.Первомайск Николаевской обл. (Украина)

Аварийные дизель-генераторы, несмотря на непродолжительное время работы под нагрузкой, работают в более тяжелых условиях, чем другие агрегаты работающие непрерывно. Это связано с частыми пусками, без соответствующей предпусковой подготовки, быстрым выходом на номинальные обороты, высоким темпом принятия нагрузки с относительно «холодного» состояния, периодическими проверочными пусками и рядом других причин. Мнение, что пуск двигателя происходит с прогретого состояния, в результате его нахождения в состоянии горячего резерва, ошибочное, т.к. горячий резерв сокращает время прогрева двигателя до рабочих температур рабочих жидкостей но не снижает градиента температур в момент приема нагрузки – температура внутри цилиндров до пуска двигателя равна температуре охлаждающей жидкости, а работающего двигателя, уже на холостом ходу, измеряется сотнями градусов.

Как результат - аварийные дизель-генераторы, несмотря на незначительные наработки, зачастую требуют проведения ремонтов агрегата в целом или отдельных его агрегатов. Наиболее уязвимым узлом аварийного дизель-генератора является турбокомпрессор. Основными причинами выхода со строя турбокомпрессоров аварийных дизельных электростанций является: попадание в проточные части посторонних предметов, чаще всего – поршневых колец; коксование проточных частей турбины в результате длительной работы на холостом ходу и близких к нему режимах; нарушения в работе топливной аппаратуры, а также высокие термические нагрузки из-за высокого темпа нагружения прогретого дизеля, т.е. некачественного рабочего процесса на неустановившихся режимах. Нарушение рабочего процесса вызывает уменьшение проходных сечений соплового аппарата сверх допустимых пределов и как следствие рассогласование рабочих характеристик двигателя и турбокомпрессора, смещения линии их совместной работы в зону близкую к линии помпажа.

Осмотр 40-ка турбокомпрессоров 2-х тактных среднеоборотных двигателей работающих в составе аварийных дизель-генераторов показал, что 12 из них требуют ремонта с заменой запасных частей, при этом два из них вышли из строя с повреждением проточных частей турбины, остальные 100% осмотренных турбокомпрессоров требуют немедленного текущего ремонта (моточистки) из-за значительного коксования проточных частей турбины. Оценка состояния турбокомпрессоров проводилась как с их разборкой, так и путем анализа параметров рабочего процесса. При этом факта повреждения проточных частей компрессорной части не зафиксировано.

Аналогичная ситуация отмечена и на 4-х тактных двигателях производства ПО «Звезда» - проточные части турбокомпрессоров аварийных дизель-генераторов КАС500 в большинстве своем не обеспечивали рабочий процесс дизеля, работали на границе помпажа и требовали очистки проточных частей турбины.

Выводы.

1. Для обеспечения безаварийной работы турбокомпрессоров двигателей работающих в составе аварийных дизель-генераторов требуется проведение их периодических текущих ремонтов с целью очистки проточных частей.
2. Для снижения темпа загрязнения проточных частей турбокомпрессоров и уменьшения толщины нагара путем его выгорания целесообразна периодическая работа двигателя на номинальном режиме.
3. Периодичность «прожигания» дизелей и моточисток определяется для каждого типа аварийных дизель-генераторов экспериментально.
4. Целесообразно, также, введение без разборной промывки проточных частей турбокомпрессоров дизелей 78Г.

## **ОСОБЛИВОСТІ СТЕНДОВОЇ ПЕРЕВІРКИ ТЯГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ З ПОВНИМ ПРИВОДОМ**

Мармут І.А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

### **Вступ**

Потужність на колесах можна виміряти як мінімум двома різними способами/стендами: навантажувальними та інерційними. Обидва стенди використовують барабани та нерухомо закріпленій автомобіль [1].

У закордонній практиці навантажувальні стенди називаються *chassi dynamometers* або *brake dynamometers*. Інерційні стенди називаються – *inertial dynamometers* або (іноді) *accelerative dynamometers*. Крім того, про навантажувальні стенди звичайно говорять як про *статичні* стенди, маючи на увазі, що виміри відбуваються звичайно дискретно при певному навантаженні та фіксованих обертах двигуна, у той час як на інерційних динамометрах процес вимірів іде практично безупинно.

До числа інерційних стендів відносяться, наприклад, досить популярні стенди DYNOJET 248 виробництва однойменної компанії, що є практично стандартом *de facto* у тюнінгових ательє. Прикладом навантажувальних динамометрів може служити SR-1100 виробництва TAYLOR DYNAMOMETER.

### **Актуальність досліджень**

Аналізуючи сучасні тенденції розвитку автомобілебудування, можна помітити, що з кожним роком збільшується кількість автомобілів з повним приводом. Вступивши на шлях створення повнопривідних легкових автомобілів, компанії працювали в декількох напрямках. У результаті з'явився цілий ряд конструктивних схем повнопривідних трансмісій - Quattro, Syncro, 4Matic, 4Motion тощо. За принципом дії їх можна розділити на три великі групи [2] :

- постійний повний привід;
- повний привід, що підключається автоматично;
- системи з ручним включенням повного приводу.

У зв'язку з великою кількістю повнопривідних автомобілів постає необхідність у їхньому технічному обслуговуванні, зокрема, у діагностуванні тягових властивостей.

### **Постановка задачі**

***Особливості перевірки тягових властивостей повнопривідних автомобілів на стендах.***

Найбільше поширення для цього одержали роликові стенди [3, 4, 5, 6] . У переважній більшості випадків стенди мають конструкцію для перевірки тільки однієї осі (одноосьові стенди). При діагностуванні тільки одна з осей автомобіля перебуває на стенді. Колеса інших осей (осі) перебувають на підлозі. У цьому випадку при діагностуванні автомобілів із приводом на одну вісь проблем не виникає.

Але при діагностуванні повнопривідних автомобілів можуть виникнути проблеми. Оскільки автомобіль оснащений повним приводом, то момент починає передаватися з передньої осі на задню вісь і автомобіль може з'їхати зі стенда. Для перевірки автомобілів 4x4 треба використовувати двохосьовий стенд із рухомим заднім роликівим агрегатом, регульованим під різні бази автомобілів. Під час виміру всі колеса автомобіля обертаються в прямому напрямку. Даний спосіб перевірки тягових властивостей є найбільш коректним для сучасних повнопривідних автомобілів з надзвичайно складними

трансмiсіями. Він дозволяє найбільш точно оцінити реальний технічний стан силового агрегату. Загальний вид діагностичного стенду представлений на рисунку 1.

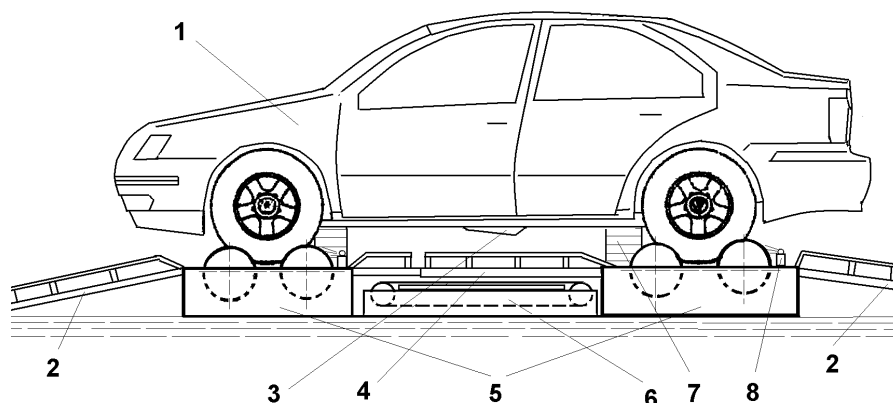


Рисунок 1. Модульний діагностичний стенд:

1 - автомобіль, що перевіряється; 2 - в'їзні апарелі; 3 - антена радарного датчика швидкості; 4 - розсувні апарелі; 5 - модулі з біговими барабанами; 6 – доріжка імітатора руху; 7 - пневматичні піднімальні пристрої; 8 - керовані пульверизатори для змочування бігових барабанів

На стенді з біговими барабанами моделюються умови руху, максимально подібні до реальних умов на дорозі, а також замір параметрів у процесі діагностування та реєстрація даних, що надходять від електронного блоку керування системи бортової діагностики [7]. Керування роботою стенда та засобами технічної діагностики здійснює оператор-діагност. Після первинної обробки отримана інформація вводиться оператором ЕОМ у незалежну комп'ютерну частину для наступного використання як у базі знань (БЗ), так і в базі даних (БД) при розрахунку еталонної моделі об'єкта діагностування.

### Результати досліджень

#### ***Силова взаємодія автомобіля з повноопорним стендом при перевірці в тяговому режимі.***

Для визначення коефіцієнта використання навантаження при тягових випробуваннях автомобіля 4x4 необхідно зробити силовий аналіз системи «автомобіль-стенд». Розрахункова схема системи небагато відрізняється від схеми для гальмівних випробувань [8] і представлена на рисунку 2.

Силова модель розглянутої системи, як і для гальмівних випробувань, повинна містити в собі рівняння рівноваги кузова і двох мостів і рівняння руху барабанів і коліс .

Рівновага переднього колеса:

$$\Sigma X = -T_1 \cdot \cos \alpha_1 - T_2 \cdot \cos \alpha_2 + N_1 \cdot \sin \alpha_1 - N_2 \cdot \sin \alpha_2 + H_1 = 0, \quad (1)$$

$$\Sigma Y = T_1 \cdot \sin \alpha_1 - T_2 \cdot \sin \alpha_2 + N_1 \cdot \cos \alpha_1 + N_2 \cdot \cos \alpha_2 - (Y_{\Pi} + G_{\Pi}) = 0. \quad (2)$$

Рівновага заднього колеса:

$$\Sigma X = -T_3 \cdot \cos \alpha_3 - T_4 \cdot \cos \alpha_4 + N_3 \cdot \sin \alpha_3 - N_4 \cdot \sin \alpha_4 + H_2 = 0, \quad (3)$$

$$\Sigma Y = T_3 \cdot \sin \alpha_3 - T_4 \cdot \sin \alpha_4 + N_3 \cdot \cos \alpha_3 + N_4 \cdot \cos \alpha_4 - (Y_3 + G_3) = 0. \quad (4)$$

Рівновага кузова:

$$\Sigma X = -H_1 - H_2 + H = 0, \quad \Sigma Y = -G + Y_{\Pi} + Y_3 = 0 \quad (5)$$

$$\Sigma M_{O'_3} = M_{KP\Pi} + M_{KP3} + Y_{\Pi} \cdot L - G \cdot L_2 = 0.$$

Рух передніх коліс:

$$-M_{KP\Pi} + I_{K1} \cdot \varepsilon_{K1} + (T_1 + T_2) = 0. \quad (6)$$

Рух задніх коліс:

$$-M_3 + I_{K2} \cdot \varepsilon_{K2} + (T_3 + T_4) = 0 . \quad (7)$$

Рух барабанів:

$$\begin{aligned} -I_1 \cdot \varepsilon_1 + T_1 \cdot r = 0 , & \quad -I_2 \cdot \varepsilon_2 + T_2 \cdot r = 0 , \\ -I_3 \cdot \varepsilon_3 + T_3 \cdot r = 0 , & \quad -I_4 \cdot \varepsilon_4 + T_4 \cdot r = 0 . \end{aligned} \quad (8)$$

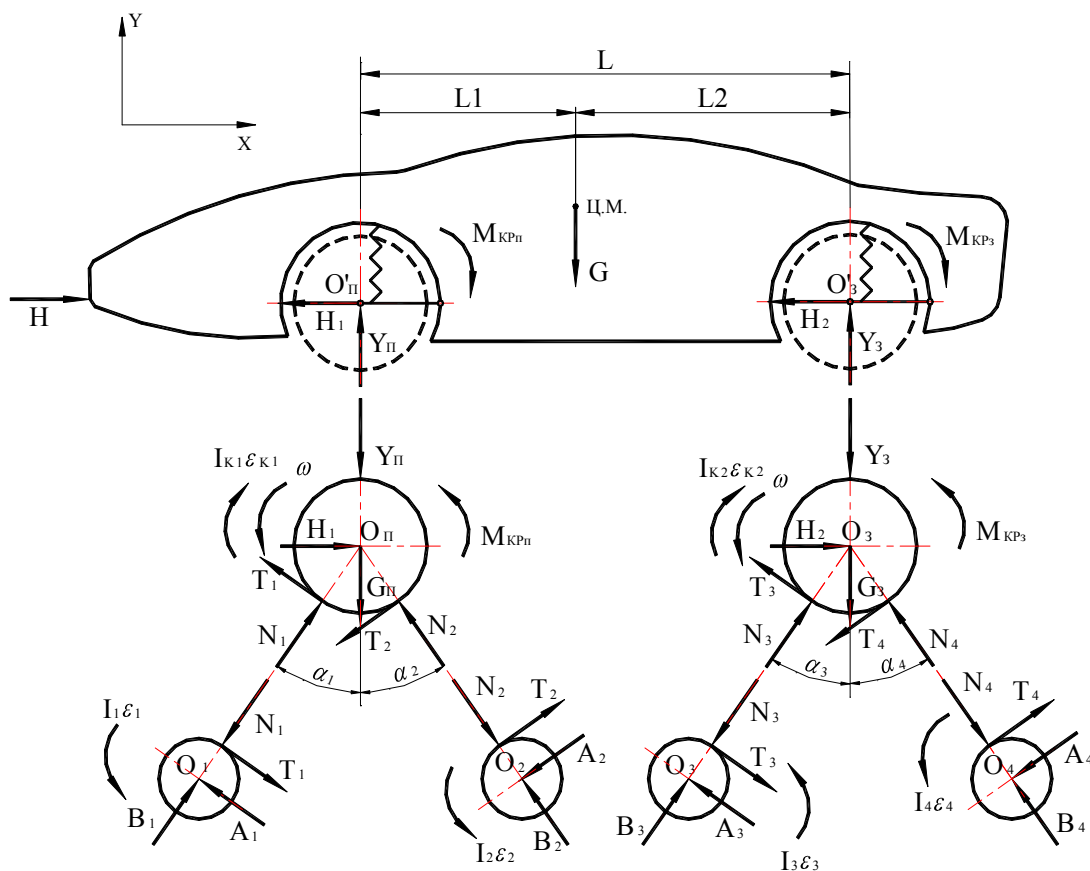


Рисунок 2. Схема сил у системі автомобіль-стенд при тягових випробуваннях автомобіля 4x4 на інерційному стенді зі зв'язком між барабанами:

$M_{KP\Pi}$ ,  $M_{KP3}$  – крутні моменти на переднім і заднім колесах;  $G$ ,  $G_{\Pi}$ ,  $G_3$  – ваги кузова без переднього і заднього мостів і коліс, переднього і заднього мостів з колісьми;  $H_1$ ,  $Y_{\Pi}$  – складові зусилля в передній підвісці;  $H_2$ ,  $Y_3$  – складові зусилля в задній підвісці;  $H$  – зусилля в кріпильному з'єднанні

Так само, як і при гальмових випробуваннях, система виявляється статично невизначеною через наявність зайвих невідомих – горизонтальних реакцій у підвісках обох осей  $H_1$  і  $H_2$ .

Перетворивши формули (8), одержимо:

$$T_1 = \frac{m_1 \cdot M_{KP\Pi}}{m_{C1} \cdot R} , \quad T_2 = \frac{m_2 \cdot M_{KP\Pi}}{m_{C1} \cdot R} , \quad T_3 = \frac{m_3 \cdot M_{KP3}}{m_{C2} \cdot R} , \quad T_4 = \frac{m_4 \cdot M_{KP3}}{m_{C2} \cdot R} . \quad (9)$$

Знаходження горизонтальних реакцій  $H_1$  і  $H_2$  виконується аналогічно гальмівним випробуванням:

$$H_1 = h_1 \cdot M_{KP\Pi} ; \quad H_2 = h_2 \cdot M_{KP3} . \quad (10)$$

Вертикальні зусилля в передній і задній підвісках:

$$Y_{\Pi} = \frac{G \cdot L_2 - (M_{KP\Pi} + M_{KP3})}{L} ; \quad Y_3 = \frac{G \cdot L_1 + (M_{KP\Pi} + M_{KP3})}{L} . \quad (11)$$

Повні навантаження на колеса:



$$G_{\text{КП}} = Y_{\text{П}} + G_{\text{П}} = G_{\text{Пст}} - \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}; \quad G_{\text{ЗП}} = Y_3 + G_3 = G_{\text{Зст}} + \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}. \quad (12)$$

Радіальні реакції  $N_1, N_2, N_3, N_4$  при тягових випробуваннях визначаємо зі спільного рішення пар рівнянь (1) і (2), (3) і (4):

$$N_1 = \frac{M_{\text{КРП}} \cdot \left[ \frac{-h_1}{\text{tg}\alpha_2} + \frac{m_1 \cdot (\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2 - \sin\alpha_1 \cdot \sin\alpha_2) + m_2}{m_{\text{C1}} \cdot R \cdot \sin\alpha_2} \right] + G_{\text{Пст}} - \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{\cos\alpha_1 + \sin\alpha_1 \cdot \text{ctg}\alpha_2}; \quad (13)$$

$$N_2 = \frac{M_{\text{КРП}} \cdot \left[ \frac{h_1}{\text{tg}\alpha_1} - \frac{m_1 + m_2 \cdot (\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2 - \sin\alpha_1 \cdot \sin\alpha_2)}{m_{\text{C1}} \cdot R \cdot \sin\alpha_1} \right] + G_{\text{Пст}} - \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{\cos\alpha_2 + \sin\alpha_2 \cdot \text{ctg}\alpha_1}; \quad (14)$$

$$N_3 = \frac{M_{\text{КРЗ}} \cdot \left[ \frac{-h_2}{\text{tg}\alpha_4} + \frac{m_3 \cdot (\cos\alpha_3 \cdot \cos\alpha_4 - \sin\alpha_3 \cdot \sin\alpha_4) + m_4}{m_{\text{C2}} \cdot R \cdot \sin\alpha_4} \right] + G_{\text{Зст}} + \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{\cos\alpha_3 + \sin\alpha_3 \cdot \text{ctg}\alpha_4}; \quad (15)$$

$$N_4 = \frac{M_{\text{КРЗ}} \cdot \left[ \frac{h_2}{\text{tg}\alpha_3} - \frac{m_3 + m_4 \cdot (\cos\alpha_3 \cdot \cos\alpha_4 - \sin\alpha_3 \cdot \sin\alpha_4)}{m_{\text{C2}} \cdot R \cdot \sin\alpha_3} \right] + G_{\text{Зст}} + \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{\cos\alpha_4 + \sin\alpha_4 \cdot \text{ctg}\alpha_3}. \quad (16)$$

Для симетричної схеми ( $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha'$ ,  $\alpha_3 = \alpha_4 = \alpha''$ ) ці ж вираження будуть мати вид:

$$N_1 = \frac{M_{\text{КРП}} \cdot \left[ \frac{-h_1}{\text{tg}\alpha'} + \frac{m_1 \cdot \cos 2 \cdot \alpha' + m_2}{m_{\text{C1}} \cdot R \cdot \sin\alpha'} \right] + G_{\text{Пст}} - \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{2 \cdot \cos\alpha'}; \quad (17)$$

$$N_2 = \frac{M_{\text{КРП}} \cdot \left[ \frac{h_1}{\text{tg}\alpha'} - \frac{m_1 + m_2 \cdot \cos 2 \cdot \alpha'}{m_{\text{C1}} \cdot R \cdot \sin\alpha'} \right] + G_{\text{Пст}} - \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{2 \cdot \cos\alpha'}; \quad (18)$$

$$N_3 = \frac{M_{\text{КРЗ}} \cdot \left[ \frac{-h_2}{\text{tg}\alpha''} + \frac{m_3 \cdot \cos 2 \cdot \alpha'' + m_4}{m_{\text{C2}} \cdot R \cdot \sin\alpha''} \right] + G_{\text{Зст}} + \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{2 \cdot \cos\alpha''}; \quad (19)$$

$$N_4 = \frac{M_{\text{КРЗ}} \cdot \left[ \frac{h_2}{\text{tg}\alpha''} - \frac{m_3 + m_4 \cdot \cos 2 \cdot \alpha''}{m_{\text{C2}} \cdot R \cdot \sin\alpha''} \right] + G_{\text{Зст}} + \frac{M_{\text{КРП}} + M_{\text{КРЗ}}}{L}}{2 \cdot \cos\alpha''}. \quad (20)$$

### **Прослизання барабанів по шинах у тяговому режимі.**

Враховуючи, що трансмісії деяких автомобілів 4x4 містять механізми, які дозволяють розподіляти підведений крутний момент не порівно, а з заданим чи навіть змінюваним співвідношенням, для загального випадку і простоти розрахунку прийемо, що крутний момент, на передньому колесі дорівнює крутному моменту на задньому колесі:

$$M_{\text{КРП}} = M_{\text{КРЗ}}. \quad (21)$$

Для повнопривідних автомобілів із заданим чи регульованим співвідношенням крутних моментів, дане припущення якісно сильно впливати не буде. За аналогією з гальмовими випробуваннями зі збільшенням крутних моментів  $M_{\text{КРП}}$  і  $M_{\text{КРЗ}}$  зростають прискорення і сили  $T_1, T_2, T_3, T_4, N_1, N_3$ , а сили  $N_2$  і  $N_4$  знижуються. При деяких значеннях  $M_{\text{КРП}}$  і  $M_{\text{КРЗ}}$  вони зменшаться настільки, що сил зчеплення виявиться недостатньо.

З огляду на умову прослизання:  $T_2 = \phi \cdot N_2$  і  $T_4 = \phi \cdot N_4$  в загальному виді

можна одержати величину критичних крутних моментів при яких настає «відривання» шин від задніх барабанів переднього і заднього блоків стенда.

Після підстановок і перетворень одержимо:

$$M_{\text{КРПІ}} = \frac{\varphi \cdot G_{\text{ПСТ}} \cdot m_{\text{C1}} \cdot R \cdot L}{m_1 \cdot L \cdot (\cos\alpha_1 + \frac{\sin\alpha_1}{\text{tg}\alpha_2}) - \varphi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{-h_1}{\text{tg}\alpha_2} \cdot L - 2) + \frac{m_1 \cdot (\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2 - \sin\alpha_1 \cdot \sin\alpha_2) + m_2 \cdot L}{\sin\alpha_2}]}; \quad (22)$$

$$M_{\text{КРПІІ}} = \frac{\varphi \cdot G_{\text{ПСТ}} \cdot m_{\text{C1}} \cdot R \cdot L}{m_2 \cdot L \cdot (\cos\alpha_2 + \frac{\sin\alpha_2}{\text{tg}\alpha_1}) - \varphi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{h_1}{\text{tg}\alpha_1} \cdot L - 2) - \frac{m_1 + m_2 \cdot (\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2 - \sin\alpha_1 \cdot \sin\alpha_2)}{\sin\alpha_1} \cdot L]}; \quad (23)$$

$$M_{\text{КРПІІІ}} = \frac{\varphi \cdot G_{3\text{СТ}} \cdot m_{\text{C2}} \cdot R \cdot L}{m_3 \cdot L \cdot (\cos\alpha_3 + \frac{\sin\alpha_3}{\text{tg}\alpha_4}) - \varphi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{-h_2}{\text{tg}\alpha_4} \cdot L + 2) + \frac{m_3 \cdot (\cos\alpha_3 \cdot \cos\alpha_4 - \sin\alpha_3 \cdot \sin\alpha_4) + m_4 \cdot L}{\sin\alpha_4}]}; \quad 24$$

$$M_{\text{КРПІІІІ}} = \frac{\varphi \cdot G_{3\text{СТ}} \cdot m_{\text{C2}} \cdot R \cdot L}{m_4 \cdot L \cdot (\cos\alpha_4 + \frac{\sin\alpha_4}{\text{tg}\alpha_3}) - \varphi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{h_2}{\text{tg}\alpha_3} \cdot L + 2) - \frac{m_3 + m_4 \cdot (\cos\alpha_3 \cdot \cos\alpha_4 + \sin\alpha_3 \cdot \sin\alpha_4)}{\sin\alpha_3} \cdot L]}; \quad 25$$

Коефіцієнт використання навантаження при тягових випробуваннях:

$$q_{\text{КРПІУСЛ}} = \frac{M_{\text{КРПІ}}}{G_{\text{ПСТ}} \cdot R}; \quad q_{\text{КРПІІІУСЛ}} = \frac{M_{\text{КРПІІІ}}}{G_{3\text{СТ}} \cdot R} \quad (26)$$

Після підстановок і перетворень одержимо:

$$q_{\text{КРПІ}} = \frac{\varphi \cdot m_{\text{C1}} \cdot L}{m_1 \cdot L \cdot (\cos\alpha_1 + \frac{\sin\alpha_1}{\text{tg}\alpha_2}) - \varphi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{-h_1}{\text{tg}\alpha_2} \cdot L - 2) + \frac{m_1 \cdot (\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2 - \sin\alpha_1 \cdot \sin\alpha_2) + m_2 \cdot L}{\sin\alpha_2}]}; \quad (27)$$

$$q_{\text{КРПІІ}} = \frac{\varphi \cdot m_{\text{C1}} \cdot L}{m_2 \cdot L \cdot (\cos\alpha_2 + \frac{\sin\alpha_2}{\text{tg}\alpha_1}) - \varphi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{h_1}{\text{tg}\alpha_1} \cdot L - 2) - \frac{m_1 + m_2 \cdot (\cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2 - \sin\alpha_1 \cdot \sin\alpha_2)}{\sin\alpha_1} \cdot L]}; \quad (28)$$

$$q_{\text{КРПІІІ}} = \frac{\varphi \cdot m_{\text{C2}} \cdot L}{m_3 \cdot L \cdot (\cos\alpha_3 + \frac{\sin\alpha_3}{\text{tg}\alpha_4}) - \varphi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{-h_2}{\text{tg}\alpha_4} \cdot L + 2) + \frac{m_3 \cdot (\cos\alpha_3 \cdot \cos\alpha_4 - \sin\alpha_3 \cdot \sin\alpha_4) + m_4 \cdot L}{\sin\alpha_4}]}; \quad (29)$$

$$q_{\text{КРПІІІІ}} = \frac{\varphi \cdot m_{\text{C2}} \cdot L}{m_4 \cdot L \cdot (\cos\alpha_4 + \frac{\sin\alpha_4}{\text{tg}\alpha_3}) - \varphi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{h_2}{\text{tg}\alpha_3} \cdot L + 2) - \frac{m_3 + m_4 \cdot (\cos\alpha_3 \cdot \cos\alpha_4 + \sin\alpha_3 \cdot \sin\alpha_4)}{\sin\alpha_3} \cdot L]}; \quad (30)$$

Для стендів симетричної схеми вищевикладені вираження приймуть вид:

$$M_{\text{КРПІ}} = \frac{\varphi \cdot G_{\text{ПСТ}} \cdot m_{\text{C1}} \cdot R \cdot L}{m_1 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos\alpha' - \varphi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{-h_1}{\text{tg}\alpha'} \cdot L - 2) + \frac{m_1 \cdot \cos 2 \cdot \alpha' + m_2 \cdot L}{\sin\alpha'}]}; \quad (31)$$

$$M_{\text{КРПІІ}} = \frac{\varphi \cdot G_{\text{ПСТ}} \cdot m_{\text{C1}} \cdot R \cdot L}{m_2 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos\alpha' - \varphi \cdot [m_{\text{C1}} \cdot R \cdot (\frac{h_1}{\text{tg}\alpha'} \cdot L - 2) - \frac{m_1 + m_2 \cdot \cos 2 \cdot \alpha'}{\sin\alpha'} \cdot L]}; \quad (32)$$

$$M_{\text{КРПІІІ}} = \frac{\varphi \cdot G_{3\text{СТ}} \cdot m_{\text{C2}} \cdot R \cdot L}{m_3 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos\alpha' - \varphi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{-h_2}{\text{tg}\alpha'} \cdot L + 2) + \frac{m_3 \cdot \cos 2 \cdot \alpha' + m_4 \cdot L}{\sin\alpha'}]}; \quad (33)$$

$$M_{\text{КРПІІІІ}} = \frac{\varphi \cdot G_{3\text{СТ}} \cdot m_{\text{C2}} \cdot R \cdot L}{m_4 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos\alpha' - \varphi \cdot [m_{\text{C2}} \cdot R \cdot (\frac{h_2}{\text{tg}\alpha'} \cdot L + 2) - \frac{m_3 + m_4 \cdot \cos 2 \cdot \alpha'}{\sin\alpha'} \cdot L]}; \quad (34)$$

$$Q_{\text{КРП1}} = \frac{\varphi \cdot m_{C1} \cdot L}{m_1 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \varphi \cdot [m_{C1} \cdot R \cdot \left(\frac{-h_1}{\text{tg} \alpha'} \cdot L - 2\right) + \frac{m_1 \cdot \cos 2 \cdot \alpha' + m_2 \cdot L}{\sin \alpha'}]}; \quad (35)$$

$$Q_{\text{КРП2}} = \frac{\varphi \cdot m_{C1} \cdot L}{m_2 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \varphi \cdot [m_{C1} \cdot R \cdot \left(\frac{h_1}{\text{tg} \alpha'} \cdot L - 2\right) - \frac{m_1 + m_2 \cdot \cos 2 \cdot \alpha'}{\sin \alpha'} \cdot L]}; \quad (36)$$

$$Q_{\text{КРП3}} = \frac{\varphi \cdot m_{C2} \cdot L}{m_3 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \varphi \cdot [m_{C2} \cdot R \cdot \left(\frac{-h_2}{\text{tg} \alpha'} \cdot L + 2\right) + \frac{m_3 \cdot \cos 2 \cdot \alpha' + m_4 \cdot L}{\sin \alpha'}]}; \quad (37)$$

$$Q_{\text{КРП4}} = \frac{\varphi \cdot m_{C2} \cdot L}{m_4 \cdot L \cdot 2 \cdot \cos \alpha' - \varphi \cdot [m_{C2} \cdot R \cdot \left(\frac{h_2}{\text{tg} \alpha'} \cdot L + 2\right) - \frac{m_3 + m_4 \cdot \cos 2 \cdot \alpha'}{\sin \alpha'} \cdot L]}. \quad (38)$$

### Висновки

Найбільш підходящим засобом рішення завдання діагностування повнопривідних автомобілів є застосування модульного повноопорного інерційного стенда з біговими барабанами, а також комп'ютеризованого діагностичного комплексу з наступною обробкою отриманих у процесі діагностування даних на ЕОМ із застосуванням системного методу та спеціального програмного забезпечення.

Комп'ютеризований діагностичний комплекс складається із двох частин. Механічна частина являє собою модульний повноопорний інерційний стенд з біговими барабанами та мотор-тестер або сканер. Комп'ютерна частина складається з персонального комп'ютера відповідної конфігурації та програмного забезпечення.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Меденцев С. Типовые методы и оборудование для измерения «колесной» мощности легковых автомобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3000gt.ru>.
2. Онлайн-учебник по устройству автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://monolith.in.ua/structure-avto/polnoprivodnye-avtomobili/>.
3. Роликовые стенды для проверки тормозных и тяговых свойств автомобилей (теория, расчет и конструирование): / [Говорущенко Н.Я., Волков В.П., Рабинович Э.Х., Мармут И.А., Зуев В.А. ]. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2009. – 344 с.
4. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчетные методы исследований): монография / Н.Я. Говорущенко. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 292 с.
5. Говорущенко Н.Я. Техническая кибернетика транспорта: учебное пособие / Н.Я. Говорущенко, В.Н. Варфоломеев. – Х.: ХГАДТУ, 2001. – 271 с.
6. Варфоломеев Владимир Николаевич. Исследование методов диагностирования технического состояния тормозов автомобиля: дис. ... канд. техн. наук / Владимир Николаевич Варфоломеев; ХАДИ. – Х., 1969. – 177с.
7. Ковинько В.И. Компьютерно-экспертный метод диагностирования тормозных АБС / Ковинько В.И., Игнатченко К.Е. // Автомобильный транспорт. Сб. науч. тр. – Х.: РИО ХНАДУ, 2001. – вып.13. – С. 43-49.
8. Рабинович Эрнест Хаимович. Исследование и совершенствование методов и средств стендовой проверки автомобильных тормозов: дис... канд. техн. наук / Рабинович Эрнест Хаимович; ХАДИ. – Х., 1981. – 229 с.

## ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПЛК-УПРАВЛЕНИЕМ

Муха Н.И., Шестака А.И., Дранкова А.О.

Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)

Введение.

С 2014 года в Национальном университете «Одесская морская академия» на кафедре судовой электромеханики и электротехники функционирует и продолжает развиваться лаборатория электромеханических систем с ПЛК-управлением [1]. Учебная лаборатория была создана в рамках сотрудничества Компании Mitsubishi Electric с ведущими техническими высшими учебными заведениями Украины. Компания Mitsubishi Electric активно содействует формированию современной базы технических средств автоматизации различных областей промышленности для практической подготовки будущих инженерно-технических работников, включая и судовых специалистов.

Цель и задачи учебной лаборатории.

Лаборатория оборудована учебно-лабораторными стендами с программируемыми логическими контроллерами, частотными преобразователями, панелями оператора и сетевым коммуникационным оборудованием. Внешний вид и компоновка учебно-лабораторного стенда показаны на рис. 1. Лаборатория в полном объеме обеспечивает подготовку судовых электромехаников и механиков [1,2,3], в части практических навыков эксплуатации современного электрооборудования и средств автоматизации с ПЛК-управлением в соответствии с Международной Конвенцией по подготовке, дипломированию моряков и несении вахты.

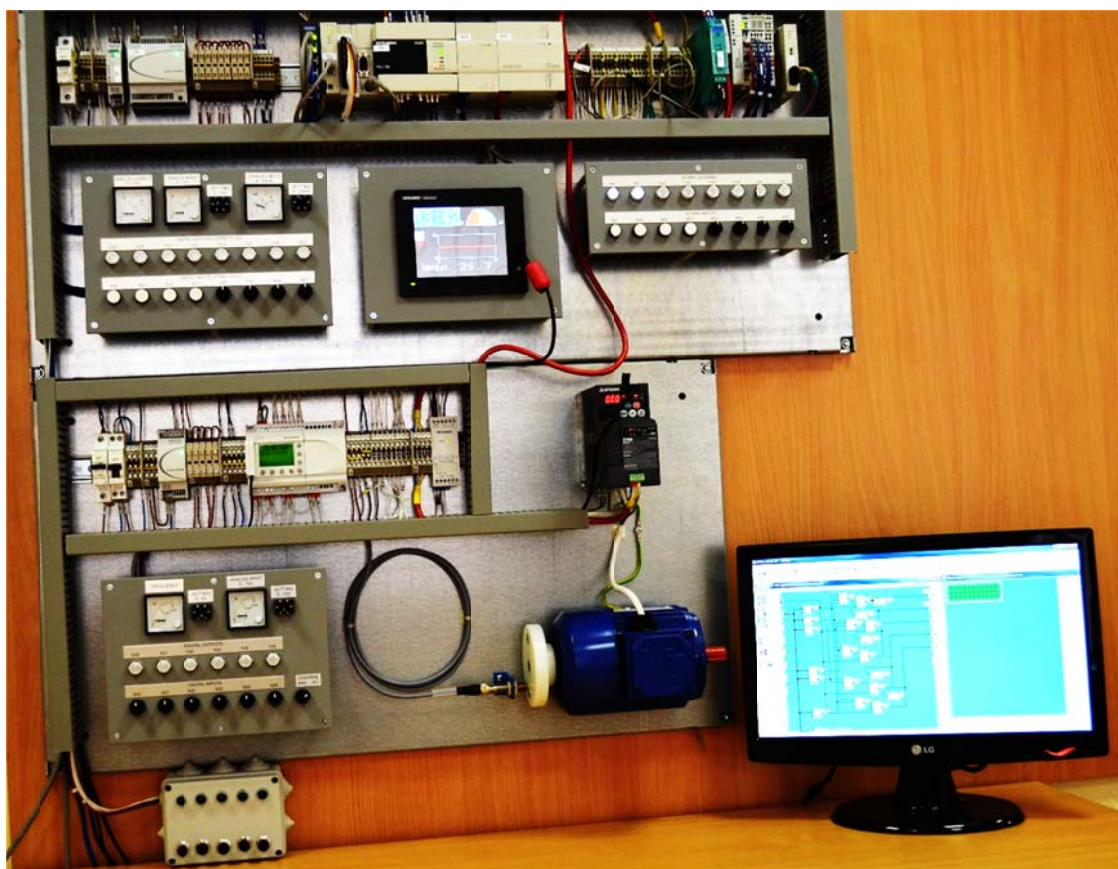


Рисунок 1. Учебно-лабораторные стенды Mitsubishi Electric

Назначение и состав учебно-лабораторных стендов.

Учебно-лабораторные стенды состоят из двух автономных частей (рис. 1):

- простой моноблочный ПЛК серии ALPHA2 и частотный электропривод, включающий в себя преобразователь частоты серии E700 с асинхронным двигателем;
- компактный модульный ПЛК серии FX3U с сетевыми модулями Ethernet и CC-Link, адаптерным модулем датчиков температуры, комбинированным аналоговым модулем ввода/вывода и панелью оператора GOT 1000.

Для построения иерархической структуры обе части стенда связываются между собой посредством сети Ethernet. Кроме того, предусмотрена непосредственная связь FX3U и преобразователя частоты по сети CC-Link.

Нижняя часть учебно-лабораторного стенда состоит из:

- программируемого логического контроллера Mitsubishi AL2-14-MRD, содержащего восемь дискретно-аналоговых входов и шесть дискретных выходов контактного типа;
- блока питания Mitsubishi Alpha Power-24-0,75;
- преобразователя частоты Mitsubishi FR-E720S-030SC-EC;
- асинхронного двигателя АИРМ 63И4У2;
- панели ручного ввода входных и индикации выходных сигналов контроллера.

Верхняя часть учебно-лабораторного стенда включает в себя:

- программируемый логический контроллер Mitsubishi FX3U-16MT/DSS с интерфейсной платой FX3U-232-BD и шестнадцатью дискретными каналами ввода/вывода;
- пятиканальный комбинированный аналоговый модуль ввода/вывода с четырьмя входами и одним выходом Mitsubishi FX2N-5A;
- Ethernet адаптер Mitsubishi FX3U-ENET-ADP;
- специальный коммуникационный адаптер для RS485 и Modbus RTU/ASCII Mitsubishi FX3U-485ADP-MB;
- коммуникационный модуль сети CC-Link Mitsubishi FX2N-16CCL-M;
- модуль связи с объектом Mitsubishi STL-BT1 с расширительными модулями для входов и выходов;
- графическую панель оператора Mitsubishi GT1455-QTBDE;
- модуль измерения температуры Mitsubishi FX3U-4ADP-PT-ADD с датчиками температуры Pt 100;
- преобразователь положения потенциометра в сигнал уровня "токовая петля" Pepperl+Fuchs KFD0-RC-EX1;
- Ethernet коммутатор MOXA EDS-205;
- блоки питания Mitsubishi Alpha Power-24-2,5 и Phoenix Contact Step Power-12-1,0;
- панели ручного ввода входных и индикации выходных сигналов контроллера.

Учебные задачи, реализуемые на стендах, могут быть разделены по следующим направлениям [1,2]:

- освоение программного обеспечения – освоение аппаратной части;
- простые задачи программирования на базе ПЛК серии ALPHA 2 – продвинутое программирование с применением модульных ПЛК серии FX3U;
- конфигурирование частотного преобразователя – управление частотным преобразователем по сети CC-Link;
- знакомство с иерархическими управляющими структурами – использование панелей оператора.

Наличие в учебно-лабораторных стендах достаточно разветвленной аппаратной части с мощным программным обеспечением позволяет сфокусировать задачи учебных дисциплин как на изучении аппаратной части, так и на приемах программирования ПЛК. Процесс обучения на оборудовании фирмы Mitsubishi Electric способствует формированию навыков работы в самых современных программных оболочках, таких как

AL-PCS/WIN-EU, MELSOFT iQ Works, GX Developer, GX Works2 и др. [4,5,6,7]. В результате обучения учащийся получает конечный продукт в виде испытанных и отлаженных под определенную аппаратную конфигурацию прикладных управляющих программ, выполненных в соответствии с международным стандартом IEC 61131-3.

Немаловажным аспектом учебной лаборатории такого уровня является то, что с ее помощью проводится не только обучение курсантов электромеханической и механической специальностей НУ «ОМА», но и имеет место проведение научно-исследовательской работы курсантов с использованием современного оборудования.

**Выводы.**

Использование новейшего оборудования Mitsubishi Electric в учебном процессе, а также в научно-исследовательской работе курсантов сохраняет высокие позиции и заслуженный авторитет НУ «ОМА» среди морских университетов мира. При этом большой плюс получают преподаватели и аспиранты профилирующих кафедр, которые вовлекаются в обсуждение современных прикладных проблем автоматизации и электропривода, благодаря чему получают доступ к широкому полю актуальных практических задач для реализации своих проектов и научных разработок.

В заключение необходимо отметить, что современное высшее образование должно быть направлено на обучение студентов в соответствии с постоянно обновляющейся технической базой и с растущими потребностями работодателей. Для соответствия этим задачам, необходимо "внедрение" новых технологий в процесс обучения и подготовки специалистов, что не только способствует повышению уровня подготовки, но и ориентированию учебного процесса на реальные проблемы технического обслуживания, параметрирования современных судовых электромеханических систем с ПЛК-управлением.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.О. Дранкова, Н.И. Муха, А.И. Шестака. Лаборатория микроконтроллерного управления и моделирования электромеханических систем// Электротехнические и компьютерные системы. Тематический выпуск: Проблемы автоматизированного электропривода. Научно-технический журнал, №15(91), Издательство «Техника» – Киев. – 2014. – С. 435 - 440.
2. Н.И. Муха, А.О. Дранкова. О практической подготовке судовых электромехаников и механиков // Электротехнические и компьютерные системы. Тематический выпуск: Проблемы автоматизированного электропривода. Научно-технический журнал, №15(91), Издательство «Техника» – Киев. – 2014. – С. 416 - 422.
3. PLC-based ship's electromechanical systems laboratory / M. Mukha, A. Drankova, V. Bousher, A. Shestaka// Proceedings of the 13–th International Conference on the Engine Room Simulators, September, 20-21. – Odessa, Ukraine: National University “Odessa Maritime Academy”, 2017. – pp. 183-190.
4. Integrated FA Software GX Works 2 Version 1. Operation Manual. Structured Project; p.252, SN(HA)-080781ENG-K, 09-2011; Mitsubishi Electric Europe B.V., European Business Group, Gothaer Straße 8, D-40880, Ratingen, Germany.
5. GX IEC Developer 7.01. IEC Programming and Documentation System. Reference Manual; p.740, Art. No. 43597K, 12-2006; Mitsubishi Electric Europe B.V., European Business Group, Gothaer Straße 8, D-40880, Ratingen, Germany.
6. Integrated FA Software GT Designer 3 Version 1. Screen Design Manual (Functions); p. 1304, SN(HA)-080867-ENG-K2/2, 01-2012.
7. MELSOFT FR Configurator SW 3. Instruction Manual. Inverter Setup Software FR-SW3-SETUP-WE. CC-Link Seamless4 p.105, IB(NA)-0600439-ENG-B, 01-2012.

## **ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В АВТОМОБИЛЕ**

Наглюк М.И., Мякота Д.Ю.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (Украина)

Введение. За последнее время автомобильная электроника совершила качественный скачок в своем развитии. Количество электронных систем достигло такого уровня, что в автомобиле уже сложно найти узел, куда бы не подходили электрические провода от систем диагностики, контроля или управления. В результате, современный автомобиль – это сплав новейших технологий в автомобилестроении и электронике, в котором важнейшую роль занимает электронная часть [1]. Исследования показывают, что агрегаты и механические узлы автомобилей улучшаются преимущественно качественно (увеличиваются удельная мощность, эффективность, надежность), а электронные системы развиваются, как правило, количественно, занимая все новые области применения. Электроника особенно глубоко проникает в различные части системы управления [2], тем самым подтверждает свою важнейшую роль в современных автомобилях. Заменяя существовавшие в ранних автомобилях механические и гидравлические части, добавляя новые узлы диагностики и контроля, она делает сегодняшние автомобили более интеллектуальными, надежными, безопасными и комфортными.

Анализ исследований и публикаций. Внедрение автомобильной электроники в систему управления двигателем и трансмиссией обеспечивает оптимальную работу двигателя за счет регулировки впрыска топлива, угла опережения зажигания, частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу.

Электронные системы управления агрегатами и системами, включая управление подвеской, колесами, тормозами, улучшает управляемость, курсовую устойчивость и комфортабельность автомобиля [3]. Все более популярными становятся электронные системы для отображения информации. Визуальные индикаторы [4] показывают цифровые значения множества разнообразных параметров: скорость движения, частоту вращения коленчатого вала, количество топлива, время поездки, температуру. Широко используются текстовые сообщения, отображение схематического характера (например, автомобиль в плане с указанием неисправного узла). Получили распространение синтезаторы речи, вырабатывающие речевые сообщения, например, об открытой двери, о необходимости пристегнуть ремни безопасности, превышения допустимой температуры охлаждающей жидкости или масла.

Настоящая статья посвящена описанию принципиально нового прибора, разработанного с применением нового метода направленного безаналогового синтеза.

Прибор предназначен для измерения, контроля и регистрации электрической проводимости жидкостей, применяемых в автомобилях.

Прибор представляет собой электронное устройство, на передней панели которого расположены клавиатура для управления режимами работы прибора, жидкокристаллический графический дисплей для отображения выводимой информации, контакты для подключения измерительных ячеек и светодиодные индикаторы, показывающие, в каком режиме прибор находится. В приборе реализованы два метода измерения.

Особенностью прибора является его высокая точность измерения.

Предложенный метод измерения не вносит существенного влияния на параметры жидкости и может быть применён для их измерения в процессе эксплуатации автомобиля с тем, чтобы на ранних стадиях определить необходимость замены той либо иной жидкости, когда её параметры будут достигать предельных значений. Это позволит увеличить срок службы деталей автомобиля, обезопасив их от влияния непригодной к эксплуатации жидкости.

Имеется возможность произвести запись показаний на SD/MMC карточку с последующим воспроизведением записи на дисплее в цифровом либо графическом виде. При необходимости, данные, записанные на карточку, можно считать в компьютере и провести их детальный анализ.

Прибор имеет следующие режимы работы:

- режим прямого отображения информации в цифровом виде на дисплее;
- режим записи данных на карточку памяти;
- режим воспроизведения записанных на карточку памяти данных на дисплее в графическом виде. В этом режиме особенно удобно наблюдать отклонение от начальных параметров, выводя данные стандартной и измеряемой ячеек одновременно;
- режим воспроизведения записанных на карточку памяти данных на дисплее в цифровом виде;
- также имеется возможность установить необходимую длительность записи на карточку памяти.

Преимущество данного прибора также заключается и в том, что мы имеем возможность не только в статике измерять параметры жидкости, но также видеть в динамике, в течение определённого промежутка времени, их изменение, что немаловажно при изучении свойств той или иной жидкости.

В основе прибора лежит микроконтроллер среднего класса фирмы «Microchip» PIC18F452, в котором имеется достаточное количество входов аналого-цифрового преобразования для реализации задуманного. Сам модуль аналого-цифрового преобразователя имеет 10 разрядов. Это даёт возможность получать цифровые данные в диапазоне от 0 до 1023, чего вполне достаточно для реализации поставленных задач.

Выводы. Дальнейшее развитие прибор может получить, если его обучить известным нормативным показателям жидкостей. Составить и внести в память определённые «таблицы параметров жидкостей», чтобы в процессе эксплуатации автомобиля прибор мог сравнивать текущее состояние жидкости со стандартным, хранящимся у него в памяти, и выдавать соответствующее предупреждение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Компоненты FreescaleSemiconductor для автомобильной электроники[Электронный ресурс] / Д. Панфилов, И.Чепурин, А. Архипов, М. Соколов // Электронные компоненты – 2004. – №8. – с.10. – Режим доступа к журн.: <http://www.freescale.com/files/abstract/global/Automotive.pdf>.
2. Микроконтроллеры в электронных модулях управления автомобиля [Электронный ресурс] / У.Фитцджеральд, Г. Робинсон, компания MicrochipTechnologyInc. // Электронные компоненты – 2007. – №5. – С.59. – Режим доступа к журн. : <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2192/doc/2318/>.
3. Соснин Д.А. Новейшие автомобильные электронные системы. / Д.Соснин, Д.Яковлев. – М.: СОЛОН - Пресс, 2005. – 240с. – (Учебное пособие для специалистов по ремонту автомобилей, студентов и преподавателей вузов и колледжей).
4. Выбор контроллера для автомобильных бортовых компьютеров[Электронный ресурс] / К.Николаев // Электронные компоненты – 2007. – №5. – с.3. – Режим доступа к журн.: <http://www.eltech.spb.ru/pdf/344.pdf>.



## **ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАТЧИКІВ ГАЗІВ У ВАНТАЖНИХ ПОРОЖНИНАХ НА ТАНКЕРАХ**

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

**Вступ.** Танкерні судна є одним з найнебезпечніших видів торгових суден як для екіпажу, так і для довкілля. Тому з метою зменшення ризику перевезення газу/нафтовантажів електрообладнання танкерів стрімко розвивається, особливо у напрямку телеметрії. Така тенденція вимагає вдосконалення методів та засобів технічної експлуатації систем автоматики та їх елементів на суднах [1].

**Актуальність досліджень.** В якості датчиків-газоаналізаторів вантажних танках частим прикладом є датчики типу ESM-01 фірми RKI Instruments. Ці датчики зарекомендували себе як надійні елементи систем телеметрії судна. Вищезазначені датчики здатні функціонувати тільки з контролерами RKI Veason 110, 200 та 410 через спеціальний інтерфейс [2]. Це змушує до придбання датчиків в парі з контролером, що не є раціональним, з огляду на ціну останнього. Останнім чином світ автоматизації прямує до уніфікації інтерфейсів. Тому доукомплектування газоаналізатора ESM-01 стандартним інтерфейсом передачі даних є актуальним з огляду на наявність вільних входів на інших промислових контролерів.

**Постановка задачі.** Розглянути можливість та реалізацію доукомплектування газоаналізатора ESM-01 засобами передачі даних MODBUS RTU з метою уніфікації процесу збору та обробки інформації про стан газового середовища всередині вантажних танків судна.

**Результати досліджень.** Датчик-газоаналізатор фірми RKI Instruments марки ESM-01 надійний і економічно ефективний для виявлення газових небезпек. Використовується для LEL, H<sub>2</sub> Specific LEL, LEL IR, Oxygen, H<sub>2</sub>S, CO, CO<sub>2</sub> та для різних токсичних газів (NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PH<sub>3</sub>, AsH<sub>3</sub> та HCN). Датчики для LEL, H<sub>2</sub>, Oxygen, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> і монооксиду вуглецю мають захист від вибухів та полум'я, і схвалені для використання в небезпечних зонах (класи 1, групи 1, розділи 1, групи В, С, D). Додаткова версія, що не має захисту від вибуху, доступна для кисню, H<sub>2</sub>S, CO та CO<sub>2</sub> для використання в небезпечних атмосферах [2].

Датчики ESM-01 можуть бути встановлені безпосередньо на контролери, або на вибухозахищені роз'єми для віддаленої роботи. Конструкція модуля сполучення забезпечує швидку заміну в області без необхідних інструментів.

Всі сенсори ESM-01 призначені для спеціального взаємодії з контролерами RKI Veason 110, 200 та 410. Контролери продаються окремо.

Плата датчика має нерозпаяні контактні площадки, отже є можливим встановлення інтерфейсу RS-485 та узгодження його з сенсором. З огляду на умови, в яких працює датчик, доцільно використовувати 4-х провідну схему MODBUS RTU для забезпечення зв'язку з мікроконтролером та подальшої обробки даних. Схема підключення зображена на рис. 1.

Отже, виходячи з рис.1, датчики можуть бути з'єднані паралельно та оброблятися єдиним контролером, утворивши повноцінну мережу MODBUS RTU. В такому разі слід використовувати термінальні резистори для позначення кінця лінії, що передбачено стандартом [3]. Структурна схема мережі MODBUS для датчиків ESM-01 зображена на рис. 2., де цифрою 1 позначені кінцеві вузли мережі з термінальним резистором, а цифрою 2 – прохідні вузли мережі MODBUS.

Кожному вузлу мережі MODBUS присвоюється своя адреса у вигляді ID. Згідно стандарту [3] Швидкість обміну даними в такій мережі може бути 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 біт/с при затримці сигналу до 20мс.

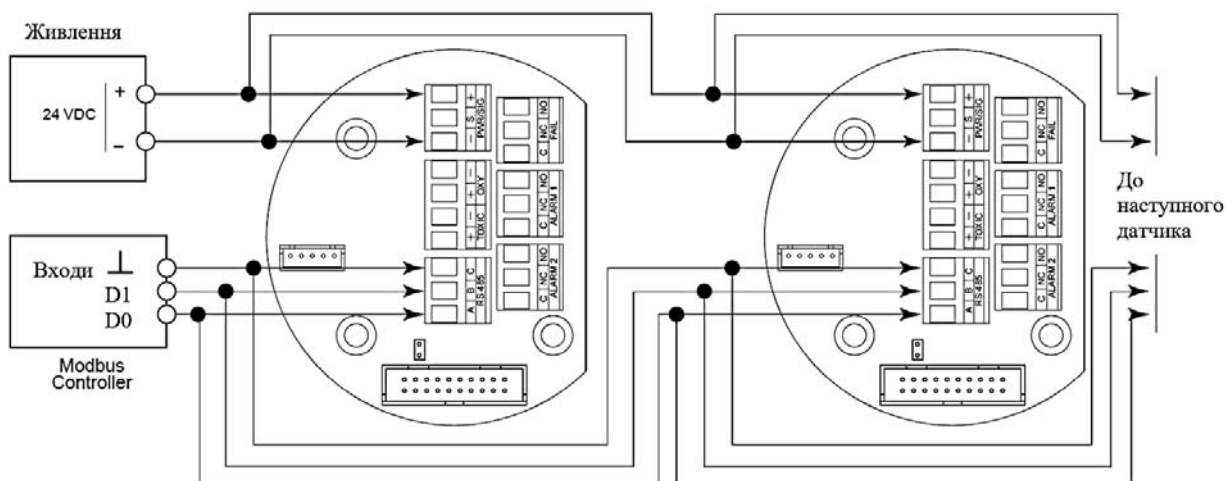


Рисунок 1. Підключення 4х провідної мережі MODBUS RTU до датчиків ESM-01

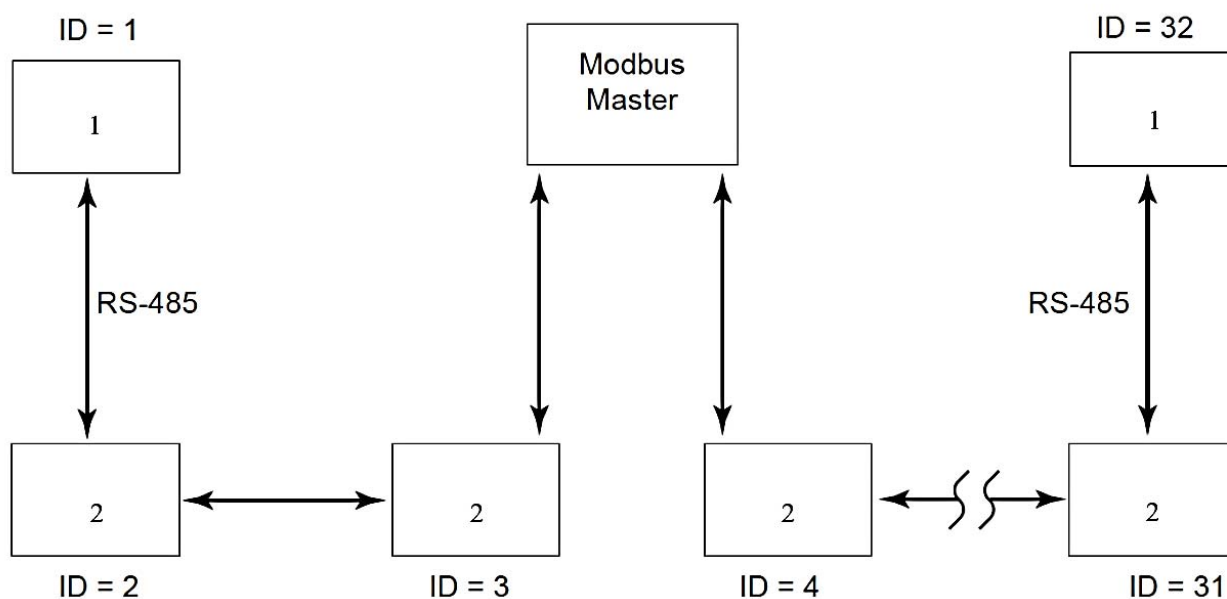


Рисунок 2. Структурна схема мережі MODBUS для датчиків ESM-01

В повідомлення MODBUS програмно додаються коди помилок, вказаних в табл.1., що надає можливість віддаленої діагностики модуля газоаналізатора.

Таблиця 1. Біти та їх значення в пакеті MODBUS RTU для датчиків ESM-01

Біти	Значення
15:12	0 – ідентифіковано; 1 – ініціалізація; 2 – нормальний стан; 3 – прогрів; 4 – пристрій не відповідає; 5 – калібровка; 6 – пост-калібровка; 7 – низьке живлення; 8 – готовий до налаштування
8	0 – немає підтвердження відсутності зв'язку з датчиком; 1 – є підтвердження відсутності зв'язку з датчиком

Продовження табл. 1

Біти	Значення
7:6	Статус Alarm2: 0 – немає попередження; 1 – нерозпізнане попередження; 2 – розпізнане попередження; 3 – невикористовуємий код.
5:4	Статус Alarm1: 0 – немає попередження; 1 – нерозпізнане попередження; 2 – розпізнане попередження; 3 – невикористовуємий код.
3	Наявність заборони спрацювання: 0 – немає; 1 – є заборона;
2	Статус виходу з ладу реле 0 – реле не працює; 1 – реле працює
1	Статус виходу з ладу реле Alarm2 0 – реле не працює; 1 – реле працює
0	Статус виходу з ладу реле Alarm1 0 – реле не працює; 1 – реле працює

**Висновки.** Таким чином, використання інтерфейсу RS 485 та протоколу MODBUS RTU дозволяє використовувати датчики-газоаналізатори фірми RKI Instruments марки ESM-01 без спеціальних контролерів Veason 110, 200 та 410 тієї ж фірми, що може скоротити витрати на відповідне обладнання та силами протоколу MODBUS RTU проводити діагностику газоаналізатора.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Model Course 7.08 Electro-Technical Officer. – London: IMO, 2014. – 190 p.
2. Датчики-газоаналізатори фірми RKI Instruments марки ESM-01 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.allsafeindustries.com/store/p/9604-Direct-Connect-ESM-01-Toxic-Sensors.aspx>.
3. Наговський Д.А., Тимофеев К.В. Конспект лекцій з дисципліни “ Суднові комп’ютери та комп’ютерні мережі ” / Д.А. Наговський, К.В. Тимофеев– Херсон: ХДМА, 2015 – 116 с.

## **ФОРМАЛІЗАЦІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИ ВИКОНАННІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ**

Павленко В.М., Калашніков Є.В., Свіріна Ю.Ю.  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

Вступ. Інформація, як форма знань потрібна людині для вирішення тих чи інших задач. Темпи росту пізнання, накопичення цінної інформації це важливий показник інформатизації. Сама по собі інформація ні як не здатна збільшити виробництво матеріальних або культурних цінностей. Вона здатна приносити користь тільки тоді, коли втілена в новітню техніку або технологію. Важливо підкреслити, що інформація як перетворена форма знань не збігається з самим знанням.

В широкому сенсі слова знання – цілісна систематизована сукупність наукових понять про закономірності природи, суспільства та мислення, накопчених людством. Знання людей являють собою перевірений на практиці результат пізнання дійсності.

Прагнення людства автоматизувати інтелектуальні процеси, за допомогою інформаційних технологій створило таку область діяльності як – інженерія знань, яка займається методами отримання експертних знань від фахівців. Та на зміну термінам «інформація» та «інформаційні ресурси» все частіше почали вживати термін «ресурси знань», а технології формуючі бази знань, почали називати інформаційними системами [1].

Інформаційні системи як правило направлені на виконання заданих функцій в конкретній сфері діяльності людини. Знання або данні за допомогою спеціальних систем керування створюють та ведуть як єдину систему, так звану базу знань. Уся сукупність інформації, переведена на машинні носії та введена до комп'ютеру, називається базою знань.

В рамках напряму "подання знань" вирішуються завдання, пов'язані з формалізацією і поданням знань у пам'яті інтелектуальної системи. Для цього розробляються спеціальні моделі подання знань і мови для опису знань, виділяються різні типи знань. Вивчаються джерела, з яких інтелектуальна система може черпати знання, і створюються процедури і прийоми, за допомогою яких можливе придбання знань для інтелектуальної системи. Проблема подання знань для інтелектуальної системи надзвичайно актуальна, тому що інтелектуальна система - це система, функціонування якої базується на знаннях про проблемної області, які зберігаються в її пам'яті.

Актуальність дослідження. Одне з найбільш популярних напрямків останніх п'яти років пов'язано з поняттям автономних агентів. Їх не можна розглядати як підпрограми, це скоріше прислуга, навіть компаньйон, оскільки однією з найважливіших їх особливостей є автономність, незалежність від користувача. Ідея агентів спирається на поняття делегування своїх функцій. Іншими словами, користувач повинен довіритися агенту у виконанні певного завдання або класу задач. Завжди існує ризик, що агент може щось переплутати, зробити щось не так. Отже, довіру і ризик повинні бути збалансованими. Автономні агенти дозволяють істотно підвищити продуктивність роботи при вирішенні тих завдань, в яких на людину покладається основне навантаження по координації різних дій [2].

Після проведення величезної кількості досліджень автомобілів з пробігом виявилось що кожного року продуктивність авто знижується в 1,5 - 2 рази в порівнянні з початковою. За строк експлуатації авто витрати на його технічне обслуговування та ремонт зростає у декілька разів порівняно з обслуговування нового автомобіля. Тому важливим напрямком в автомобільній індустрії, є точна і достовірна прогнозна оцінка основних показників надійності, та справності автомобіля в цілому. У даній роботі розглядаються питання з діагностування параметрів і ресурсів деталей і вузлів автомобілів. Технічне діагностування є складовою частиною технологічних процесів

прийому, ТО і ремонту автомобілів на станціях технічного обслуговування і являє собою процес визначення технічного стану об'єкта діагностування з певною точністю.

Через кожен певний проміжок часу або кілометражу пробігу автомобіля, необхідно проводити профілактичний технічний огляд у встановленому обсязі, та при виявленні потреби ремонт автомобіля. При цьому, не зважаючи на зміну режимів технічного огляду і ремонту авто, залежно від ряду чинників, індивідуальний підхід ко кожного окремого автомобіля відсутній. Але навіть при експлуатації автомобіля у однакових умовах, технічний стан кожного окремого авто може істотно відрізнятись в наслідок цілого ряду причин, отже необхідність у індивідуальному підході є. Далеко не кожному автомобілю необхідні всі операції, передбачені жорсткими рамками обсягу того чи іншого виду ТО. Виконання цих не потрібних операцій призводить до неповної реалізації індивідуальних властивостей автомобіля, підвищення витрат на ТО, та ні як не сприяє до поліпшення технічного стану автомобіля, та навіть навпаки в деякій мірі шкодять йому, адже при деяких механічних утручаннях підвищуються появи ушкоджень кріпильних з'єднань, сполучених поверхонь, та порушується герметичність з'єднань. Також з великим обсягом ремонтних впливів з'являються значні витрати трудовик та матеріальних ресурсів, обумовленим несвочасним виявленням відмов [3].

Найбільш повне використання індивідуальних можливостей автомобіля, та на цій основі, забезпечення високої ефективності рухомого складу в процесі експлуатації, може бути здійснено за рахунок широкого впровадження в технологічний процес ТО і ремонту програмного діагностування технічного стану автомобілів.

Технічна діагностика – галузь знань, що досліджує технічний стан об'єкту діагностування і прояви технічних станів, розробляє методи їх визначення, а також принципи побудови та організацію використання систем діагностування. Технічне діагностування – процес визначення технічного стану об'єкта діагностування з певною точністю. Діагностика автомобіля сприяє до підвищенню надійності автомобілів за рахунок своєчасного призначення впливів ТО або ремонту та попередження виникнення відмов та несправностей, а в свою чергу своєчасне виявлення несправностей сприяє до підвищення довговічності агрегатів та вузлів за рахунок скорочення кількості часткових розборок, зменшуються витрат запасних частин, експлуатаційних матеріалів і трудових витрат на ТО і ремонт за рахунок проведення ремонту за потреби на підставі даних діагностування, проведеного, як правило, планово.

Для оцінки технічного стану автомобіля або конкретного агрегату, при діагностиці використовують так звані вихідні процеси функціонуючого механізму. Вихідні процеси на розрізняють на робочі та супутні, робочі процеси це, наприклад, кількість потужності, витрата палива, теплообмін з зовнішньою середою, супутні процеси це такі процеси як наприклад шуми, вібрації, світлові явища і т.д. За допомогою відповідних параметрів кожен з вихідних процесів кількісно оцінюється. Наприклад: віддача потужності може бути оцінена відповідної величиною, темпом її наростання

Існує функціональний зв'язок між структурними параметрами і параметрами вихідних процесів, завдяки чому за показниками параметрів вихідних процесів можна досить повно оцінити технічний стан автомобіля або агрегату, та якість його функціонування.

Граничне значення параметра вихідного процесу свідчить про несправний стан автомобіля, визначає необхідність ТО або ремонту. Номінальним значенням структурних параметрів відповідають номінальні значення параметрів вихідних процесів. По мірі погіршення технічного стану автомобіля параметри вихідних процесів або зростають, або зменшуються. Проаналізувавши характер зміни параметрів, темп зміни параметрів вихідного процесу, та знаючи граничні значення цих самих параметрів, можна вирахувати ресурс роботи автомобіля до чергового ТО або ремонту.

У залежності від кількості інформації, яку ми дізнаємося з параметрів вихідних процесів, фахівець або експертна система може охарактеризувати технічний стан

автомобіля в цілому, за допомогою узагальнених вихідних процесів. Наприклад: шлях і час розгону автомобіля до заданої швидкості, витрата палива на 100 км шляху та таке інше. Або за допомогою приватних вихідних процесів, охарактеризувати технічний стан конкретного механізму, системи. Наприклад: люфт рульового колеса або стук в кривошипно-шатунному механізмі двигуна.

Для визначення технічного стану автомобіля без розбирання використовується вимірювання параметрів вихідних процесів, які вимірюються, як правило, на працюючому автомобілі [4].

Вихідні процеси, які використовуються для оцінки технічного стану машини без її розбирання, називаються діагностичними ознаками, а параметри таких процесів-діагностичними параметрами. Але не всі вихідні процеси можуть бути діагностичними ознаками. Параметр діагностичного процесу мусить відповідати деяким умовам для того щоб його можна було використовувати в якості діагностичного:

- параметр мусить бути функціонально важливим для оцінки технічного стану автомобіля;
- бути однозначним, тобто цей параметр не повинен плавати від зростаючої функції до спадаючої чи навпаки, у залежності від виробітки автомобіля або зміни його структурного параметра від початкового до граничного значення.
- бути інформаційним. Інформаційність характеризується швидкістю збільшення вихідного параметра, та його величиною.
- володіти стабільністю при багаторазових вимірах, що характеризується ступенем розсіювання значень відносно середнього значення параметра при постійних умовах вимірювання;
- володіти диференціуючою здатністю, що дозволяє локалізувати та розділяти несправності різних елементів за місцем їх виникнення;
- забезпечувати економічність і технологічність, обумовлені поліпшенням зручності визначення параметра при діагностуванні, відповідними матеріальними та трудовіткими витратами.

Від швидкісного, навантажувального та теплового режимів роботи агрегатів суттєво залежить достовірність результатів діагностування. Тому для отримання високоякісної інформації при діагностиці транспортного засобу використовуються відповідні пристрої, що задають і підтримують оптимальні навантажувальні, швидкісні і теплові режими.

Висновки.

Виходячи з сучасних тенденцій розвитку електронних систем та кількість виконуючих елементів різноманітних блоків керування в автомобілях, можливості виводу величезної кількості інформації у вигляді вимірюваних параметрів, яку ми можемо використати при виконанні технічного обслуговування та ремонту автомобіля, можна зробити висновок що на даний час перспектива розвитку формалізації та використання знань після діагностування автомобілів та їх обслуговування дуже велика.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Уинстон П. Искусственный интеллект / П. Уинстон - Москва: Мир, 1980 - 520 с.
2. Harmon P. The Market for Intelligent Software Products. Intelligent Software Strategies / Harmon P. – 1992, – 52p.
3. Газарян А. А. Технічна експлуатація, обслуговування і ремонт автотранспортних засобів: Практичні рекомендації та нормативна база. / Газарян А. А. – 2000. – 200с.
4. Жердицький М.Т. Автосервіс і фірмове обслуговування автомобілів: Навчальний посібник. / Жердицький М.Т., Русаков В.З., Голованов А.А. – 2003. - 123с.

## ПРИВОД РУШІВ АВТОМОБІЛІВ ПІДВИЩЕНОЇ ПРОХІДНОСТІ

Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А.  
Таврійський державний агротехнологічний університет (Україна)

Основний критерій оцінки трансмісії – це ступінь відповідності її властивостей з ідеальною трансмісією, що дозволяє постійно завантажувати двигун на максимальну потужність шляхом автоматичного коректування швидкості руху автомобіля відповідно до зміни дорожніх умов. Порівнюючи різні типи трансмісії за основними вимогами, що пропонуються до ідеальних трансмісій (включаючи технічні, конструктивні, економічні, експлуатаційна та ергономічні) можна відзначити, що механічна трансмісія задовольняє 12-ти, гідромеханічна – 21-ій, а повнопоточна гідрооб'ємна – 24-м вимогам. Отже, можна стверджувати, що повнопоточний гідрооб'ємний привод рушіїв дуже близький по властивостях до ідеальної трансмісії та стосовно до автомобілів з підвищеною прохідністю він може бути конкурентоздатним у порівнянні з широко розповсюдженою механічною трансмісією.

Під підвищеною прохідністю розуміється здатність автомобіля рухатися по поганих дорогах і бездоріжжю із заданою силою тяги та максимальним тяговим ККД. Тому, вибираючи тип трансмісії, при проектуванні автомобілів підвищеної прохідності, необхідно зробити їхню порівняльну оцінку. З метою порівняння різних типів трансмісій необхідно провести аналіз ККД, що враховує втрати на буксування рушіїв та перекочування ходової частини.

Прийmemo, що втрати потужності на буксування ведучих коліс  $n_{\delta}$  обумовлені зменшенням дійсної швидкості поступального руху автомобіля в результаті тангенціальних деформацій шин і утворення залишкових горизонтальних деформацій ґрунту при взаємодії з ведучими колесами. Тоді потужність на буксування ведучих коліс буде дорівнювати

$$N_{\delta} = N_{k1} \cdot \delta_1 + N_{k2} \cdot \delta_2 + N_{ki} \cdot \delta_i, \quad (1)$$

де  $N_k$  – потужність, що підводиться до коліс;

$\delta$  – коефіцієнт буксування.

В рівнянні (1) та далі по тексту індекси 1, 2 та  $i$  відносяться відповідно до коліс 1-го, 2-го та  $i$ -го мостів багатовісного автомобіля.

Тоді потужність, що підводиться до колеса, можна виразити відповідно

$$N_{k1} = \frac{c \cdot P_{k1} \cdot v}{1 - \delta_1}, \quad N_{k2} = \frac{c \cdot P_{k2} \cdot v}{1 - \delta_2}, \quad N_{ki} = \frac{c \cdot P_{ki} \cdot v}{1 - \delta_i}, \quad (2)$$

де  $P_k$  – дотична сила тяги ведучих коліс;

$c$  – коефіцієнт пропорційності;

$v$  – швидкість руху автомобіля.

ККД, що враховує буксування коліс, визначається на основі балансу потужності та з використанням (2) його можна виразити

$$\eta_{\delta} = 1 - \frac{N_{\delta}}{N_k} = \frac{P_{k1} \cdot \delta_1 \cdot (1 - \delta_2) \cdot (1 - \delta_i) + P_{k2} \cdot \delta_2 \cdot (1 - \delta_1) \cdot (1 - \delta_i) + P_{ki} \cdot \delta_i \cdot (1 - \delta_1) \cdot (1 - \delta_2)}{P_{k1} \cdot (1 - \delta_2) \cdot (1 - \delta_i) + P_{k2} \cdot (1 - \delta_1) \cdot (1 - \delta_i) + P_{ki} \cdot (1 - \delta_1) \cdot (1 - \delta_2)},$$

Для спрощення визначення ККД, що враховує буксування коліс  $\eta_{\delta}$  від функціональних параметрів умовимося, що у розглянутого автомобіля всього дві ведучі осі, тоді вираження для визначення тягового ККД прийме вигляд

$$\eta_{o\delta} = 1 - \frac{P_{k1} \cdot \delta_1 \cdot (1 - \delta_2) + P_{k2} \cdot \delta_2 \cdot (1 - \delta_1)}{P_{k1} \cdot (1 - \delta_2) + P_{k2} \cdot (1 - \delta_1)}. \quad (3)$$

Позначимо відношення дотичних зусиль  $\lambda$  рушіїв провідних мостів як  $\lambda = \frac{P_{k1}}{P_{k2}}$ .

Відношення теоретичних окружних швидкостей  $k$  передніх і задніх коліс із умови рівності поступальних швидкостей їхніх осей може бути виражене через коефіцієнти буксування:

$$k = \frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1}. \quad (4)$$

Відзначимо, що при  $\delta_1 = \delta_2$   $k = 1,0$ .

З урахуванням прийнятих позначень рівняння (3) прийме вигляд:

$$\eta_\delta = \frac{(1 - \delta_2) \cdot (1 + \lambda)}{\lambda \cdot k + 1}. \quad (5)$$

Таким чином, ККД, що враховує втрати на буксування ведучих коліс  $\eta_\delta$ , залежить від коефіцієнтів буксування передніх  $\delta_1$  або задніх  $\delta_2$  коліс, відношення окружних швидкостей  $k$  та відношення дотичних зусиль  $\lambda$ .

Для визначення максимального значення  $\eta_\delta$  скористаємося рівнянням дотичних сил тяги, що діють на передні та задні колеса автомобіля

$$P_{k1} + P_{k2} = P_k$$

або

$$G_1 \cdot \varphi_1 + G_2 \cdot \varphi_2 = P_k,$$

де  $G_1$  і  $G_2$  – зчіпна вага, що доводиться на передні і задні колеса автомобіля;

$\varphi_1$  і  $\varphi_2$  – коефіцієнти використання зчіпної ваги передніх і задніх коліс.

Поділяючи отримане рівняння на сумарну зчіпну вагу автомобіля  $G$  отримаємо коефіцієнт використання зчіпної ваги автомобіля  $\sigma$  в безрозмірному вигляді

$$g_1 \cdot \varphi_1 + g_2 \cdot \varphi_2 = \sigma, \quad (6)$$

де  $g_1$  і  $g_2$  – частка зчіпної ваги, що доводиться на передні і задні колеса автомобіля

$$g_1 = \frac{G_1}{G}, \quad g_2 = \frac{G_2}{G}.$$

Причому,  $g_1 + g_2 = 1,0$ .

Для аналізу залежності  $\eta_\delta$  від  $k$  скористаємося результатами численних досліджень, які показали, що коефіцієнт використання зчіпної ваги коліс для даного ґрунтового фону в широкій області вагових навантажень і окружних швидкостей однозначно визначається коефіцієнтом його буксування, тобто  $\varphi = \varphi(\delta)$ .

Із прийнятих позначень відношення дотичних зусиль може бути виражене рівнянням:

$$\lambda = \frac{g_1 \cdot \varphi_1}{g_2 \cdot \varphi_2}. \quad (7)$$

З рівнянь (4), (6) і (7) видно, що коефіцієнти  $\lambda$  і  $\delta_1$ , які входять до рівняння (5), при заданих значеннях  $\sigma$ ,  $g_1$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  залежать від відношення окружних швидкостей  $k$ , тобто  $\lambda = f(k)$  та  $\delta_1 = f(k)$ .

Слід відмітити, що коефіцієнт використання зчіпної ваги трактора  $\sigma$ , частка зчіпної ваги, що доводиться на передні колеса  $g_1$ , залежності коефіцієнтів використання



зчіпної ваги передніх  $\varphi_1(\delta)$  і задніх  $\varphi_2(\delta)$  коліс повністю характеризують різні умови роботи автомобіля.

Для визначення значення  $k$ , візьмемо частинну похідну  $\frac{\partial \eta_\delta}{\partial k}$  з урахуванням отриманих функціональних залежностей:

$$\frac{\partial \eta_\delta}{\partial k} = \frac{1}{(\lambda \cdot k + 1)^2} \cdot \left\{ \left[ -\frac{\partial \delta_2}{\partial k} \cdot (1 + \lambda) + (1 - \delta_2) \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial k} \right] \cdot (\lambda \cdot k + 1) - \left( \frac{\partial \lambda}{\partial k} \cdot k + \lambda \right) \cdot (1 - \delta_2) \cdot (1 + \lambda) \right\}. \quad (8)$$

Аналіз отриманого рівняння показує, що коли  $(\lambda \cdot k + 1)^2$  дорівнює нулю, ККД, що враховує втрати на буксування ведучих коліс  $\eta_\delta$  досягає максимуму.

Припустимо, що максимум досягається при рівності окружних швидкостей передніх і задніх коліс, тобто при  $k = 1$ . Тоді після перетворень рівняння у фігурних дужках (8) отримаємо наступне рівняння:

$$\left( \frac{\partial \delta_2}{\partial k} \right)_{k=1} (1 + \lambda) + \lambda \cdot (1 - \delta_2) = 0. \quad (9)$$

Знайдемо  $\left( \frac{\partial \delta_2}{\partial k} \right)_{k=1}$ , для чого диференціюючи по  $k$  рівняння (6), отримаємо

$$g_1 \cdot \frac{\partial \varphi_1}{\partial \delta_1} \cdot \frac{\partial \delta_1}{\partial k} + g_2 \cdot \frac{\partial \varphi_2}{\partial \delta_2} \cdot \frac{\partial \delta_2}{\partial k} = 0. \quad (10)$$

Припустимо, що функції  $\varphi_1(\delta)$  і  $\varphi_2(\delta)$  пов'язані між собою лінійно, тобто  $\varphi_1(\delta) = c_1 \cdot \varphi_2(\delta)$ , де  $c_1 = const$ .

Тоді рівняння (10) для  $k = 1$  буде мати вигляд

$$\left( \frac{\partial \varphi_2}{\partial \delta} \right)_{k=1} \left[ c_1 g_1 \left( \frac{\partial \delta_1}{\partial k} \right)_{k=1} + g_2 \left( \frac{\partial \delta_2}{\partial k} \right)_{k=1} \right] = 0. \quad (11)$$

Як показали численні дослідження з колісних рушіїв, функція  $\varphi(\delta)$  є зростаючою для коефіцієнтів буксування  $\delta \leq 0,3 \dots 0,4$ , тобто  $\frac{\partial \varphi_2}{\partial \delta} > 0$ .

У цьому випадку з рівняння (11) отримаємо

$$\left( \frac{\partial \delta_2}{\partial k} \right)_{k=1} = -\frac{c_1 g_1}{g_2} \left( \frac{\partial \delta_1}{\partial k} \right)_{k=1}.$$

Легко переконатися, що для  $k = 1$  відношення дотичних зусиль дорівнює

$$\lambda = \frac{c_1 \cdot g_1}{g_2}.$$

Тоді

$$\left( \frac{\partial \delta_2}{\partial k} \right)_{k=1} = -\lambda \left( \frac{\partial \delta_1}{\partial k} \right)_{k=1}. \quad (12)$$

Для знаходження  $\frac{\partial \delta_1}{\partial k}$  напишемо рівняння (4) у наступному вигляді:

$$\delta_2 = 1 - k \cdot (1 - \delta_1).$$

Диференціюючи це рівняння по  $k$ , отримаємо:

$$\frac{\partial \delta_1}{\partial k} = -(1 - \delta_1) + k \frac{\partial \delta_1}{\partial k}. \quad (13)$$

З рівнянь (12) і (13) остаточно отримаємо:

$$\left( \frac{\partial \delta_1}{\partial k} \right)_{k-1} = -\frac{(1 - \delta_1)\lambda}{1 + \lambda}. \quad (14)$$

Підставляючи рівняння (14) в рівняння (9) переконуємося, що  $\eta_\delta$  досягає максимального значення при  $k = 1$ , тобто

$$(1 - \delta_1) + (1 - \delta_2) = 0.$$

Легко переконатися, що це ствердження справедливо лише у випадку лінійного зв'язку між залежностями передніх  $\varphi_1(\delta)$  і задніх  $\varphi_2(\delta)$  коліс.

Таким чином, ККД, що враховує втрати на буксування коліс, досягає максимального значення при рівності окружних швидкостей передніх і задніх коліс тільки за умови, що між функціями  $\varphi_1(\delta)$  і  $\varphi_2(\delta)$  існує лінійний зв'язок. Кінематично забезпечити рівність окружних швидкостей колісних рушіїв можна шляхом їхнього блокування.

У результаті проведених досліджень встановлено, що:

- ККД, що враховує втрати на буксування ведучих коліс  $\eta_\delta$ , залежить від коефіцієнтів буксування передніх  $\delta_1$  або задніх  $\delta_2$  коліс, відношення окружних швидкостей  $k$  і відношення дотичних зусиль  $\lambda$ ;
- коефіцієнт використання зчіпної ваги трактора  $\sigma$ , доля зчіпної ваги, що підводиться на передні колеса  $g_1$ , залежності коефіцієнтів використання зчіпної ваги передніх  $\varphi_1(\delta)$  і задніх  $\varphi_2(\delta)$  коліс повністю характеризують різні умови роботи трактора.

Таким чином, ККД, що враховує втрати на буксування коліс, досягає максимального значення при рівності окружних швидкостей передніх і задніх коліс тільки за умови, що між коефіцієнтами використання зчіпної ваги передніх  $\varphi_1(\delta)$  і задніх  $\varphi_2(\delta)$  коліс існує лінійний зв'язок. Кінематично забезпечити рівність окружних швидкостей колісних рушіїв можна шляхом їхнього блокування.

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕОБОРУДОВАННЫМ НА ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО**

<sup>1</sup>Погорлецкий Д.С., <sup>1</sup>Грицук И.В., <sup>1</sup>Булгаков Н.П., <sup>2</sup>Володарец Н.В., <sup>3</sup>Белай А.В.  
<sup>1</sup>Херсонская государственная морская академия (Украина)

<sup>2</sup>Украинская государственная академия железнодорожного транспорта (Украина)  
<sup>3</sup>ГВУЗ «Мариупольский строительный колледж» (Украина)

Представленная информационная модель процесса мониторинга транспортного средства (ТС) с двигателем, переоборудованным во процессе эксплуатации для работы на сжиженном газе, предназначена для оценки эффективности работоспособности и диагностирования ТС для устранения неполадок и как следствие повышения надежности и локализации отказов. Предусмотрена возможность встроенного самодиагностирования через элементы системы OBD-II и ее взаимодействия с бортовой системой мониторинга, а также возможность анализа технического состояния ТС.

**Цель работы:** Сформировать информационную модель процесса мониторинга ТС, а также взаимодействие и схему обмена информацией системы мониторинга со штатными системами ТС.

**Изложение основного материала:** Решение проблемы повышения эффективности диагностики ТС с двигателями, переоборудованными на газовое топливо, не возможно только путем оптимизации диагностических процессов, а путем возможного объединения дистанционного мониторинга ТС и системами самодиагностики. Мониторинг осуществляется при движении ТС в условиях эксплуатации.

Современный двигатель, переоборудованный на газовое топливо, возможно показать как схему двух последовательных этапов. На первом этапе обеспечивается дистанционное считывание диагностических кодов [1] з ТС. Это эксплуатационные параметры технического состояния ТС и неисправности [2] в управлении и подаче топлива в топливной системе. В то же время техническая информация считывается, используя систему мониторинга, которая дополнительно установлена на ТС [1, 3, 4]. Затем техническая информация объединяется с навигационными данными и переданными через мобильный или спутниковый телефон в информационное программное обеспечение на сервер (ISC) [1, 3, 4]. Объем диагностической информации на этом этапе ограничен количеством технических параметров в CAN-шине системы самодиагностики OBD-II и возможности самой системы мониторинга транспортных средств. Это значит, что определение неисправности и кода ошибки установленными средствами диагностики ТС ограничивается возможностями бортовой системы самодиагностики.

В дополнение к информации, полученной от блока диагностики, информация о местоположение транспортного средства также отправляется на сервер обработки данных - координаты транспортного средства, скорость его движения и условия эксплуатации. Эти данные получены с использованием спутниковой навигационной системы GPS, Glonass или BeiDou.

Бортовая система диагностики автомобиля со стандартом OBD-II является предварительной. Этот тип диагностики позволяет распознавать (расшифровывать) коды неисправностей [1, 3, 4]. Он позволяет определить только систему ТС, в которой произошла поломка. Для системы питания сжиженным газом, одна из основных системных ошибок, является ошибка относительно давления топлива (газа) в системе. В этом случае отображается ошибка в штатной системе самодиагностики газобаллонного оборудования (ГБО), неисправность может быть вызвана поломкой редуктора испарителя; мульти клапана; утечкой в форсунках; неисправностью датчика давления. Если в работе ТС обнаружен сбой тогда с помощью дистанционной диагностики с использованием ISC [5, 6], необходимо перейти к фактической быстрой диагностике. Также необходимо

полностью диагностировать систему питания сжиженным газом. Экспресс-диагностика проводится в условиях предприятий по обслуживанию автомобильного транспорта оборудованного ГБО [7]. Экспресс-диагностика позволяет сэкономить время для определения точного местоположения ошибки. В то же время оценивается техническое состояние системы ГБО и ТС в целом [7].

Схема обмена информацией между элементами бортовой системы мониторинга и диагностики для дистанционного управления (рис. 1) состоит из ТС в качестве объекта мониторинга, основных датчиков, дополнительных датчиков, стандартных линий OBD-II, сканера OBD-II (GPS, a-GPS, ГЛОНАСС, SBAS, GPRS, интернет, локальная сеть), веб-сервера, базы данных, программного обеспечения, системы программного обеспечения интеллекта (МКС) на основе вероятностных моделей, оперативной информации полученной со спутника, ТС и дистанционный мониторинг. Пунктирная линия показывает сочетание внутренней сети (IN) ТС. Для исследование с помощью VIPDC обеспечивается взаимодействие элементов и обмена информацией между ними. Таким образом, дистанционный мониторинг диагноза и прогнозирования технического состояния, контроля и оперативного управления ТС представлено в [1, 3, 4].

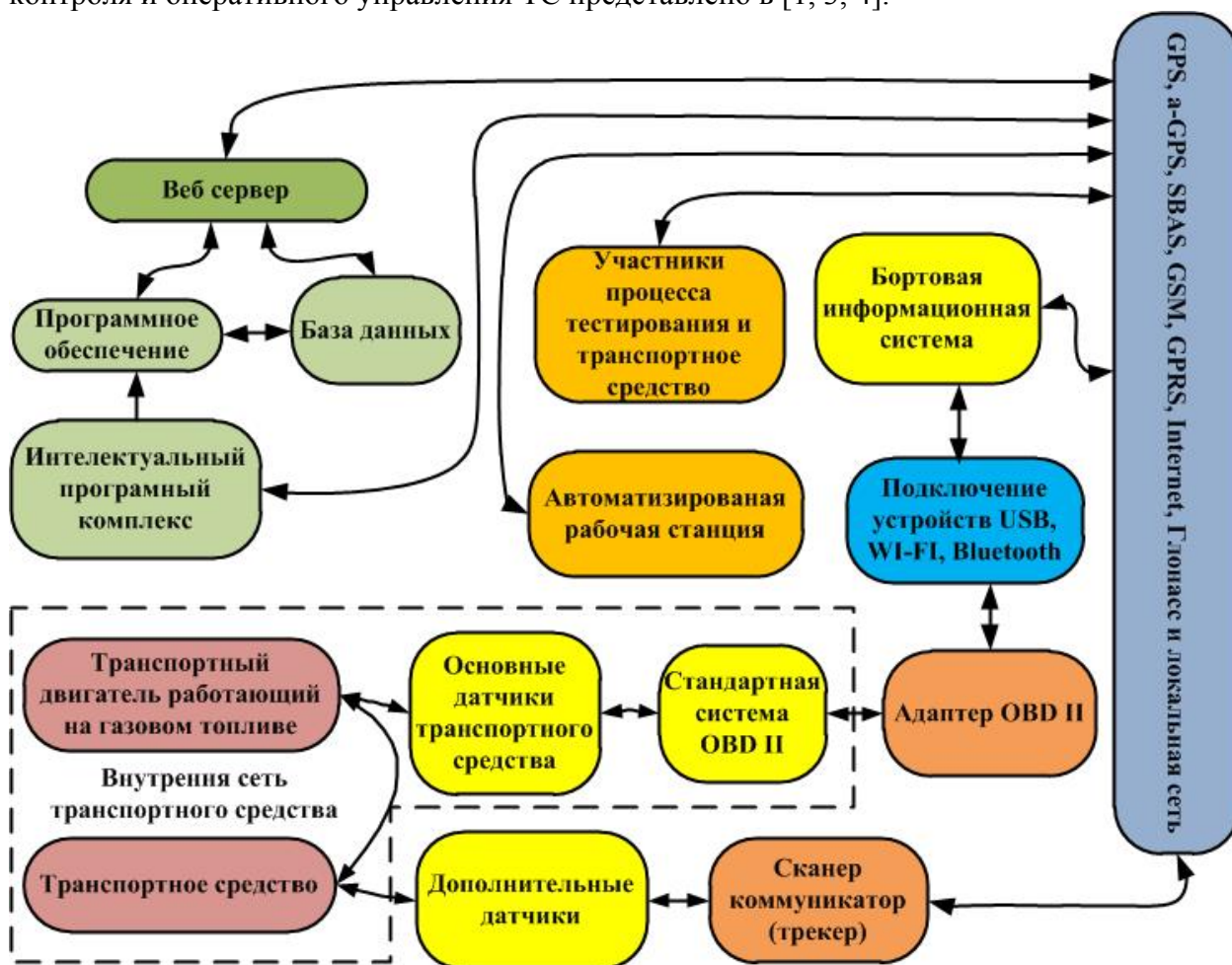


Рисунок 1. Схема обмена информацией между элементами бортового информационной системы для удаленного мониторинга и диагностики двигателей транспортных средств

Измерительный комплекс для дистанционного мониторинга и диагностики ТС может работать в ручном и автоматическом режиме. Разница между ними заключается в том, что будут ли подключены информационные и программные комплексы, и будут ли оцениваться условия эксплуатации ТС [1, 3]. Принцип работы бортового оборудования основан на способности определять фактические технические параметры состояния

двигателя и ТС, а также точное местоположение и точное определение времени навигационных спутниковых систем и обмен этой информацией с удаленным рабочим местом, контролирующим состояние ТС. Обеспечить управление процессами мониторинга и диагностики ТС обменом информацией, которая позволяет передавать как цифровые, голосовые и видеоданные. БИС - это информационное устройство которое самостоятельно решает проблемы контроля технических параметров двигателя и ТС во время движения. В памяти БИС находятся данные для его работы, в том числе параметры ТС и двигателя. Сравнение местоположения ТС и указанные критерии работы позволяют БИС информировать водителя, оператора рабочего места и мониторить состояние ТС с учетом технических параметров. В то же время, для эффективности оперативного управления, используется двусторонняя связь.

Для выполнения мониторинга и диагностики с возможностью прогнозирования параметров технического состояния двигателя и ТС, диагностики оборудования и самого ТС (рис. 1) был использован бортовой информационный комплекс. Структурно БИС состоит из встроенной диагностики Scanmaster ELM327 адаптера, подключенный к разъему OBD-II и планшету (смартфон), подключенный через Bluetooth с установленным монитором и диагностическим программным обеспечением.

При подключении ELM327 к разъему OBD, монитор планшета отображает информацию поступающую со стандартных датчиков, дальше информация с планшета (смартфона) через Интернет, уходит на удаленное устройство - компьютер диагностического инженера (менеджера). Как было показано выше, более глубокая диагностика должна осуществляться непосредственно на предприятии автомобильного транспорта по обслуживанию ТС оборудованных системой питания сжиженным газом.

**Выводы.** В работе приведена схема взаимодействия штатной системы диагностики ТС с системой мониторинга, а также приведена схема обмена информацией двух систем и передача данных на отдаленный сервер. Обращая внимание на материалы, изложенные в данной работе можно сделать выводы, что исследования в данном направлении актуальны и требуют дополнительного рассмотрения в рамках данной проблемы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волков В., Матейчик В., Никонов О., Комов П. и др. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в конструкции и процессы интеллектуальных транспортных систем, монография, (Донецк: Noulidzh Publ., 2013), 398с.
2. Henderson, B. and Heines, J., *OBD-II and Electronic Engine Management Systems* (SPb.: Alphamer Publishing, 2011), 248.
3. Волков В., Матейчик, В., Комов, П., Грицук, И. и др. Интеллектуальные системы мониторинга транспорта (Харьков: ХНАДУ, 2015 г.), 246.
4. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., "Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator," SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, doi:10.4271/2016-01-0204.
5. Ахмедов Т., Жанказиев С., Финкель А. "Основы системы мониторинга состояния транспортного средства в процессе эксплуатации", Научные аспекты развития транспортных и телематических систем - М.: МАДИ, 138 - 164, 2010.
6. Ахмедов Т., «Принципы определения состояния неисправностей в телематической системе наблюдения за техническим состоянием автомобиля в реальном времени», «Научные аспекты развития транспортных и телематических систем»: МАДИ, 165-180, 2010.
7. Дашенко, О., Максимов В., Ницевич О. и др. Общие принципы диагностики электронных систем: Учебное пособие (Одесса: Наука и техника, 2012), 392.

## НЕСТАЦИОНАРНЫЕ РЕЖИМЫ – ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЛИМИТЕРЫ ДИНАМИКИ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА

Поляков В. А., Хачапуридзе Н. М.  
Институт транспортных систем и технологий  
Национальной академии наук Украины (Украина)

Введение. Магнитолевитирующий поезд (МЛП) – большая, сложная система разнотипных элементов. Её основное предназначение – грузопассажирские перевозки. Их качество – ключевой критерий оценки потребительских свойств поезда.

Актуальность исследования. Движения МЛП весьма не тривиальны и, без принятия достаточных превентивных мер, могут существенно отличаться от желаемых оптимальных и даже рациональных кондиций. Особо экстремально далёкими от них, грозящими катастрофическими последствиями, результирующие движения МЛП могут быть в своих нестационарных режимах. Детерминирующее влияние на качество этих движений оказывает динамика электромеханической подсистемы (ЭМП). Именно поэтому её нестационарные режимы являются лимитерами функциональных возможностей МЛП и подлежат первоочередному исследованию. Его проведение – основная задача работы.

Постановка задачи. Рассмотрено одномерное продольное движение МЛП. В качестве расчётной схемы его механической подсистемы (МП) принято твёрдое тело массой  $m$ . Движение рассматривается относительно инерциальной неподвижной декартовой системы отсчёта  $OXYZ$ . С телом связывается декартов триэдр  $C_{xyz}$ , оси которого являются его главными центральными. Изменение положения тела во времени  $t$  определяется декартовой координатой  $x(t)$  центра масс. На тело не наложены аналитические связи. Конфигурация МП МЛП описывается с помощью одной обобщённой координаты:

$$\eta^1 = x \quad (1)$$

Движение рассматривается в состоянии электродинамической левитации. На тело действуют силы [1]:  $F_{Tx}$  – продольная составляющая тяги – со стороны линейного синхронного двигателя (ЛСД);  $F_{ADx}$  – продольное аэродинамическое сопротивление – со стороны воздушной среды;  $F_{EDx}$  – продольное электродинамическое сопротивление – со стороны контуров подвешивания;  $F_{Wx}$  – продольная составляющая веса – вследствие уклона пути.

Продольное поступательное движение МП МЛП описуемо вторым законом Ньютона:

$$m \cdot \ddot{x} = F_{Tx} + F_{ADx} + F_{EDx} + F_{Wx} \quad (2)$$

где  $\ddot{x}$  – продольная составляющая ускорения точки  $C$ .

Значения  $F_{Tx}$ , в рассматриваемом случае, определимы [2] соотношениями:

$$F_{Tx} = f_{\lambda\chi} \cdot e^\lambda \cdot e^\chi; \quad e^\lambda = e^\chi = 1; \\ f_{\lambda\chi} = l_{\lambda\chi} \cdot i^\lambda \cdot B_{\lambda\chi} \quad \forall \lambda \in [1, N], \chi \in [1, 2] \quad (3)$$

где  $f_{\lambda\chi}$  – сила взаимодействия полей токов  $\chi$ -го элемента  $\lambda$ -го контура индуктора и якоря;  $l_{\lambda\chi}$ ,  $i^\lambda$ ,  $B_{\lambda\chi}$  – длина элемента, ток в нём, а также индукция поля, в котором он находится.

Значения величин  $F_{ADx}$  могут быть оценочно описаны [3] соотношениями:

$$F_{ADx} = -C_x \cdot q \cdot S, \quad q = 0,5 \cdot \rho \cdot \dot{x}^{(2)}, \quad (4)$$

где  $C_x$  – безразмерный аэродинамический коэффициент в направлении  $Cx$ ;  $S$  – характерная площадь сечения поезда в том же направлении;  $\rho$  – плотность окружающего его воздуха.

Значения величин  $F_{EDx}$  аппроксимируемы [4] полиномом вида:

$$F_{EDx} = k_\rho \cdot \dot{x}^\rho \cdot e^\rho; \quad e^\rho = 1 \quad \forall \rho \in [1, n_r], \quad (5)$$

в котором  $k_\rho \quad \forall \rho \in [1, n_r]$  получаются регрессией экспериментальных зависимостей  $F_{EDx}(t)$  с избранной степенью аппроксимационного полинома  $n_r$ .

Наконец, изменение значений усилия  $F_{Wx}$  описывается выражением:

$$F_{Wx} = m \cdot g \cdot \sin \varphi_\kappa, \quad (6)$$

где  $g$  – гравитационная постоянная;  $\varphi_\kappa$  – угол уклона профиля  $\kappa$ -го участка пути, по которому движется поезд.

Модель (2) описывает продольное одномерное движение МП МЛП под действием возмущений, а также управления линейного синхронного двигателя (ЛСД). Упомянутая модель была принята в качестве алгоритмической основы построения компьютерной модели того же процесса движения. Элементы компьютерной модели подразделяются на расчётную и графическую части. Первая из этих частей решает прямую задачу динамики системы, а вторая из частей – преобразует результаты расчётов в графическую форму. Исследование осуществлено путём проведения экспериментов с компьютерной моделью. Их результатом, в каждом из режимов движения, явились графики зависимостей от времени характеризующих и порождающих движение величин. Было исследовано движение в нестационарных режимах набора скорости, прохода тоннеля, а также служебного и экстренного торможения.

Частота напряжения якоря ЛСД автоматически поддерживается [1] пропорциональной скорости МЛП. Помимо частотного, возможно дополнительное управление, повышающее плавность электромагнитных процессов в ЛСД и механических – в МП. Такое дополнительное управление может быть амплитудным, либо фазовым. В первом случае плавность питания ЛСД обеспечивается изменением амплитуды якорного напряжения, например, по закону

$$U_a(t) = U_a^* \cdot th(t \cdot k_{vd}), \quad (7)$$

где  $U_a^*, k_{vd}$  – предельное значение амплитуды и коэффициент интенсивности её изменения.

В фазовом варианте, начальная фаза напряжения якоря может изменяться по закону

$$\theta_u(t) = \alpha_u \cdot [th(t \cdot k_{fd}) - 1], \quad (8)$$

где  $\alpha_u, k_{fd}$  – текущая фаза и коэффициент интенсивности изменения начальной фазы.

Иллюстративные примеры результатов исследования движения МЛП в режиме набора скорости приведены на рис. 1 – 6. Рис. 1 и 2 соответствуют управлению только частотой напряжения, рис. 3 и 4 – амплитудно-частотному управлению, рис. 5 и 6 – фазо-частотному управлению. При этом, на рис. 1, 3 и 5 приведены графики скорости поезда, а на рис. 2, 4 и 6 – графики действующей на него тяговой силы ЛСД.

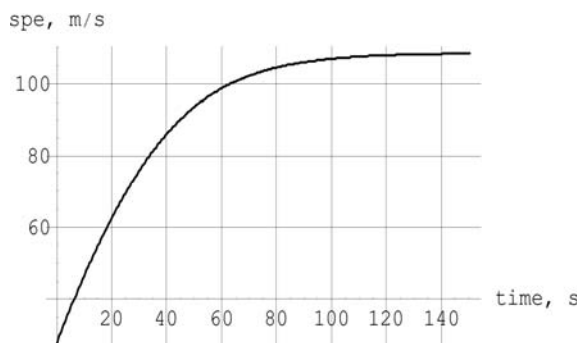


Рисунок 1. График скорости поезда

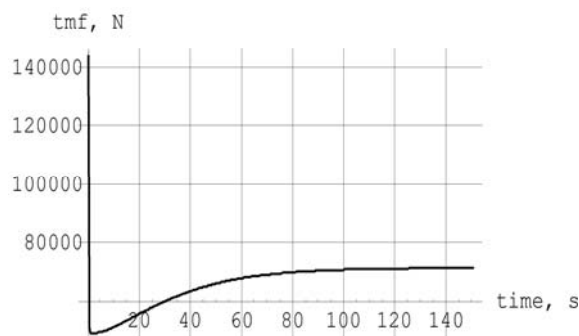


Рисунок 2. График тяговой силы ЛСД

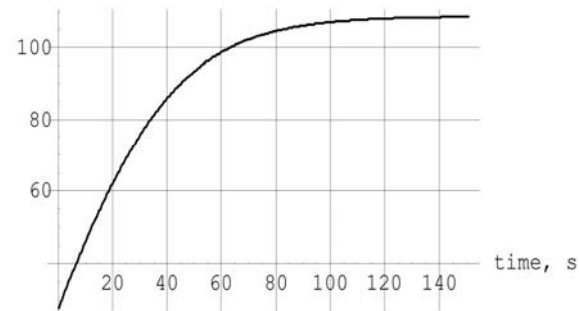


Рисунок 3. График скорости поезда

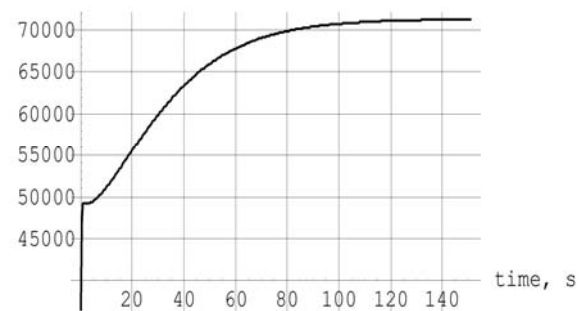


Рисунок 4. График тяговой силы ЛСД



Рисунок 5. График скорости поезда

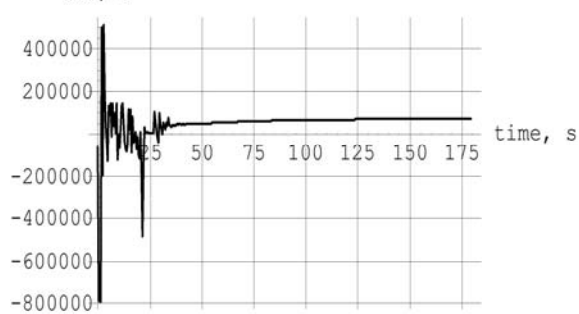


Рисунок 6. График тяговой силы ЛСД

Анализ результатов моделирования разгона поезда свидетельствует о неприемлемости как только частотного варианта управления – из-за высокого значения ускорения поезда, так и фазо-частотного – вследствие возникающей высокочастотной осцилляции скорости МЛП. Кроме того, в последнем случае недопустимо высоки якорные токи ЛСД. Наиболее приемлем амплитудно-частотный вариант управления якорным напряжением.

Вход поезда в тоннель и выход из него приводят к перепадам аэродинамического сопротивления примерно на 30 % [5], что может вызывать резкие колебания ускорения и скорости движения. Это недопустимо и делает целесообразной автоматизацию управления им. При входе и выходе из тоннеля это дополнительное сопротивление изменяется почти по линейному закону. Поэтому при моделировании такого режима движения считалось, что аэродинамическое сопротивление ему описывается соотношениями

$$F_{ADx}^* = F_{ADx} \cdot [1 + (1/0,7 - 1) \cdot \kappa];$$

$$\kappa = \begin{cases} 0 & \forall x < \xi_{ts} - 0,5 \cdot l_v \vee x > \xi_{tf} + 0,5 \cdot l_v; \\ (x + 0,5 \cdot l_v - \xi_{ts}) \cdot l_v^{(-1)} & \forall \xi_{ts} - 0,5 \cdot l_v \leq x \leq \xi_{ts} + 0,5 \cdot l_v; \\ 1 & \forall \xi_{ts} + 0,5 \cdot l_v < x < \xi_{tf} - 0,5 \cdot l_v; \\ (\xi_{tf} - x + 0,5 \cdot l_v) \cdot l_v^{(-1)} & \forall \xi_{tf} - 0,5 \cdot l_v \leq x \leq \xi_{tf} + 0,5 \cdot l_v, \end{cases} \quad (9)$$



где  $l_v$  – длина поезда;  $\xi_{is}, \xi_{if}$  – расстояния от точки начала отсчёта пути до начала и конца тоннеля. Цель управления при движении в тоннеле:

$$\ddot{x}(t) = \ddot{x}_{is} = const, \quad (10)$$

где  $\ddot{x}_{is}$  – ускорение поезда при входе в тоннель. Соблюдение этого условия достигается путём частотного, амплитудно-частотного, либо фазо-частотного управления напряжением  $U_a$ . Требуемые для этого законы его изменения находились с использованием модели (2) (в которой  $F_{ADx}$  заменялось величиной  $F_{ADx}^*$ , вычисляемой согласно соотношениям (9), а  $\ddot{x}$  заменялось величиной  $\ddot{x}_{is}$ , вычисляемой согласно (10)), а также модели динамики ЛСД [2].

Иллюстративные примеры результатов исследования движения МЛП в тоннеле приведены на рис. 7 – 12. Рис. 7 и 8 соответствуют управлению только частотой якорного напряжения, рис. 9 и 10 – амплитудно-частотному управлению этим напряжением, а рис. 11 и 12 – фазо-частотному управлению. При этом на рис. 7, 9 и 11 приведены графики скорости экипажа, а на рис. 8, 10 и 12 – графики действующей на него тяговой силы ЛСД.

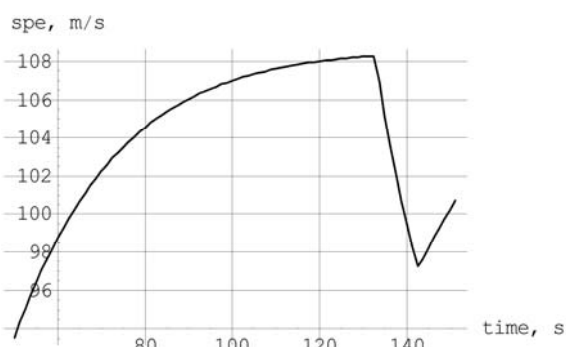


Рисунок 7. График скорости поезда

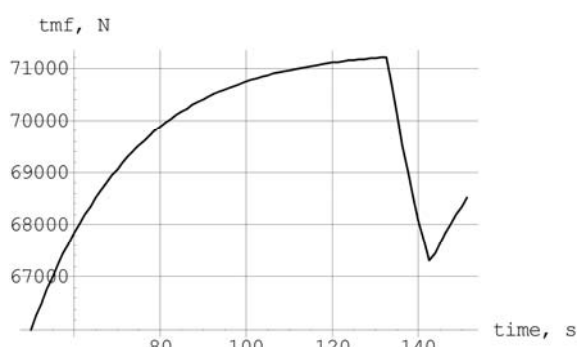


Рисунок 8. График тяговой силы ЛСД



Рисунок 9. График скорости поезда

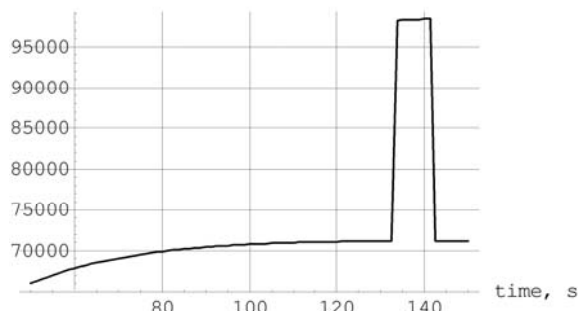


Рисунок 10. График тяговой силы ЛСД

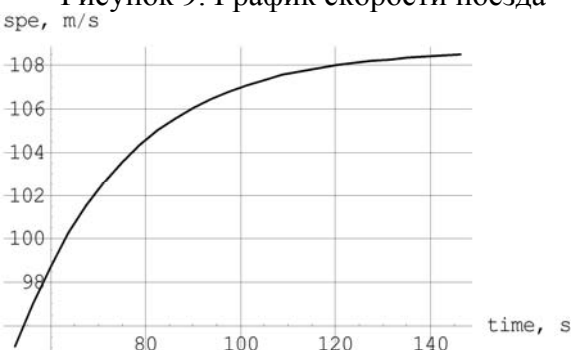


Рисунок 11. График скорости поезда

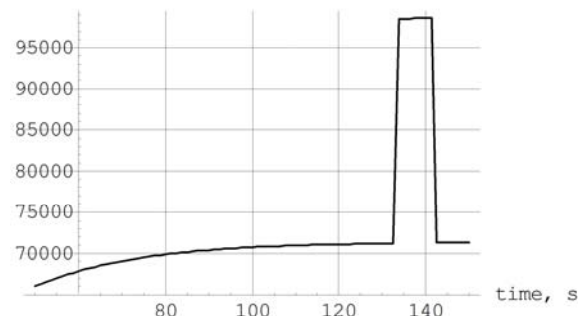


Рисунок 12. График тяговой силы ЛСД

Анализ результатов моделирования указанных трёх вариантов управления проходом поезда сквозь тоннель приводит к следующим выводам. В случае только частотного управления, перепад значения скорости МЛП составляет около 10 %, что, безусловно, недопустимо. Иные два способа автоматического регулирования напряжения примерно эквивалентны, так как в обоих этих случаях отсутствуют сколько-нибудь существенные колебания скорости и ускорения МЛП при проходе тоннеля. В тоже время, фазо-частотный способ регулирования проще (поскольку отпадает необходимость регулирования высоких напряжений). Однако, при амплитудно-частотном регулировании пиковые значения фазовых токов примерно в полтора раза ниже, что снижает токовую нагрузку на электрооборудование двигателя.

В процессе движения МЛП происходит взаимное перемещение якорной и индукторных обмоток ЛСД. В этих обмотках индуцируются электродвижущие силы взаимной индукции, а, поэтому, – текут токи, ведущие к возникновению механических сил, противодействующих взаимному смещению обмоток. Напряжение, питающее якорную обмотку двигателя, обычно компенсирует указанные электродвижущие силы и ЛСД работает в тяговом режиме. Но если текущее значение якорного напряжения  $u_v, \forall v \in [A, B, C]$  снижается, двигатель автоматически переходит в тормозной режим. Как и разгон МЛП, его электродинамическое торможение должно быть плавным. Поэтому двумя наиболее приемлемыми путями осуществления служебного торможения поезда являются амплитудно-частотное и фазо-частотное регулирование якорного напряжения ЛСД. Для реализации указанных режимов плавного регулирования, амплитуда и начальная фаза напряжения на якоре могут изменяться, например, согласно законам

$$U_a(t) = U_a^* \cdot [1 - th(t \cdot k_{vi})], \quad (11)$$

$$\theta_u(t) = -\alpha_u \cdot th(t \cdot k_{fm}), \quad (12)$$

где  $k_{vi}, k_{fm}$  – коэффициенты, определяющие темпы изменения амплитуды и начальной фазы якорного напряжения. Эти законы могут использоваться для служебного торможения поезда. Для экстренного же его торможения применимо мгновенное снятие питающего напряжения с якорной обмотки двигателя, но с сохранением замкнутости её контуров – путём двубортного трёхфазного короткого замыкания этой обмотки.

Иллюстративные примеры результатов исследования движения МЛП в различных тормозных режимах приведены на рис. 13 – 18. Рис. 13 и 14 соответствуют реализации служебного торможения при амплитудно-частотном регулировании напряжения, а рис. 15 и 16 – при фазо-частотном. Наконец, рис. 17 и 18 соответствуют экстренному торможению – путём двубортного трёхфазного короткого замыкания якорной обмотки ЛСД. При этом на рис. 13, 15 и 17 приведены графики скорости поезда, а на рис. 14, 16 и 18 – графики действующей на него тяговой силы ЛСД.

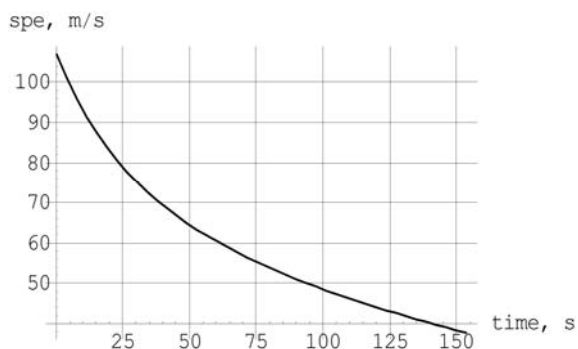


Рисунок 13. График скорости поезда

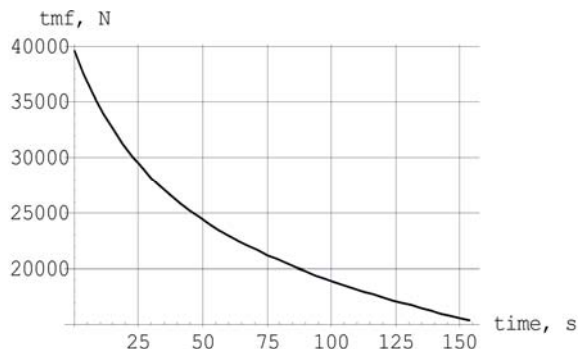


Рисунок 14. График тяговой силы ЛСД

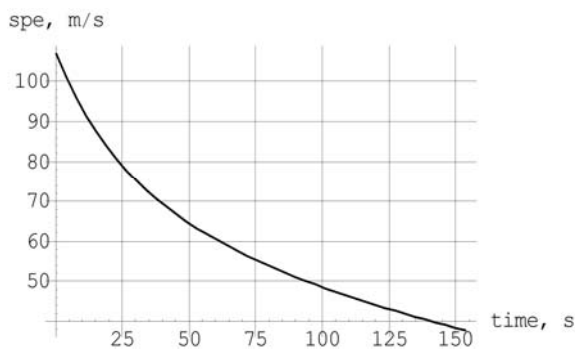


Рисунок 15. График скорости поезда

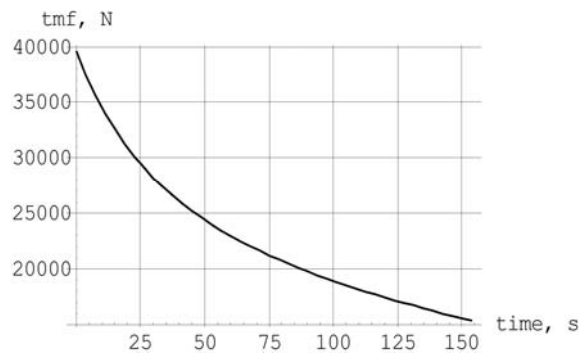


Рисунок 16. График тяговой силы ЛСД

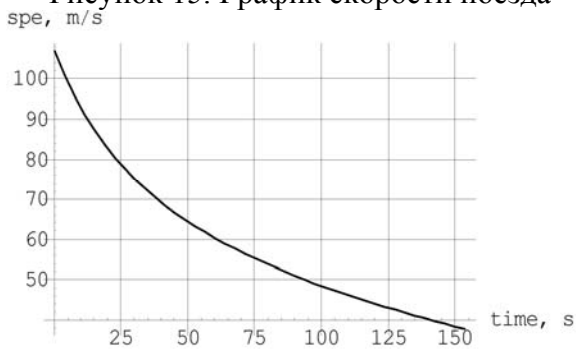


Рисунок 17. График скорости поезда

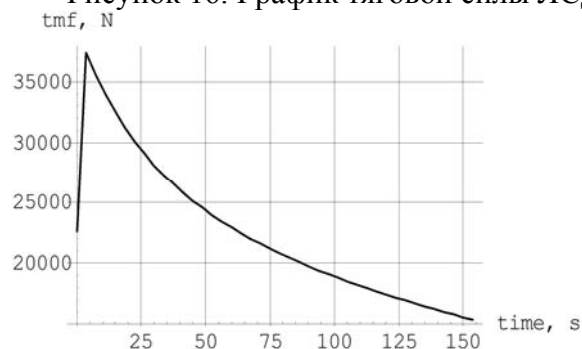


Рисунок 18. График тяговой силы ЛСД

Анализ результатов моделирования указанных тормозных режимов движения МЛП позволяет сделать следующие выводы. Рассмотренные режимы служебного торможения (при амплитудно-частотном и фазо-частотном регулировании якорного напряжения двигателя) по реализуемым тормозным характеристикам примерно равноценны. Оба они обеспечивают достаточную плавность изменения ускорения и скорости поезда. Пиковые значения ускорения при этом не превышают  $0,15 \cdot g$ , что вполне приемлемо. Реализация экстренного торможения приводит к значительным пиковым ускорениям – около  $0,22 \cdot g$ , устранить которые не представляется возможным. Однако такое кратковременное повышение ускорения в экстремальных ситуациях является оправданным.

Результаты исследования. Путём компьютерного моделирования, изучена динамика магнитолевитирующего поезда, подверженного естественным возмущениям и управляемого линейным синхронным двигателем, в нестационарных режимах разгона, прохода тоннеля, а также служебного и экстренного торможения.

Выводы. Анализ полученных результатов позволил оценить динамические качества поезда в рассмотренных нестационарных режимах движения, а также его нагруженность в их процессе. Этим решена задача настоящей части исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / [В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев и др.]. – Киев: Наукова думка, 2001. – 479 с.
2. Поляков В. А. Модель процесса реализации тяговой силы двигателя магнитолевитирующего поезда / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуидзе // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна – № 4(64) – Дніпропетровськ, 2016. – С. 55–62.
3. Лебедев А. А. Динамики полёта беспилотных летательных аппаратов / А. А. Лебедев, Л. С. Чернобровкин. – Москва: Машиностроение, 1973. – 616 с.
4. Дзензерский В. А. Устойчивость вертикальных колебаний в системе электродинамического подвеса с дискретной путевой структурой / В. А. Дзензерский, А. А. Зевин, Л. А. Филоненко. // Прикладная механика – Т. XXXI, №7. – 1995. – С. 88 – 93.
5. Фудзиэ Дз. Наземный транспорт на подвесе на сверхпроводящих магнитах. II. Система подвеса на сверхпроводящих магнитах / Дз. Фудзиэ // Дэнгакуси – Т. 3. – Токио, 1991. – С. 457 – 459.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ НА ПОКАЗНИКИ РУХУ АВТОМОБІЛЯ В УМОВАХ ВЕЛИКОГО МІСТА**

Рябушенко О.В., Наглюк І.С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

### **Вступ.**

Важливим напрямком діяльності в сфері забезпечення ефективності та безпеки дорожнього руху є управління швидкістю транспортного потоку, особливо на вулично-дорожній мережі (ВДМ) міст. Основними заходами при цьому повинні бути не тільки встановлення загальних обмежень швидкості руху та додаткових - на небезпечних ділянках, але й підвищення швидкісного режиму на всіх ділянках, де це є обґрунтованим та не призводить до значного підвищення показників аварійності. Це необхідно для забезпечення високих техніко-економічних показників функціонування транспортної системи в цілому [1,2].

Такий підхід використовується у провідних країнах Європи та світу, але не в Україні. Єдиним заходом у цій сфері стало не достатньо обґрунтоване, на нашу думку, зниження обмеження швидкості в населених пунктах з 60 до 50 кілометрів на годину. При цьому не було проведено будь-яких досліджень щодо оцінки впливу обмеження швидкості на показники ефективності та безпеки дорожнього руху в умовах ВДМ міст України.

Пункт 12.8 Правил дорожнього руху України дозволяє власникам доріг збільшувати дозволену швидкість руху на окремих ділянках за погодженням з уповноваженим підрозділом Національної поліції. Але при цьому відсутні будь-які нормативів та методичних рекомендацій щодо характеристик таких ділянок. За таких умов жоден чиновник не візьме на себе відповідальність за прийняття рішення по збільшенню обмеження швидкості, а це робить неможливим впровадження ефективної системи управління швидкістю руху в Україні.

### **Постановка задачі.**

Серед показників якості організації дорожнього руху найбільш важливе техніко-економічне значення мають час та швидкість сполучення. Рівень комфорту руху також можна оцінити за так званими енергетичними показниками, такими як шум прискорення градієнт швидкості та градієнт енергії. Дані про зміну зазначених показників в залежності від швидкісного режиму руху в реальних умовах функціонування ВДМ України могли б лягти в основу розробки концепції управління швидкістю руху транспортних потоків. Ключовим елементом такої концепції були б рекомендації по встановленню обмежень швидкості руху на елементах ВДМ найкрупніших та крупних міст, перш за все магістральних доріг та вулиць.

### **Методика досліджень.**

Сучасні геоінформаційні технології дозволяють отримувати та обробляти дані про режим руху автомобіля в режимі реального часу за допомогою запису GPS треків. Методика проведення експериментальних досліджень описана в роботі [3].

Запис треків відбувався під час їздки легкового автомобіля трьома різними маршрутами від перетинання окружної автомобільної дороги і вулиці Проспект Московський (окраїна міста) до вул. Ярослава Мудрого 25 (центр міста). Тобто, рух відбувався як магістральними вулицями, так і в межах центральної ділової частини міста (рис. 1.). Їздки виконувалися поперемінно у трьох різних режимах, при яких водій обмежував свою максимальну швидкість значеннями 80, 60 та 50 км/год. Окрім швидкісного режиму в процесі руху виконувалися всі вимоги Правил дорожнього руху. У підсумку враховувалися лише результати їздки в робочі дні тижня між 9:00 та 12:00 годинами.

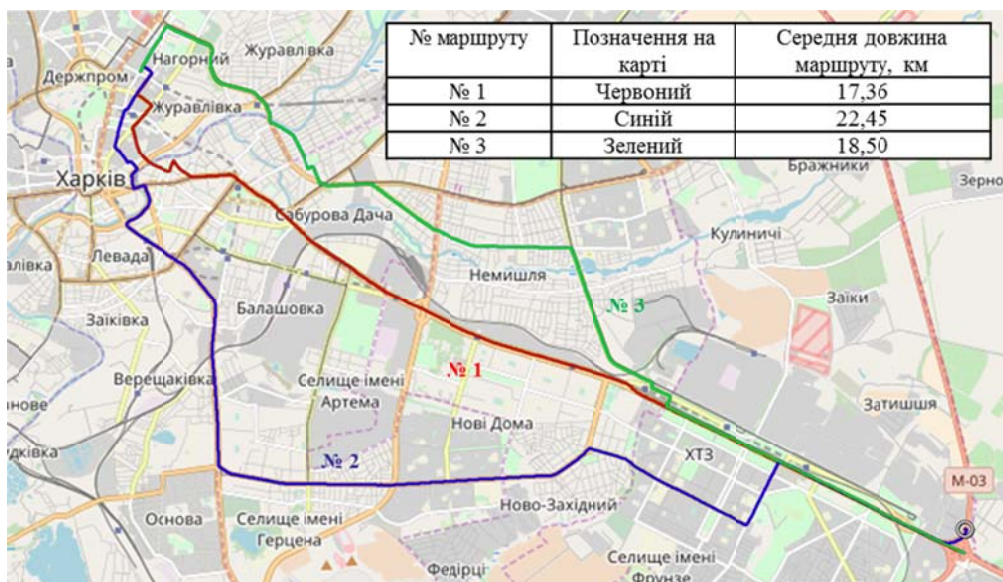


Рисунок 1. Розташування експериментальних маршрутів на карті міста

Серед недоліків обраної методики можна відзначити те, що отримані дані відображають режим руху лише експериментального автомобіля без зміни стану транспортного потоку. Через відсутність будь-якого контролю швидкісного режиму руху переважна більшість водіїв при виборі швидкості керується лише дорожніми та транспортними умовами. Тому на певних ділянках ВДМ міста транспортний потік рухається зі швидкостями понад 80-90 км/год. Через це неможливо отримати стан транспортного потоку, характерний для обраних обмежень швидкості, та, відповідно, неможливо оцінити вплив транспортних умов на режим руху експериментального автомобіля. Дотримання встановлених обмежень швидкості водіями призвело б до зміни стану транспортного потоку та, можливо, це відобразилося б на результатах досліджень.

**Результати досліджень.**

За результатами обробки GPS треків розраховувалися техніко-експлуатаційні показники дорожнього руху. Результати представлені на рис. 2 та у таблиці 1.

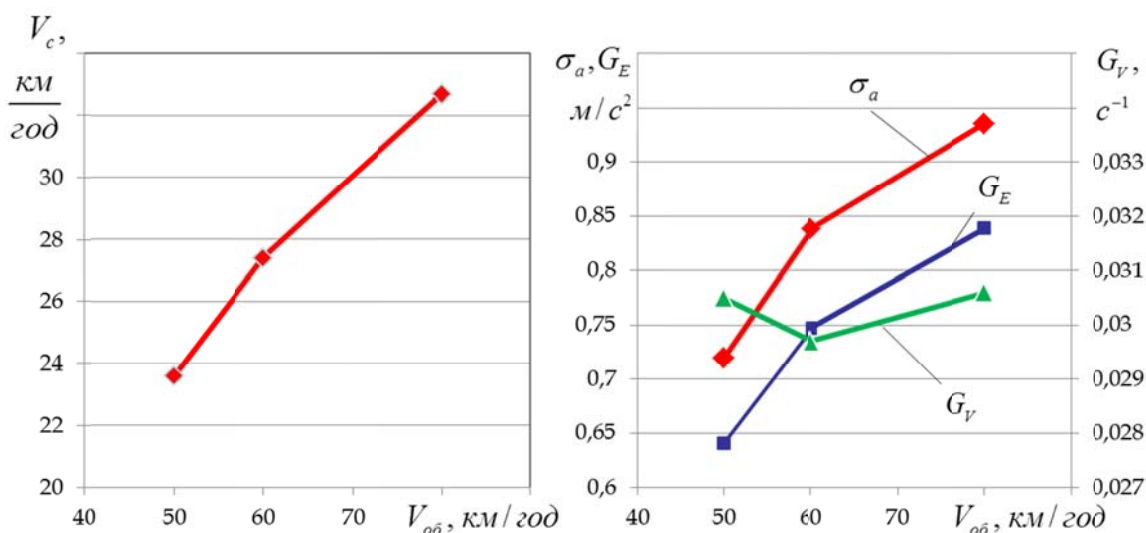


Рисунок 2. Залежність швидкості сполучення  $V_c$ , шуму прискорення  $\sigma_a$ , градієнту швидкості  $G_v$  та градієнту енергії  $G_E$  від обраних обмежень швидкості

Таблиця 1. Результати розрахунків показників якості дорожнього руху

Назва критерію, та одиниці виміру	Розрахункова залежність	Позначення	Результати		
			50	60	80
Швидкість сполучення, км/год	$V_c = \frac{60 \cdot \sum_{i=1}^n V_{ci}}{n}$	$V_{ci}$ – швидкість сполучення для для $i$ -го треку, км./год.; $n$ – кількість треків.	23,6	27,4	32,7
Коефіцієнт використання швидкості	$K_V = \frac{V_c}{V_{об}}$	$V_{об}$ - обране обмеження швидкості, км/год.	0,47	0,46	0,41
Темп руху, хв./км	$T = \frac{60}{V_c}$	$V_c$ - швидкість сполучення, км/год	2,54	2,19	1,82
Питомий час в русі, хв./км	$T_r = \frac{1}{V_r}$	$V_r$ - середня швидкість у русі (швидкість руху не менша за 5 км/год), км/год	1,76	1,56	1,52
Питомого часу простою, хв./км	$T_s = \frac{\sum t_s}{L_m}$	$\sum t_s$ - сумарна тривалість інтервалів простою, хв; $L_m$ - довжина маршруту, км	0,877	0,568	0,433
Шум прискорення, м/с <sup>2</sup>	$\sigma_a = \sqrt{\frac{1}{t_p} \cdot \int_0^{t_p} (j_t - \bar{j}_t)^2 dt}$	$j_t$ - прискорення, м/с <sup>2</sup> ; $t_p$ - час руху, с; $dt$ - проміжок часу між двома вимірами, с.	0,720	0,838	0,936
Гradient швидкості, с <sup>-1</sup>	$G_V = \frac{\sigma_a}{V_c}$	$V_c$ - швидкість сполучення на маршруті, м/с.	0,0305	0,0297	0,0306
Gradient енергії, м/с <sup>2</sup>	$G_E = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (j_i \cdot V_i - \overline{j_i \cdot V_i})^2}$	$j_i \cdot V$ - твір прискорення та швидкість на маршруті, м <sup>2</sup> /с <sup>3</sup> .	0,641	0,747	0,839

Найбільш корисним результатом є отримані значення швидкості сполучення (що в даному випадку також є технічною швидкістю) за різних обраних обмежень швидкості. Видно, що при зменшенні значення обмеження швидкості спостерігається деяке погіршення наведених техніко-експлуатаційних показників.

Нетривіальний результатом можна вважати нелінійний характер зміни швидкості сполучення: при обмеженні 50 км/год виявилось більш значне зниження швидкості сполучення ніж це прогнозувалося за лінійною моделлю [3,4]. Можливо, звичайно, що така тенденція не підтвердиться при проведенні подальших досліджень, але, можна припустити деякі об'єктивні причини такого результату. Такими можуть бути:

1. Полягання значної частини експериментальних маршрутів по магістральних вулицях міського значення з незначним рівнем завантаження рухом, що дозволило в значній мірі використовувати підвищену швидкість руху.

2. Занадто великі тривалості циклів світлофорного регулювання на перехрестях уздовж магістральних вулицях, що призводило до зростання затримок руху у випадку,

коли автомобіль зупинявся на забороняючий сигнал. Звичайно, що при русі зі зменшеним обмеженням швидкості ймовірність таких затримок збільшувалася.

Енергетичні показники, як видно з рис. 2, в цілому не набувають значних змінень. Зменшення шуму прискорення та градієнту енергії при зниженні прийнятого обмеження швидкості руху є очікуваним результатом за рахунок зниження величини прискорень-уповільнень.

Хоча шум прискорення, окрім іншого, може характеризувати рівень комфорту праці водія, у даному випадку слід відзначити, що більш напруженим режимом був рух в транспортному потоці з обмеженням 50 та 60 км/год, через те, що переважна більшість водіїв, особливо на магістральних вулицях, рухалися зі значно більшими швидкостями.

Також спостерігається досить цікава поведінка градієнту швидкості, що набуває найменшого значення для режиму «60». Причинами цього можуть бути особливості обраних маршрутів або вплив з боку загального транспортного потоку, характеристики якого не змінювалися в залежності від режиму руху експериментального автомобіля.

Окрім зазначених результатів, представляють практичну цінність графіки руху автомобіля в координатах час-швидкість та відстань-швидкість (так звані  $t-V$  та  $L-V$  діаграми). На рисунку 3, у якості приклада, наведені графіки трьох їздок за маршрутом №1 (перші 10 хвилин та перші 5 км маршруту).

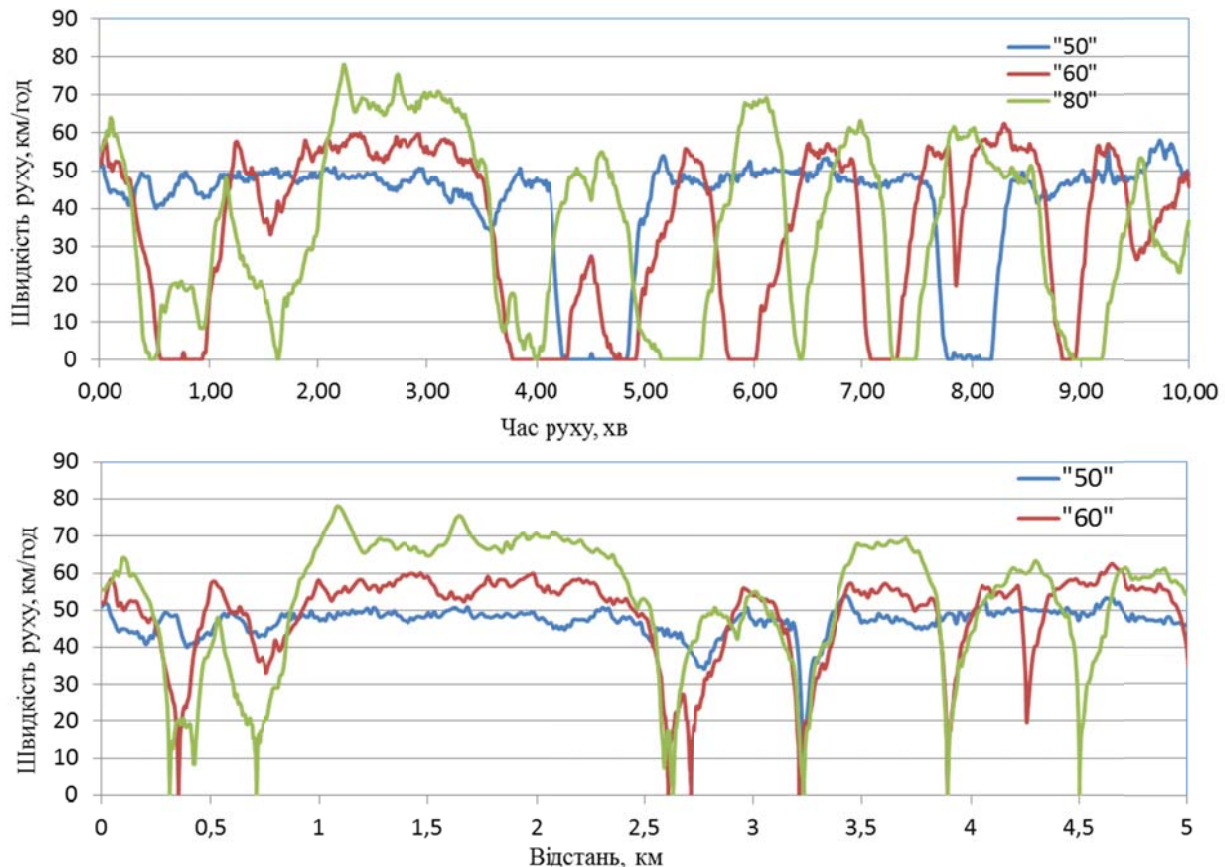


Рисунок 3. Графік зміни швидкості руху автомобіля у часі та по довжині маршруту

Такі графіки дозволяють візуально побачити режим руху автомобіля упродовж всього маршруту та на окремих його відрізках. Також діаграми в координатах «відстань-швидкість», побудовані для окремих ділянок ВДМ дозволяють виявити вузькі місця, де відбувається зниження швидкості руху транспортного потоку. Також можна спостерігати якісні відмінності в режим руху автомобіля на периферійних районах міста та в межах центральної частини міста.

### **Висновки.**

Шляхом спостереження за результатами руху легкового автомобіля по ВДМ міста Харкова в режимі обмеження максимальної швидкості 50, 60 та 80 км/год було встановлено величину зменшення швидкості сполучення (технічної швидкості) та інших параметрів, які впливатимуть на техніко-експлуатаційні показники транспортного процесу перевезень.

Також для зазначених режимів були визначені енергетичні показники якості дорожнього руху, такі як шум прискорення, градієнт швидкості, градієнт енергії.

Отримані результати можуть бути використані перш за все при розробці норм та стандартів, які дозволяють приймати обґрунтовані рішення щодо підвищення швидкісного режиму на окремих елементах ВДМ великих та найкрупніших міст України.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Управление скоростью: Руководство по безопасности дорожного движения для руководителей и специалистов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://www.who.int/roadsafety/projects/manuals/speed\\_manual/ru/](http://www.who.int/roadsafety/projects/manuals/speed_manual/ru/)
2. Оценка условий дорожного движения с учетом показателей транспортного потока / В.Н. Басков, Н.Г. Белобрыкина // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 35. – С. 171–175.
3. Рябушенко О.В. Вплив обмеження швидкості на показники ефективності дорожнього руху в умовах великого міста / Рябушенко О.В., Наглюк І.С. // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017.– №1(10).– С. 97-101.
4. Рябушенко О.В. Дослідження швидкості сполучення на маршрутах міста Харкова та області / Рябушенко О.В., Сахно С.В. // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: науковий журнал. – Харків, 2017. - № 8. – С. 237-242.



## АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Саравас В.Є.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (Україна)

**Вступ.** Енергоефективність функціонування як енергетичних установок, так і систем електропостачання різних виробництв визначається якістю і надійністю електропостачання, раціональним рівнем технологічних втрат електроенергії, питомих витрат і безпечним виробництвом.

**Актуальність досліджень.** Підвищення енергетичної ефективності виробництва, передачі та розподіл електроенергії було і залишається однією з найважливіших проблем сучасної енергетики [1]. До кола питань цієї комплексної проблеми входять такі складові, як зниження технологічних втрат, підвищення якості електроенергії та надійності функціонування електричних мереж і систем, аналіз і корекція діючих на даний час нормативів.

**Постановка задачі.** За мету роботи було взято аналіз факторів, що впливають на енергетичну ефективність систем, а саме: економічного еквівалента реактивної потужності  $K_E$ , величини відносних втрат електроенергії, показників якості електроенергії, а також показників надійності електропостачання.

**Результати досліджень.** Втрати потужності і напруги пов'язані з активним  $P$  та реактивним  $Q$  навантаженням, що протікає по лінії з опором  $R$ , складають

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2(1 + tg\varphi)}{U^2} R, \quad (1)$$

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR(1 + \varepsilon tg\varphi)}{U}, \quad (2)$$

де  $tg\varphi$  – коефіцієнт реактивної потужності,  $tg\varphi = \frac{Q}{P}$ ,  $\varepsilon = \frac{X}{R}$ .

Формули наведено без урахування значень економічного еквівалента реактивної потужності і коефіцієнтів, які впливають на зміну напруги.

Для оцінки впливу реактивної потужності на збільшення втрат потужності і напруги використовують такі з наведених вище виразів

$$d_{p\Delta P} = 1 - \frac{1}{1 + tg^2\varphi}, \% \quad (3)$$

$$d_{p\Delta U} = 1 - \frac{1}{1 + \varepsilon tg\varphi}, \% \quad (4)$$

З цих виразів випливає, що значення втрат потужності і напруги зростають з ростом  $tg\varphi$ . Передача реактивної потужності знижує можливість передачі активної, збільшуючи втрати потужності і енергії (при  $tg\varphi = 0,5$  – на 20% сумарних втрат) [2]. Втрати напруги, пов'язані з передачею реактивної потужності, складають приблизно 1/3 сумарних втрат напруги в мережах 6-10 кВ і приблизно 2/3 - в мережах більш високої напруги. Тенденція розвитку сучасних електричних систем характеризується зростанням споживання реактивної потужності (до 1 квар / кВт) при зменшенні можливого і доцільного використання генераторів електростанцій, тому питання компенсації реактивної потужності набуває особливого значення.

Наприклад, в ПНР прийнято вважати, що потужність конденсаторів повинна залишати близько 50% встановленої потужності генераторів. У Франції, ФРН, скандинавських країнах - 35% активної пікової потужності. На сьогоднішній день

оптимальне значення  $tg\varphi$  в Японії і європейських країнах становить 0,2-0,4. У країнах СНД до останнього часу, в години найбільшого навантаження в мережах 0,38 кВ; 6-20кВ  $tg\varphi$  складає 0,35-0,4.

Економічний еквівалент реактивної потужності  $K_E$  відображає приріст втрат активної потужності в усій електричній мережі при збільшенні реактивної потужності вузла мережі (підстанції, електростанції і ін.), іншими словами, визначає питомий приріст активної потужності на реактивної в вузлі мережі. Практика свідчить про доцільність використання  $K_E$  в розрахунках регулювання напруги та реактивної потужності, визначенні раціональних схем підстанцій, числа працюючих трансформаторів та іншого електрообладнання, оптимізаційних розрахунках енергосистем та ін. З наведеного вище визначення  $K_E$

$$K_E = \frac{\Delta P_Q}{\Delta Q} = \frac{d(\Delta P)}{dQ}, \quad (5)$$

де  $\Delta P_Q$  – додаткові втрати активної потужності при зміні реактивної на величину  $\Delta Q$  [3].

Найпростіші перетворення дозволяють отримати остаточний вираз

$$K_E = \frac{2QR}{U^2}, \quad (6)$$

де  $R$  – опір мережі від шин джерела до навантаження,  
 $Q$  та  $U$  – реактивна потужність і напруга на шинах підстанцій.

На значення  $K_E$  впливає зміна напруги. Доведено, що «добавка» за рахунок впливу змін напруги  $K_{E(U)}$  визначається за виразом

$$K_{E(U)} = \left( \frac{\delta \Delta P}{\delta U} \right) \cdot \left( \frac{\delta U}{\delta Q} \right), \quad (7)$$

яке, після виконання необхідних перетворень набуває вигляду:

$$K_{E(U)} = 2 \frac{\Delta P}{U^2} X = \frac{2\Delta P_*}{tg\varphi}. \quad (8)$$

де  $X$  – індуктивний опір мережі,  $\Delta P_* = \Delta P / P$ .

Аналіз результатів розрахунку  $K_E$ , що було виконано, а також за літературними даними, дозволив зробити висновок, що рівні  $K_E$ , розраховані з використанням середніх (розрахункових) значень номінальних даних електрообладнання відрізняються на 30-50% при живленні від ГЗП і ПГВ на напрузі 110 кВ, на 13-25% - на напрузі 35 кВ і 10-15% - для вузлів в мережі 10 кВ.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Енергетична ефективність України. Кращі проектні ідеї [електронне видання] : Проект «Професіоналізація та стабілізація енергетичного менеджменту в Україні» / Уклад.: С.П. Денисюк, О.В. Коцар, Ю.В. Чернецька. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 79 с.
2. Железко Ю. С. Потери електроенергии. Реактивная мощность. Качество электроенергии. Руководство для практических расчетов / Железко Ю. С. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
3. Ущатовський К. В. Прогнози розвитку електроенергетики України: оцінка надійності та достовірності / К. В. Ущатовський // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – № 7. – С. 14-23.

## **АДАПТАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ РОБОТИ У СИСТЕМІ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ**

<sup>1</sup>Худяков І.В., <sup>2</sup>Володарець М.В., <sup>3</sup>Симоненко Р.В.

<sup>1</sup>Херсонська державна морська академія (Україна)

<sup>2</sup>Український державний університет залізничного транспорту (Україна)

<sup>3</sup>ДП «ДержавтотрансНДІпроект» (Україна)

Процеси експлуатації транспортних засобів (ТЗ) супроводжуються присутністю ряду негативних наслідків, серед яких є витрата значної кількості палива, забруднення навколишнього середовища тощо. Враховуючи вплив цих процесів на зовнішнє середовище і, як результат, необхідність прийняття рішень щодо розробки протидії цьому явищу, адекватних результатам, що досягаються, треба мати необхідний обсяг достовірної інформації про параметри експлуатації ТЗ.

Крім того, відповідно до транспортної стратегії Україна сьогодні залучена до участі у Рамковій програмі ЄС з досліджень та інновацій ГОРИЗОНТ 2020 (HORIZON 2020) (<http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020>) одним із напрямів досліджень якої є розробка «розумного, зеленого та інтегрованого транспорту» (Smart, Green and Integrated Transport), зокрема, розробка ефективного і екологічно чистого авіаційного, наземного і водного транспорту, який здійснює мінімальний вплив на клімат і навколишнє середовище за рахунок розвитку інтелектуальних систем, інфраструктури і послуг і поліпшення транспорту та мобільності в міських районах. Це, в свою чергу, вимагає наявності інформації про параметри технічного стану ТЗ в умовах експлуатації [1].

Автомобільний транспорт (АТ) продовжує залишатися з наземних видів транспорту найбільш ресурсномістким і небезпечним для населення і навколишнього середовища.

АТ витрачає більше 60% палива нафтового походження, 70% трудових ресурсів, викликає більше 96% дорожньо-транспортних пригод. На автомобільний транспорт припадає, відповідно до оцінок, 40-50% забруднення навколишнього середовища, в тому числі у великих містах – 60-70%, а в мегаполісах – більше 85%. При цьому не менше 25% забруднень пояснюється технічним станом автомобілів і виробничою діяльністю ПАТ.

Технічна експлуатація автомобілів (ТЕА), за визначенням [1 - 5] є однією з найважливіших підсистем АТ, яка, в свою чергу, являє підсистему транспорту в структурі досить складної транспортно-комунікаційної програми держави.

Транспортний комплекс – це велика і дуже складна система, що динамічно розвивається, а безпосередньо сам транспорт - добра якість для людства, яке задовольняє одну з найважливіших потреб людини - потреба в переміщенні, долаючи простір, час і масу.

Ефективне забезпечення транспортними послугами держави, населення і підприємств різних форм власності - це мета транспорту вищого ярусу в дереві цілей (ДЦ) - програми транспорту.

Зв'язок цілей ТЕА і АТ представлено на рис. 1.

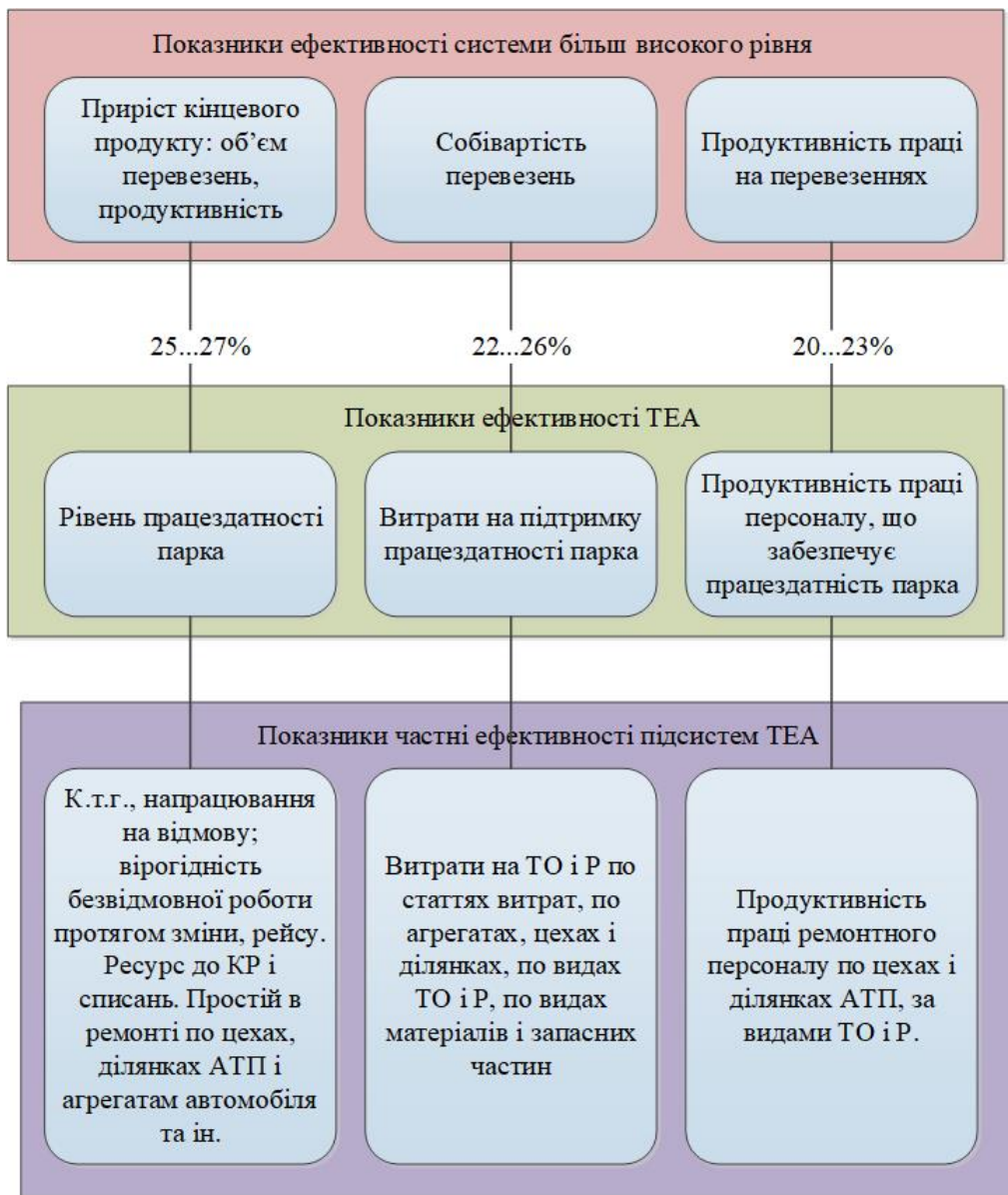


Рисунок 1. Зв'язок цілей ТЕА і АТ

Поступовий розвиток нових видів перевезень призвів до збільшення часу перебування рухомого складу далеко від основної виробничої бази, і, внаслідок цього, підвищилась роль профілактичного ТО автомобілів. Тому створення гнучкої «адаптивної» системи контролю та управління технічним станом автомобіля з елементами індивідуального підходу до кожного конкретного автомобіля стало першочерговим завданням.

Під адаптивною системою ТО і Р автомобілів розуміється система, яка завдяки зміні своєї структури і значень параметрів, може пристосовуватися до зміни внутрішніх і зовнішніх умов. Рівень, якого досягла сучасна технічна діагностика (ТД), дозволяє при технічній експлуатації автомобілів реалізувати практично будь-які завдання щодо виявлення та прогнозування параметрів технічного стану автомобілів [1 - 6].

ТО і Р умовно називають індивідуальним технічним обслуговуванням (ІТО). Вид робіт в цьому випадку призначають на основі індивідуальних діагностичних даних.

У зв'язку із застосуванням на автомобілях складних вискоефективних електронних систем управління, вбудованої бортової діагностики, розвитку супутникових

систем навігації і мобільного зв'язку, сучасних технологій з'явилася можливість не тільки контролювати географічне положення ТЗ і здійснювати зв'язок з диспетчером підприємств АТ, але і здійснювати дистанційний моніторинг з оцінкою рівня технічного стану автомобіля, що цілком дозволяє реалізувати практично будь-які завдання по виявленню та прогнозуванню технічного стану автомобіля.

Наявна система ТО і ремонту сформувалася на базі спрощеної моделі функціонування транспортної інфраструктури:

Це в свою чергу дозволить перейти до індивідуальної (адаптивної) системі ТО і Р автомобілів.

У зв'язку з цим весь процес розвитку систем ТО і Р слід визнати як процес адаптації систем до їх зовнішнього середовища, а безпосередній процес функціонування самої системи – це також процес адаптації вже об'єкта підлеглої системи до умов його існування. Тому в цілому, всі системи ТО і Р доцільно віднести до адаптивних систем [1]. Основу таких систем сьогодні складають автоматизовані системи управління (АСУ) на основі інформаційних технологій ТЕА [4]. Ці системи забезпечують індивідуальний підхід до оцінки технічного стану кожного конкретного автомобіля.

В адаптивній системі прогнозування може проводитися на підставі результатів обробки діагностичної інформації відповідно до схеми прогнозування та управлінням технічним станом автомобіля із застосуванням АСУ [1, 3, 4, 7].

В даному випадку інформацією про зміну технічного стану автомобіля є значення параметрів, які використовуються для прогнозування. Це календарні дати і значення напрацювання автомобіля, які відповідають зафіксованим значенням параметрів, а також інша інформація, яка знаходиться в центрі діагностування і отримана на основі комп'ютеризованих засобів діагностики. Вся ця інформація передається АСУ для обробки і це є основою формування масиву нормативно-довідкової і діагностичної інформації, необхідної для організації процесу прогнозування. Саме тому застосовують для ТЕА спеціально розроблені програмні засоби.

Основою автоматизованої адаптивної системи є база даних про автомобіль. Вона являє систему взаємопов'язаних таблиць. У ній розміщується інформація різного роду і тому вона базується на системі управління базами даних – Microsoft Access, що забезпечує відносно просте створення і коригування бази даних.

Технічне забезпечення сучасної системи прогнозування становить діагностичне обладнання, що застосовується в центрі діагностування, а також обчислювальні засоби АСУ технічним станом автомобілів.

Сучасний транспорт оснащується навігаційним і бортовим обладнанням. Навігаційне обладнання видає навігаційні дані: місце розташування, напрямок руху і швидкість, тощо. Та цих даних недостатньо для моніторингу якості руху транспортних засобів. На даний момент транспортні засоби забезпечені різними датчиками контролю технічного стану. Необхідний моніторинг технічного стану техніки. Моніторинг транспортних засобів повинен здійснюватися в системі керування транспортними засобами в режимі реального часу. Відсутність моніторингу зв'язку між технічними параметрами транспортного засобу і просторово-тимчасовими даними руху машин з використанням координат на оцифрованій мапі на момент контролю не дає технічній службі попереджувальну інформацію про технічний стан транспортних засобів, а моделі суб'єкта управління передбачати можливість появи відхилень в процесі виконання розкладів з технічних причин і знаходити рішення на їх випередження і коригувати

завдання водієві. Вимоги до системи управління такі: знаходити оптимальний оперативний план роботи техніки, організувати виконання оперативного плану робіт, здійснювати моніторинг якості руху техніки і її технічного стану в режимі реального часу, передбачати появу відхилень якості виконання розкладів і технічного стану техніки, знаходити рішення на випередження відхилень, віддавати команди на випередження.

Одним з найважливіших питань при створенні АСУ ТО і Р є вибір оптимального складу засобів технічної діагностики. Сьогодні це важливе питання, оскільки мова йде про створення систем оперативного контролю та управління технічним станом, які базуються на принципах прогнозування технічного стану автомобіля і його окремих систем, агрегатів і механізмів.

Перший етап моніторингу транспортного засобу - це оцінка ефективності транспортного засобу для стандартних циклів руху. Це дає можливість оцінити ефективність деяких засобів для поліпшення паливної економічності і екологічності транспортного засобу рухових установок відповідно до конкретних умов експлуатації транспортного засобу. Математична модель системи «двигун-каталітичний нейтралізатор» використовується для цієї мети [1, 6, 7, 8]. Математична модель заснована на методі балансу обсягу. Модель дозволяє визначити економію палива, потужність двигуна і екологічні характеристики відповідно до його конструктивними параметрами, режим роботи, тип палива і параметри навколишнього середовища. Вхідні дані для моделювання є фактичні дані операції двигуна, отримані з циліндра датчика тиску; параметри двигуна в стаціонарних режимах роботи, отриманих в лабораторних експериментах; бортовий діагностики (БД) системні дані для відповідних режимів руху транспортного засобу. Набір даних в циліндрі робочих параметрів тіла, економія палива, потужність двигуна і екологічних характеристики в режимах роботи відповідно до режимів руху транспортного засобу в циклі руху визначаються під час моделювання. Економія автомобільного палива та екологічні показники в циклі водіння наведені результати моделювання.

Другий етап моніторингу транспортних засобів є оцінка безпеки навколишнього середовища, коли транспортний засіб знаходиться в русі на реальному маршруті. Це можливо за допомогою OBD даних і поточних параметрів розташування транспортного засобу на основі системи глобального позиціонування (GPS даних). Набір даних реальних характеристик маршруту транспортного засобу визначаються відповідно до поточними даними про місцезнаходження транспортного засобу. Це є основою для визначення реальних сил опору руху транспортного засобу по маршруту. Використовуючи математичну модель системи «дорожній транспортний засіб» [1, 6, 7, 8], екологічна безпека оцінюється, коли транспортний засіб знаходиться в русі за певним маршрутом.

Параметри потоку трафіку можливо контролювати і регулювати відповідно до інформації з бази даних параметрів транспортних засобів. Таким чином, структура транспортного потоку створюються відповідно до інтенсивності категорій транспортних засобів, є екологічно безпечними, транспортні засоби та екологічні класів транспортних потоків. Параметри маршруту і погодні умови визначаються за допомогою системи моніторингу відповідно до поточними даними про місцезнаходження транспортного засобу. Моделювання транспортного засобу екологічної безпеки в транспортному потоці і оцінці забруднення придорожного потоком трафіку засновані на певних параметрах потоку самого трафіку. Використання географічних інформаційних систем (ГІС) дозволяє візуалізувати і аналізувати придорожнє забруднення транспортних потоків.

В цілому виконаний аналіз існування і створення адаптивних систем ТО і Р дозволяє підкреслити актуальність питання інформаційного забезпечення прогресивних систем ТО і Р.

Розвиток інформаційного забезпечення автотранспортних процесів є, по-перше, умовою переходу автомобільного транспорту до автоматизованого управління технічним станом автомобілів на підставі гнучких «адаптивних» автоматизованих систем з індивідуальною корекцією періодичності та обсягів технічного обслуговування.

Моніторинг якості руху і технічного стану транспортних засобів дає можливість технічній службі отримувати інформацію про залишкову працездатність транспортних засобів і своєчасно здійснювати профілактичні впливи на основі їх параметрів технічного стану. Для диспетчера (суб'єкта управління) випереджаюча діагностика ТЗ є однією з технологій попередження втрат часу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. – Харків: ХНАДУ, 2018. – 300 с.
2. Організація баз даних: практичний курс : Навч. посіб. для студ. / А. Ю. Берко, О. М. Верес; Нац. ун-т «Львів. Політехніка». - Л., 2003. - 149 с.
3. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: Монографія / Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут; За заг. ред. А.М. Редзюка. –К.: ДП «Державтотранс НДІпроект», 2005. – 400 с.
4. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Кузнецов Е.С. – М.: Транспорт, 1982. – 224 с.
5. Зарубкин В.А. Оптимизация системы технического обслуживания и ремонта автомобилей в АТП / В.А. Зарубкин – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1976. – 126 с.
6. Волков В.П. Організація технічної експлуатації автомобілів в умовах формування інтелектуальних транспортних систем / В. П. Волков, В. П. Матейчик, П. Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – №64 (970). – С. 36–42.
7. Волков В.П. Особливості інформаційної системи моніторингу і прогнозування параметрів технічного стану двигуна і транспортного засобу в умовах ITS / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.В. Грицук, Ю.В. Волков // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. - №2(6). - с.43-49.
8. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., “Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator,” SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, doi:10.4271/2016-01-0204.

## ЗАСТОСУВАННЯ БІОГАЗУ В ДИЗЕЛЯХ В УМОВАХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Шльончак І.А., Тарандушка Л.А., Солтус А.П.  
Черкаський державний технологічний університет (Україна)

**Вступ.** Двигуни внутрішнього згоряння отримали широке поширення у світі. І серед них значне місце займають дизелі, зокрема і в умовах пасажирських перевезень автобусами типу «Богдан». Необхідність впровадження альтернативних палив у двигунах внутрішнього згоряння викликана двома глобальними проблемами: світовим дефіцитом нафтового палива та забрудненням навколишнього середовища [1, 2].

**Актуальність досліджень.** Перспектива використання дизелів обумовлює актуальність досліджень, присвячених проблемі використання в них альтернативних палив. Автомобільний транспорт з такими двигунами, особливо для здійснення пасажирських перевезень автобусами «Богдан», потребує альтернативи традиційним моторним паливам нафтового походження. Одним із перспективних видів таких палив, з позиції часткового вирішення вище зазначеної світової проблеми, є біогаз, вироблений з відходів сільськогосподарської продукції тваринного чи рослинного походження [3, 4].

**Постановка задачі.** В роботі постала задача встановлення ефективності використання біогазу в дизелях автобусів типу «Богдан», з точки зору мінімальних витрат палива, за допомогою математичних моделей, які описують двигун як споживач палива.

**Результати досліджень.** В основі математичної моделі, для оцінки паливної економічності автобуса в усталеному русі, є рівняння руху, що базується на тяговому балансі. Відомо, що для усталеного руху прискорення рівне нулю. Тоді необхідна величина крутного моменту при відповідних характеристиках дороги і автомобіля визначається з рівняння тягового балансу автомобіля, з урахуванням значення коефіцієнта опору коченню  $f$ . За значенням крутного моменту і частоти обертання колінчастого вала двигуна, з урахуванням поліноміальних залежностей другого степеня, визначалась годинна витрата відповідно дизельного  $G_{дп}$  та газоподібного (біогазу)  $G_{дп,гд}$  палива, (кг/год). Розрахунки проводились в залежності від швидкості руху автобуса  $V$  (км/год) [5].

Для описання показників дизеля та газодизеля використовувались квадратичні поліноміальні залежності вигляду (1), значення коефіцієнтів яких представлені у таблиці 1:

$$y = A_0 + A_1 \times x_1 + A_2 \times x_2 + A_{11} \times x_{11}^2 + A_{22} \times x_{22}^2 + A_{12} \times x_1 \times x_2 \quad (1)$$

де

$A_0, A_1, A_2, A_{11}, A_{22}, A_{12}$  – поліноміальні коефіцієнти;

$x_1, x_2, x_{11}, x_{22}$  – незалежні параметри.

Таблиця 1. Коефіцієнти поліноміальних залежностей для різних показників роботи двигуна при роботі за дизельним та газодизельним циклом

Параметр	Коефіцієнти					
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_{11}$	$A_{22}$	$A_{12}$
$G_{дп}$	18.441	-0.024729	-0.010981	$0.90520 \cdot 10^{-5}$	$0.73181 \cdot 10^{-5}$	$0.29962 \cdot 10^{-4}$
$G_{дп,гд}$	-17.608	0.027407	$-0.28515 \cdot 10^{-2}$	$-0.7565 \cdot 10^{-5}$	$0.1585 \cdot 10^{-4}$	$0.2920 \cdot 10^{-5}$



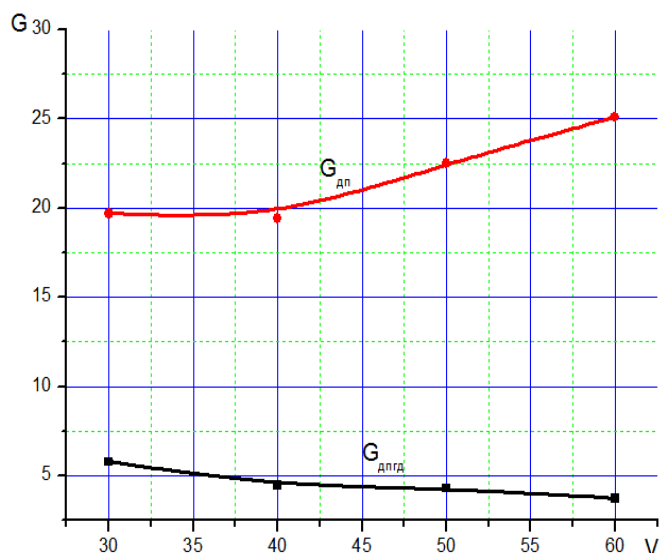


Рисунок 1. Залежність годинних витрат палива від швидкості руху автобуса

За значенням крутного моменту і частоти обертання колінчастого вала двигуна визначалась годинна витрата палива за відповідними поліноміальними залежностями другого степеня. Коефіцієнти поліноміальних моделей визначались на основі проведеного експерименту з використанням методу найменших квадратів. З цією метою було визначено навантажувальні характеристики дизеля при різних швидкісних режимах.

За рівномірним варіантом плану повного факторного експерименту визначались значення параметрів у заданих точках плану. Економічні та екологічні показники дизеля визначались в залежності від частоти обертання колінчастого вала  $n_d$  та ефективного крутного моменту  $M_k$ .

**Висновки.** В результаті проведених досліджень ефективності використання біогазу в дизелях автобусів типу «Богдан» були визначені теоретичні залежності паливної економічності від швидкості руху автобуса. Встановлено, що годинна витрата палива при роботі двигуна за газодизельним циклом у порівнянні з витратами дизельного палива знижується в середньому на 30 %.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Пилипенко О.М. Розробка системи живлення перспективного дизеля для роботи на біогазі/ О.М. Пилипенко, І.А. Шльончак // Вісник ХНАДУ, Харків – 2016 – №74 – с. 88-93.
2. Шльончак І.А. До питання паливної характеристики усталеного руху пожежно-рятувальних транспортних засобів / Шльончак Ігор Анатолійович // Пожежна безпека: Теорія і практика: Збірник наукових праць. Черкаси АПБ ім. Героїв Чорнобиля – 2013. – №15. – с. 147-150.
3. Сирота В.І. Основи конструкції автомобілів: Навчальний посібник. – 2-ге видання, перероблене та доповнене. – К.: Арістей, 2005. – 280с.
4. Семенов В.Г. Анализ показателей работы дизелей на нефтяных и альтернативных топливах растительного происхождения / Семенов Володимир Григорович // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Збірка наукових праць. – Харків: НТУ «ХПІ», – 2002, – №3. – с. 177-197.
5. Шльончак І.А. Оцінка ефективності використання біопалив в дизелі Dong Feng / Шльончак Ігор Анатолійович // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк – 2014 – № 46 – с. 576-580.

## **Секція 2**

### **ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ЇХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ**

## **ПРОБЛЕМА ЭКОНОМИИ РЕСУРСОВ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА**

Gerlici J.<sup>1</sup>, Горбунов Н.И.<sup>2</sup>, Кравченко Е.А.<sup>1</sup>, Lack T.<sup>1</sup>, Hauser V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Zilina, Zilina (Slovak Republic)

<sup>2</sup>ВНУ им. В. Даля, г. Северодонецк (Украина)

Во многих крупных открытых рудниках существует разветвленная сеть рельсовых путей, по которым на грузовых составах, ведомых локомотивами, перевозятся сотни тонн руды. Перевозка грузов в данных условиях работы затруднена, в связи с значительной загрязненностью подъездных путей. Для снижения вероятностей боксования и повышения тягово-сцепных качеств применяют различные способы механической и химической очистки рельсов, термомеханической очистки поверхностей катания бандажей подтормаживанием, электроискровой очистки бандажей и рельсов, и наиболее распространенный способ повышения сцепления – применение кварцевого песка или аналогичных по твердости других минеральных материалов. Преимущество кварцевого песка не только в возможности значительного увеличения коэффициента сцепления, но и дешевизне и простоте применения на локомотиве. Этот способ наряду с неоспоримыми преимуществами имеет и явные недостатки. Его количество в контакте должно быть строго регламентировано. С точки зрения тяги, наилучший результат обеспечивается при подаче песка в один слой с расстоянием между песчинками равным трем радиусам песчинок (насыщенность заполнения контакта составляет 0,06 кг/м<sup>2</sup> [1, 2]). Таким образом, количество песка  $n$ , подаваемого на погонный метр рельса на дорожке качения шириной 10 мм должно быть равно 0,6 г/м.

Следует подчеркнуть, что применение песка для увеличения сил сцепления требует огромных расходов. Это миллионы тонн песка, которые необходимо добыть, перевезти и по специальной технологии обработать. Ежегодно для улучшения взаимодействия колес с рельсами на сети железных дорог расходуется более трех миллионов кубических метров песка. В среднем на один километр рельсового полотна приходится более 20 тонн отработанного песка [1, 2].

Простая логика рассуждений позволяет получить аналитическую формулу для расчета количества песка, подаваемого на рельс в зависимости от производительности песочницы и скорости движения локомотива:

$$n = \frac{60 \cdot \Pi}{V} \text{ г/м}, \quad (1)$$

где  $\Pi$  - производительность песочницы локомотива, кг/мин;

$V$  - скорость движения локомотива, км/ч.

Согласно данным депо Кондрашевская-Новая и литературных источников [3, 4] производительность песочниц изменяется в широком диапазоне (табл. 1). На современных локомотивах применяются песочницы, в которых производительность варьируется в пределах 0,8 – 1,0 кг/мин. На локомотивах предыдущих лет постройки, которые также используются в эксплуатации железных дорог Украины, расход песка под колесные пары локомотива доходит до 10 кг/мин.

Проведенный анализ экспериментальных исследований и результаты расчета (рис. 1) показывают, что в эксплуатации при скорости до 40 км/ч даже при производительности песочниц до 1 кг/мин наблюдается значительный перерасход песка. Это приводит к загрязнению рельсошпальной решетки и экономически не выгодно.

Особенно остро данная проблема стоит для разветвленной сети рельсовых путей, которой свойственно наличие большого количества стрелочных переводов. Засорение

острыков и переводного механизма стрелочного перевода требует больших расходов на его очистку, а также может привести к выходу устройства из строя, сходу состава с рельс.

Таблица 1. Производительность песочниц локомотивов

	Локомотивы									
	Маневровые			Грузовые				Пассажирские		
	ТГМЗ	ТЭМ1, ТЭМ2	ТЭМ103, ТЭМ104	ТЭЗ	2ТЭ10В, 2ТЭ10Д, ТЭ10М	2ТЭ116	ТЭ10	ТЭП60	ТЭП70	ТЭП150
Производительность форсунок песочниц, кг/мин	0,7-2	0,6-2,5	1-1,5	1,0 - 5,0	0,75	1,0	2,0 - 10,0	1,0-5,0	1,0-5,0	1-1,5

Решение данной проблемы возможно при отключении песочной системы перед стрелочным переводом. Для создания системы управления песочницей локомотива была рассмотрена работа автоматической локомотивной сигнализации, в которой возможна регистрация наличия стрелочных переводов с помощью изолирующих стыков.

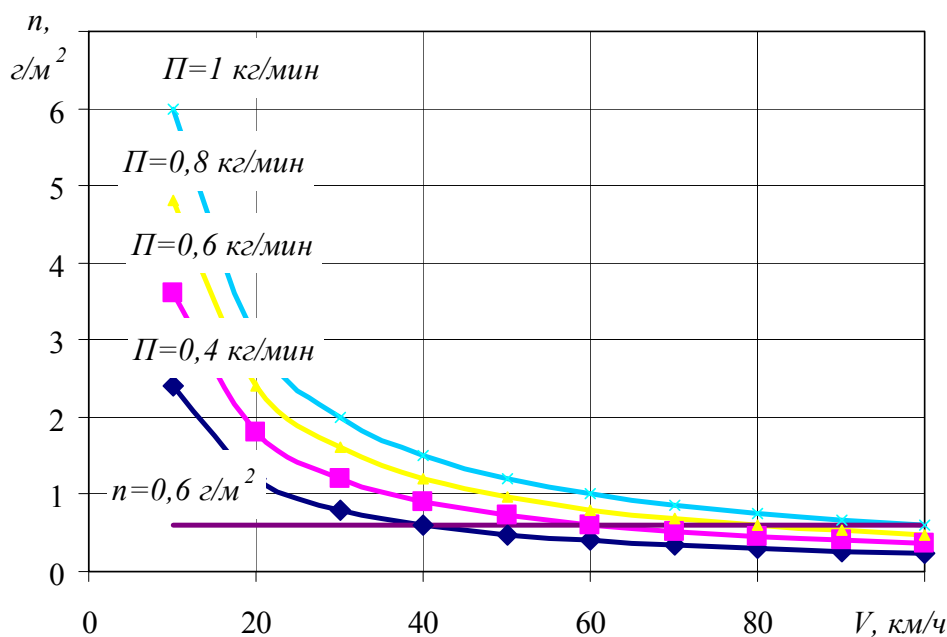


Рисунок 1. Зависимость количества песка  $n$ , подаваемого на один метр рельса, от скорости  $V = 10 \div 200$  км/ч ( $P = 0,4 \div 1$  кг/мин) [4]

При прохождении первой колесной пары локомотива изолирующих стыков, установленных перед стрелочными переводами и препятствующих прохождению электрического тока от одного из соединяемых рельсов к другому, системой регистрации изолирующего стыка (СРИС) посылается сигнал на электропневматические вентили, которые блокирует систему пескоподачи.

Электрическая схема СРИС функционирует в таком порядке.

Ток необходимый для регистрации изолирующих стыков создается индукторами, установленными на локомотиве. В индукторы подается ток от генератора. Частота, на

которой работает генератор, равна 5 – 10 кГц. Электромагнитное поле индукторов наводит в рельсах ЭДС и в подлокомотивном контуре возникает ток.

Подлокомотивный контур образован отрезками рельсов *рельс 1* и *рельс 2*, ограниченных внутренними колесными парами *3* и *4* локомотива (рис. 2). С помощью индукторов *И1* и *И2*, включенных электрически встречно и питаемых генератором *Г*, в подлокомотивном контуре создается ток  $I_k$ . Этот ток создает в индуктивных датчиках *И3* и *И4* ЭДС, которая воспринимается регистратором изолирующих стыков *РИС*. Если в рельсах подлокомотивного контура появится *изостык 1* или *изостык 2* или – оба, то ток  $I_k$  существенно снизится и *РИС* регистрирует уменьшение ЭДС индуктивных датчиков *И3* и *И4*. В результате регистрируется факт наезда локомотивом изолирующих стыков, вследствие чего блокируется работа система пескоподачи.

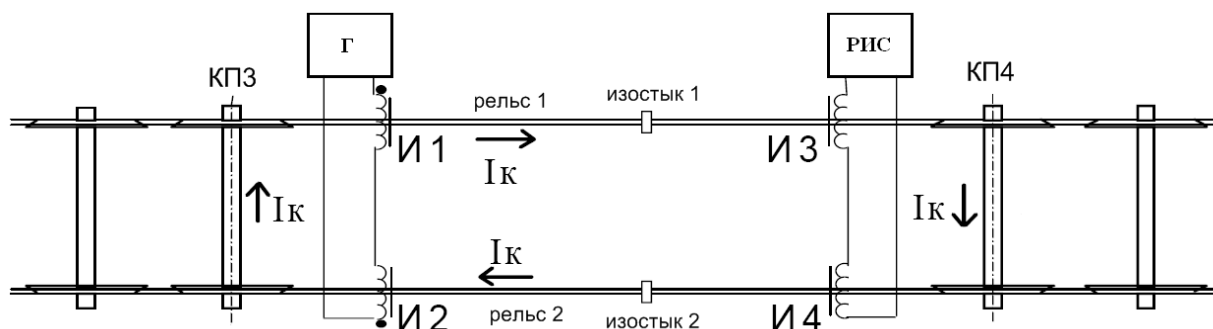


Рисунок 2. Структурная схема регистрации изолирующих стыков

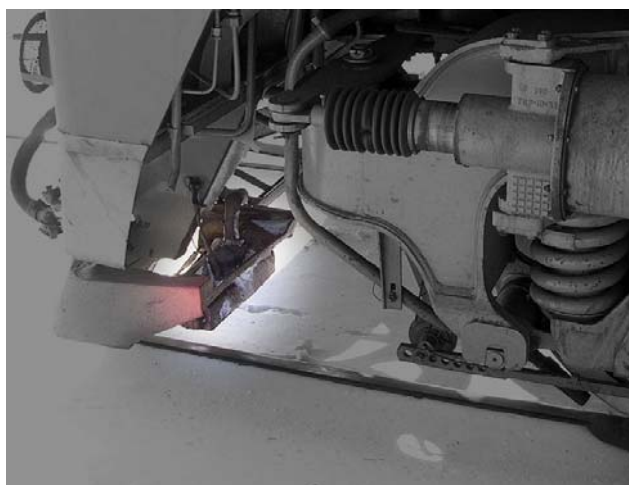


Рисунок3. Регистратор изолирующего стыка

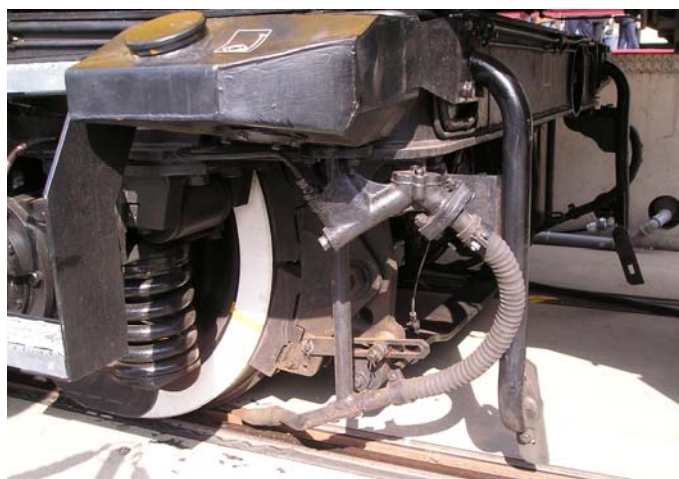


Рисунок 4. Система пескоподачи локомотива

Вывод. Особое место в путевом хозяйстве занимают пересечения рельсовых путей, которые достаточно сложны по конструкции, работают в более тяжелых условиях, чем магистральный путь, и представляют собой ответственные и дорогостоящие элементы верхнего строения пути.

Одним из главных требований содержания стрелочных переводов является легкость перевода стрелки, которая обеспечивается их чистотой от загрязнений. Предложенная усовершенствованная песочная система позволяет:

- повысить эффективность эксплуатации песочной системы локомотива;
- уменьшить затраты абразивного материала;
- уменьшить загрязнение стрелочных переводов, что соответственно повышает экономию ресурсов путевого хозяйства на очистку стрелочных переводов, уменьшает их износ, повышает безопасность движения по стрелочным переводам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Осенін Ю.І. Фрикційна взаємодія колеса з рейкою / Ю.І. Осенін, Д.М. Марченко, І.О. Шведчікова. – Луганськ: Вид-во СУДУ, 1997. – 227 с.
2. Каменев Н.Н. Эффективное использование песка для тяги поездов / Н.Н. Каменев – М.: Изд-во Транспорт, 1968. – 87 с.
3. Камаев А.А. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов / А.А. Камаев, Н.Г. Апанович, В.А. Камаев и др. // Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Локомотивостроение». – М.: Машиностроение, 1981. – 351 с.
4. Кравченко К.О. Обґрунтування резервів підвищення тягових якостей локомотива та їх реалізація керуванням ковзання в системі колеса з рейкою: автореф. дис. ... к. т. н.: 05.22.07 / К.О. Кравченко. – Луганськ: – 2010. – 23 с.

## **АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

Бабій М.В., Скрипка Г.Л.  
Херсонська державна морська академія (Україна)

З кожним роком проблемі енергетичної ефективності суднових енергетичних установок приділяється все більша увага. Це викликано, по-перше, тим, що морський транспорт є одним з найбільших енергоспоживачів, по-друге, високою вартістю енергетичних ресурсів, по-третє, шкідливим впливом продуктів згорання на навколишнє середовище.

Згідно з Резолюцією МЕРС.213(63), морські судна повинні мати план управління енергетичною ефективністю. Серед значного переліку вимог, щодо підвищення енергетичної ефективності судна варто звернути увагу на наступні:

- оптимізація роботи суднової енергетичної установки, шляхом зменшення механічних втрат і втрат теплоти;
- обслуговування пристроїв суднової енергетичної установки шляхом використання прогресивних систем діагностики, що може бути необхідним засобом для контролю високої ефективності суднової енергетичної установки;
- корисне використання різних видів теплової енергії шляхом застосування сучасних систем утилізації;
- використання альтернативних видів палива.

Відомими є наступні види утилізації теплоти: вихідних газів теплових двигунів, охолоджуючої рідини, мастила.

Утилізація теплоти вихідних газів сприяє відчутній економії палива, враховуючи значні втрати теплоти суднових ДВЗ або котлів саме з вихідними газами, що можуть сягати до 25 %.

Не менш актуальним способом підвищення енергетичної ефективності СЕУ є утилізація теплоти охолоджуючих рідин. У сучасних суднових дизельних установках знаходять використання системи утилізації теплоти, охолоджуючої головний (допоміжний) двигун, рідини в опріснювальних установках.

Так, на прикладі багатоцільового судна «ННЛ FREMANTLE» розглянута можливість використання системи охолодження допоміжних двигунів Caterpillar 3512 для обігріву паливних танків у стоянковому режимі. Для охолодження використовується двоконтурна система охолодження, яка складається з:

- контуру гарячої води, що охолоджує циліндри і кришки циліндрів;
- контуру холодної води, що охолоджує масло і надувне повітря (в теплообмінних апаратах).

Для обігріву паливного танка пропонується використовувати контур гарячої води, так як на виході з допоміжного двигуна температура води дорівнює 92 ... 94 °С, цієї температури вистачає для того, щоб підігріти витратний танк до необхідної температури 85 °С, і відстійний танк до температури 72 °С.

Модернізована система складається з набору трубопроводів, також пропонується встановити відцентровий насос для циркуляції води в трубопроводі. Слід врахувати, що у воді коефіцієнт теплопередачі нижче ніж у пари, тому діаметр труб, змійовиків повинні бути більше, ніж у трубопроводів з парою.

При забезпеченні модернізації системи тепlopостачання за рахунок організації підігріву палива у танках запасу, відстійних та витратних за рахунок скидної теплоти допоміжних двигунів стане можливим знизити паропроодуктивність котла, а відтак витрату ним палива на стоянці і за рахунок цього підвищити економічність енергетичної установки на стоянковому режимі.

## ІДЕНТИФІКАЦІЙНЕ МАРКУВАННЯ ДЕГРАДАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ НА ЛІНІЇ ГРЕБНИХ ГВИНТІВ

Будашко В.В., Шевченко В.А., Агапцев Д.А.  
Національний університет «Одеська Морська Академія» (Україна)

Вступ. Останнім часом з розвитком технологій і підвищенням вимог до точності режиму динамічного позиціонування (*DP*) суден, а також для спрощення маневрів в умовах обмеженого простору роботи, судна все частіше обладнуються азимутальними гвинто-рульовими колонками (АГРК). Вони можуть бути встановлені як додатково, так і в якості основної рушійної установки [1]. Головне завдання полягає в тому, щоб забезпечити стійкість судна і керованість в широкому діапазоні цих типів суден.

Однак, в ході експлуатації АГРК виникають ситуації, при яких знижується безпечна і ефективна їхня робота [2]. Для утримання об'єкта на позиції АГРК направляє потік води під днище судна і в цьому випадку існує ймовірність виникнення ефекту Коанда, при якому потік "прилипає" до днища судна. У зв'язку з особливістю конструкції АГРК, тобто розташування її під днищем судна нижче ватерлінії, ускладнений доступ до діагностики. На жаль, передбачити і прорахувати процес з деталізацією всіх параметрів не представляється можливим, тому що на виникнення ефекту Коанда впливає безліч факторів [3].

Визначені проблеми і окремі задачі у напрямку підвищення енергоефективності суднових енергетичних установок (СЕУ) комбінованих пропульсивних комплексів (КПК) мають деякі локальні несистемні рішення, що дозволило констатувати необхідність більш детального дослідження саме енергетичних потоків на усіх перетинах від середньо-оберткових дизель генераторів до рушіїв з урахуванням не тільки стану доквілля, але і ситуаційних чинників та зміни експлуатаційних режимів.

Вирішення завдання удосконалення функціонування *DP* із забезпеченням необхідної, технологічно обумовленої, точності позиціонування з урахуванням дії зовнішніх збурень у відкритому морі є таким, що має підвищити енергетичну ефективність СЕУ КПК і впливаючим на якість прогнозу щодо зміни коефіцієнтів енергоефективності.

Ціль роботи. Розробка методу ідентифікації залежності характеристик СЕУ КПК від деградаційних ефектів, що виникають на лініях потоків гребних гвинтів під час зміни експлуатаційного режиму або параметрів доквілля.

Постановка задачі. Всі двигуни, які встановлюються на судах, працюючих у режимі *DP*, можуть бути стабілізованими з регулюванням моменту (упору) або частоти обертання, але кожен тип підрулюючого пристрою (ПП) має свої особливості і деякі важливі параметри будуть мати дещо інші значення для різних видів ПП. Але, однаковим для усіх типів ПП є те, що обчислення гідродинамічних процесів на лініях гвинтів ПП СЕУ КПК можливо з використанням рівняння Нав'є–Стокса [4]:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \nabla) \vec{v} + \nu_w \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla P_v + \vec{f}_m; \quad \nabla \cdot \vec{v} = 0, \quad (1)$$

де  $\nabla$  – оператор набла;  $\Delta$  – векторний оператор Лапласа;  $t$  – час, [с];  $\nu_w$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості,  $\times 10^{-6}$  [м<sup>2</sup>/с];  $\rho$  – щільність доквілля, [кг/м<sup>3</sup>];  $P_v$  – тиск потоку, [Па];

$\vec{v} = (v^1, \dots, v^n)$  – векторне поле швидкостей;  $\vec{f}_m$  – векторне поле масових сил.

Можна припустити, що для турбулентних потоків води від гребних гвинтів ГЕД ПП СЕУ КПК узагальнено спирається на рівняння Нав'є-Стокса (1), яке справедливо як при ламінарному, так і при турбулентному режимі руху рідини; проте використовувати дане рівняння Нав'є-Стокса для турбулентного режиму руху практично неможливо. В



ньому вхідні миттєві значення швидкості і тиску потоку є пульсуючими величинами, тому для турбулентного режиму ставиться завдання відшукування усереднених у часі швидкостей і тисків. Для цього використовуються рівняння Рейнольдса, отримані на підставі рівняння Нав'є-Стокса, всі члени якого піддаються операції усереднення у часі [5]. Для отримання адекватних реальному режиму результатів, в залежності від певних ідентифікаційних параметрів і ситуаційних факторів, залежності на рівні потоків від гребних гвинтів повинні пройти операції осереднення, засновані на припущенні про існування для будь-якого турбулентного руху такого інтервалу усереднення, що виконані по ньому, дають величину незмінних при повторному усередненні [6]. Пульсуючі складові змінних характеризуються частотою і амплітудою, а середні амплітуди пульсації характеризуються відповідними коефіцієнтами пульсації [7].

Розрахунок діючих тягових зусиль на гвинтах є складною умовою, так як не існує пріоритетного напрямку потоку в більшій частині області, тому ітераційна процедура рішення нелінійного рівняння (1) є нестійким для сталих режимів. Тому, для вирішення цієї проблеми, коефіцієнти упору гвинтів  $K_T$  і коефіцієнти моменту гвинтів  $K_F$  для поточної швидкості судна  $v_i$  будемо визначати за умови заздалегідь рівними відповідними коефіцієнтами для абсолютної швидкості судна і швидкості притоку води, які повинні бути формалізованими згідно з рівняннями подібності для визначених чисел Рейнольдса і Фруда і коефіцієнтом попутного потоку  $w_s$ :  $v_a = (1 - w_s)v_s$ , де, як правило  $0 < w_s < 0,4$ :

$$F_p = \frac{v_i}{n \cdot D_p}, \quad (2)$$

де  $n$  – частота обертання гвинта, об/с;  $D_p$  – діаметр гвинта, м.

Реєстрація поєднання зусиль на лініях валів у СЕУ КПК дає підстави стверджувати, що сенсори, як деякі узагальнені елементи, повинні мати більш значні діапазони виміру вхідних величин. Тому основна мета побудови або вибору математичної моделі сенсору – це знаходження таких аналітичних описів фізичних процесів, що протікають в процесі перетворення енергії в них, які б дозволяли використовувати види механічних впливів, які найбільш часто зустрічаються [8].

Крайові задачі для визначення коефіцієнтів пропорційності для збурюючих сил, а також ситуаційні чинники і ідентифікаційні параметри експлуатаційних режимів, будуть формулюватися і вирішуватися аналітично. Прості трансцендентні рівняння для визначення довжини зони контакту, напруги, електричного і магнітних полів, коефіцієнти інтенсивності та довжини зони контакту будемо визначати для різних випадків навантаження, із спостереженням за впливом чинників електричних полів на довжину зони контакту. Результати, що мають бути отримані, матимуть потенційне застосування у розробці багатошарових електро-пружних структур і пристроїв для реєстрації збурюючих впливів на перетинах енергетичних потоків у СЕУ КПК, що знаходяться під впливом недетермінованих навантажень у різних експлуатаційних режимах.

Загальним рішенням для рівняння (2) буде знаходження коефіцієнтів поліному для сталого режиму дії збурюючих сил, що визначаються якістю потоку згідно рівняння (1), на певний датчик (сенсор) за умови незмінності експлуатаційного режиму СЕУ КПК продовж інтервалу часу розрахунку [9]:

$$\begin{cases} \bar{U}_s(\mathbf{Z}) = \bar{I}_s(t) \cdot \mathbf{Z}_{SE} + t_{EM} \cdot \bar{v}_s(t), \\ \bar{F}_s(\mathbf{Z}) = \bar{I}_s(t) \cdot t_{ME} + \mathbf{Z}_{SM} \cdot \bar{v}_s(t), \\ (m_{cS} + m_{ncS}) \cdot \frac{d\bar{v}_s(t)}{dt} + \mu_s \bar{v}_s(t) + \mu_R \int_{\varepsilon_0}^{\varepsilon} \bar{v}_s(t) dt = \bar{F}_s(\mathbf{Z}), \end{cases} \quad (3)$$

де:  $F_s(\mathbf{Z}) = (F_{S1}(\mathbf{Z}^1), F_{S2}(\mathbf{Z}^2), F_{S3}(\mathbf{Z}^3), F_{S4}(\mathbf{Z}^4), \dots, F_{Si}(\mathbf{Z}^m)^{Tmatrix(i)}$ ; комплексний імпеданс визначається матрицями активної та індуктивної складових схеми заміщення

комплексного навантаження  $Z^m = R^m + p_{ij}L^m$ ;  $T_{matrix(i)}$  – матриця конфігураційних параметрів підрулюючих пристроїв, де  $(i = 0 \dots k)$  – номер відповідної конфігурації;  $m = \gamma_S \times S_S \times d_S / g$  [кг] – маса сенсору;  $\bar{v}_S(t)$  – швидкість, з якою рухається система, що коливається у зоні прикладення сили  $F_S(t)$  [м/с];  $\gamma_S = 7 \cdot 10^4$  [Н/м<sup>3</sup>] – питома вага;  $S_S$  – площа поперечного перетину, [м<sup>2</sup>];  $d_S$  [м] – товщина контактної зони;  $g$  – сила тяжіння [м/с<sup>2</sup>] або прискорення вільного падіння;  $\mu_S \times 10^{-2}$  [кг/м<sup>2</sup>с] – коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу сенсора;  $\mu_R$  – коефіцієнт в'язкості середовища, або коефіцієнт грузого тертя,  $\times 10^{-2}$  [кг/м<sup>2</sup>с];  $\varepsilon$  – діелектрична проникність середовища, [Ф/м];  $\varepsilon_0$  – електротехнічна постійна,  $8,8 \times 10^{-12}$  [Ф/м];  $F_S(t)$  [Н] – сила, що діє на контактну зону [10, 11, 12].

Відповідну силу поштовху гвинта ПП будемо розраховувати, опираючись на значення двох радіусів (радіусу по кромці гвинта  $R_p$  та радіусу перетину лопаті гвинта  $r_p$  і товщиною лопаті гвинта  $b_p$ , які можуть бути однозначно визначені як осьові характеристики лопатей з їх перетину. Осьові і тангенціальні сили відповідно до упору і крутного моменту гвинта, що моделюється будемо визначати виходячи з наступних міркувань: осьові сили  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  як алгебраїчне розподілення, що масштабується та інтегрується до необхідної тяги, а тангенціальна співвідноситься до властивостей гребних гвинтів, таких як крокове відношення гвинта  $p_D$  ( $H_p/D_p$ ) і визначається діючим значенням упору гребного гвинта  $T_d$ .

В такому випадку коефіцієнти, що враховують зменшення тяги, можуть бути визначені за допомогою заміни опору відповідними зусиллями для всіх трьох площин руху (*surge, sway, yaw*):

$$C_{F_{ib}} = \frac{F_l(v_a, n) - T_{ix}(v_a, n) - F_l(v_a, 0)}{T_u(v_a, n)}, \quad (4)$$

$$C_{F_{bb}} = \frac{F_b(v_a, n) - T_{iy}(v_a, n) - F_b(v_a, 0)}{T_u(v_a, n)}, \quad (5)$$

$$C_{F_{zh}} = \frac{F_z(v_a, n) - T_{iy}(v_a, n)X_p - T_{ix}(v_a, n)Y_p - F_z(v_a, 0)}{T_{iy}(v_a, n)X_p - T_{ix}(v_a, n)Y_p}, \quad (6)$$

де:  $F_l(v_a, n)$ ,  $F_b(v_a, n)$  і  $F_z(v_a, n)$  – загальні сили (Н), що діють на судно за умови відсутності інших зовнішніх збурень при швидкості притоку води  $v_a$  (м/с) і відповідного числа оборотів ГФК  $n$  (об/хв);  $F_l(v_a, 0)$ ,  $F_b(v_a, 0)$  і  $F_z(v_a, 0)$  – відповідні сили (Н) у випадку нерухомого гвинта (наприклад, течія);  $T_{iy}(v_a, n)$  і  $T_{ix}(v_a, n)$  – тяги (Н) по відповідним осям відносно площини руху.

З іншого боку, для перспективних концепцій СЕУ КПК з гібридними судовими установками з гвинтами протилежного обертання (CRP)[13], що працюють в режимі DP, де переважають гравітаційні сили і діє закон подібності Фруда, для дотримання якого необхідно рівність чисел для моделі і натури, тобто  $F_{rM} = F_{rN}$ , критерії подібності необхідно висловлювати через характерні для даного режиму величини.

При обтіканні корпусу судна водою в якості характерного лінійного розміру вибирають довжину судна між перпендикулярами по ватерлінії і осадку в напрямку потоку, а в якості характерної швидкості – швидкість набігання потоку.

Всі співвідношення, що враховуються у (4), (5), (6) в якості моделей і обмежень, задаються в класі інтегро-диференціальних рівнянь і нерівностей.

Для об'єкту дослідження СЕУ КПК, як класу складної технологічної системи (СТС) число таких співвідношень зазвичай велике, а векторні змінні мають велику розмірність, що обумовлює високу складність завдань. Рішення подібних завдань в системах розподілу потужності СЕУ КПК, що мають традиційну централізовану структурну організацію, з дотриманням вимог оперативності та точності визначення керуючих рішень часто є утрудненим або зовсім неможливим.

У цих випадках можуть використовуватися методи декомпозиції, що реалізуються в децентралізованих СК з ієрархічною структурою. Методи декомпозиції припускають

зведення вихідної складної задачі до сукупності більш простих спільно вирішуваних завдань. У найпростішому випадку – це локальні завдання керування окремими підсистемами, виділеними в складі СТС, які вирішуються на нижньому рівні, і глобальне завдання координації, яке вирішується на верхньому рівні.

Спільне рішення локального та координаційного завдань здійснюється в рамках інтерактивної процедури поміж рівневого обміну даними, при якому в локальних завданнях враховуються задані значення координуючих параметрів, які обираються в процесі виконання завдання координації. Рішенням завдання координації є такі значення її змінних, при яких рішення локальних задач обумовлюють рішення вихідного завдання на зміну експлуатаційного режиму СЕУ КПК в цілому.

Для локальних задач також може бути застосована дворівнева процедура вирішення. В результаті загальна процедура вирішення вихідної задачі дослідження СЕУ КПК реалізується створенням СК, яка стає багаторівневою. Методи декомпозиції розроблені в основному для статичних задач дослідження, тоді як для динамічних задач вони опрацьовані в значно меншій мірі.

У даній роботі буде застосовано метод декомпозиції для динамічних задач управління СТС, заснований на зведенні вихідної задачі до послідовності статичних задач, що враховують режим, що склався у СЕУ КПК до моменту прийняття керуючих рішень. В результаті, вирішення завдання виявляється декомпозиційованим згідно експлуатаційного режиму. При цьому, врахованим режимам можуть відповідати спрощені, часом значно, статичні.

Тобто, всі попередні розрахунки крутних моментів, що діють на лініях гребних валів ПП СЕУ КПК будемо робити, як наводиться нижче:

$$\frac{F_x(\hat{r}), F_y(\hat{r})}{F} = \left( \frac{a + \hat{r}}{a + 1} \right)^m \left( \frac{b + 1 - \hat{r}}{b + 1} \right)^n, \text{ де } \hat{r} = \frac{r - r_p}{R_p - r_p}, \quad (r_p \leq r \leq R_p) \quad (7)$$

$$T_p = \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^1 F_x(\hat{r}), F_y(\hat{r}) d\hat{r} d\theta. \quad (8)$$

Розподіл осьових сил параметризуються відповідно до значень ідентифікаційних коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ ,  $m$ ,  $n$ , або, так звані характеристичні маркери енергетичного потоку (ситуаційні чинники) характеризують певний експлуатаційний режим. Ненульовий розподіл осьової складової сили може бути встановлений у всьому діапазоні ( $r_p \leq r \leq R_p$ ) шляхом ретельного підбору параметрів  $a$  і  $b$ . Значення інтегральних складових відповідає вибраному напрямку упору гвинта,  $T_p$ . В свою чергу тангенціальні складові упорів і моментів розраховуються наступним чином:

$$\frac{F_\theta}{F_x, F_y}(\hat{r}) = \frac{H_p / D_p \times R_p}{\pi \times r}, \quad M_p = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{r_p}^{R_p} r \times F_\theta(\hat{r}) d\hat{r} d\theta. \quad (9)$$

На рис. 1 представлені порівняльні результати двох наборів параметрів для силових компонентів радіального розподілення упорів ПП у рухомій системі координат. Значення компонентів сил на графіках не представлені, оскільки розподілення масштабується для заданих тяги й крутного моменту.

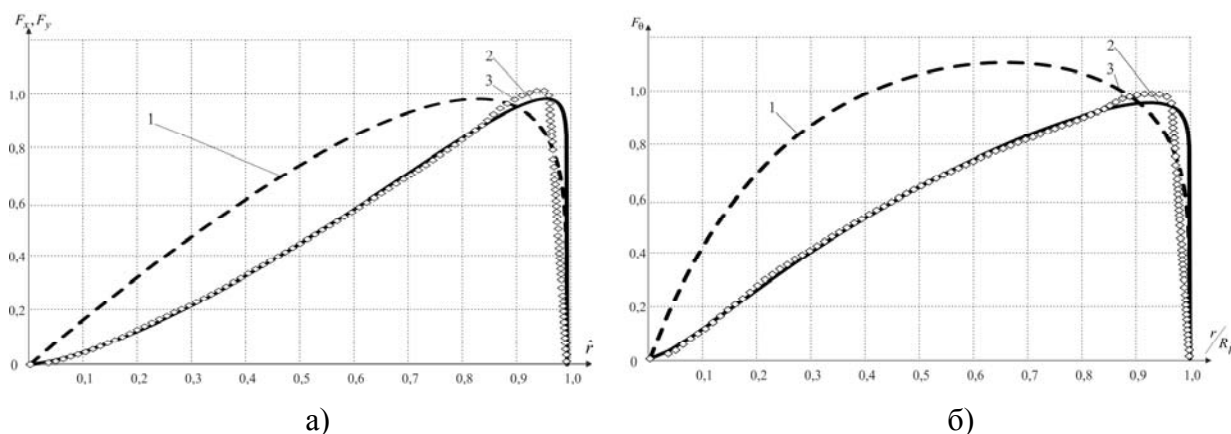


Рисунок 1. Компоненти аксіальних сил, пропорційні радіусу огибаючої лопатей гвинта (а) та тангенціальних сил, пропорційних радіусу гвинта (б): 1 – початкові параметри згідно граничних умов експлуатаційного режиму і ситуаційних чинників; 2 – підібрані параметри; 3 – згідно паспортних значень

Початковий вибір параметрів осевих сил моделі відбувалося згідно рівняння (3), а потім, враховуючи дані, отримані у [5-7] для моделей ПП, ці початкові припущення були покращені (6). Аналізуючи результати для відкритої води фізична модель ПП на 100% швидкості обертання для максимального упору, було встановлено наступний набір параметрів:

$$(a, b, n, m)^* = (0; 0; 1,47; 0,07). \quad (10)$$

Висновки. У роботі на підставі методів обчислювальної гідродинаміки, було визначено спосіб параметризації розподілу осевих і тангенціальних сил на лініях потоків гребних гвинтів суднової енергетичної установки комбінованого пропульсивного комплексу відповідно до значень маркерів енергетичного потоку  $a, b, m, n$  (10), що характеризують певний експлуатаційний режим.

У результаті дослідження засобів діагностики та прогнозування технічного стану СЕУ КПК удосконалено метод обчислювальної гідродинаміки за рахунок застосування п'єзоелектричних датчиків на лініях валопроводів азимутальних ПП, що дозволило відстежувати деградаційні ефекти від взаємодії потоків гребних гвинтів між собою і корпусом КПК.

Отримали подальший розвиток теоретичні положення формування рівнянь енергетичних процесів в КПК під час аналізу поведінки багатозафазних нестационарних нестискуваних потоків гребних гвинтів методами високого порядку із використанням спеціальних законів розподілу шуканих інтенсивностей найбільш впливових деградаційних ефектів: методом розрахунку силових потоків від азимутальних рушіїв у вигляді диска силового приводу та ідентифікації турбулентних областей із відносними коефіцієнтами вихрової в'язкості  $\mu_t/\mu_w$ .

Спеціалізований метод розрахунку складових  $x$ -швидкостей на перетині потоку гвинта азимутального ПП вздовж осі обертання із розмірами в одиницях діаметра гвинта  $D_p$  побудований на основі реалізації методу поверхнево-орієнтованого усереднення рівняння Рейнольдса Нав'є-Стокса для масообміну на кордоні розділу фаз. В цьому випадку вдалося уникнути ряду труднощів, пов'язаних з нелінійністю методу і врахувати реальну форму азимутального ПП без будь-яких апроксимацій.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Azipod Propulsion System [Text] / Режим доступу: \www/ URL: <http://www.dieselduck.info/machine/02%20propulsion/2006%20Introduction%20to%20Azipod%20Propulsion.pdf>. – 24.08.2018 р. – Загол. з екрану.

2. Kobougias, I. PV Systems Installed in Marine Vessels: Technologies and Specifications: Research Article [Text] / I. Kobougias, E. Tatakis, J. Prousalidis // *Advances in Power Electronics*. – 2013. – 8 p. Doi:[10.1155/2013/831560](https://doi.org/10.1155/2013/831560).
3. Cozijn, H. Analysis of the velocities in the wake of an azimuthing thruster, using PIV measurements and CFD calculations [Text] / H. Cozijn, R. Hallmann, A. Koop // *Dynamic positioning conference: thrusters session*. – October 12–13, 2010. – Houston: Maritime Research Institute Netherlands (MARIN). – 25 p. Режим доступу: \www/ URL: <http://www.refresco.org/wp-content/uploads/2015/05/2010-MTS-DP-Cozijn-Hallmann-Koop.pdf>. – 24.08.2018 р. – Загол. з екрану.
4. Blais, B. A conservative lattice Boltzmann model for the volume-averaged Navier–Stokes equations based on a novel collision operator [Text] / B. Blais, J.–M. Tucny, D. Vidal, F. Bertrand // *Journal of Computational Physics*. – 2015. – V. 294. – P. 258–273. Doi:[10.1016/j.jcp.2015.03.036](https://doi.org/10.1016/j.jcp.2015.03.036).
5. Budashko, V. Formalization of design for physical model of the azimuth thruster with two degrees of freedom by computational fluid dynamics methods [Text] / V., Budashko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – V. 3. – № 7(87). – P. 40–49. Doi:[10.15587/1729-4061.2017.101298](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101298).
6. Mishra, C. Rolling element bearing defect diagnosis under variable speed operation through angle synchronous averaging of wavelet de-noised estimate [Text] / C. Mishra, A.K. Samantaray, G. Chakraborty // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – 2016. – V. 72–73. – P. 206–222. Doi:[10.1016/j.ymsp.2015.10.019](https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2015.10.019).
7. Saha, N. Speed control with torque ripple reduction of switched reluctance motor by hybrid many optimizing liaison gravitational search technique [Text] / N. Saha, S. Panda // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. – 2016. – Doi:[10.1016/j.jestch.2016.11.018](https://doi.org/10.1016/j.jestch.2016.11.018).
8. Zhang, Y. Energy conversion mechanism and regenerative potential of vehicle suspensions [Text] / Y. Zhang, K. Guo, D. Wang, C. Chen, X. Li // *Energy*. – 2017. – V. 119. – P. 961–970. Doi:[10.1016/j.energy.2016.11.045](https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.045).
9. Budashko, V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes [Text] / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – V. 3. – № 8(81). – P. 10 – 21. Doi:[10.15587/1729-4061.2016.72543](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72543).
10. Babadi, M. K. Effect of hull form coefficients on the vessel sea-keeping performance [Text] / M. K. Babadi, H. Ghassemi; Department of Ocean Engineering, AmirKabir University of Technology // *Journal of Marine Science and Technology*. – 2013. – 11 p. Doi:[10.6119/JMST-013-0117-2](https://doi.org/10.6119/JMST-013-0117-2).
11. Budashko, V. V. Physical model of degradation effect by interaction azimuthal flow with hull of ship [Text] / V. V. Budashko, V. V. Nikolskyi, O. A. Onishchenko, S. N. Khniunin // *Proceeding Book of International conference on engine room simulators (ICERS12)*. – Istanbul, Istanbul Technical University, Maritime Faculty, 2015. – P. 49–53. ISBN: 978–605–01–0782–1. Режим доступу: \www/ URL: <http://www.maritime.itu.edu.tr/icers12/program.htm>. – 23.08.2018 г. – Загол. з екрану.
12. Будашко, В. В. Система моніторингу стану винторулевої колонки для попередження ефекта Коанда [Текст] / В. В. Будашко, В. В. Нікольський, С. Г. Хнюнін, Ю. А. Накул // *Автоматизація судових технічних засобів: Науч.–техн. сб.* – 2015. – Вып. 21. – Одеса: ОНМА. – С. 22 – 28.
13. Будашко, В. В. Суднова система моніторингу для попередження ефекту Коанда [Текст] / В. В. Будашко, В. В. Нікольський, С. Г. Хнюнін // Патент UA на корисну модель № 100819, 2015. Режим доступу: \WWW/ URL: <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=215069>. – 16.08.2018 р. – Загол. з екрану.

## АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ЗРІДЖЕНОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ТАНКЕРАХ

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

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)

У 2017 р. кількість суден, де використовується зріджений природний газ (ЗПГ) як паливо, досягла 200, що на 23% більше, ніж у 2016 р. Серед них більшість складають наступні групи:

- пасажирські та круїзні;
- наливні;
- балкери і контейнеровози;
- судна для обслуговування і забезпечення бурових платформ [1].

Загалом кількість суден на ЗПГ як доля від світового флоту, виключаючи газовози, у 2017 р. склала відповідно 0,1% для вже спущених на воду та 2% від портфелю заказів суднобудівних компаній. Більша частина цих суден експлуатується у Європі (73%). Розподіл між типами суден станом на 2017 р. представлено на рис. 1 [2].

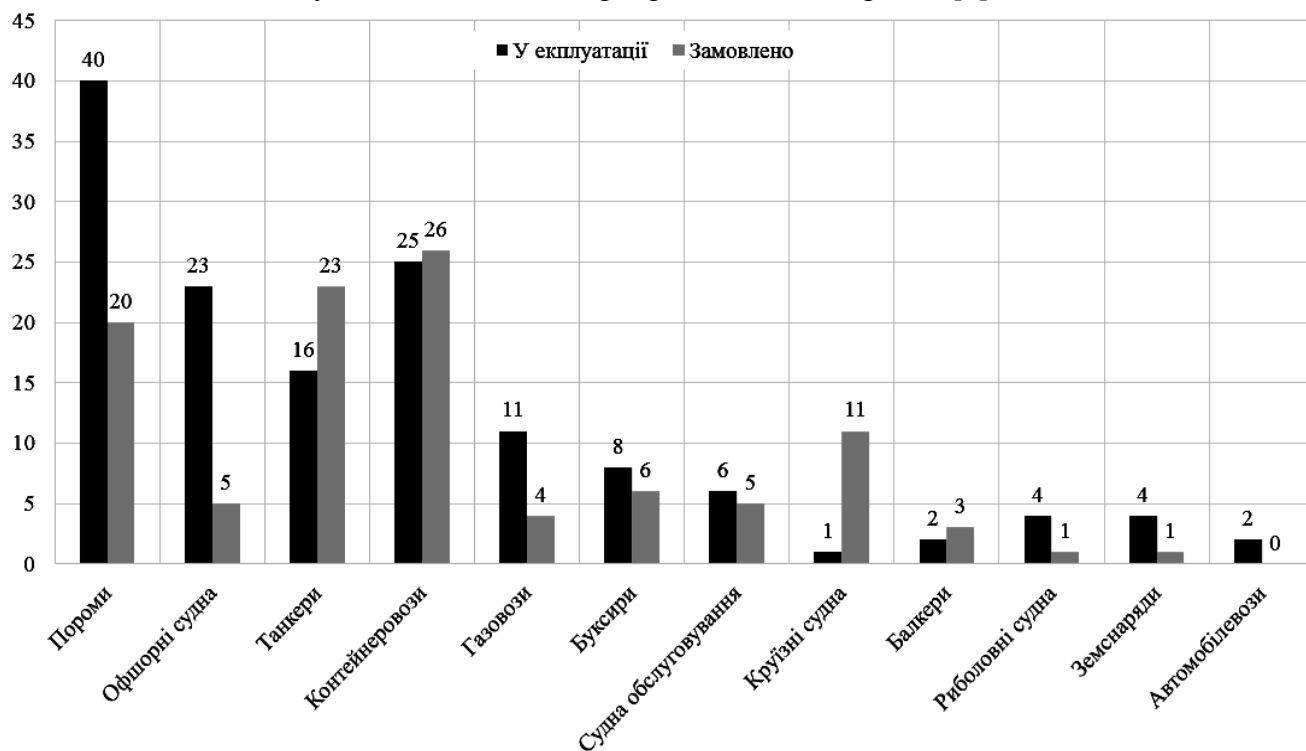


Рисунок 1. Типи суден, що експлуатуються на зрідженому природному газі

Основною причиною зростання кількості флоту на ЗПГ є суттєве скорочення викидів у атмосферу порівняно із експлуатацією двигунів на нафтових паливах, що набуває особливої актуальності в світі нових жорстких вимог щодо емісії з суден. Так, з 2016 р. почали діяти обмеження по викидам оксидів азоту Tier III, використання палив з вмістом сірки понад 0,5% буде заборонено з 2020 р. в Європейському Союзі та з 2025 р. – в усьому світі, зниження викидів діоксиду азоту за рахунок введення індексу енергетичної ефективності (EEDI) суден стартувало з 2015 р. [3-5].

Світовий флот нараховує близько 60 тисяч суден, за даними Класифікаційного товариства Det Norske Veritas (DNV), 200 з них – на зрідженому природному газі. У компанії DNV розраховують, що до 2020 р. на природний газ зможуть перевести до 1000 суден [6]. Кількість наливних суден, де використовується в якості палива природний газ, складає за різними даними 39 (рис. 1). Нижче розглянуто характеристики деяких з них.

Чотири танкери будуються на верфі Avic Dingheng у Китаї на замовлення шведських судноплавних компаній. Кожному судну присвоєно полярний клас 1А, суднова енергетична установка (СЕУ) обладнана головним 9-циліндровим двигуном Wärtsilä 34DF і двома дизель-генераторами Wärtsilä Auxpac 20, блоком контролю газової арматури, гвинтом регульованого кроку, встановлено рульові пристрої Wärtsilä Energorac, систему каталітичного очищення відхідних газів для допоміжних двигунів, занурені вантажні та баластні насоси. Проект виконано таким чином, щоб мінімізувати негативний вплив на атмосферу і знизити викиди CO<sub>2</sub> на 50% порівняно з суднами того ж типу [7].

Ще одним прикладом використання ЗПГ на танкерах є проект судна типу Aframax льодового класу 1А для російської судноплавної компанії Sovcomflot у кооперації із Royal Dutch Shell. Проект включає побудову серії з чотирьох суден для перевезення сирої нафти і готових нафтопродуктів з двопаливними головними двигунами. Танкери дедвейтом 114000 т планується ввести в дію у третьому кварталі 2018 р. Льодовий клас суден дасть змогу здійснювати цілорічну навігацію на Балтиці. Газове паливо зберігається у двох криогенних цистернах типу С, розташованих симетрично на палубі. Замовники обумовлюють вибір саме природного газу в якості палива тим, що з 2020 р. будуть введені в дію жорсткі обмеження щодо вмісту сірки у паливі по всьому світу – не більше 0,5 % [14, 15].

Першим наливним судном для перевезення хімічних і нафтопродуктів, проект якого одразу передбачав встановлення енергетичної установки, розрахованої на використання ЗПГ, став танкер Ternsund. Судно з подвійним корпусом Ternsund споруджене у 2016 р. на верфі компанії Avic Dingheng Shipbuilding у Китаї, має 16 вантажних танків та розраховано для перевезення 9 можливих видів вантажу. Довжина судна складає 147 м, ширина – 22 м, висота борта – 11,7 м, осадка – 9 м, дедвейт – 15000 т, валовий реєстровий тоннаж становить 11374 GRT. Танкер обладнано паливними танками місткістю 610 м<sup>3</sup> для нафтового легкого палива і 630 м<sup>3</sup> – для зрідженого природного газу. Енергетична установка складається із двох двотактних п'ятициліндрових малооборотових двигунів Wärtsilä RT-flex50-D з частотою обертання 102 об/хв і потужністю 5850 кВт. Пропульсивна установка – двомашинна одновальна, головні двигуни працюють на один гребний гвинт, забезпечуючи судну номінальну швидкість 14,5 вузлів [10, 11].

Серія з чотирьох танкерів для забезпечення морських бурових платформ нафтопродуктами була спроектована Samsung Heavy Industries на замовлення компанії Teekay Offshore Partners для навігації у Північному морі. Перше судно дедвейтом 154000 т типу Suzemax планується ввести в експлуатацію у 2019 р., анонсовано, що інші три новобудови із серії будуть передані замовнику в 2020 р. Це перші танкери подібного типу з можливістю роботи головних двигунів на зрідженому природному газі [18].

Серія з чотирьох танкерів-бункерувальників, обладнаних двопаливними двигунами Wärtsilä, будується на верфі Scheepswerf Ferus Smit у Нідерландах на замовлення шведської компанії Erik Thun (рис. 2). Окрім двигунів Wärtsilä поставила для суден гребні гвинти і паливні системи суднової енергетичної установки для нафтового і газового палива. Танкери довжиною 115 м і дедвейтом 7999 т планується ввести в дію у четвертому кварталі 2018 р. Розраховані на льодовий клас 1А, судна можуть здійснювати цілорічну навігацію у Балтійському морі. При створенні проекту серії основний акцент робився на забезпеченні високого рівня енергетичної ефективності, низького рівню шуму та мінімального негативного впливу на навколишнє середовище [19].

Ще одним прикладом різноманіття підтипів наливних суден, де пропульсивна установка адаптована для роботи на природному газі, є танкер для перевезення важких залишкових нафтопродуктів (асфальту і бітуму) Damia Desgagnes. Побудований у Туреччині на замовлення канадської компанії Desgagnes, це перше в серії з чотирьох суден подібного типу. Танкер з подвійним корпусом, обладнаний головним двигуном Wärtsilä 5RT-flex 50DF потужністю 5450 кВт з можливістю його роботи на важкому і легкому нафтовому паливах, а також на ЗПГ. Судно має полярний клас, для забезпечення

підвищеної маневреності передбачено гвинт регульованого кроку, носові і кормові підрулюючі пристрої [12, 14].



Рисунок 2. Танкер-бункерувальник на зрідженому природному газі

Як вже було відмічене, кількість новобудов на природному газу серед суден значно превалює над переробленими під роботу на це паливо, що обумовлюється значними витратами на конверсію, а також втраченим прибутком при виведенні об'єкту на деякий час із експлуатації. Серед танкерів прикладом подібної модернізації є хімовоз Bit Viking дедвейтом 25000 т. Споруджений як звичайний хімічний танкер у 2007 р. на верфі компанії Edwards Shipbuilding у Китаї для шведської компанії Tarbit Shipping, у 2011 р. він пройшов конверсію, під час якої головні двигуни Wärtsilä 46 були замінені на Wärtsilä 50DF з дизель-механічною пропульсивною установкою. Для зберігання ЗПГ на палубі були встановлені два криогенних танки типу С об'ємом 500 м<sup>3</sup>, масою – 225 т, довжиною – 33 м і висотою 7,5 м, кожний [15].

При переведенні танкерів на зріджений природний газ слід, в першу чергу, враховувати особливості вантажів, які на них перевозяться. Сира нафта, готові нафтопродукти різної густини, рідкі хімічні речовини мають високий рівень пожежної небезпеки, що обумовлює необхідність застосування додаткових заходів безпеки. Аналіз проектних даних танкерів на ЗПГ показав, що їх відмінністю порівняно з іншими типами суден є використання саме циліндричних криогенних цистерн типу С для зберігання газового палива. Також у розглянутих проектах цистерни розташовуються на відкритій палубі, а не в корпусі судна між трюмами або у окремому приміщенні поряд з машинним відділенням, як на інших типах вантажних суден [16-19]. Ще однією особливістю є те, що на палубі цистерни розташовуються не над машинним відділенням, що знаходиться в кормі, а мають в більшості випадків носове або серединне розташування, та монтуються без спеціального кожуху.

В рамках Кіотського протоколу Міжнародною морською організацією (ІМО) було введено в дію обмеження на викиди парникових газів (поки лише на CO<sub>2</sub>). ІМО запропонувала формулу для визначення індексу енергетичної ефективності суден, що проектується EEDI (Energy Efficiency Design Index), яка враховує кількість діоксиду вуглецю, що утворюється під час експлуатації суден. Дія EEDI поширюється зокрема на наливні судна з дизель-механічними пропульсивними комплексами [20].

Показники, що впливають на EEDI, можна розділити на декілька груп: характеристики енергетичної установки (потужність головних і допоміжних двигунів, тип



і витрата палива); мореплавні характеристики судна (дедвейт або бруто-тоннаж, швидкість); ряд безрозмірних коефіцієнтів, що враховують конструктивні особливості судна, район плавання, наявність інноваційних технологій щодо зниження втрат енергії [21].

Для кожного типу суден, на які поширюється дія індексу енергетичної ефективності, введені обмежувальні криві на викиди діоксиду вуглецю. Планується, що нормативні вимоги до емісії CO<sub>2</sub> будуть запроваджуватися поетапно в період з 2013 по 2025 р., посилюючись на кожному новому етапі. Для наливних суден обмежувальні криві представлено на рис. 3 [21].

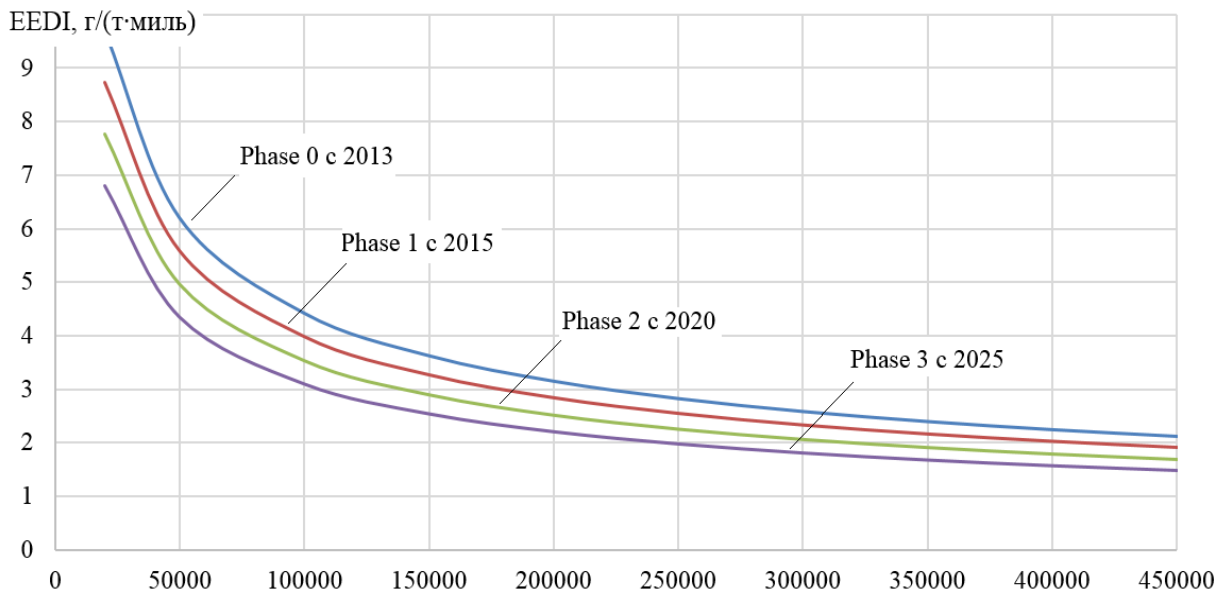


Рисунок 3. Змінення EEDI на різних етапах для танкерів в залежності від їх дедвейту

Розрахунок значення EEDI для танкеру дедвейтом 40000 т показав, що встановлення замість головного малообертового двигуна (МОД), що працює на важкому паливі, двопаливного з можливістю роботи на ЗПГ дозволяє забезпечити енергетичну ефективність судна (рис. 4).

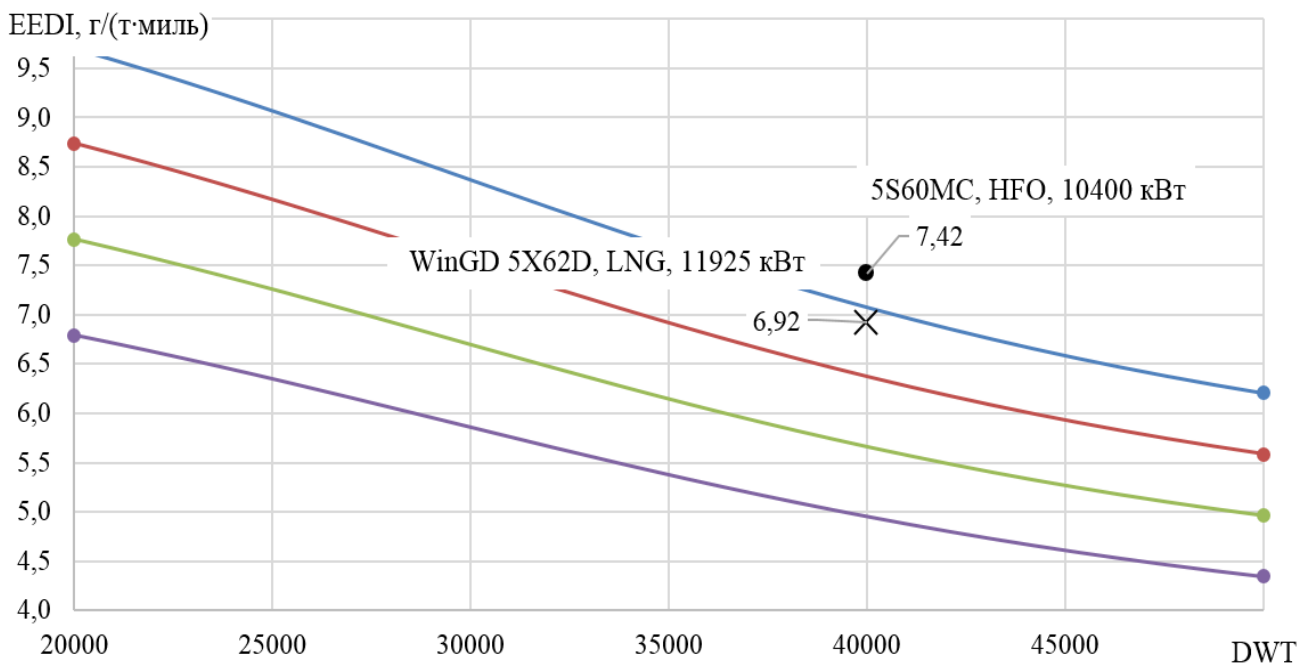


Рисунок 4. Значення EEDI для танкеру при використанні МОД на нафтових паливах та двопаливного (режим роботи на природному газі)

### **Висновки:**

- основними причинами використання зрідженого природного газу на водному транспорті є необхідність зменшити викиди оксидів сірки, азоту і вуглецю;
- танкери є одним із основних сегментів світового флоту, де активно впроваджується газове паливо;
- ЗПГ використовується майже на всіх різновидах наливних суден: для перевезення сирової нафти, готових нафтопродуктів, етилену, хімічних речовин, танкерах для обслуговування морських платформ, бункерувальниках;
- газове паливо на танкерах зберігається у криогенному вигляді у циліндричних цистернах типу С, які зазвичай розташовуються на відкритій палубі;
- визначення EEDI показало, що заміна базового двигуна, який працює на важкому паливі, на двопаливний із можливістю роботи на зрідженому природному газі дозволяє забезпечити енергетичну ефективність судна для початкового етапу введенні індексу;
- подальше покращення енергетичної ефективності суден вимагає використання комплексу енергозберігаючих та екологічно чистіших технологій.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. LNG-fuelled fleet hits 200 ship mark. [Electronic resource] – Mode of access: [http://www.lngworldshipping.com/news/view\\_lngfuelled-fleet-hits-200-ship-mark\\_46977.htm](http://www.lngworldshipping.com/news/view_lngfuelled-fleet-hits-200-ship-mark_46977.htm).
2. LNG-Fuelled Fleet Existing & Orderbook update - IBC Asia. [Electronic resource] – Mode of access: [http://www.abc-asia.com/system/files/speaker\\_presentations/Manon\\_Poten%20%26%20Partners%2C%20LNG%20fuelled%20fleet%2C%20IBC%20LNG%20Bunkering%20Conference%2C%20Singapore%20July%202017.pdf](http://www.abc-asia.com/system/files/speaker_presentations/Manon_Poten%20%26%20Partners%2C%20LNG%20fuelled%20fleet%2C%20IBC%20LNG%20Bunkering%20Conference%2C%20Singapore%20July%202017.pdf).
3. Bergen hits target [Text] // Marine Power and Propulsion (a one-year subscription to The Naval Architect). – 2007. – p. 30.
4. Ro-Ro for the future [Текст] // Propulsion. – 2008. – P. 10–12.
5. Implementing Energy Efficiency Design Index [Electronic resource]. – Mumbai: Indian Register of Shipping, 2015. – Mode of access: [http://www.irclass.org/files/marine\\_publications/EEDI\\_2015.pdf](http://www.irclass.org/files/marine_publications/EEDI_2015.pdf).
6. In Focus – LNG as Ship Fuel [Electronic resource] / DNV GL Group, 2015 [http://production.preststogo.com/fileroot7/gallery/dnvgl/files/original/124feddb807045969b3071a55f73c80b/124feddb807045969b3071a55f73c80b\\_low.pdf](http://production.preststogo.com/fileroot7/gallery/dnvgl/files/original/124feddb807045969b3071a55f73c80b/124feddb807045969b3071a55f73c80b_low.pdf).
7. WÄRTSILÄ WINS LNG FUELLED TANKER ORDERS [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.motorship.com/news101/lng/wartsila-wins-lng-fuelled-tanker-orders>.
8. First LNG-Fueled Oil Tankers Coming in 2018 [Electronic resource] – Mode of access: <http://gcaptain.com/first-lng-fueled-oil-tankers-coming-in-2018/>.
9. Shell to Fuel World's 1st LNG-Powered Aframax Tankers [Electronic resource] – Mode of access: <https://worldmaritimenews.com/archives/216761/shell-to-fuel-worlds-1st-lng-powered-afamax-tankers/>.
10. LNG fuelled bulk carriers and tankers [Electronic resource] – Mode of access: <https://www.intertanko.com/upload/110694/LNG%20fuelled%20bulk%20carriers%20and%20tankers.pdf>.
11. M/T Ternsund Chemical Tanker [Electronic resource] – Mode of access: <https://www.ship-technology.com/projects/mt-ternsund-chemical-tanker/>.
12. LNG-fuelled tankers ordered for use in North Sea [Electronic resource] – Mode of access: [http://www.lngworldshipping.com/news/view\\_lngfuelled-tankers-ordered-for-north-sea\\_50111.htm](http://www.lngworldshipping.com/news/view_lngfuelled-tankers-ordered-for-north-sea_50111.htm).
13. Wartsila to power Thun LNG-fueled tankers [Electronic resource] – Mode of access: <https://www.lngworldnews.com/wartsila-to-power-thun-lng-fueled-tankers/>.

14. Desgagnés Takes Delivery of the World's First Dual-Fuel / LNG Asphalt Tanker - the M/T Damia Desgagnés [Electronic resource] – Mode of access: <https://www.newswire.ca/news-releases/desgagnes-takes-delivery-of-the-worlds-first-dual-fuel--lng-asphalt-tanker---the-mt-damia-desgagnes-617725703.html>.
15. Bit Viking [Electronic resource] – Mode of access: <https://www.wartsila.com/resources/customer-references/view/bit-viking>
16. Levander, O. Turning the page in ship propulsion, by switching to LNG [Electronic resource] / O. Levander // Gas as fuel for propulsion of ships – status and perspectives. – Copenhagen, 2008. – Mode of access: <http://www.dieselduck.ca/library/05%20environmental/2008%20Wartsila%20propulsion%20alternatives.pdf>.
17. Osberg, T. G. Gas engine propulsion in ships. Safety Considerations [Electronic resource] / T. G. Osberg // Det Norske Veritas AS. – Mode of access: <http://www.bi.edu/ShippingakademietFiles/IBC/Presentations/Thursday/Torill%20Grimstad%20Osberg.pdf>.
18. Sandaker, K. M. Use of natural gas as fuel for ships [Electronic resource] / M. K. Sandaker // Eidesvik Offshore ASA – Mode of access: [http://www.uscg.mil/marine\\_event/docs/panell1\\_doc1.pdf](http://www.uscg.mil/marine_event/docs/panell1_doc1.pdf).
19. Paananen, J. LNG fuelled ships and auxiliaries [Text] / J. Paananen. – Rostock: Wärtsilä ship power, 2007. – 44 p.
20. RESOLUTION MEPC.245(66) 2014. Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships.
21. RESOLUTION MEPC.281(70). Amendments to the 2014 guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships (Resolution MEPC.245(66), as amended by Resolution MEPC.263(68)).

## **CREATING THE SCHEME OF THE ICE AND VEHICLE COMBINED HEATING SYSTEM AND ITS OPERATING PRINCIPLE**

Gritsuk Igor

Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

**Introduction.** One of the promising ways to improve engine cooling systems is the introduction of modern technology into their design in order to increase efficiency and adapt to operating conditions, etc. These measures include a variety of methods of analysis, design, experimental studies, both at the system level and at the component level. These suggested methods are particularly relevant to those modes of vehicular engines that require significant efforts for their thermal development under cold operating conditions. They are as follows: pre-start and after-start heating of the engine, keeping the engine heated for a successful start under cold operating conditions. Apart from ease of use, the decisive factors are low cost of devices for engine thermal development, state legislation and standards, the need for full power immediately after the engine starts, improved fuel economy and reduced emissions during pre-start and after-start thermal development.

**Relevance of research.** The limiting factors are weight and size characteristics of the devices and their compact installation space according to modern vehicle design. In this regard, the most relevant is the development of complex systems for solving these problems in both the design of the engine and the vehicle.

**Formulation of the problem.** In this case, one of the promising ways is the development and study of the combined heating system with phase transition thermocumulator (TA) to carry out the pre-start and after-start heating of the engine in cold operating conditions.

**Research results.** To create the ICE and vehicle heating system, a combination of phase-transitional thermal accumulators was used (combination by function). Thermal accumulator is a device for accumulating thermal energy based on physical or chemical process associated with heat absorption and release [1 - 4]. The main processes are: accumulation-release of internal energy when heating-cooling solids or liquids, phase transitions with absorption-release of latent heat, the process of sorption-desorption or a reverse chemical reaction occurring with heat release-absorption. Accumulation of thermal energy or heat accumulation is a process of accumulating thermal energy, when its supply is maximum, for later use when the need arises. The process of accumulating energy is called charging, the process of its use is called discharging [1 - 4]. Substances used to accumulate thermal energy are called heat accumulating materials. The amount of accumulated energy depends on the temperature at which heat accumulating material is heated and its specific heat capacity. The main operating procedures in thermal accumulators, namely the accumulation of thermal energy, are based on the reverse phase-transitional process of melting-solidification. In this case, phase change material is used as the heat accumulating material. The implementation of this method is more difficult because of the need to make the design more complicated. However, much greater amount of heat per unit of volume is accumulated in such thermal accumulators. The process of charging and discharging can be performed in a narrow temperature range, which is very important when there is a need for thermal accumulators to work at small temperature differences. In vehicles the use of thermal accumulators is advantageous to facilitate the engine start and heating the vehicle interior during cold weather. The heat is accumulated during engine operation and can be stored for several days. To do this, thermal accumulator is placed in a Dewar flask (thermos) which provides the best thermal insulation.

[1] shows the main stages of creating the combined heating system (CHS) of the vehicular engine and the vehicle. To ensure the required temperature condition during pre-start and after-start heating of the internal combustion engine (ICE) and the vehicle under cold operating conditions, a scheme and components of the CHS are formed on the basis of vehicular engine main systems. The suggested CHS consists of the following subsystems: rapid heating of

the engine (RHE), the utilization of thermal energy of exhaust gases (EG) by phase-transitional TA (UTETA), contact thermal accumulator (CTA), thermal accumulator for storing motor oil (TASMO), thermal accumulator for storing a coolant (TASC), TA of EG cleaning system (TAEGCS). The CHS itself is a part of a cooling system (CS), lubrication system (LS) and exhaust system of the vehicular engine. It performs some functions of the systems and has a significant influence on the operation of the vehicular engine [1 - 3]. It is the CHS that provides pre-start and rapid after-start heating of a coolant and motor oil, exhaust gases cleaning system (EGCS) of the engine to the temperature at which the engine can be loaded and then to an operating temperature. The operating temperature is maintained for a long time within specified limits.

The elements of the combined heating system, such as the subsystems of rapid heating of the engine, the utilization of thermal energy of exhaust gases by phase-transitional TA, contact thermal accumulator and thermal accumulator for storing a coolant are the components of the engine cooling system. TA of EG cleaning system is a component of the engine exhaust system. The elements of the combined heating system, such as the subsystems of rapid heating of the engine, the utilization of thermal energy of exhaust gases by phase-transitional TA, contact thermal accumulator and thermal accumulator for storing motor oil are the components of the engine lubrication system. All the above-mentioned subsystems can work together within and according to the algorithm of the combined heating system operation or separately from each other performing their inherent functions [4].

The combined heating system generally works on the principle of thermal energy of EG accumulation by phase-transitional thermal accumulator of the utilization of thermal energy of EG subsystem. It also implies the accumulation of engine thermal energy by contact thermal accumulator in the form of convection and thermal radiation of the vehicular engine during its operation. The “free” thermal energy generated during the fuel combustion is emitted into the atmosphere and is not used usefully.

Fig. 1 shows the implementation of the combined heating system for the vehicular engine. EG thermal energy accumulation of the vehicular engine 1 by phase-transitional thermal accumulator, namely by the subsystem of the utilization of thermal energy of exhaust gases 20, is made possible by parallel installing the engine silencer 18 in the EG heat exchanger (HE) 6. The circulation of a heat carrier between TA 20 and exhaust gases heat exchanger 6 is provided by a modulating pump 21. The heat carrier passing through HE 6 in the exhaust manifold is heated by thermal energy of EG to a temperature of 150 ... 190 °C (a process fluid with a boiling point of 220 °C was used as the heat carrier). Heat exchanger 6 is installed in a bypass, in parallel with the main EG manifold of the vehicular engine. Such a decision was made in order to ensure the disconnection of the heat exchanger 6 after phase-transitional TA 20 of the subsystem of the utilization of thermal energy is fully charged. The switching of EG flow is carried out by electromagnetic gas valves 30 and 25 with an electric drive based on control system commands. The EG flow adjustment is carried out following a special algorithm [4, 9, 10] according to a developed cycle of heating the engine. From the heat exchanger 6 the heat carrier delivers the heat into phase-transitional TA 20 of the subsystem of the utilization of thermal energy. In an insulated tank of TA with three heat exchangers (for TA charging and heating of the engine coolant and motor oil) the heat carrier cools down and gives off the accumulated thermal energy to a phase-transitional heat accumulating material (HAM).

In the process of HAM energy accumulation the most efficient is the process of a phase transition of the material (TA filler), i.e. the change of its physical state which requires a large amount of EG energy. The most energy-intensive process is the phase transition of HAM. All the other processes of HAM energy accumulation do not require such a large amount of energy. The peculiarities of phase-transitional TA 20 at different periods of thermal energy accumulation and release are detailed in [4, 9, 10].

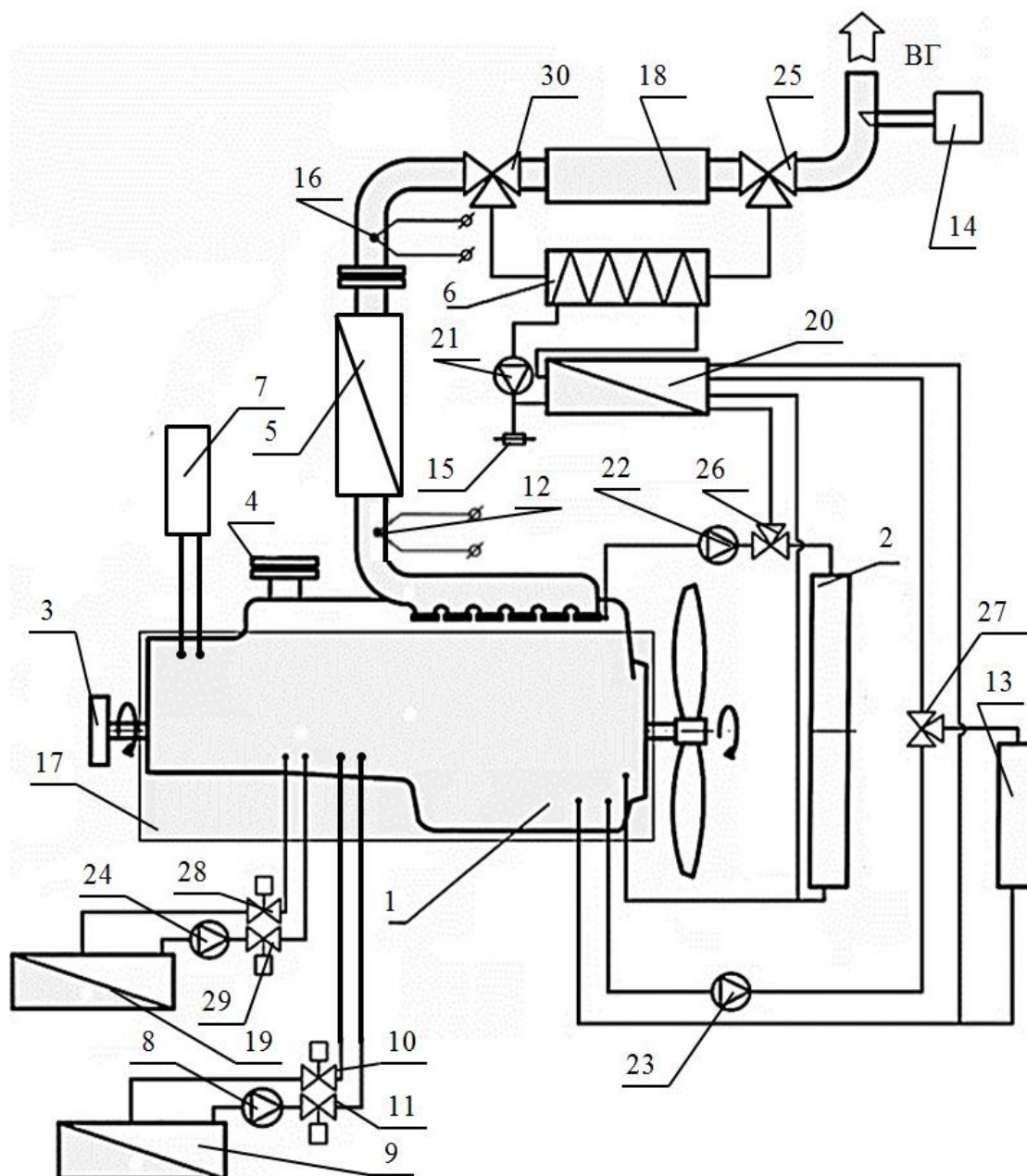


Figure 1. The scheme of the combined heating system of the engine and the vehicle

Contact thermal accumulator 17 of the vehicular engine (Fig. 1) is a multi-layered case. To ensure close fitting it is mounted on the outside of the cylinder block and the engine oil pan [8]. The peculiarity of the contact thermal accumulator design 17 is the availability of individual sections of container-based phase-transitional HAM that are fitted to the outside of the cylinder block and the oil pan. They are covered by several layers of thermal insulation material [4, 8]. Using contact thermal accumulator 17 does not require significant changes in the design of the vehicular engine and its systems. It is easily installed, is easy to maintain and does not require additional energy. The contact thermal accumulator operation is based on the change of the phase state of heat accumulating material when the energy is emitted and absorbed during convection and thermal radiation of the cylinder block and the engine oil pan. Due to contact thermal accumulator, an insulating function of the engine is performed and the minimum loss of thermal energy in the form of convection and thermal radiation is achieved during engine operation. In this way it is also possible to avoid thermal stresses in the engine during its heating at low temperatures. The contact thermal accumulator operation provides a long-term

maintenance of the set coolant and motor oil temperatures when the engine is switched off, unlike the well-known TA by means of which the ICE is heated after stop [4, 8].

The peculiarity of the thermal accumulator for storing motor oil design 19 (Fig. 1) is an additional phase-transitional contact TA in an accumulation vessel membrane for motor oil. It is similar in design and operating principle to contact thermal accumulator 17, but is mounted on the accumulation vessel case for draining motor oil. Due to thermal accumulator for storing motor oil 19 the minimum loss of thermal energy is achieved. It is released by motor oil after its draining by electromagnetic hydraulic valves 28 and 29 in the insulated vessel with TA during long-term stop of the vehicular engine. When motor oil is pumped backwards into the engine oil pan by the modulating pump 24 it is possible to rapidly heat the engine components and lubrication system parts. They are as follows: a crankshaft area, an oil channel and an oil case of the vehicular engine. The motor oil temperature in thermal accumulator for storing motor oil 19 is controlled by the built-in motor oil temperature sensor.

The peculiarity of the thermal accumulator for storing a coolant design 9 (Fig. 1) is an additional phase-transitional contact TA in the accumulation vessel membrane for the coolant. It is similar in design and operating principle to thermal accumulator for storing a coolant 19, but is mounted on the accumulation vessel case for draining the coolant. Due to thermal accumulator for storing a coolant 9 the minimum loss of thermal energy is achieved. It is released by the coolant after its draining by electromagnetic hydraulic valves 10 and 11 in the insulated vessel 9 with TA during long-term stop of the vehicular engine. When the coolant is pumped backwards into the engine cooling system by the modulating pump 8 it is possible to rapidly heat the engine components and cooling system parts. They are as follows: a coolant case and the ICE cylinder head. The coolant temperature in thermal accumulator for storing a coolant 9 is controlled by the built-in coolant temperature sensor.

EG thermal energy for rapid heating of a catalytic converter 5 in the exhaust system is accumulated in TA of exhaust gases cleaning system during engine operation. A rapid heating of catalytic converter composition 5 after starting the engine occurs when EG pass through TA of exhaust gases cleaning system.

The interior of the vehicle is heated by the heat exchanger 7 during engine operation when the coolant circulates in the engine cooling system through the heat exchanger.

In addition to the above-mentioned components, the combined heating system also includes standard components of the engine and its cooling and lubrication systems (Fig. 1). They are as follows: a cooling system radiator 2, an engine output shaft 3 an intake manifold 4, EG temperature sensor 12; a lubrication system radiator 13; gas analysis equipment 14 (in the form of appropriate sensors); a tank for expanding the heat carrier 15; EG temperature sensor 16. The circulation of the coolant and motor oil in the combined heating system is provided by modulating pumps 22 and 23. The coolant and motor oil regulation is provided by electromagnetic hydraulic valves 26 and 27.

Pre-start and after-start heating of the coolant and motor oil is possible with standard heating of the engine and (or) in the following modes of the combined heating system operation. The examples are: when operating only the rapid heating of the engine subsystem in the process of after-start heating of the engine, when operating the rapid heating of the engine subsystem with the utilization of thermal energy of exhaust gases by phase-transitional TA, the combined functions of contact thermal accumulator (thermal accumulator for storing motor oil and (or) thermal accumulator for storing a coolant) or joint operation of contact thermal accumulator + thermal accumulator for storing motor oil + thermal accumulator for storing a coolant and the utilization of thermal energy of exhaust gases by phase-transitional TA. Storing thermal energy, accumulated by the coolant and motor oil, is possible with standard ICE assembly and (or) in the following modes of the combined heating system operation. The examples are: when operating the rapid heating of the engine subsystem with the utilization of thermal energy of exhaust gases by phase-transitional TA, when operating only contact thermal accumulator or thermal accumulator for storing motor oil (thermal accumulator for storing a coolant), the combined

functions of contact thermal accumulator (thermal accumulator for storing motor oil and (or) thermal accumulator for storing a coolant) or joint operation of contact thermal accumulator + thermal accumulator for storing motor oil + thermal accumulator for storing a coolant and the utilization of thermal energy of exhaust gases by phase-transitional TA.

If it is necessary to start the engine after a long stop, the combined heating system is involved. It works according to its own algorithms and includes electric modulating pumps 21, 22, 23 of the rapid heating of the engine subsystem. They circulate the coolant and motor oil in the vehicular engine and phase-transitional TA for the utilization of thermal energy of exhaust gases. Passing through TA, the coolant gets thermal energy accumulated by HAM and transfers it by the coolant to the engine cooling system and by motor oil to the lubrication system and to the engine design elements. The right choice of TA 20 thermal capacity allows you to quickly heat the ICE from low ambient temperature ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) to the coolant and motor oil temperatures at  $+40 \dots 60^{\circ}\text{C}$ . The choice of TA thermal capacity by HAM weight is based on a calculation of the heat balance of the engine with the combined heating system and the vehicle. It helps determine the amount of thermal energy required for heating the coolant and motor oil, cylinder block, cylinder head, connecting branch pipes and manifolds considering heat loss [4, 9, 10].

After receiving thermal energy from the coolant and motor oil, the engine elements transfer it to the combustion chamber. It positively affects the process of ICE start which occurs after the combined heating system sensors record the coolant and motor oil temperatures at  $+40 \dots 60^{\circ}\text{C}$ . After that the ICE starts running and it is possible to load the engine. After starting the ICE, the combined heating system continues its work and facilitates more rapid and efficient heating of the working engine up to the coolant and motor oil temperatures at  $+85^{\circ}\text{C}$ . This is achieved due to further use of the accumulated heat in TA and thermal energy from the working engine. After reaching the coolant and motor oil temperatures of  $+85^{\circ}\text{C}$ , the combined heating system maintains it within the limits set, i.e.  $85 \pm 5^{\circ}\text{C}$  and then the engine standard system (SS) starts working (in the meanwhile, the combined heating system stops working).

Taking into consideration the data from temperature sensors, the control system of the combined heating system calculates the optimal rotational speed of circulation pumps 21, 22, 23. It gives commands to the system valves directing the flow of working fluids through certain CSPSH elements. The combined heating system functioning is based on the analysis of temperature values of the coolant and motor oil heat carriers [4, 9, 10].

During a stop and storage of the heat accumulated by contact thermal accumulator 17 of the engine being shut off, the contact thermal accumulator operation implies giving off HAM phase-transitional heat of contact thermal accumulator backwards to provide long-term maintenance of the coolant and motor oil temperatures. In low ambient temperature and when phase-transitional TA 20 for the utilization of thermal energy of exhaust gases subsystem is charged, when the heat accumulated by contact thermal accumulator 17 is insufficient, the engine 1 heating is carried out similarly as described above.

During a long stop of the engine, when it is necessary to maintain the coolant and motor oil within the "hot heating" for a long time, thermal accumulator for storing motor oil 19 and (or) thermal accumulator for storing a coolant 9 are used (Fig. 1), in which the coolant and motor oil are drained from lubrication system and cooling system of the engine. If it is necessary to start the engine when phase-transitional TA 20 for the utilization of thermal energy of exhaust gases subsystem is charged, thermal accumulator for storing motor oil (thermal accumulator for storing a coolant) is combined with lubrication system (cooling system) of the engine by using valves 28 and 29 (9 and 11). By using the circulation pump 24 (8), motor oil (the coolant) goes to the engine cylinder block. Further heating of the engine 1 is carried out similarly as described above. By using motor oil and coolant temperature sensors, working capacity of the combined heating system is controlled in relation to heat capacity of its components and subsystems and its further use.



## REFERENCES

1. Gritsuk I.V. "The development and the study of the combined heating system of engines and vehicles", *The Herald of Kharkiv National Automobile and Highway University*, **70**: 23 – 32, 2015.
2. Vashurkin I.O. "Thermal development and start of ICE of mobile vehicles and construction machinery in winter" - SantPeterburg: Nauka Publ., 2002. 145 p.
3. Shulgin V.V. "Engine pre-start heating system with thermal accumulator for city buses" - SPb. : City traffic engineering and traffic safety: SPb. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2002. :372-375.
4. Volkov V.P., Gritsuk I.V., Gutarevych, Yu. F., Aleksandrov V.D., Poddubnyak V. Yo., Prilepskiy Yu.V., Komov P.B., Adrov D.S., Verbovskiy V.S., Krasnokutska Z.I., Volkova T.V. "ICE heating systems: the basics of functioning" – Donetsk.: LANDON-XXI, 2015.- 314 p.
5. Morosuk T. Morosuk C., Bishliaga S. "Thermodynamic analysis of traditional and alternative heating systems for Ukraine" // In: Advances in Energy Studies. Reconsidering the Importance of Energy, Eds. Ulgiati, S., Brown, T.M., Giampietro, V., Herendeed, R.A. and Mayumi, K. (SGEditoriali, Padova). - 2003. - P. 381–388.
6. Valero A. et al. "Structural theory and thermoeconomic diagnosis" // Proceedings of Conference ECOS'99. - Tokyo (Japan). - 1999. - P. 368–379.
7. Balasanyan G.A. "The effectiveness of advanced integrated systems for energy supply based on cogeneration units of low capacity (theoretical basics, analysis, optimization)", Doctoral Thesis of Technical Sciences, Technical thermal physics and industrial combined heat and power, Odesa, 2007. 356 p.
8. Karnauhov N.N., Pustovalov I.A., Yarkin A.V. "Thermal accumulator for maintaining ICE start temperature of construction machinery in winter", *Motor transport enterprise*, **11**:45 - 48, 2010.
9. Patent for invention № 103729 Ukraine, (2013.01) F01P 3/22, B60H 1/04, B60K 11/00, "The system of coolant optimal temperatures in ICE" / Yu.F. Gutarevych, V.P. Mateichyk, I.V. Gritsuk, V.P. Volkov, A.O. Kagramanyan, P.B. Komov, O.B. Komov, V.Yo. Poddubnyak, M.I. Sergiyenko, Z.I. Krasnokutska / (Ukraine); Patent applicant and patent holder: National Transport University, State № ua 103729; app. 30.10.2012; publ. 10.04.2013, Bul. №7.- 17p.:il.
10. Patent for invention № 106525 Ukraine, F01P 3/22 (2013.01), B60H 1/04 (2013.01), "The system of coolant optimal temperatures in ICE" / Yu.F. Gutarevych, V.P. Mateichyk, I.V. Gritsuk, V.P. Volkov, A.O. Kagramanyan, P.B. Komov, O.B. Komov, V.Yo. Poddubnyak, M.I. Sergiyenko, Z.I. Krasnokutska, S.A. Yeroschenkov, V.S. Verbovskiy, D.S. Adrov, L.O. Makedonska, A.P. Komov, Ye.O. Komov / (Ukraine); Patent applicant and patent holder: National Transport University, Kharkiv National Transport University, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Donetsk Railway Transport Institute, State № ua 106525; app. 16.10.2012 application: a2012 11919, publ. 10.09.2014, Bul. №17.-17p.:il.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ПАСИВНИХ ФІЛЬТРІВ С-ТИПУ**

Дранкова А.О., Міхайков С.С., Красовський І.І.  
Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)

Вступ.

Сучасні системи управління електромеханічними пристроями, як правило мають у своєму складі статичні силові перетворювачі. У суднобудівній галузі найбільш розповсюдженим є використання частотно-регульованого електроприводу, відсотковий вміст таких систем дорівнює приблизно 90% [1,2]. При цьому кількість насосного обладнання коливається від 37 % до 55% від усіх суднових електромеханічних пристроїв, в залежності від класу судна. Таке широке впровадження частотно-регульованих систем управління електромеханічними пристроями призводить до погіршення якості електроенергії завдяки появі високочастотних гармонійних спотворень струму та напруги мережі електроживлення [1,2]. Найбільш гостро це відчувається, коли мережа живлення має кінцеву потужність, а кількість навантаження зазначеного типу зростає після модернізації систем управління, що в свою чергу передбачено технічним прогресом та найбільш вибагливими вимогами до експлуатації технічних об'єктів для забезпечення безаварійної роботи судна [8].

Актуальність досліджень.

Ефективним методом поліпшення якості електроенергії мережі електроживлення є застосування спеціальних фільтрокомпенсуючих пристроїв - силових фільтрів гармонік, які класифікуються за наступними ознаками:

1. За схемою включення в мережу - паралельні, послідовні і комбіновані структури;
2. По виду застосованих елементів - пасивні, активні і гібридні структури;
3. По числу фаз - однофазні, трифазні трьох-провідні та трифазні чотирьох-провідні структури [1].

Найбільш розповсюдженим на сучасних суднах є застосування пасивних фільтрів гармонік (ПФГ), які дають значне ослаблення вищих гармонік струмів та напруги мережі електроживлення [1,4,5]. Перевагами ПФГ виступає низька вартість та просте технічне обслуговування. Однак, ПФГ є статичними пристроями, ефективність яких зменшується при зміні характеру нелінійного навантаження, а також при зміні пропускну здатності мережі. Тому, налаштування ПФГ на конкретне нелінійне навантаження є актуальною задачею для підвищення якості електроенергії автономної мережі електроживлення.

Постановка задачі.

В роботі досліджено показники якості електроенергії суднової електростанції, яка є автономною системою електроживлення із нелінійним навантаженням. Комп'ютерна модель «Автономна система електроживлення - нелінійне навантаження» побудована у пакеті MATLAB Simulink 16b (рис.1). В якості нелінійного навантаження використано електропривод насоса щоденної відкачки л'яльних вод потужністю 2.2 кВт універсального судна водотоннажністю 57 000 тон.

До складу комп'ютерної моделі входять наступні блоки:

- трифазне джерело електроживлення з напругою 220 В та частотою 50 Гц;
- трифазний блок індуктивності для задання параметру індуктивності мережі  $L=0.025$  Гн;
- блок перетворювача частоти з векторним управлінням та АД потужністю 2.2 кВт;
- блоки задання насосного характеру навантаження;
- блок пасивної фільтрації;
- блок вимірювання імпедансу;
- блоки вимірювання та візуалізації параметрів моделі.

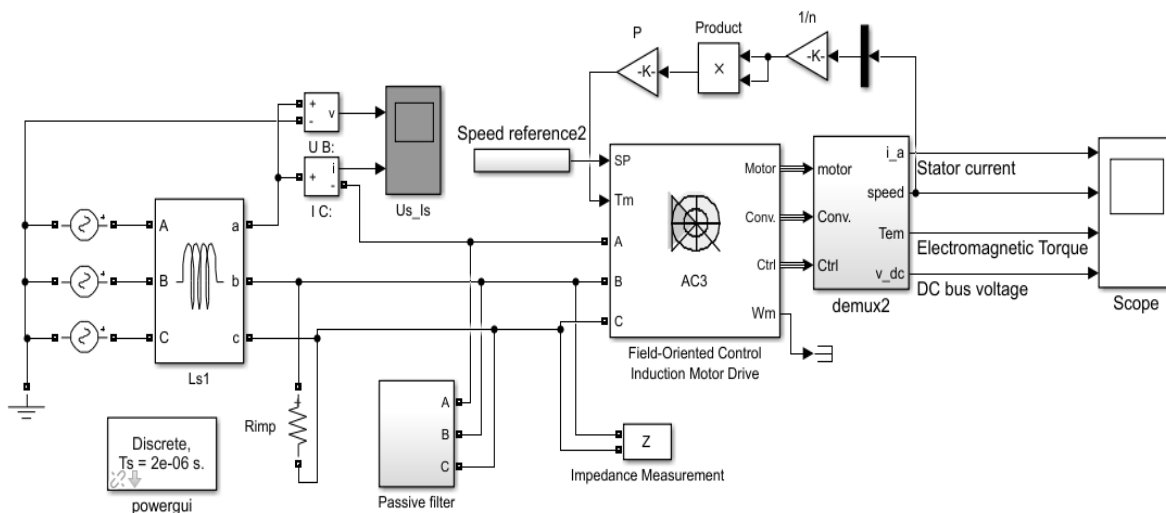


Рисунок 1. Комп'ютерна модель «Автономна система електроживлення - нелінійне навантаження»

Результати досліджень.

За допомогою комп'ютерної моделі були отримані миттєві характеристики частотного електропривода, а саме струм статора, оберти, електромагнітний момент та напруга ланки постійного струму при 3-х ступеневому регулюванні (рис.2). Аналіз миттєвих характеристик частотного електропривода при ступінчастому зміні швидкості показав спроможність моделі реалізовувати типові режими роботи електропривода насоса щоденної відкачки л'яльних вод.

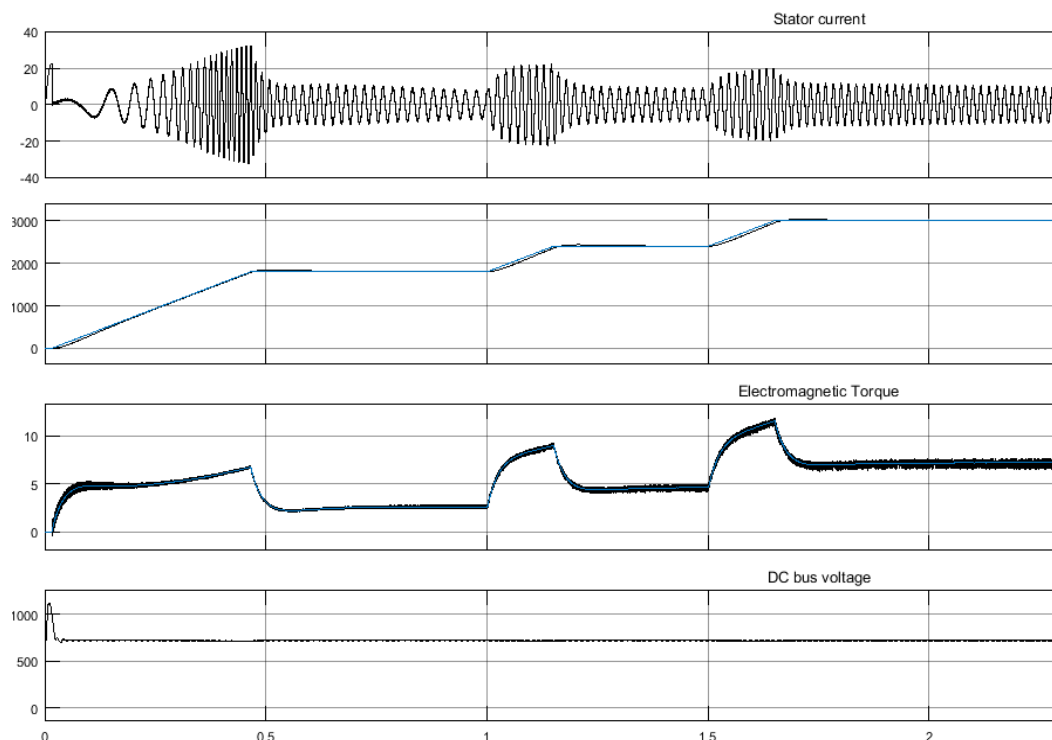


Рисунок 2. Миттєві характеристики частотного електропривода при ступінчастому зміні швидкості

При роботі моделі на максимальних обертах 3000 о/хв. без застосування пасивних фільтрів отриманні наступні осцилограми напруги та струму (рис. 3).



Рисунок 3. Осцилограми напруги (зверху) та струму (знизу)

Проведений гармонійний аналіз показав, що основними спотворюючими форму напруги та струму є 5-та, 7-ма, 11-та і 13-та гармоніки (табл.1), що пов'язано з роботою частотного перетворювача електропривода насоса. Розраховані за допомогою вбудованої функції швидкого перетворення Фур'є (FFT Analysis) у пакеті MATLAB Simulink 16b сумарні коефіцієнти гармонік по напрузі ( $THD_U = 29,83\%$ ) та струму ( $THD_I = 11,52\%$ ) підтверджують необхідність застосування фільтрокомпенсуючих пристроїв.

Таблиця 1. Гармонійний вміст напруги та струму

№	Частота, Гц	Напруга	Струм
		Вміст, %	Вміст, %
1	50	100	100
2	100	0,02	0,04
3	150	0,01	0,02
4	200	0,02	0,01
<b>5</b>	<b>250</b>	<b>19,91</b>	<b>9,99</b>
6	300	0,01	0,02
<b>7</b>	<b>350</b>	<b>14,02</b>	<b>5,02</b>
8	400	0,02	0,02
9	450	0,02	0,01
10	500	0,02	0,01
<b>11</b>	<b>550</b>	<b>8,79</b>	<b>2,01</b>
12	600	0,02	0,01
<b>13</b>	<b>650</b>	<b>7,32</b>	<b>1,42</b>
14	700	0,02	0,00
15	750	0,02	0,00

Для поліпшення якості електроенергії даної мережі було розраховано пасивний фільтр С-типу (рис. 4) для 5-ї, 7-ї, 11-ї, 13-ї гармонік напруги та струму. В розрахунку використано наступні параметрами мережі і фільтра: напруга мережі  $U = 220$  В; частота мережі  $f = 50$  Гц; індуктивність мережі  $L_S = 0,25$  мГн; реактивна потужність фільтра  $Q_F = 1,65$  кВар; коефіцієнт розподілення гармонік  $k = 1,3$ ; кратність гармонік  $n_g = 5, 7, 11, 13$  та значеннями їх циклічних частот [3,6,7].

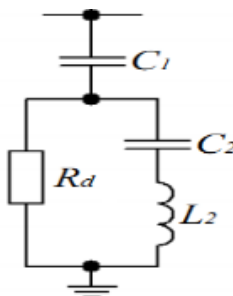


Рисунок 4. Пасивний фільтр С-типу

Лінія  $L_2C_2$  налаштована на резонансну частоту вищої гармоніки

$$L_2 = \frac{1}{\omega_1^2 C_2} \quad (1)$$

Вираз для резонансної частоти фільтра  $\omega_r = n_g \omega_1$  має наступний вигляд

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_2 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} \rightarrow C_2 = C_1 (n_g^2 - 1) \quad (2)$$

Реактивна потужність фільтра на основній гармоніці задається наступним співвідношенням:

$$Q_F = -\frac{U^2}{\text{Im}(Z_F(\omega_1))} \rightarrow C_1 = \frac{Q_F}{\omega_1 U^2} \quad (3)$$

Демпферний опір

$$R_d = \frac{U^2}{n_g^3 Q_F^2 k \omega_1 L_s} \sqrt{U^4 - n_g^4 Q_F^2 k \omega_1^2 L_s^2} \quad (4)$$

Нижче наведено чисельні значення параметрів чотирьох фільтрів С-типу для 5-ї, 7-ї, 11-ї, 13-ї гармонік (табл. 2).

Таблиця 2. Параметри ПФГ С-типу

№	$f$ , Гц	$\omega$ , Рад/с	Параметри			
			$C_1$ , мФ	$C_2$ , мФ	$L_2$ , мГн	$R_d$ , Ом
5	250	1570	0.10	2,60	3.89	16
7	450	2198	0.10	5.21	1.94	5
11	550	3454	0.10	13.02	0.77	2
13	650	4082	0.10	18.23	0.55	1

На рис.5 зображено реалізацію розрахованого фільтра С-типу у комп'ютерній моделі для однієї фази.

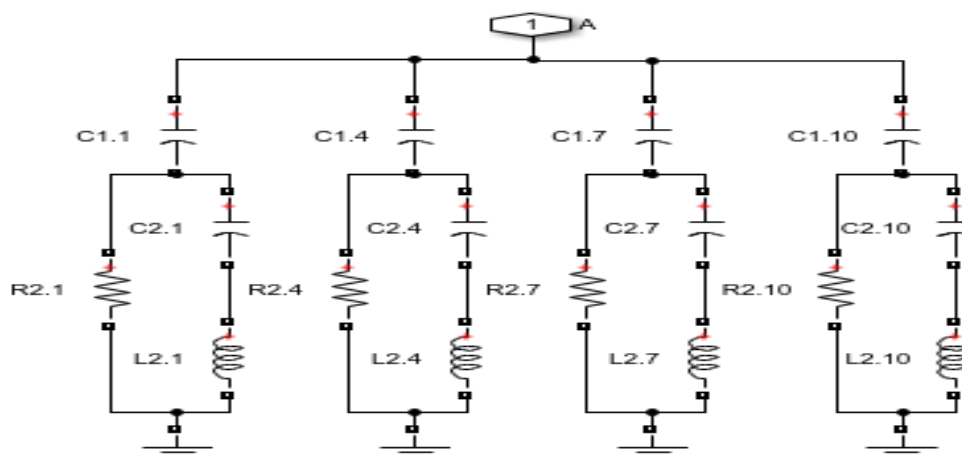


Рисунок 5. Пасивний фільтр С-типу – фаза А

В ході моделювання була підтверджена теорія пасивної фільтрації, яка заснована на використанні резонансу напруги [3,7]. На рис.6 показано залежність імпедансу фільтра 5-ої гармоніки на всьому діапазоні частот.

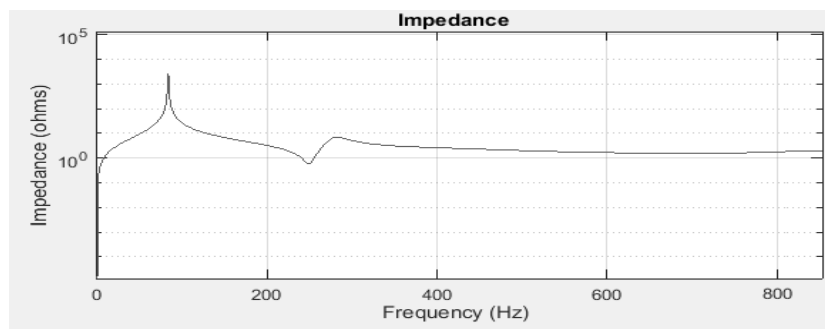


Рисунок 6. Залежність імпедансу фільтра 5-ої гармоніки від частоти

Процес дослідження показників якості електроенергії у моделі було проведено для чотирьох режимів роботи електропривода насоса щоденної відкачки л'яльних вод з характерними швидкостями – 750 о/хв., 1500 о/хв., 2250 о/хв. та 3000 о/хв. Відповідні осцилограми напруги та струму наведено на рис. 7.

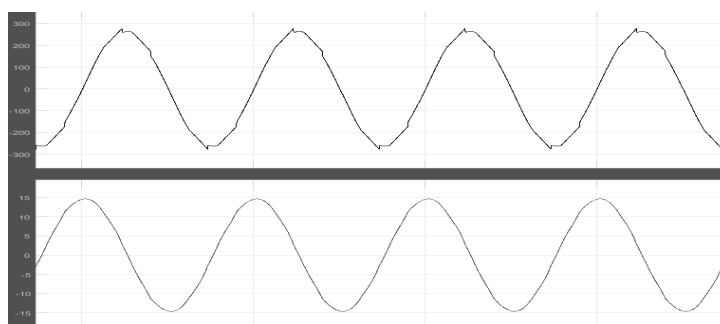


Рисунок 7. Осцилограми напруги (зверху) та струму (знизу) при застосуванні пасивних фільтрів С-типу

Гармонійний аналіз мережі показав значне пригнічення непарних гармонік при застосуванні фільтру С-типу. Значення процентного вмісту гармонік наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Гармонійний вміст напруги та струму з використанням фільтрів С-типу

№	Частота, Гц	Напруга	Струм
		Вміст гармонік, %	Вміст гармонік, %
1	50	100	100
2	100	0,02	0,00
3	150	1,53	0,00
4	200	0,00	0,00
<b>5</b>	<b>250</b>	<b>3,42</b>	<b>0,59</b>
6	300	0,00	0,00
<b>7</b>	<b>350</b>	<b>2,84</b>	<b>0,18</b>
8	400	0,00	0,00
9	450	0,45	0,00
10	500	0,02	0,00
<b>11</b>	<b>550</b>	<b>0,51</b>	<b>0,04</b>
12	600	0,00	0,00
<b>13</b>	<b>650</b>	<b>0,68</b>	<b>0,02</b>
14	700	0,02	0,00
15	750	0,02	0,00

Значення сумарного коефіцієнту гармонік (THD) є незмінне на всьому діапазоні обертань електропривода насоса л'яльних вод, що складає 4,06% по напрузі та 0,62% по струму.

Висновки.

Отриманні результати демонструють ефективність використання пасивного фільтру С-типу, налаштованого на конкретний судновий електропривод, а саме електропривод насоса л'яльних вод з частотним управлінням. Завдяки фільтру вміст вищих гармонік по напрузі в середньому зменшується в 5 разів для 5-ї, 7-ї гармонік та 18 разів для 11-ї, 13-ї гармонік. Пригнічення гармонік струму складає 17, 28, 50, 70 разів для 5-ї, 7-ї, 11-ї, 13-ї гармонік відповідно. Застосування фільтру С-типу зменшує сумний коефіцієнт гармонік по напрузі  $THD_U$  та струму  $THD_I$  до рівня, який відповідає вимогам морських Кваліфікаційних Товариств [8].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Дранкова А. О. Методи підвищення якості електроенергії суднової системи електроживлення із нелінійним навантаженням/Дранкова А.О., Міхайков С.С., Красовський І.І.// Матеріали науково-методичної конференції «Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки» 15.12.2015 – 16.12.2015 – Одеса: НУ «ОМА». – 2016. – С. 45-48.

2. Белов О. А. Судовые электроприводы. Основы теории и динамики переходных процессов.– М.: МОРКНИГА, 2016. – 188 с.

3. Арриллага Дж. Гармоники в электрических системах: Пер. с англ./Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П.Боджер.– М.: Энергоатомиздат, 1990.– 320 с.:ил.

4. Nassif A. D., Xu W., Freitas W. An investigation on the selection of filter topologies for passive filter applications. – IEEE transactions on Power Delivery, Vol. 24, No. 3, 2009, pp. 1710-1718.

5. Das J. Passive filters – potentialities and limitations. – IEEE trans. on industry applications. Vol. 40, No. 1, January/February, 2004, pp. 232-241.

6. Chih-Ju Chou, Chih-Wen Liu, June-Yown Lee, Kune-Da Lee Optimal planning of large passive-harmonic filters set at high voltage level / Chih-Ju Chou, Chih-Wen Liu, June-Yown Lee, Kune-Da Lee // IEEE Transactions on power system. – 2000, vol. 15, no. 1. – pp. 433-441.

7. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.: ил.

8. Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Теплов Ю.И., Шевченко В.А. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления. Одесса, 2012. – 488 с.: ил.

## КЕРУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНИМ ГІБРИДНИМ ФІЛЬТРОКОМПЕНСУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ

Жук Д.О., Криворучко Д.В., Жук О.К., Осадченко Ю.В.  
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (Україна)

**Вступ.** Однією з ключових проблем сучасної електроенергетики є забезпечення високого рівня енергоефективності. Наявність у складі навантаження потужних напівпровідникових перетворювачів (НП) призводить до спотворення форми споживаного струму та фазового зсуву його основної гармоніки. Наслідком є зниження коефіцієнта потужності, збільшення втрат енергії в джерелах і споживачах, а також аварійні режими через емісію вищих гармонік. Тому розробка керованих фільтрокомпенсуючих пристроїв (КФКП) є актуальною задачею, насамперед, стосовно автономних електроенергетичних систем (ЕЕС) морських стаціонарних та рухомих об'єктів, які містять тиристорні перетворювачі частоти за схемою «керований випрямляч – інвертор струму, ведений навантаженням». Таким кінцевим навантаженням є гребні синхронні двигуни, потужність яких може досягати десятків МВт.

В [9] запропонована нова удосконалена структура гібридного КФКП, складеного з резонансного LC-фільтра (РФ) ( $X_{C0}, X_{L0}$ ) і реакторного компенсатора (РК), який містить реактор з опором  $X_{LK}$  та протифазні напівпровідникові ключі  $S_1$  і  $S_2$  з широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) (рис. 1, а). При достатньо високій частоті комутації ключів ( $f_k = 10 \dots 20$  кГц) РК можна розглядати як еквівалентний індуктивний регульований опір  $X_{PK} = X_{LK} / s^2$ , де  $s$  – шпаруватість ШІР. Завдяки підключенню РК до точки з'єднання індуктивності і ємності РФ останній є одночасно перешкодозахисним фільтром по відношенню до РК з ШІР. Таким чином, усувається необхідність додаткового перешкодозахисного фільтра для зниження гармонік, генерованих ШІР РК. В [10,11,12] для системи з зазначеним КФКП досліджені показники спотворення напруги і визначені умови, за яких виключається можливість утворення додаткових полюсів частотної характеристики опору та виникнення резонансу на вищих гармоніках.

**Мета даної роботи:** визначення умов повної компенсації РП в автономній ЕЕС з удосконаленим гібридним КФКП, розробка структури відповідної системи автоматичного регулювання (САР) та оптимізація регулятора з метою досягнення заданої (або необхідної) якості перехідних процесів в динамічних режимах і забезпечення умов електромагнітної сумісності.

На еквівалентній схемі системи (рис. 2) генератор представлений джерелом синусоїдальної ЕРС з комплексним діючим значенням  $\dot{E}_S$  і опором  $X_S$ , трансформатор або вхідний реактор НП – опором  $X_{II}$ . Схемі, зображеній на рис. 1,а, відповідає векторна діаграма для комплексних діючих значень основних гармонік напруги  $\dot{U}_S$  та струму  $\dot{I}_S$  СГ.

При аналізі впливу КФКП на реактивну потужність системи слід врахувати його залежність від одночасної дії як генератора, так і перетворювача. Тому, згідно з принципом суперпозиції, струм генератора  $\dot{I}_S$  зручно розглядати як векторну суму двох складових  $\dot{I}'_S$  та  $\dot{I}''_S$ , обумовлених відповідно ЕРС  $\dot{E}_S$  СГ та струмом  $\dot{I}_{II}$ , споживаним НП. Відомо, що  $\dot{I}_{II} = I_{II} e^{-j\alpha}$ , де  $I_{II} = \sqrt{6} I_d / \pi$ ,  $I_d$  і  $\alpha$  – відповідно випрямлений струм та кут керування НП.



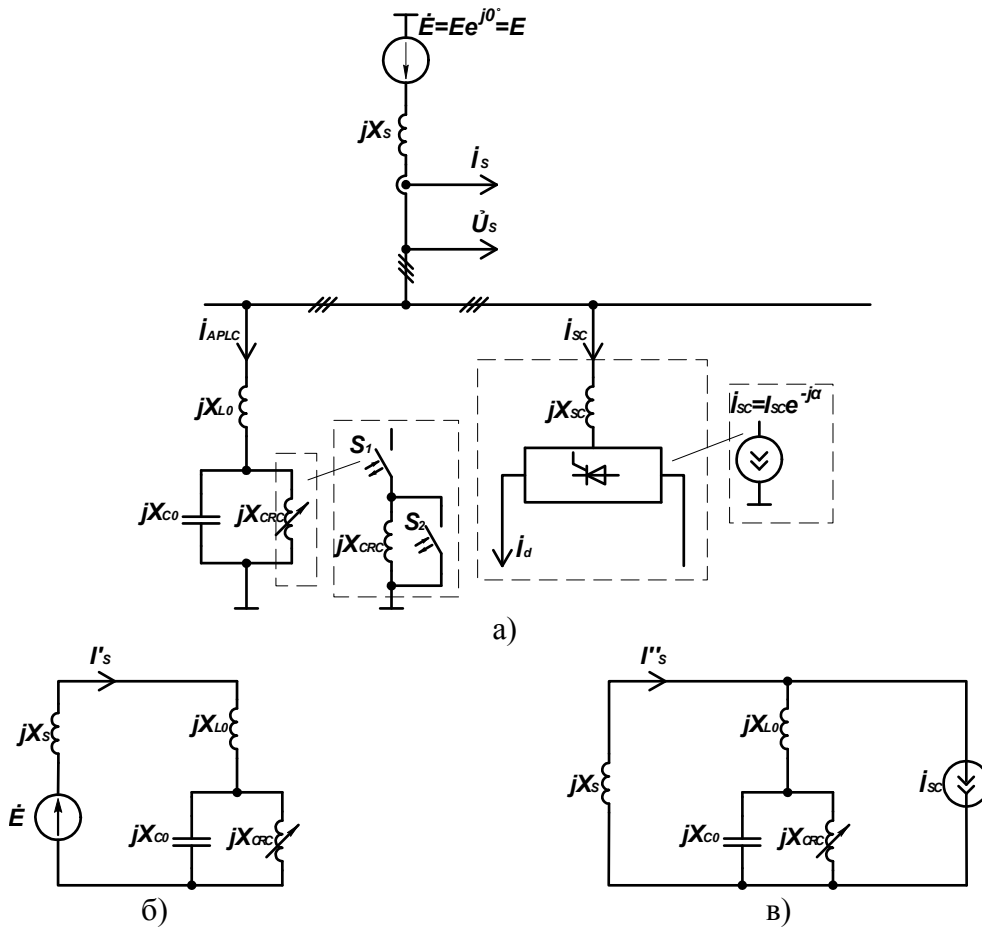


Рисунок 1. Структура автономної ЕЕС з НП та КФКП: узагальнена еквівалентна схема (а), часткові схеми заміщення (б, в)

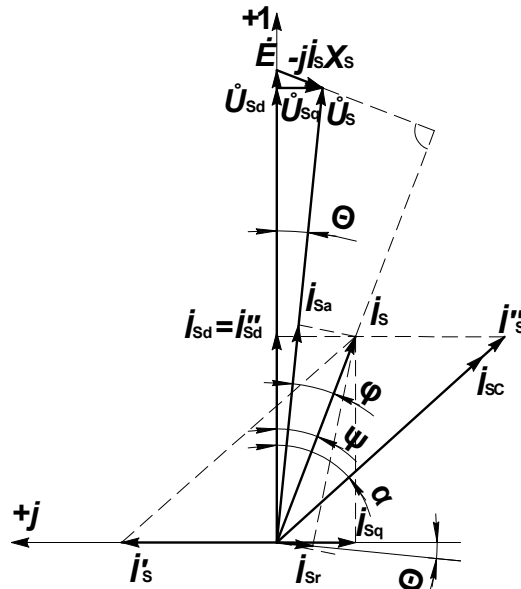


Рисунок 2. Векторна діаграма комплексів основних гармонік напруги і струмів системи  
З аналізу часткових схем (рис. 1, б, в) впливає, що

$$\dot{I}'_s = jK_1(s)\dot{U}_s; \quad (1)$$

$$\dot{I}''_s = K_2(s)\dot{I}_{II}; \quad (2)$$

де

$$K_1(s) = 1 / \left[ X_{C0} / (1 - s^2 X_{C0} / X_{LK}) - (X_s + X_{L0}) \right]; \quad (3)$$

$$K_2(s) = \left[ X_{C0} / (1 - s^2 X_{C0} / X_{LK} - X_{L0}) \right] / \left[ X_{C0} / (1 - s^2 X_{C0} / X_{LK}) - (X_S + X_{L0}) \right]. \quad (4)$$

Модуль струму генератора  $I_S$  та кут відставання  $I_S$  від  $\dot{E}_S$  визначаються з виразів

$$I_S = \sqrt{I_{Sq}^2 + I_{Sd}^2}, \quad (5)$$

$$\psi = \arctg(I_{Sq} / I_{Sd}), \quad (6)$$

де  $I_{Sq}$  і  $I_{Sd}$  – відповідно результуюча поперечна і повздовжня складові струму  $\dot{I}_\Pi$ .

Модуль комплексу напруги генератора  $\dot{U}_S$  та кут відставання  $\dot{U}_S$  від  $\dot{E}_S$

$$U_S = \sqrt{(E - X_S I_{Sq})^2 + (X_S I_{Sd})^2}, \quad (7)$$

$$\Theta = \arctg[(E - X_S I_{Sq}) / (X_S I_{Sd})]. \quad (8)$$

Оскільки РП, споживана системою НП – КФКП від СГ

$$Q = 3U_S I_{Sr}, \quad (9)$$

де  $I_{Sr} = I_S \sin \varphi$  – реактивна складова струму СГ;  $\varphi$  – кут відставання  $I_S$  від  $\dot{U}_S$ , то умова повної компенсації реактивної потужності в автономній ЕЕС визначається виразом

$$\varphi = \psi - \Theta = 0 \Rightarrow \psi = \Theta. \quad (10)$$

Структурна схема створена за (10) працює за принципом компенсації та містить датчики випрямленого струму  $I_d$  і кута керування  $\alpha$  НП. На виході ШІР формуються імпульси зі змінною шпаруватістю  $s$  для керування напівпровідниковими ключами комутатора РК. При наявності декількох навантажень така структура ускладнюється за рахунок збільшення кількості відповідних датчиків та каналів керування. Зазначеного недоліку можна уникнути, якщо використати в структурі САР датчики напруги і струму лише генератора спільно з програмним цифровим пристроєм визначення РП

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} (i_{SA} u_{SBC} + i_{SB} u_{SAC} + i_{SC} u_{SAB}). \quad (11)$$

До складу пристрою входять стандартний трифазний блок обчислення РП за (11) та фільтр нижніх частот для виділення постійної складової у сигналі  $Q$  (рис. 3). Таке удосконалення структури забезпечує також більшу точність компенсації РП за рахунок безпосереднього обчислення останньої.

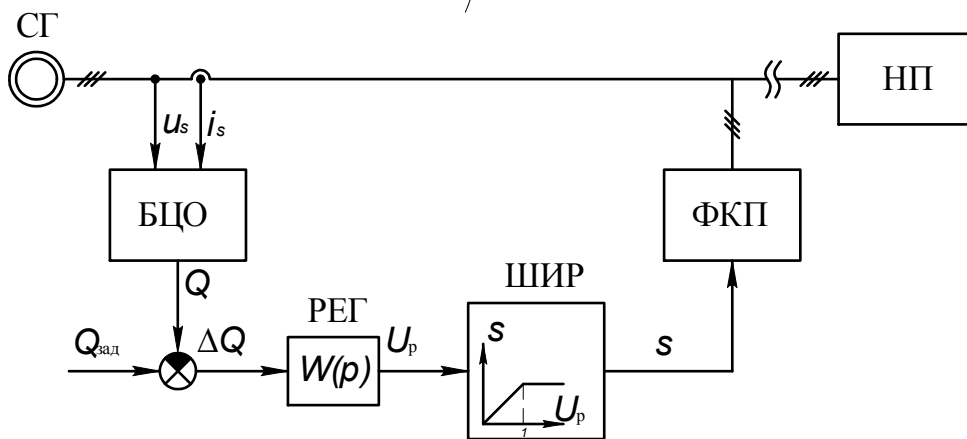
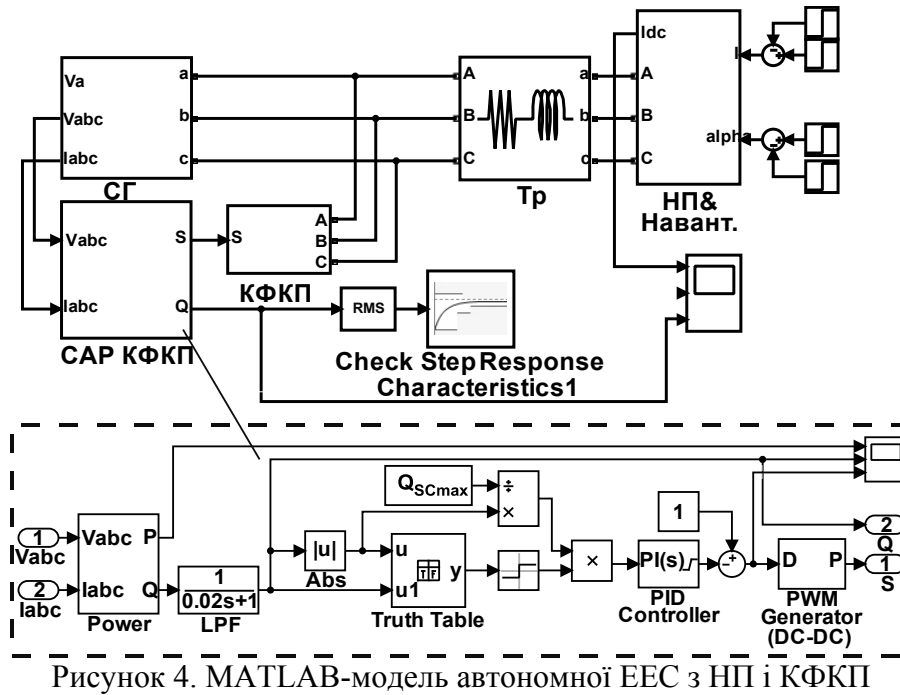


Рисунок 3. Структурно-функціональна схема САР КФКП в автономній ЕЕС з НП

Для дослідження системи СГ-НП-КФКП, яка є суто нелінійною і імпульсною, використовується комп'ютерна модель MATLAB-Simulink (рис.4). Структура САР в моделі повністю відповідає варіанту, зображеному на рис.3.



Параметри MATLAB-моделі:  $U_\phi = 220 \text{ В}$ ,  $X_S = 0,02 \text{ Ом}$ ,  $X_{II} = 0,01 \text{ Ом}$ ,  $I_{дНОМ} = 1400 \text{ А}$ ,  $X_{C0} = 0,227 \text{ Ом}$ ,  $X_{L0} = 9,07 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ ,  $X_{LK} = 0,218 \text{ Ом}$ ,  $f_k = 19800 \text{ Гц}$ .

Результати досліджень процесів з оптимізованими регуляторами показанов табл.1 і табл.2. В табл. 1 наведено максимальні провали (сплески) напруги при двох режимах регулювання – сталості кута управління ( $t_1 \Rightarrow I_d = 0 \rightarrow 1400 \text{ А}$ ,  $t_2 \Rightarrow I_d = 1400 \rightarrow 200 \text{ А}$ ) і сталості струму навантаження ( $t_1 \Rightarrow \alpha = 10^\circ \rightarrow 90^\circ$ ,  $t_2 \Rightarrow \alpha = 90^\circ \rightarrow 30^\circ$ ). В табл. 2 показаний час перехідного процесу РП в аналогічних режимах з ПІ та ПІД-регуляторами.

Таблиця 1. Максимальні сплески (провали) напруги

$\alpha$	$I_d$	$\delta U, \% (\text{PI})$	$\delta U, \% (\text{PID})$
30°	0 → 1400А	8,1	12,8
	1400 → 200А	12,9	17,6
60°	0 → 1400А	4	4,8
	1400 → 200А	12,8	4,5
10° → 90°	1400 А	8,1	12,8
90° → 30°		12,9	12,8
10° → 90°	500 А	12,8	3,2
90° → 30°		12,8	3,2

Таблиця 2. Час перехідного процесу реактивної потужності

$\alpha$	$I_d$	$t, \text{ sec (PI)}$	$t, \text{ sec (PID)}$
30°	0 → 1400А	0,06	0,12
	1400 → 200А	0,06	0,12
60°	0 → 1400А	0,16	0,12
	1400 → 200А	0,16	0,12
10° → 90°	1400 А	0,11	0,14
90° → 30°		0,11	0,14
10° → 90°	500 А	0,05	0,1
90° → 30°		0,05	0,1

## ВИСНОВКИ

1. Основною умовою повної компенсації РП в автономній ЕЕС з удосконаленим гібридним КФКП є збіг фаз векторів напруги  $\dot{U}_s$  та струму  $\dot{I}_s$  генератора, тобто,  $\varphi = 0$ , що досягається при відповідній шпаруватості ШПР реакторного компенсатора КФКП.

2. Реалізація САР КФКП можлива при застосуванні датчиків випрямленого струму  $I_d$  і кута керування  $\alpha$  НП. Проте, така структура значно ускладнюється при збільшенні числа навантажень. Цього недоліку можливо уникнути, використовуючи схему з датчиками лінійних напруг і струмів генератора з безпосереднім обчисленням реактивної потужності системи відповідним трифазним блоком (рис. 3).

3. Оскільки трифазні системи напруг і струмів генератора містять вищі гармоніки та є несиметричними в динамічних режимах, в обчисленому сигналі реактивної потужності наявні високочастотні перешкоди, для придушення яких використовується фільтр нижніх частот.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Стогній Б.С. Интеллектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення /Б.С.Стогній, О.В.Кириленко, С.П.Денисюк –К.: Технічна електродинаміка. – 2010.– № 6.– С. 44-50

2. Жаркін А.Ф. Гібридні фільтрокомпенсуючі перетворювачі для три-фазних систем з нелінійними та змінними навантаженнями / А.Ф.Жаркін,В.О. Новський, Д.О. Малахатка // К.: Технічна електродинаміка. – 2015. – № 4. – С. 48-52.

3. Сокол Е. И. Силовая электроника и концепция развития энергетики SmartGrid / Е. И. Сокол, Г. Г. Жемеров, Д. В. Тугай // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 8. – Спец. вып. Т. 1. – С. 7-16.

4. Стратегія мінімізації небажаних складових миттєвої потужності із застосуванням різних топологій паралельних активних фільтрів /В.М. Михальський, В.М.Соболев, В.В. Чопик, І.А.Шаповал // Технічна електродинаміка. –2014. –№1. – С. 41-50.

5. Combined system for harmonic suppression and reactive power compensation / A. Luo, Z. Shuai, W. Zhu, Z. J. Shen // IEEE Trans. Ind. Electron. –2009 –vol. 56. –no. 2. – pp. 418-428.

6. Intelligent control of fixed capacitor – thyristor controlled reactor for power quality improvement / M. A. Khan, K. V. S. Bharath, S. Mishra, A. K. Singh // 2016 7th India International Conference on Power Electronics (IICPE). –Patiala. – 2016. –pp. 1-5.

7. Hamadi A. A Hybrid Passive Filter Configuration for VAR Control and Harmonic Compensation / A. Hamadi, S. Rahmani, K. Al-Haddad // IEEE Transactions on Industrial Electronics. –2010. –vol. 57, no. 7. –pp. 2419-2434.

8. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудовиморських суден. Розділ XI «Електрообладнання».

9. Жук О.К., Жук Д.О., Криворучко Д.В. Керований фільтрокомпенсуючий пристрій. Патент України №120790, 2017.

10. An improvement of compensator soft complete power non-active component sin autonomous electric power systems / O. Zhuk, D. Zhuk, D. Kryvoruchko, S. Stepenko // 2016 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). –Kiev. – 2016. – pp. 1-5.

11. Управляемое фильтрокомпенсирующее устройство для автономной электроэнергетической системы с мощными преобразователями / А. К.Жук, Д.А. Жук, Д.В. Криворучко, С. А. Степенко. // Технічна електродинаміка. – 2016. – №4. – С. 32–34.

12. Жук А. К. Фильтрокомпенсирующее устройство с широтно-импульсным регулированием реакторного компенсатора / А. К. Жук, Д. А. Жук, Д. В. Криворучко. // Електротехніка і електромеханіка. – 2016. – №4. – С. 59–66.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕУ З ДОПОМОГОЮ ТЕРМОАКУСТИЧНИХ СИСТЕМ

Коробко В.В.,

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)

Морський транспорт є невід'ємною складовою сучасної світової економіки, тому будь які зміни в світовій економіці та суспільному виробництві неодмінно впливають на судноплавство. Для сучасного стану судноплавства характерним є зростання вимог, що до підвищення економічності суден та їх екологічної безпеки.

Завдяки впровадженню низки технічних рішень була підвищена економічність суднових двигунів, зменшені об'єми шкідливих викидів, в складі СЕУ широко застосовуються енергозаощаджуючі системи, які утилізують скидну енергію ЕУ.

Для нових суден передбачається застосування суднових двигунів, характеристики яких обов'язково мають задовольняти обмеженням TIER II та TIER III.

Задовільнити цим вимогам в повному обсязі є складною задачею, оскільки її рішення може бути знайдено з урахуванням взаємно пов'язаних та суперечливих факторів. Так, підвищення ефективності двигунів призвело до зміни параметрів теплових викидів СЕУ.

В результаті, суттєво зменшилась температура відходячих газів ДВЗ, при цьому зросла температура надувного повітря, підвищилась температура рідини систем охолодження, з'явилися робочі речовини з криогенною температурою – LNG та LPG палива [1,2].

За таких умов склалась ситуація, коли традиційні схеми утилізації вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР) стають малоєфективними або економічно недоцільними. Ці обставини вимагають розробки нових інноваційних заходів до енергозбереження в судновій енергетиці.

З метою стимулювати створення нових технологій енергозаощадження та захисту довкілля, ІМО був запропонований узагальнюючий критерій - *EEDI* – *Energy Efficiency Design Index* [3], який має застосовуватись при проектуванні нових суден.

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emission}}{\text{Transport work}} = \frac{Ne * SFC * C_f}{DWT * speed} [gCO_2/ton-mile]. \quad (1)$$

Передбачається, що цей критерій надає змогу оцінювати ступінь досконалості конструктивних рішень на етапі проектування. Можна бачити, що головна парадигма такого підходу – це зменшення споживання вуглецевих палив на транспортування тони вантажу.

За нових вимог, під час проектування суден, мають бути обрані такі рішення, які забезпечать мінімальні значення критерію *EEDI*, що встановлені для різних типів суден. Проектантами вирішуються питання визначення швидкості ходу судна, комплектації пропульсивного комплексу, також підлягають оптимізації склад СЕС та систем СЕУ.

Крім того, для отримання максимальної транспортної роботи, маса вантажу, взятого на борт, має бути максимальною. Досягнути цього можна за рахунок зменшення таких складових дедвейту, як вага обладнання СЕУ та об'єм запасів робочих речовин (палива, мастила, води).

За цих обставин, важливого значення набувають **енергогенеруючі технології** енергозбереження, які здатні ефективно перетворювати скидну теплову енергію СЕУ в механічну роботу і, тим самим, сприяти зменшенню емісії CO<sub>2</sub>. На особливу увагу заслуговують системи, які здатні використовувати низькотемпературні (НТ) ВЕР, оскільки доля таких викидів постійно зростає.

В промислових системах енергозбереження, відновлювальній енергетиці широко розповсюджені системи, в яких реалізований цикл Ренкіна на органічних теплоносіях - ORC [4]. Є окремі приклади використання низькотемпературних ORC систем в складі СЕУ.

Останнім часом, для утилізації НТ ВЕР, все більшу увагу привертає цикл А. Kalina [5], де в якості робочого тіла використовується двокомпонентна водно-аміачна суміш. Такі установки здатні ефективно утилізувати енергію джерел, з температурами 90 – 120<sup>0</sup>С.

Крім установок, які працюють за циклом Ренкіна, в НТ енергетиці існують системи, в яких реалізований так званий «трикутний цикл» - Trilateral Cycle (TC) [6]. В цьому термічному циклі перетворення тепла в механічну роботу проходить завдяки керованій функції ізотермічного розширення. В ТС системах в якості робочої рідини використовують водно-аміачну суміш, або спеціальні органічні робочі речовини. ТС має високу ефективність за умов, коли параметри циклу близькі до критичної точки робочого тіла.

Всі розглянуті низькотемпературні установки можуть бути використані в суднових системах утилізації НТ ВЕР, але їм притаманні суттєві недоліки, які ускладнюють застосування цих систем на судах.

Перш за все – це хімічна нестабільність робочих речовин, їх горючість, корозійна активність та шкідливість для довкілля. По-друге – низький температурний потенціал джерел теплової енергії зумовлює застосування теплообмінників з розвинутими поверхнями. В сукупності, ці фактори призводять до значного ускладнення СЕУ, зростанню їх масогабаритних характеристик, що заважає досягненню потрібних значень критерія *EEDI*.

Крім того, такі системи мають високу початкову вартість, складні для експлуатації та обслуговування на судах. Можна вважати, що на поточний момент ці системи не стали універсальним рішенням для суднової енергетики.

Одним із перспективних шляхів утилізації вторинних НТ теплових енергоресурсів є використання термоакустичних теплових машин (ТАТМ). Ці апарати суттєво відрізняються від механічних систем простою конструкцією, відсутністю рухомих частин та шкідливих робочих речовин. ТАТМ притаманні висока надійність, відносна мала вартість, екологічна безпека [7]. На рис.1 показана узагальнена принципова схема термоакустичної установки використання низькотемпературних теплових ресурсів [8].

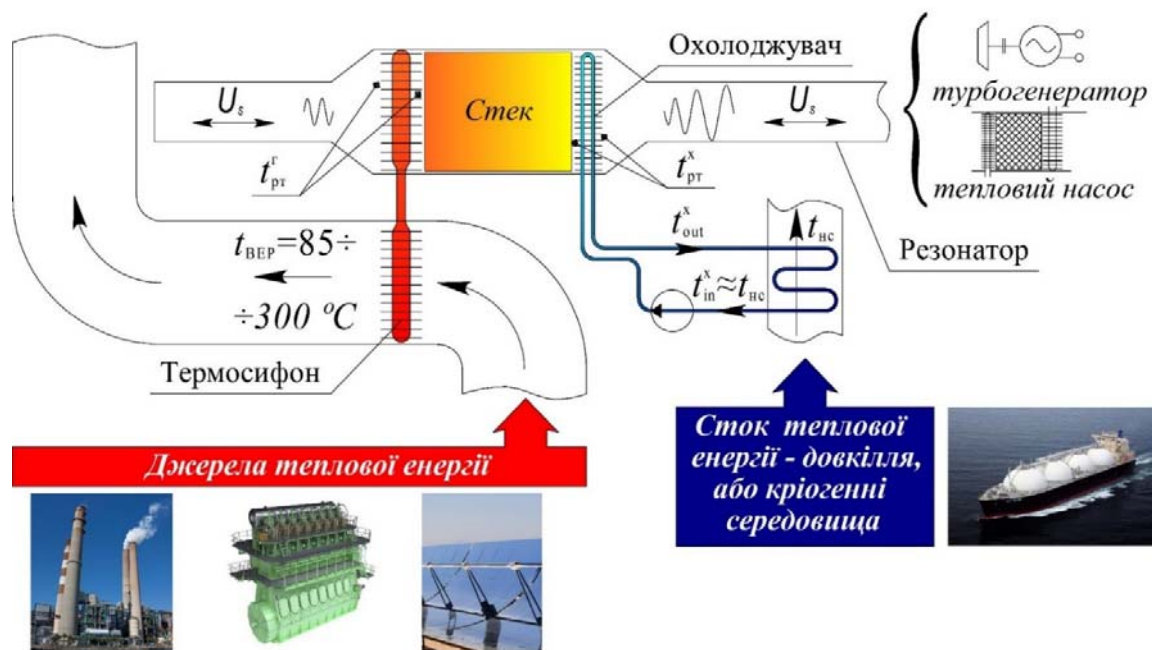


Рисунок 1. Принципова схема системи використання низькотемпературних теплових ресурсів з застосуванням ТАТМ

Здатність ТАТМ використовувати теплоту від будь яких зовнішніх джерел дає можливість створювати такі системи для різних типів енергетичних установок. Для роботи термоакустичних двигунів вирішальною є різниця температур між зовнішніми джерелами та стоком теплової енергії, тому ТАТМ здатні використовувати будь які джерела енергії, в тому разі, потенціал кріогенної енергії скраплених газів. Такі установки доцільно запровадити в якості систем регазифікації LNG та LPG палив на суднах та берегових терміналах.

З метою оцінки ефективності застосування термоакустичних технологій в судновій енергетиці була розроблена схема комбінованої енергогенеруючої установки системи утилізації потенціалу ВЕР СЕУ (рис.2) [8].

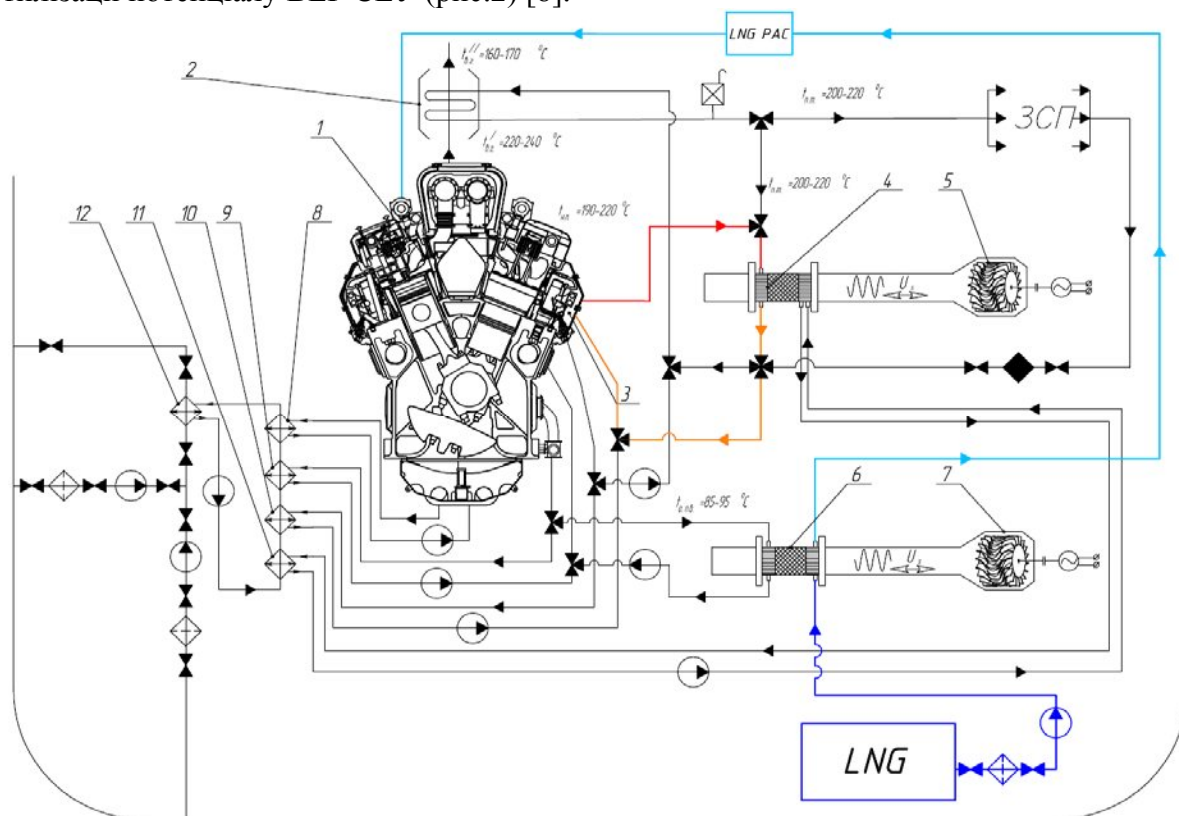


Рисунок 2. Схема системи утилізації ВЕР СЕУ з ТАТМ 1 – ГД, 2 – УК, 3 - ОНП, 4 – нагрівач ТАД, 5 – ТАТГ, 6 – кріогенний ТАД, 7 – ТАТГ, 8 – 12 охолоджувачі систем СЕУ

В якості об'єкту розробки обрана ЕУ LNT A-BOX. Це судно оснащено середньообертним ГД Wartsila 12V50DF, потужністю 11700 кВт. Для повного задоволення потреб загальносуднових споживачів в тепловій енергії штатна суднова система утилізації використовує менше 40% від наявного потенціалу скидної енергії. Таким чином, в результаті більша частина ВЕР СЕУ, в тому разі кріогенна енергія LNG палива, втрачаються.

В запропонованій системі передбачено застосування двох різних за температурами контурів. Високотемпературний контур (ВТК) – «УК – ОНП», з потенціалом до  $Q^{ВТК} \leq 4500$  кВт скидної енергії, та низькотемпературний (НТК) – «LNG – система охолодження ГД», де маємо до  $Q^{НТК} \leq 450$  кВт кріогенного потенціалу LNG палива. Наявність двох температурних потенціалів дає змогу використати в установці ТАТМ з різними термодинамічними циклами.

Для ВТК доцільним є використання ТАТМ, які працюють циклом Стірлінга. В цьому випадку ефективність перетворення теплової енергії в акустичну може сягати  $\eta_{ТАТД}^{Стірлінг} = (0,42 - 0,46)\eta_{Карно}$ . В низькотемпературному, (кріогенному) контурі з робочими

температурами 400 – 110 К, раціональним є використання ТАТМ, які працюють за циклом Брайтона. Термодинамічна ефективність таких ТАД, де що нижча –  $\eta_{ТАД}^{Брайтон} = (0,17 - 0,20)\eta_{Сарно}$ , але таке рішення цілком виправдано, оскільки в цьому контурі ТАД виконує функцію випарного теплообмінника системи регазифікації LNG, а генерація електричної енергії є додатковим ефектом.

В якості корисного навантаження для обох ТАТМ передбачено використання електрогенераторів з приводом від імпульсної двонаправленої турбіни. При цьому припускаємо, що к.к.д. ІДТ може становити  $\eta_{ІДТ} = (0,6 - 0,7)$ , а к.к.д. електрогенератора  $\eta_{ЕГ} = (0,90 - 0,95)$  [9]. Сумарну потужність термоакустичної установки утилізації ВЕР можна визначити, як суму двох складових

$$Ne_{ВЕР}^{\Sigma} = Q^{ВТК} \eta_{Стірлінг}^{ТАТМ} \eta_{ІДТ} \eta_{ЕГ} + Q^{НТК} \eta_{Брайтон}^{ТАТМ} \eta_{ІДТ} \eta_{ЕГ}$$

Розрахунки показали, що використання ТАТМ в системі енергозбереження танкеру А-ВОХ дає можливість отримати додатково 600 – 750 кВт електричної енергії, що зменшить витрату палива на рівні 5 - 6,5%.

Подальше підвищення ефекту від використання ТАТМ в судових системах енергозбереження можливо за рахунок оптимізації схемних рішень, вдосконалення елементів ТАТМ та пристроїв корисного навантаження.

**Висновки.** Використання ТАТМ в системах енергозбереження дає принципову можливість підвищити енергетичну ефективність СЕУ, знизити об'єм теплових викидів, зменшити емісію NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>. Простота конструкції ТАТМ, їх помірні масогабаритні характеристики сприяють задовільненню вимогам ІМО, формалізованих у вигляді критерія **EEDI**.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. MAN, Waste heat recovery system (whrs) for reduction of fuel consumption, emissions and EEDI, Tech. rep., MAN Diesel and Turbo, Copenhagen, Denmark, 2011, <https://www.mandieselturbo.com>
2. Dig Vijay Singh, Eilif Pedersen., A review of waste heat recovery technologies for maritime applications. [Text] /Dig Vijay Singh, Eilif Pedersen., //Energy Conversion and Management 111 (2016) 315–328. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman>
3. IMO. Interim guidelines on the method of calculation of the energy efficiency design 8. Interim guidelines on the method of calculation of the energy efficiency design index for new ships [Electronic resource] // International Maritime Organization, 2009. – Mode of access: <https://goo.gl/4Amxuv>
4. Yun E., Park H., Youl S., Chun K., Dual parallel organic Rankine cycle (ORC) system for high efficiency waste heat recovery in marine application [Text]/ Yun E., Park H., Youl S., Chun K. //Journal of Mechanical Science and Technology, 29, 2015, pp. 2509-2515.
5. Kalina A.I. Combined cycle and waste heat-recovery power-systems based on a novel thermodynamic energy cycle utilizing low-temperature heat for power-generation. [Text] / Kalina A.I. //Mech Eng 1983;105(11):104.
6. Yari M, Mehr AS, Zare V, Mahmoudi SMS, Rosen MA. Exergoeconomic comparison of TC (trilateral Rankine cycle), ORC (organic Rankine cycle) and Kalina cycle using a low grade heat source. Energy. 2015;(xx):1-11. Available:<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.080>.
7. Swift G.W. Thermoacoustic: A unifying perspective for some engines and refrigerators / G.W. Swift // American Institute of Physics. – 2002. – 300 p.
8. В. Коробко, А. Московко, Д. Тимошенко. Числове моделювання судової термоакустичної системи регазифікації LNG палив // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. №3 (11), 2015 р. – Херсон, ХДМА. - 2015. – С. 69-76
9. Коробко В.В., Московко О.О., Мостипаненко Г.Б., Сербін С.І., Дослідження роботи імпульсної двонаправленої турбіни в резонаторі термоакустичного двигуна// Авиационно - космическая техника и технология. – №8(143), 2017. – С. 19-25.



## **ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ВЫПУСКНЫХ ГАЗОВ**

Куропятник А.А.

Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)

**Введение.** Основным источником энергии, обеспечивающим работу двигателей внутреннего сгорания судовых энергетических установок, является жидкое топливо. При этом его сгорание и преобразование в тепловую энергию сопровождается неизбежным выбросом в атмосферу токсичных компонентов, наиболее вредной составляющей которых являются оксиды азота  $\text{NO}_x$ .

Оксиды азота занимают первое место среди вредных выбросов практически на всех режимах работы дизелей, вне зависимости от их типа, класса, размерений и конструктивных особенностей. Их доля в суммарных выбросах составляет 30...80% по массе и 60...95% по эквивалентной токсичности. Выбрасываемые в атмосферу оксиды азота наряду с аэрозолями и хлорорганическими соединениями разрушают озоновый слой, который находится на высоте 25 км и поглощает 99% солнечных и ультрафиолетовых лучей. С точки зрения обеспечения экологических норм при эксплуатации судовых энергетических установок рассматривают два соединения –  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ .

**Актуальность исследования.** Эксплуатация судовых дизелей связана не только с обеспечением их энергетических показателей (мощности и крутящего момента), но и с поддержанием необходимого уровня их экологических показателей. При этом, как при эксплуатации, так и при проектировании судовых дизелей происходит постоянный поиск эффективных способов снижения токсичности выпускных газов, в первую очередь, выбросов оксидов азота  $\text{NO}_x$  [1].

В настоящее время существует большое количество методов, способствующих снижению эмиссии  $\text{NO}_x$  в выпускных газах. При этом для разных типов дизелей (в зависимости от их конструкции и условий эксплуатации) оптимальными с точки зрения минимизации эмиссии  $\text{NO}_x$  являются строго определенные варианты. Так, для судовых дизелей мощностью более 10000 кВт в качестве такого варианта фирмы Mitsubishi и MAN Diesel рекомендуют использование системы Exhaust gas recirculation (EGR). При этом вопросы определения оптимальной степени рециркуляции газов, а также влияния системы EGR на основные показатели дизеля требуют дальнейшего изучения. Учитывая это, целью проведенного исследования являлось определение влияния степени рециркуляции выпускных газов (как одного из методов снижения эмиссии  $\text{NO}_x$ ) судового малооборотного дизеля на его экологические, экономические и энергетические параметры работы.

**Постановка задачи.** Способы снижения концентрации  $\text{NO}_x$  в выпускных газах подразделяются на первичные и вторичные. К первичным относятся меры по оптимизации процесса смесеобразования, подачи и горения топлива, а также совершенствования конструкции топливной аппаратуры. Вторичные способы (селективное или неселективное каталитическое восстановление) подразумевают очистку уже образовавшихся выпускных газов перед их выпуском в атмосферу в дополнительно установленных специальных устройствах (реакторах) [2].

Наибольшее распространение среди первичных методов снижения эмиссии  $\text{NO}_x$  получили следующие:

- 1) увлажнение воздуха наддува;
- 2) применение водо-топливных эмульсий;

- 3) использование прямого впрыска воды в цилиндр дизеля;
- 4) модернизация конструкции топливной аппаратуры;
- 5) использование системы Exhaust gas recirculation [3].

Первый вариант предусматривает дополнительный впрыск в объем воздуха, поступающего в цилиндр дизеля, пресной воды. Недостатком данного способа является необходимость контроля качества пресной воды, подаваемой в воздушный ресивер, особенно при условии ее циркуляции по линии ресивер-насос-форсунка, когда возможно попадание в воду (собирающуюся в ресивере в качестве протечек) механических примесей, что в дальнейшем приводит к ухудшению работы распылителя форсунки.

Второй вариант обеспечивается созданием высокооднородной смеси воды и топлива и подачей образованной эмульсии в цилиндр дизеля. Однако, учитывая, что количество топлива, подаваемого в цилиндр, должно оставаться постоянным, дополнительная подача воды (оптимальное количество которой находится в пределах 15...20%) приводит к увеличению длительности впрыскивания порции водо-топливной по сравнению с впрыскиванием только лишь топлива. Это вынуждает увеличивать угол опережения подачи топлива, что может повлечь за собой задержку впрыска водо-топливной эмульсии в воздушную среду, температура которой еще не обеспечивает надежного самовоспламенения.

Третий вариант предусматривает прямое впрыскивание воды в цилиндр дизеля и осуществляется либо общим (когда топливо и вода подаются через общую форсунку), либо отдельным впрыском (когда вода и топливо впрыскиваются в цилиндр через индивидуальные форсунки). Однако, данный вариант также способствует неустойчивому сгоранию топлива.

Четвертый вариант обеспечения требуемого уровня эмиссии  $\text{NO}_x$  первичными методами связан с совершенствованием конструкции топливной аппаратуры (изменением формы распылителя форсунки, увеличением давления впрыска топлива и т.д.) и связан с модернизацией всей топливной системы высокого давления.

Пятый вариант – использование системы EGR активно разрабатывается в настоящее время и имеет положительный опыт применения на морских судах [4].

В данной статье предложены результаты экспериментальных исследований, выполненных на судовом малооборотном дизеле 7UEC60LS фирмы Mitsubishi (оборудованном штатной системой ERG) и позволивших определить влияние системы рециркуляции выпускных газов на экологические, энергетические и экономические показатели его работы. Указанный дизель использовался в качестве главного двигателя (передающего свою мощность непосредственно на гребной винт и обеспечивающего движение судна) на специализированном морском судне дедвейтом 50000 тонн.

Основные характеристики дизеля:

- тип – двухтактный;
- диаметр цилиндра – 600 мм;
- ход поршня – 2400 мм;
- количество цилиндров – 7;
- номинальная мощность – 12600 кВт;
- частота вращения, соответствующая номинальной мощности – 82 об/мин.

Принципиальная схема дизеля 7UEC60LS фирмы Mitsubishi с системой рециркуляции выпускных газов показана на рис. 4.

**Результаты исследования.** Принципиальная схема судового дизеля 7UEC60LS фирмы Mitsubishi с системой рециркуляции выпускных газов, на котором выполнялись исследования, показана на рис. 1. Выпускные газы из цилиндра дизеля 3 поступают в выпускной коллектор 4 и далее к газотурбоагрегату 7, после чего через газопускную трубу удаляются в атмосферу. Газотурбоагрегат 7 забирает воздух из машинного

отделения и после сжатия направляет его через охладитель 1 и ресивер 2 к продувочным окнам дизеля. Система рециркуляции выпускных газов состоит из управляющего клапана 6, скруббера очистки газов 5, нагнетателя 10, водяной цистерны 9 и водяного насоса 8. В случае использования системы рециркуляции выпускных газов их количество регулируется клапаном 6. Выпускные газы очищаются и предварительно охлаждаются в скруббере 5, после чего дополнительным нагнетателем подаются на смешение с воздухом (поступающим из газотурбонагнетателя 7) и поступают к охладителю 1 и ресиверу 2 и далее через продувочные окна в цилиндр дизеля 3. Газовый нагнетатель 10 – вентилятор с постоянной геометрией проходного сечения. Данный тип нагнетателей наиболее распространен в системах EGR морских судов, при этом ведутся экспериментальные исследования систем EGR с турбонагнетателями переменной геометрии [3].

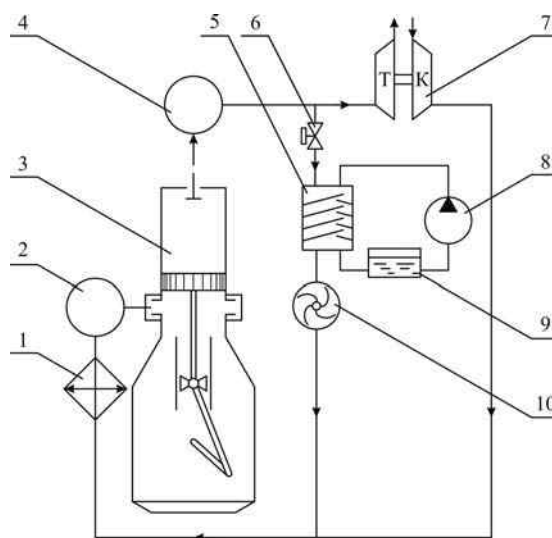


Рисунок 1. Принципиальная схема системы рециркуляции выпускных газов для судового малооборотного дизеля 7UEC60LS фирмы Mitsubishi:

1 – охладитель воздуха; 2 – воздушный ресивер; 3 – цилиндр дизеля; 4 – выпускной коллектор; 5 – скруббер; 6 – управляющий клапан системы рециркуляции выпускных газов; 7 – газотурбонагнетатель; 8 – водяной насос; 9 – водяная цистерна; 10 – газовый нагнетатель с электрическим приводом; Т, К – газовая турбина и воздушный компрессор газотурбонагнетателя

При экспериментальных исследованиях, проведенных на судне, измерялись значения концентрации  $\text{NO}_x$  в выпускных газах, удельного эффективного расхода топлива  $b_e$  и эффективной мощности дизеля  $N_e$  для различной степени рециркуляции выпускных газов.

Мониторинг концентрации вредных компонентов в выпускных газах наиболее целесообразно определять с помощью переносных газоанализаторов [1]. Нами при проведении экспериментов концентрация  $\text{NO}_x$  (а также концентрация  $\text{O}_2$ ) в выпускных газах определялась с помощью газоанализатора Testo350XL производства Германии, позволяющий определять концентрации следующих веществ:  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , а также температуру, влажность, скорость и дифференциальное давление измеряемой среды. Газоанализатор Testo350XL обеспечивает получение указанных параметров в диапазоне температур  $-40\dots1200^\circ\text{C}$ , что полностью покрывает интервал значений температуры выпускных газов дизеля на всех режимах его работы. С помощью газоанализатора

Testo350XL возможно определение содержание оксидов азота  $\text{NO}_x$ , а также кислорода  $\text{O}_{2,\text{Gas}}$  и азота  $\text{N}_{2,\text{Gas}}$  в уходящих газах в диапазоне измерения  $0 \dots 3000 \text{ млн}^{-1}$  с точностью  $1 \text{ млн}^{-1}$ .

Степень рециркуляции уходящих газов во время экспериментов изменялась в следующих значениях:  $\text{EGR}=4,7 \%$ ,  $\text{EGR}=9,8 \%$ ,  $\text{EGR}=14,6 \%$ ,  $\text{EGR}=18,8 \%$

Эксперименты выполнялись для следующих скоростных режимов работы дизеля: 55, 65, 75 и 80 об/мин, что соответствовало значениям относительной мощности дизеля:  $N_{\text{ераб}}=0,3N_{\text{енорм}}$ ,  $N_{\text{ераб}}=0,5N_{\text{енорм}}$ ,  $N_{\text{ераб}}=0,77N_{\text{енорм}}$  и  $N_{\text{ераб}}=0,93N_{\text{енорм}}$ , которая измерялась в кВт. В качестве  $N_{\text{енорм}}$  принималась номинальная мощность.

Комплексная номограмма, характеризующая изменение концентрации  $\text{NO}_x$  в выпускных газах, повышение удельного эффективного расхода топлива  $\Delta b_e$  и снижение эффективной мощности  $\Delta N_e$  судового дизеля 7UEC60LS фирмы Mitsubishi при работе на эксплуатационной нагрузке  $0,93N_{\text{енорм}}$  в зависимости от степени рециркуляции выпускных газов EGR, показана на рис. 2. Его анализ позволяет сделать следующие выводы.

Использование системы рециркуляции выпускных газов улучшает экологические параметры работы судового дизеля, в частности снижает уровень эмиссии  $\text{NO}_x$ . Так экспериментально установлено, что изменение степени рециркуляции выпускных газов в диапазоне  $4,7 \dots 18,8 \%$  обеспечивает снижение концентрации оксидов азота  $\text{NO}_x$  в выпускных газах соответственно до  $13,3 \dots 3,3 \text{ гNO}_x/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  в зависимости от частоты вращения и нагрузки дизеля, которые в экспериментах изменялась в интервале  $n_{\text{раб}}=(0,67 \dots 0,975)n_{\text{ном}}$  и  $N_{\text{ераб}}=(0,3 \dots 0,93)N_{\text{енорм}}$ . Это увеличивает область экологически безопасных режимов работы дизеля и позволяет обеспечить экологические требования в эксплуатационном диапазоне нагрузок. Снижение концентрации  $\text{NO}_x$  в выпускных газах в процентном отношении находится в пределах  $19,5 \dots 48,8 \%$ , причем большие значения соответствуют интервалу нагрузок  $(0,77 \dots 0,93)N_{\text{енорм}}$ , т.е. наиболее распространенным из эксплуатационных режимов работы дизеля.

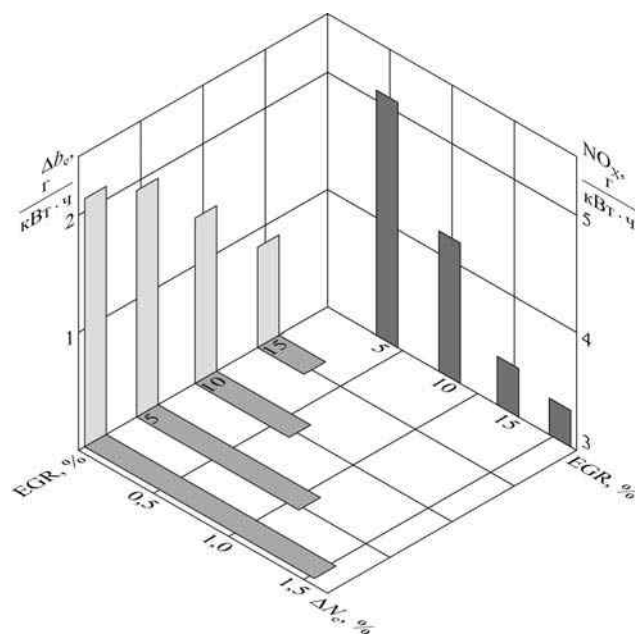


Рисунок 2. Изменение концентрации  $\text{NO}_x$  в выпускных газах, увеличение удельного эффективного расхода топлива  $\Delta b_e$ , снижение эффективной мощности  $\Delta N_e$  судового дизеля 7UEC60LS фирмы Mitsubishi на эксплуатационной нагрузке  $0,93N_{\text{енорм}}$  в зависимости от степени рециркуляции выпускных газов EGR

Использование системы рециркуляции выпускных газов способствует снижению энергетических и экономических показателей работы судового малооборотного дизеля. Экспериментально установлено, что удельный эффективный расход топлива повышается пропорционально росту степени рециркуляции выпускных газов и для разных скоростных режимов работы дизеля в процентном соотношении составляет 0,85...2,01% для случая EGR=4,7 % и 2,16...4,34% для случая EGR=18,8 %. Повышение степени рециркуляции выпускных газов снижает эффективную мощность дизеля. На режимах, близких к номинальной нагрузке, например  $n_{\text{раб}}=0,975n_{\text{ном}}$  и  $N_{\text{ераб}}=0,93N_{\text{enom}}$ , падение значения эффективной мощности достигает 1,2%, а на режимах  $n_{\text{раб}}=0,67n_{\text{ном}}$  и  $N_{\text{ераб}}=0,3N_{\text{enom}}$  – 3,43%.

Также отметим, что при использовании степени EGR более 15% (для проведенных исследований в диапазоне 14,6...18,8%) значение удельного эффективного расхода топлива возрастает на 1,8...2,2% и до 1,5% снижается мощность дизеля, поэтому данные режимы не рекомендуются для его длительной эксплуатации.

**Выводы.** Изменение степени рециркуляции выпускных газов в диапазоне 4,7...18,8 % обеспечивает снижение концентрации оксидов азота  $\text{NO}_x$  в выпускных газах с 13,5 до 3,8  $\text{гNO}_x/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  в зависимости от нагрузки дизеля, которая в экспериментах изменялась в интервале  $(0,3...0,93)N_{\text{enom}}$ . Снижение концентрации  $\text{NO}_x$  в выпускных газах в процентном отношении находится в пределах 19,5...48,8 %, причем большие значения соответствуют интервалу нагрузок  $(0,77...0,93)N_{\text{enom}}$ , т.е. наиболее распространенным из эксплуатационных режимов работы дизеля.

Использование для снижения концентрации  $\text{NO}_x$  в выпускных газах их рециркуляции ухудшает процесс сгорания топлива, что непосредственно влияет на такой показатель как удельный эффективный расход топлива. Его значение (согласно проведенным исследованиям) повышается пропорционально росту степени рециркуляции выпускных газов и в процентном соотношении составляет 0,85...2,01% для случая EGR=4,7 % и 2,16...4,34% для случая EGR=18,8 %.

В настоящее время такой способ снижения концентрации  $\text{NO}_x$  в выпускных газах судовых дизелей как использование рециркуляции выпускных газов является наиболее оптимальным в первую очередь с точки зрения его технологического исполнения. Использование способа EGR на морских судах обеспечивает выполнение международных требований по защите окружающей воздушной среды от загрязнения и может успешно применяться в судовой энергетике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Куропятник А.А. Обеспечение экологических параметров работы судовых дизелей // Збірка матер. X Міжнар.наук.-практ. конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018), 29-31 травня 2018 р., м. Херсон. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2018. – С. 325-328.
2. 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.
3. Sagin S.V., Kuropyatnik O.A. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines // NAŠE MORE : znanstveni časopis za more i pomorstvo, 2018. – Vol.65. – №.2. – P. 78-86. doi.org/10.17818/NM/2018/2.3
4. Куропятник А.А. Снижение концентрации оксидов азота в выпускных газах судовых дизелей // Universum: Технические науки. – 2018. – Вып. 3(48). – С. 67-71.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ВАРТОСТІ ЗА РАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ ПАЛИВА ДЛЯ ME-GI (GAS INJECTION) ДВИГУНІВ НА БОРТУ LNG ПЕРЕВІЗНИКАХ

Матвєєв В.В.

Херсонська державна морська академія (Україна)

Типове розташування конструкцій FGSS (Fuel Gas Supply System) часто ґрунтувалося на традиційній криогенній установці насосу високого тиску та розчину випаровування. Проте, добре перевірені технології цих систем FGSS мають високу вартість. Тому MAN Diesel & Turbo постійно бере участь у оптимізації вартості надійних рішень FGSS.

При проектуванні FGSS для носіїв LNG, зокрема, кількість BOG (boil of gas) має великий вплив. Частота кипіння в діапазоні від 0,08 до 0,1% в день повинна постійно оброблятися в умовах навантаження.

Комбіноване рішення з насосом і випарником, паливний газовий компресор і часткове повторне зжиження.

Конструкція FGSS для перевізника LNG може базуватися на одній з схем:

- Компресор, що постачає до (головного двигуна) ME-GI (паливний газ) HP (високого тиску) та до (генераторів) DF (газ з паливом) LP (низького тиску).

- Насос MAN Diesel & Turbo з випарником постачає до головного двигуна ME - GI (паливний газ) HP (високого тиску).

- Часткова система зжиження або комбінації цих систем в залежності від типу судна, схеми рейсів та технічного розташування корабля.

FGSS, показаний на рисунку 1, забезпечує високу гнучкість палива та повну надмірність роботи газу.

Відцентровий насос, занурений в вантажний танк, має декілька функцій: він подає у лінію подачі як для (головного двигуна) ME-GI, так і для (генераторів) DF і, крім того, забезпечує можливість подачі до генераторів DF

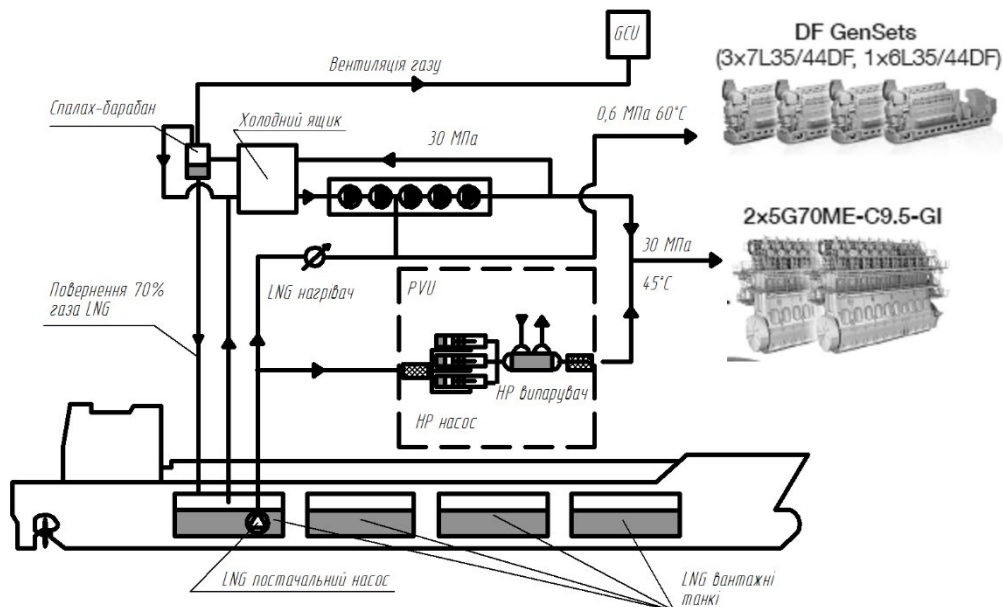


Рисунок 1. Система паливного газу з частковим випаровуванням

безпосередньо з вантажного танка через нагрівач LNG. Танк тип «С» - це переважний тип баку для малих носіїв з LNG та газових котлів. Для деяких типів танків розмір зануреного насоса може бути зменшений, якщо для цього контролюється тиск у танку.

Одним із варіантів постачання паливного газу НР (високого тиску) для двигуна ME-GI є поршневий насос LNG НР та випарник з LNG.

Компресор призначений для подачі BOG (Boil-off Gas) в двигун ME-GI з тиском в діапазоні 20 МПа...30 МПа залежно від навантаження двигуна, одночасно подаючи до генераторів DF з тиском паливного газу на 0,6 МПа. Компресор працює паралельно з PVU (pump vaporizer unit). Інший конструктивний параметр - це навантажувально-регульована та миттєва зміна тиску постачання палива, яка необхідна для головного двигуна ME-GI.

У цій специфічній схемі компресор постачає газ з холодного ящика. Холодний ящик в принципі є теплообмінником, де теплий надлишок паливного газу при 30 МПа охолоджується і розширюється через два Джоуль-Томсон клапани до тиску 0,1 МПа газу. У спалах барабані, частина надлишкового паливного газу змішується з холодним газом з вантажного танка і приблизно 70% потоку повертається в вантажний танк як LNG. Пристрій згоряння газу (GCU- gas combustion unit) забезпечує спосіб спалення надмірної кількості газу в надзвичайних ситуаціях з критично зростаючим тиском у танку.

Барабан для всмоктування не потрібен, якщо конфігурація FGSS базується на MAN Diesel & Turbo PVU, оскільки ефект відсмоктувального барабану отримується шляхом рециркуляції LNG через насос НР.

Проте, барабан для всмоктування повинен бути включений в дизайн, якщо FGSS побудований звичайним способом з окремим насосом і випарником LNG НР. Мета вакуумного барабану полягає в тому, щоб забезпечити великий об'єм LNG на всмоктувальному боці насоса НР з LNG, що забезпечує холодні температури всмоктування та запобігання кавітації.

FGSS (Fuel-gas supply system) на Рис 1. розроблена з частковим повторним сжиженням, але за бажанням компресори також можуть подавати повну систему зжиження, як показано на Рис 2.

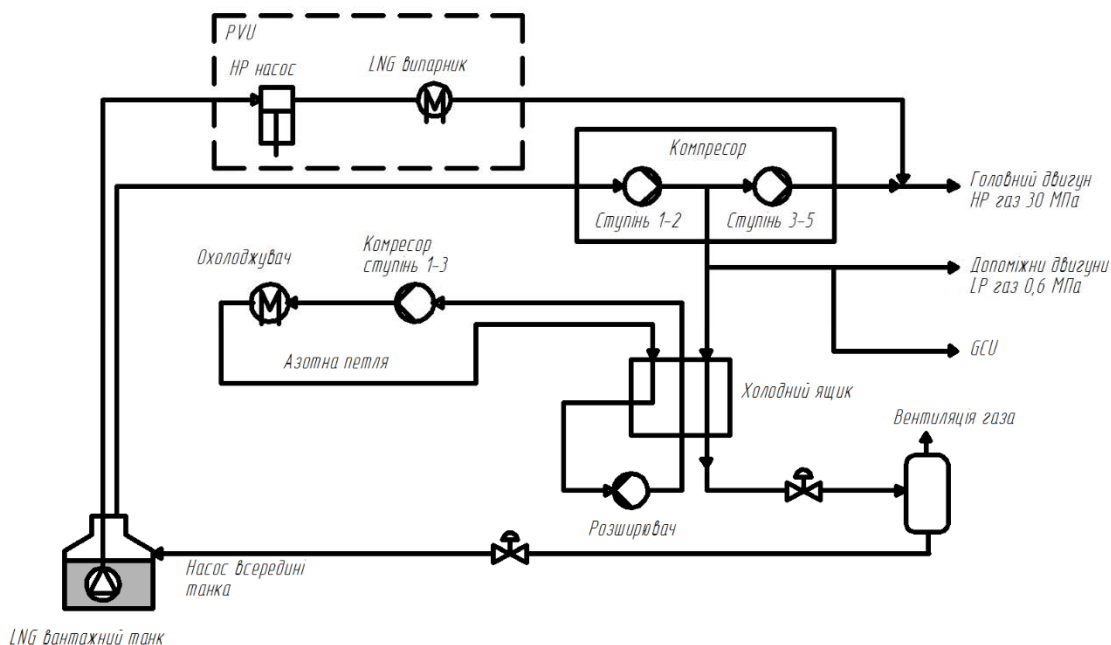


Рисунок 2. Система подвійного зжиження

Проте це не вимога від ME-GI. Основними компонентами процесу подвійного зжиження є: триступеневий компресор азоту (останній з'єднаний з розширювачем), охолоджувальний ящик, та компресор BOG. Охолоджувальний ящик має три ходи, один - для охолодження BOG, інший - попереднє охолодження азоту НР, а третій - азот низького тиску, що забезпечує охолодження охолоджувального ящику.

### Компресорні характеристики

Як зазначалося, при розробці ефективної FGSS необхідно враховувати декілька параметрів. Однією з них є загальна кількість BOG, яка сильно залежить від циклу експлуатації судна (вантажний або баластний рейс) та рівня тиску в танку. Змінні параметри можуть призвести до екстремальних умов експлуатації паливного компресору, починаючи від, наприклад, від надто холодних до гарячих пускових навантажень.

П'ятиступеневий газовий компресор Laby®-GI розроблений з єдиним і газонепроникним корпусом компресора. Всі п'ять ступенів об'єднані в вертикальному кривошипному механізмі та утворюють шести колінчастий компресор. Збалансований кривошипний механізм є ефективним способом мінімізації компресорній вібрації, щоб полегшити встановлення на палубі LNG танкера (рис 3).

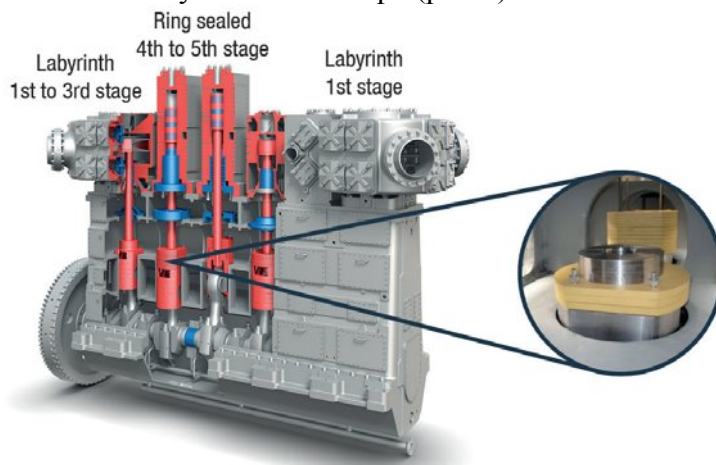


Рисунок 3. Laby-GI компресор паливного газу

Компресор паливного газу призначений для низьких температур всмоктування. Тепловий дизайн та вибір матеріалу означають, що перед початком роботи не потрібне попереднє охолодження компресора або нагрівання паливного газу. З діапазоном тиску, що охоплює до 30 МПа, три безмасляні лабіринтові герметичні ущільнення низького тиску (ступені від 1 до 3) доповнюються двома ступенями ущільнення поршневого кільця (ступені 4 та 5). Комбінуючи технологію ущільнення лабіринту та герметизацію поршневого кільця, довгий термін служби герметизації елементи отримано.

На кожній ступені компресора слід керувати міжрубашечним охолодженням, щоб повністю контролювати температуру на вході до наступної ступені, оскільки температура зазвичай збільшується між 150...200 °С між ступенями. Обхідні клапани регулюють потік охолодження у компресор відповідно до тиску живлення, що вимагається двигуном. Паливний газ постачається від 0,6 МПа до DF генераторів після другої ступені.

#### Подвійна система п'ятиступеневого компресора

Для власників та фрахтувальників, які вимагають повної надмірності постачання BOG, була запропонована спрощена та економічно оптимізована система, заснована на двох паливних газових компресорах, що залишила звичайний криогенний насос та випарник. Умови експлуатації для транспортування LNG є надлишковим BOG у навантаженому стані та приблизно 50% BOG (змісту вантажного танка) в умовах баласту, якщо підтримується 10% витрата. Це дозволяє суднам працювати на відкачуваному газі в 75% часу. Короткий період (приблизно 25%) експлуатації на LNG не дозволяє забезпечити достатній термін окупності, що покриває CAPEX криогенного насоса з LNG.

Макет FGSS для транспортування LNG може бути спроектований так, як показано на (рис 4), із зануреним насосом подачі LNG та двома компресорними установками, що одночасно забезпечують подачу палива високого тиску до ME-GI та паливного газу низького тиску до генераторів DF.



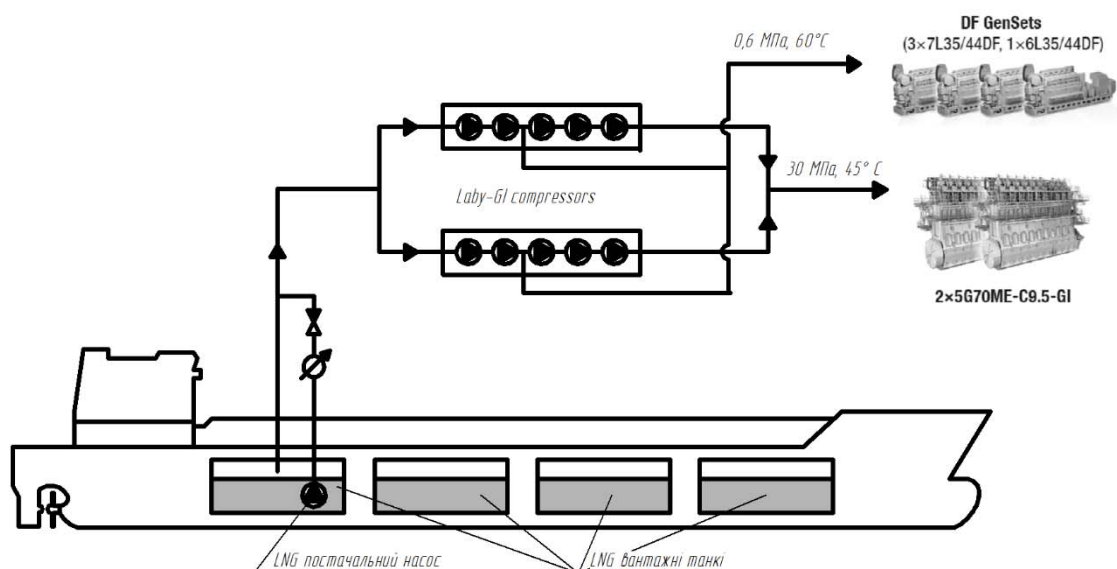


Рисунок 4. Система постачання паливного газу двома компресорами

Два компресора паливного газу Laby®-GI здатні обробляти 100% BOG, таким чином, двигуни ME - GI будуть споживати 50% стисненого палива від кожного компресора. Потужність компресора в шість разів перевищує криогенний насос при одночасному подачі до основного двигуна. Основний компресор буде постійно працювати, щоб забезпечити повну витрату, а другий компресор можна запуснути вручну у випадку несправності. Дослідження показують, що в більшості випадків достатньо двох компресорів, котрі працюють на 75% BOG. Крім того, важливо звернути увагу на температуру подачі BOG на газовий компресор. Якщо температура може бути знижена, можна вибрати менший розмір компресора. Ізоляція труб BOG на палубі часто розглядається як спосіб зниження температури.

#### Компресор

Діапазон тиску Laby®-GI 15...30 МПа охоплює необхідний тиск дозування паливного газу в діапазоні завантаження двох двигунів ME-GI від MAN Diesel & Turbo. Проте надійні поршневі компресори, що застосовуються у цьому проекті FGSS, виготовляються кількома виробниками, наприклад, MES, General Electric і Kobelco. GE компресор вимагає попереднього нагрівання паливного газу.

Компанія Atlas Copco розробила нове рішення для компресора, що відповідає двигунам ME-GI. Нове рішення використовує серійну комбінацію відцентрового компресора для початкового стиснення та поршневого компресора на останньому етапі.

#### Стандартна мультикомпресорна система високого тиску

Оскільки судновласники все частіше вимагають економічно оптимізованих рішень, MAN Diesel & Turbo і Burckhardt Compression розробили просту FGSS для LNG ME-GI, так і для інших суден типу ME-GI. Як приклад, на (рис 5) показано FGSS для 174 ксм LNG-носія на основі декількох малих і компактних компресорних агрегатів. Система постачає паливний газ до двигуна ME-GI і DF генератори.

З цією метою, Burckhardt Compression розроблено конструкторське рішення компресора CT-D на базі добре перевіреної технології поршневих компресорів.

Залежно від конкретної установки та як альтернативи Laby®-GI, конструкція CT-D може сприяти відчутному зниженню CAPEX для повної енергетичної системи руху.

Стандартні компресори високого тиску від Compression Burckhardt з тиском нагнітання до 31 МПа, поділяються на чотири типи компресорів з витратою від 24 кг / год до 500 кг / год для СТ компресора, і 675 кг / год для компресора СХ. Понад 700 компресорів вже встановлено по всьому світу, частина з них на CNG. Перші замовлення для морських додатків також були досягнуті.

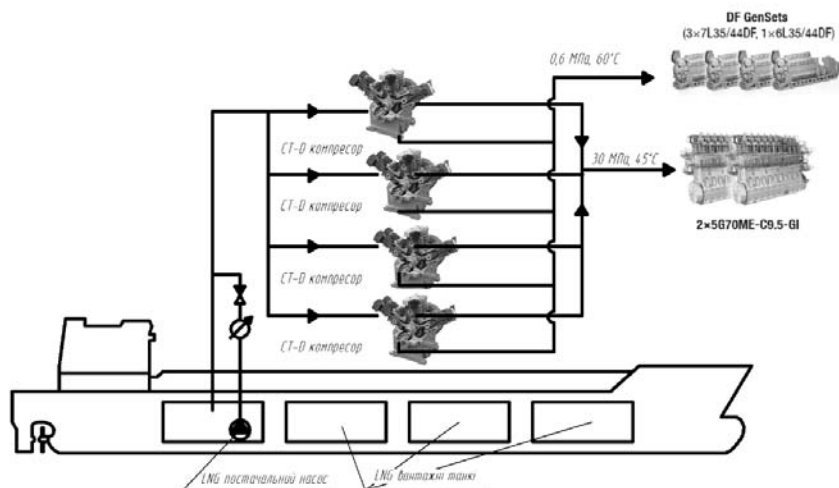


Рисунок 5. Система постачання паливного газу за допомогою СТ-D компресорів

Рішення FGSS, показане на (рис.5), базується на чотирьох компресорних блоках СТ-D, де кожен блок з двома компресорами СТ, що керуються звичайним електродвигуном, забезпечує 1000 кг / год. Застосування декількох компресорів відкриває цікаві варіанти часткового резервування. Повна надмірність отримується, якщо встановлено п'ять компресорів СТ-D. Система забезпечує ефективну операцію завантаження, коли один компресорний пристрій може бути виведено з експлуатації, коли навантаження падає.

#### Компресорні характеристики

Компресор СТ-D побудований з між-охолоджувачем між п'ятьма ступенями, щоб повністю контролювати температуру входу до наступного етапу. Оскільки FGSS базується на кількох менших компресорах, то менший рейтинг електродвигуна дає змогу використовувати менш дорогі та менш складні частотні приводи, ніж для більших моторів. Електродвигун та привід зі змінною частотою повинні бути схвалені АТЕХ (atmosphere explosible – атмосферо вибухові).

Використання частотного приводу із змінною частотою дає оптимальну криву потужності яка має форму прямої лінії, а не ступінчастою як у інших компресорів. Цикл експлуатації компресора СТ вище, ніж на Laby®-GI, хоча він все ще керований, що робить цей дизайн привабливою альтернативою.

Стандартною схемою газопостачання у більшості приймається схема з двома компресорами високого тиску.

Висновки: Комбінація двигуна ME-GI з різноманітними конфігураціями FGSS, описаними вище, пропонує ефективні та цінові конкурентоспроможні альтернативи для морської галузі, також орієнтуючись на невеликий сегмент ринку для суден CNG.

Попередні конструкції FGSS часто були засновані на порівняно дорогому криогенному насосі та випарному розчині. Цю конструкцію та ціну оскаржили завдяки впровадженню різних оптимізованих за витратами, надійних та компактних конфігурацій компресора та оптимізованого за витратами PVU.

Вартість оптимізованих рішень FGSS для носіїв з LNG на основі двох компресорів паливного газу або декількох менших компресорних підрозділів може сприяти значному зниженню CAPEX (капітальні витрати – capital expenditures). Мала потреба в навантаженні також, здається, є перевагою з цим рішенням.

Рішення FGSS детально оптимізуються з різними вимогами, що виникають внаслідок різних типів кораблів, а також з метою повного використання можливостей окремих компонентів без шкоди для роботи надмірності або частини завантаження, які можуть бути інтегровані в систему в більше способів, ніж раніше.

Нещодавно розроблений блок насосів і паростановок - це система "під ключ" FGSS від MAN Diesel & Turbo, яка була оптимізована за рахунок вдосконалення загального макета та зменшення загальної кількості компонентів.

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ В ВІТРОГЕНЕРАТОРАХ З РЕГУЛЬОВАНОЮ ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ

Молчан А.В.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (Україна)

Вітрогенератори з регульованою швидкістю обертання в даний час набули найбільшого поширення в усьому світі (понад 85% ринку) [1]. Це обумовлено наявністю перетворювачів частоти в їх конструкції, які дозволяють контролювати процес перетворення енергії, управляти активної і реактивної потужністю, дозволяють поліпшити взаємозв'язок з розподільною мережею.

За останні десятиліття були розроблені і досліджені різні топології перетворювачів для вітрогенераторів, всі вони мають ряд переваг і недоліків, більшість з них знайшли застосування в різних сегментах ринку вітрогенераторів.

Відповідно до загальноприйнятої світової класифікації, існує дві різних концепції виконання вітрогенераторів з регульованою швидкістю обертання [2]:

- тип С – з частковим перетворенням частоти, рис. 1,а;
- тип D – з повномасштабним перетворенням частоти, рис. 1,б.

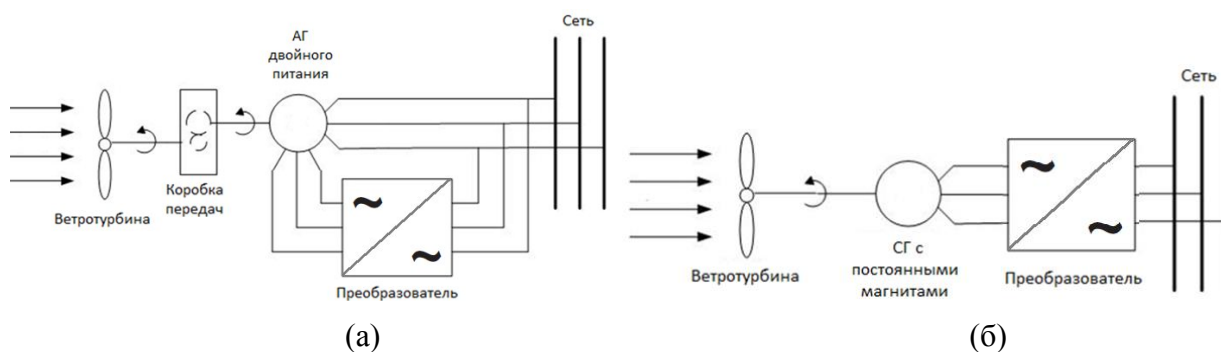


Рисунок 1. Концепції побудови вітрогенераторів з регульованою швидкістю обертання

Тип С обладнаний асинхронним генератором (АГ) подвійного живлення, статор якого підключається безпосередньо в мережу, і перетворювачем, підключеним до ланцюга ротора і розрахованим на 30% від номінальної потужності генератора. Наявність перетворювача дозволяє управляти частотою ротора, отже, швидкістю ротора в 30% діапазоні потужності близько синхронної швидкості. Також, перетворювач виконує функцію компенсації реактивної потужності і покращує підключення до розподільчої мережі.

Тип D часто обладнаний синхронним генератором (СГ) з постійними магнітами, але можливе виконання і з АГ з короткозамкненим (КЗ) ротором. У даній концепції обмотки статора підключаються в мережу через перетворювач, розрахований на повну потужність генератора. Також, як і в попередньому типі, перетворювач виконує функцію компенсації реактивної потужності і покращує підключення до розподільчої мережі.

В якості перетворювача частоти для СГ з постійними магнітами економічно ефективно використовувати простий діодний випрямляч, так званий односпрямований перетворювач, тому що СГ не потребує реактивної потужності, а активна потужність протікає однонаправлено від генератора в мережу [2].

У вітрогенератори з регульованою швидкістю обертання, обладнаних АГ, найбільш часто використовуваних перетворювачем частоти є дворівневий перетворювач з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) [3]. Вони виконуються зі зворотним зв'язком і підключаються до мережі через трансформатор. Основною перевагою даного типу є висока надійність за рахунок відносно простої структури і малої кількості елементів.

Однак наявність дворівневої вихідної напруги призводить до погіршення якості електроенергії, з чого випливає необхідність застосування громіздких фільтрів.

Обмежує область їх застосування той факт, що в міру збільшення потужності і напруги вітрогенераторів в таких перетворювачах виникають великі втрати при перемиканні, що призводить до зниження ефективності їх використання. У зв'язку з цим для високих потужностей і напруг необхідно використовувати додаткове комутаційне обладнання, що призведе до ускладнення структури перетворювача і зменшення надійності.

Альтернативою дворівневим перетворювачів з ШІМ є багаторівневі перетворювачі, тому що вони більш високого рівня вихідної напруги і більш високою вихідною потужністю [5].

Багаторівневі перетворювачі класифікуються за трьома структурам [5]:

- структура з фіксованою нейтральною точкою;
- структура з плаваючими конденсаторами;
- структура каскадних комірок.

Економічно доцільно використовувати даний тип перетворювача в вітрогенератори типу D потужністю від 3 до 7 МВт.

Багатокоміркові перетворювачі найчастіше засновані на H-мостовій схемі, недоліком якої є необхідність кожного осередку в своєму ланці постійного струму. Також може виникнути необхідність використання складного імпульсного трансформатора з боку генератора, що призведе до значного збільшення ваги і обсягу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Ackermann T. Wind power in power systems. – Stockholm :John Wiley & Sons, 2012 – 691 p.
2. Larsson, A. The power quality of wind turbines. – Goteborg: Chalmers bibliotek, 2000 – 46 p.
1. Oliveira D.S., Reis M.M., Silva C., Colado L B., Antunes F., Soares B.L. A Three-Phase High-Frequency Semicontrolled Rectifier for PM WECS. – IEEE Transactions on Power Electronics, vol.25, no.3, , March 2010. – pp.677-685
2. Pena R., Clare J.C., Asher G.M. Doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters and its application to variable speed wind-energy generation. – Electric Power Application, Vol. 143, No. 3, 1996, – pp. 231-241.
3. Rodriguez J., Bernet S., Wu Bin, Pontt J.O., Kouro S., Multilevel Voltage-Source-Converter Topologies for Industrial Medium-Voltage Drives, – IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 54, no. 6, 2007. – pp. 2930-2945.

## АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА І ОЦІНКА ЇЇ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

<sup>1</sup>Настасенко В.О., <sup>2</sup>Шефкед С.І., <sup>2</sup>Москаленко В.В., <sup>2</sup>Гуртовой В.І.

<sup>1</sup>Херсонська державна морська академія (Україна)

<sup>2</sup>Херсонська філія Національного університету кораблебудування (Україна)

**Вступ.** Робота відноситься до сфери нетрадиційної енергетики, а саме до оцінки наслідків її використання.

**Аналіз стану проблеми, постановка мети і задач роботи.** До основних джерел альтернативної енергетики відносять енергію сонця, вітру і води, в значно меншій мірі використовують термальну енергетику.

Енергію сонця сприймають у 2-х видах: 1) як фотоелектричну; 2) як теплову.

Енергію вітру також сприймають у 2-х видах: 1) у судноплавстві – як тягу, що створюють вітрила; 2) у більшості випадків – як кінетичну енергію руху повітряних потоків, перетворену вітряними колесами і електрогенераторами в електричну енергію.

Енергію води сприймають щонайменше у 4-х видах: 1) потенційної енергії тиску води, створюваних дамбами гідроелектростанцій; 2) кінетичної енергії потоків води, створюваних приливними та відливними хвилями; 3) кінетичної енергії потоків води, створюваних морськими течіями, 4) кінетичної і потенційної енергії руху і підйому хвиль. Найбільш доцільно при цьому отримати електричну енергію, яка універсальна.

Термальну енергію сприймають у 4-х видах: 1) як теплову енергію гейзерів; 2) як наслідок різниці температур на поверхні і в глибині Землі, 3) як наслідок різниці температур на поверхні і в глибині моря, 4) як наслідок різниці температур течій в морі.

Порівняльний стан потужностей виробництва альтернативної енергетики при загальній річній потужності усіх енергоустановок 3800 ГВт наведений у таблиці 1:

Таблиця 1. Показники потужності основних видів альтернативної енергетики

Показник	Річна світова потужність, ГВт	Доля в загальній потужності, %
Великі ГЕС	720	19
Малі ГЕС	61	1,6
Вітроустановки	48	1,26
Геотермальні установки	8,9	0,23
Фотоелектричні установки		
стаціонарні	2,2	0,06
побутові	1,8	0,047
Океанські приливні	0,3	0,008

Кожний з цих видів має свої переваги і недоліки, тому головною метою даної роботи є їх встановлення і аналіз. Науковою новизною виконуваної роботи є результати аналізу переваг і недоліків використання основних джерел альтернативної енергетики і вироблення рекомендацій з їх використання.

Найбільш швидкими темпами в останні 10 років розвивалися: фотоелектричні перетворювачі енергії (до 50% щорічного приросту), вітроустановки – до 30% приросту, геотермальні – до 13%, малі ГЕС – до 8%, Щорічний приріст для теплових станцій становив  $\approx 4\%$ , крупна гідроелектростанцій  $\approx 2\%$ , атомних станцій  $\approx 1,6\%$ . Не зважаючи на те, що такий стрімкий ріст обумовлений відносно невеликими початковими показниками потужності в сфері альтернативної енергетики, однак темпи приросту і пріоритет розвитку цих напрямків є найбільшим. Таким чином, підтверджується актуальність і практична значимість виконуваної роботи.

**Аналіз екологічності альтернативних енергетичних систем.** В основу даного аналізу покладені наслідки використання альтернативних енергетичних систем.

Для сонячної енергетики – головним стримуючим фактором є відносно малий ККД перетворення сонячної енергії в напівпровідникових системах:  $\approx 16\ldots 18\%$ . При цьому поки немає теоретичних посилянь на його збільшення за межі 24%. Однак для екваторіальних зон показник їх потужності зростає на 20...25%, для середніх широт становить 100% і значно зменшується для високих широт. Таким чином, головним негативним екологічним наслідком для даних систем є відчуження великих площ земель для станцій великої потужності. Порівняльні показники наведені на рис.1 і 2.



Рисунок 1. Сонячна електростанція піковою потужністю 27 МВт біля смт Лазурне Херсонської області та її габарити



Рисунок 2. Сучасний судновий ДВЗ WARTSILA 7RT-flex 84T-D потужністю 40 тис. кінських сил, або 29,4 МВт і його габарити

Габарити ДВЗ WARTSILA 7RT-flex 84T-D, який на 8% більш потужний, ніж сонячна електростанція, становлять чверть від її технічної будівлі (рис. 1). При цьому пікова потужність досягається тільки опівдні і станція не виробляє електричну енергію вночі, значно зменшується її виробництво у хмарні та дощові дні. Окрім того, собівартість виробництва сонячної енергії в 2...3 рази вища собівартості її виробництва в ТЕЦ. Однак інший екологічний показник – зменшення викидів CO<sub>2</sub> (які ведуть до парникового ефекту) та інших шкідливих викидів від спалювання палива в ТЕЦ, може зменшити негативний наслідок відчуження земель, особливо в зонах пустель. Ще більш привабливим є використання сонячних батарей на покрівлях будинків ( $20 \text{ м}^2 \approx 3 \text{ кВт}$ ), але воно ефективне лише для котеджів і ферм, і менш ефективне для багатоповерхових будинків. Тому дане джерело енергії може бути лише додатковим до інших.

Теплові сонячні системи мають ще нижчий ККД, ніж фотоелектричні, однак вони простіші і дешевші у виготовленні і експлуатації, тому перспективні для котеджів і ферм. Еквівалент їх використання досягає 70% від побутових фотоелектричних систем.

Іншим джерелом енергії можуть бути польові вітряні електростанції, потужність яких досягає 8 МВт, довжина лопатні 80 м, (рис.3.а), і приватні вітряні електростанції,

потужністю 3... 5 кВт (рис.3.б), що теж ефективно для котеджів і ферм і менш ефективно для багатоповерхових будинків.

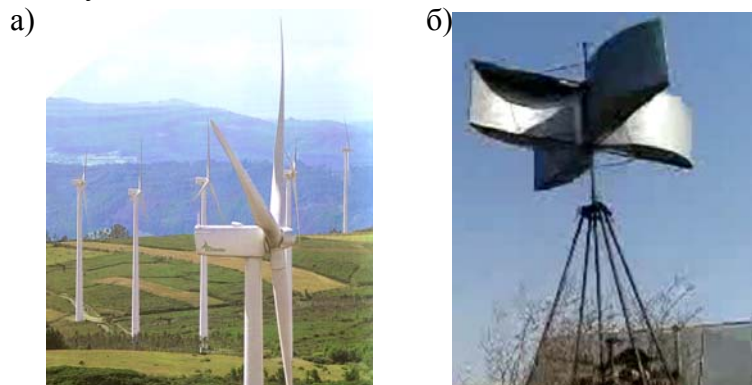


Рисунок 3. Вітряні електрогенератори великої (а) і малої (б) потужності

Головним стримуючим фактором для даних систем є також більша собівартість вироблення електроенергії, ніж на ТЕЦ. Другим фактором є утворення від обертання лопатей шкідливих для всього живого інфразвуків. Площа відчуження землі теж є – на відновлення повітряного потоку, але вона менша, ніж у сонячних електростанцій.

Оскільки вітрила створюють тільки тягу, наприклад, судну, тому використання їх у побутових умовах утруднене і в даній роботі не розглядається.

Основний енергетичний потенціал водної енергетики утворюють потужні гідроелектростанції. Вони теж відчужують велику кількість земель і впливають на екологію оточуючого середовища. Окрім того вони дорожчі за ТЕЦ і їх довго будують, але вартість електричної енергії у них найменша. Обмеженнями їх використання є гідроресурси водоймищ – відносно мало місць, де можна будувати гідроелектростанції.

Використання енергії потоків води, створюваних приливними та відливними хвилями, можливе по аналогії з гідроелектростанціями, у яких водоймище відгороджене дамбами у прибережній смузі. Приливна хвиля заповнює водоймище і обертає робочі колеса гідротурбін, а при відливі – накопичена вода витікає з водоймища і знову обертає робочі колеса гідротурбін. При цьому відчуження земель на суходолі відсутнє. Однак вартість і терміни побудови даних систем приблизно такі, як у гідроелектростанцій.

Кінетичну енергію потоків води, створюваних морськими течіями, сприймають пропелери і гвинтові робочі колеса систем, показаних на рис. 4.

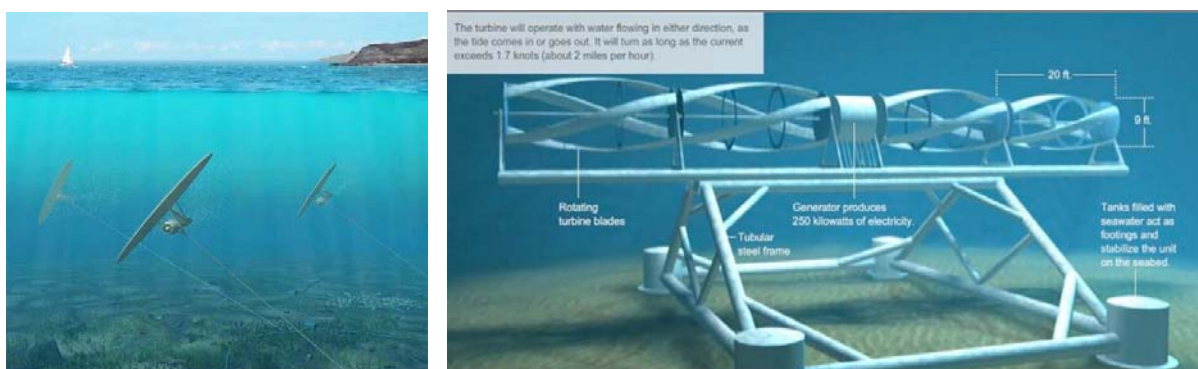


Рисунок 4. Енергетичні системи для відбору потужності морських течій

Однак відбір енергії морських течій уповільнює їх рух, що суттєво впливає на екологію оточуючого середовища, тому є головним обмежувачем їх використання.

Більш перспективним є використання кінетичної і потенційної енергії руху і підйому хвиль, яке можливе в багатьох системах, основні види яких показаних на рис. 5, оскільки не веде до відчуження земель і до погіршення оточуючого середовища.

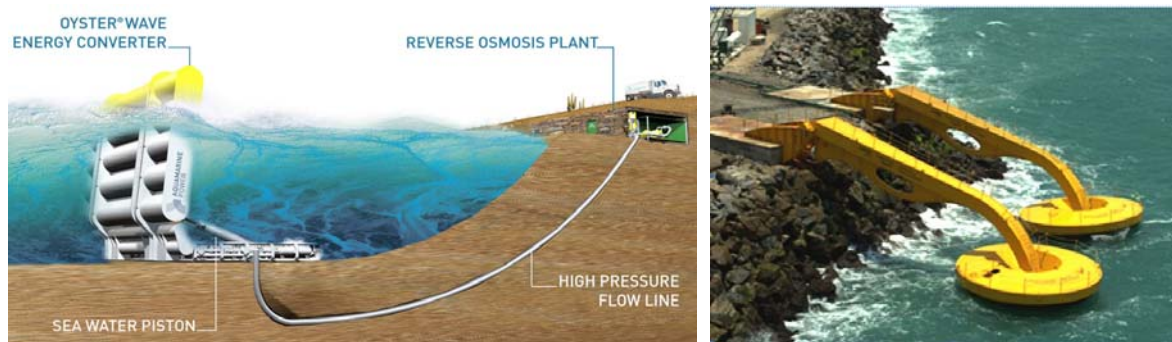


Рисунок 5. Гідрохвильові системи для перетворення поступального руху і підйому морських хвиль

При цьому рухомі частини систем приводять до руху поршні, що качають воду, яка може бути направлена на робоче колесо електрогенератора. Недоліками даних систем є велика кількість перетворень енергії хвиль у електричну енергію, що зменшує їх ККД. Однак головними обмежувачими факторами – є можливість зміни напрямку дії хвиль та можливість поломки систем при ударах потужних хвиль.

Усувають вказані недоліки суднові гідрохвильові прибережні електростанції за патентом на винахід РФ №2626188 професора В.О.Настасенко (рис. 6):

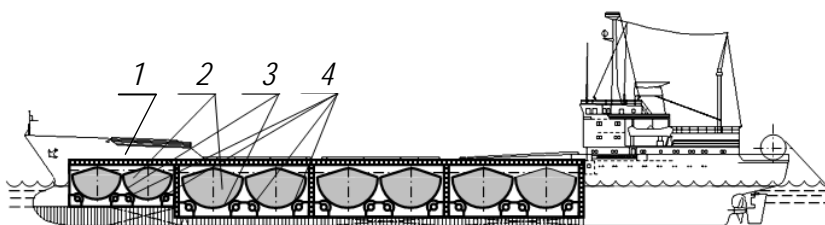


Рисунок 6. Гідрохвильова суднова електроенергетична система маятникового типу опорно-дугового принципу дії

В корпусі 1 поперек судна вільно встановлені вантажі 2 з дуговою основою 3 на опорні ролики 4, що пов'язані з електрогенераторами. Вільна установка на ролики вантажів надає їм стійку орієнтацію до центру Землі за рахунок сил інерції їх великих мас. При нахилі корпусу судна хвилями, ролики котяться по дуговій основі вантажу і обертають вал ротора електрогенератора, який може бути оснащений мультиплікатором для збільшення частоти його обертів.

Розміщення систем всередині міцного корпусу, прилаштованого для протидії хвилям, можливість зустрічі фронту хвиль носом, а також відведення в укриття власним ходом при дії надмірних хвиль, усувають недоліки експлуатації попередніх станцій.

Оскільки використання термальної енергії гейзерів обмежене їх географічним розташуванням, її доля серед інших видів термальної енергії постійно зменшується, тому в даній роботі не розглядається.

Використання геотермальної та гідротермальної енергії, що виникає за рахунок різниці температур між шарами цих середовищ, зростає. Однак при цьому температура поверхневих шарів зменшується, а глибинних – збільшується, тому при значній величині використання енергії – зростає загроза екологічних наслідків. Наприклад, зменшення температури Гольфстріму на  $0,1^{\circ}\text{C}$  приведе до збільшення полярного кола на 100 км і до глобальних змін клімату в Європі.

**Висновки.** Використання альтернативних джерел енергії має свої обмеження і перспективи, що потребує ретельного аналізу при конкретних випадках її використання. Найменші загрози і обмеження можливі при використанні гідрохвильової енергетики в прибережних станціях за патентом на винахід РФ №2626188 професора В.О.Настасенко.



## **АНАЛІЗ ТА МЕТОДИКА ВИБОРУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ АГРЕГАТІВ ДЛЯ РОЗПУШУВАННЯ ҐРУНТУ**

Пелевін Л.Є., Горбатюк Є.В., Терентьев О. О.

Київський національний університет будівництва і архітектури (Україна)

**Вступ.** У зв'язку з тим, що міцні ґрунти мають підвищену міцність, їх розробка землерийними машинами неможлива без попередньої обробки, спрямованої на зниження опору ґрунту для подальшої його розробки [1].

Нині використовуються різні способи розробки міцних ґрунтів [2], основні з яких це буропідривні роботи та розпушування ґрунту навісними розпушниками.

**Аналіз публікацій.** Найбільш ефективним способом руйнування мерзлих та міцних ґрунтів з точки зору продуктивності машин і собівартості розробки ґрунту є горизонтальне пошарове розпушування навісними розпушувачами на базі потужних тракторів [1].

В роботі [2] приведено аналіз існуючих конструкцій розпушувальних агрегатів та принципи їх реалізації, але не розглянуті тенденції розвитку розпушників та не наведено математичний апарат руху робочих органів.

При горизонтальному розпушуванні відрив стружки ґрунту від масиву відбувається у напрямку відкритої поверхні, що є найменш енергоємним способом. В цьому випадку переважають зусилля розтягнення (розриву) ґрунту, які у декілька разів менші ніж зусилля стиску або зсуву [3].

Розпушування ґрунту в порівнянні з буропідривним методом забезпечує зниження витрат, сприяє підвищенню якості робіт і є менш небезпечним для довкілля [4].

Ефективність розпушувального агрегату значною мірою залежить від раціональних режимів роботи силової установки. Системи керування, що серійно випускаються на цей час, прилади індикації, а також уповільнена реакція людини-оператора на умови робочого процесу, що швидко змінюються, не дозволяють повною мірою використати тягові можливості машини [5].

В процесі роботи розпушувального агрегату його ходове устаткування взаємодіє з ґрунтом, що викликає некеровані переміщення робочого органа в просторі. Це призводить до зміни глибини розпушування та до зміни реакції ґрунту на робочому органі [6].

В роботах [7, 8] здійснено аналіз факторів і наведені математичні рівняння для визначення положення робочого органа розпушника. В роботі [7] не наведено математичні моделі взаємодії рушії з ґрунтом. В роботі [8] автори не дослідили вплив реакції ґрунту при його руйнуванні на некеровані переміщення робочого органа.

**Мета і постановка задачі.** Актуальною проблемою є вдосконалення систем керування розпушувальних агрегатів, що частково або повністю виключає людину-оператора з контурів управління двигунами внутрішнього згоряння і положенням робочого органу.

Основним завданням роботи є аналіз впливу параметрів гідроприводу та систем керування на ефективність роботи розпушувального агрегату та складання методики вибору основних параметрів системи керування розпушувальним агрегатом.

Метою роботи є підвищення ефективності розпушувального агрегату шляхом удосконалення його системи керування.

**Аналіз та методика вибору основних параметрів систем керування агрегатів для розпушування ґрунту.**

У відповідності з прийнятими задачами теоретичних досліджень [9] необхідно визначення параметрів пропонованої системи керування розпушувального агрегату, при яких буде дотримуватися прийнятий в роботі критерій ефективності  $E_p$ . Виходячи з визначення ефективності робочого процесу землерийної машини як критерій ефективності використовується відношення експлуатаційної продуктивності до годинного розходу палива. Критерій ефективності використовується для оцінки ефективності робочого процесу розпушувального агрегату. Збільшення ефективності розпушувального агрегату можливе зниженням дисперсії коливань робочого обладнання. Таким чином, збільшується значення

ефективної глибини розпушування, а відповідно, і об'єм ґрунту, який розроблюється.

У табл. 1 представлені значення варійованих при дослідженнях на математичній моделі параметрів:  $\tau_3$  – час запізнювання гідروприводу;  $v_{шт}$  – швидкість штока виконавчого гідроциліндра;  $b_1$  – поріг спрацьовування порогового елемента системи керування для регуляторної гілки;  $b_2$  – поріг спрацьовування порогового елемента системи керування для коректурної гілки;  $c$  – поріг спрацьовування порогового елемента системи керування на відключення. Гідропривід розглядається як частина системи керування.

Таблиця 1. Значення варійованих параметрів гідроприводу та системи керування

№ з/п	Параметри, які фіксуються				
	$v_{шт}$ , м/с	$b_1$ , Н·м	$b_2$ , Н·м	$c$ , Н·м	$\tau_3$ , с
1	0...0,3	0...100	0	0	0,1...0,5
2	0...0,3	0	0...100	0	0,1...0,5
3	0...0,3	0...100	0...100	0...30	0,1...0,5

Аналіз залежності показника ефективності від значення порогу  $b_1$  при різних значеннях швидкості штока гідроциліндра і часу запізнення гідроприводу показав, що:

- при малих значеннях швидкості руху штока гідроциліндра  $v_{шт}$  потрібно більш швидко спрацьовування системи керування (менші значення порогу  $b_1$ );
- збільшення швидкості руху штока гідроциліндра  $v_{шт}$  до деякого значення (для  $\tau_3 = 0,1...0,4$  с,  $v_{шт} = 0,2...0,25$  м/с) веде до збільшення раціонального значення порогу  $b_1$ . Подальше збільшення  $v_{шт}$  призводить до необхідності знижувати значення  $b_1$ ;
- для кожного значення  $\tau_3$  існує раціональне значення швидкості руху штока гідроциліндра  $v_{шт}$ , якому відповідає своє значення  $b_1$ .

Аналіз залежностей ефективності та раціонального значення порога  $b_2$  від параметрів гідроприводу  $v_{шт}$  та  $\tau_3$  показав, що залежність раціональних значень порогу системи керування для коректурної ланки  $b_2$  від параметрів гідроприводу аналогічна залежності порогу системи керування  $b_1$ .

Аналіз залежності  $E_{п} = f(c, \tau_3)$  показав, що для кожного значення  $\tau_3$  залежність має виражений максимум, і зі зменшенням часу запізнювання гідроприводу необхідно зменшувати поріг на відключення системи керування. Останнє пов'язано з необхідністю збільшення швидкості спрацьовування системи керування зі збільшенням часу запізнювання гідроприводу при поданні на нього командних дій.

Проведені дослідження дозволяють скласти методику вибору основних параметрів системи керування розпушувальним агрегатом (рис. 1, 2), яка складається з двох частин:

- 1) визначення робочої точки системи керування розпушувальним агрегатом;
- 2) визначення основних параметрів системи керування розпушувальним агрегатом.

Моделювання на комп'ютері робочого процесу розпушувального агрегату робилося з використанням пакету програм для інженерних і наукових розрахунків MATLAB 6.5. Найбільш відомі сфери застосування системи MATLAB [10]:

- математика і обчислення;
- розробка алгоритмів;
- обчислювальний експеримент, імітаційне моделювання, макетування;
- аналіз даних, дослідження і візуалізація результатів;
- наукова і інженерна графіка;
- розробка додатків, включаючи графічний інтерфейс користувача.

Безпосередньо для моделювання робочого процесу розпушувального агрегату використовувалася додаток MATLAB Simulink версії 5.0, призначений для імітаційного моделювання. При моделюванні в Simulink використовується принцип візуального програмування, відповідно до якого користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки [11].

Алгоритм визначення раціональних параметрів системи керування розпушувальним агрегатом був реалізований на мові MATLAB, при цьому робилося завдання параметрів моделі, запуск моделювання і аналіз отриманих даних.

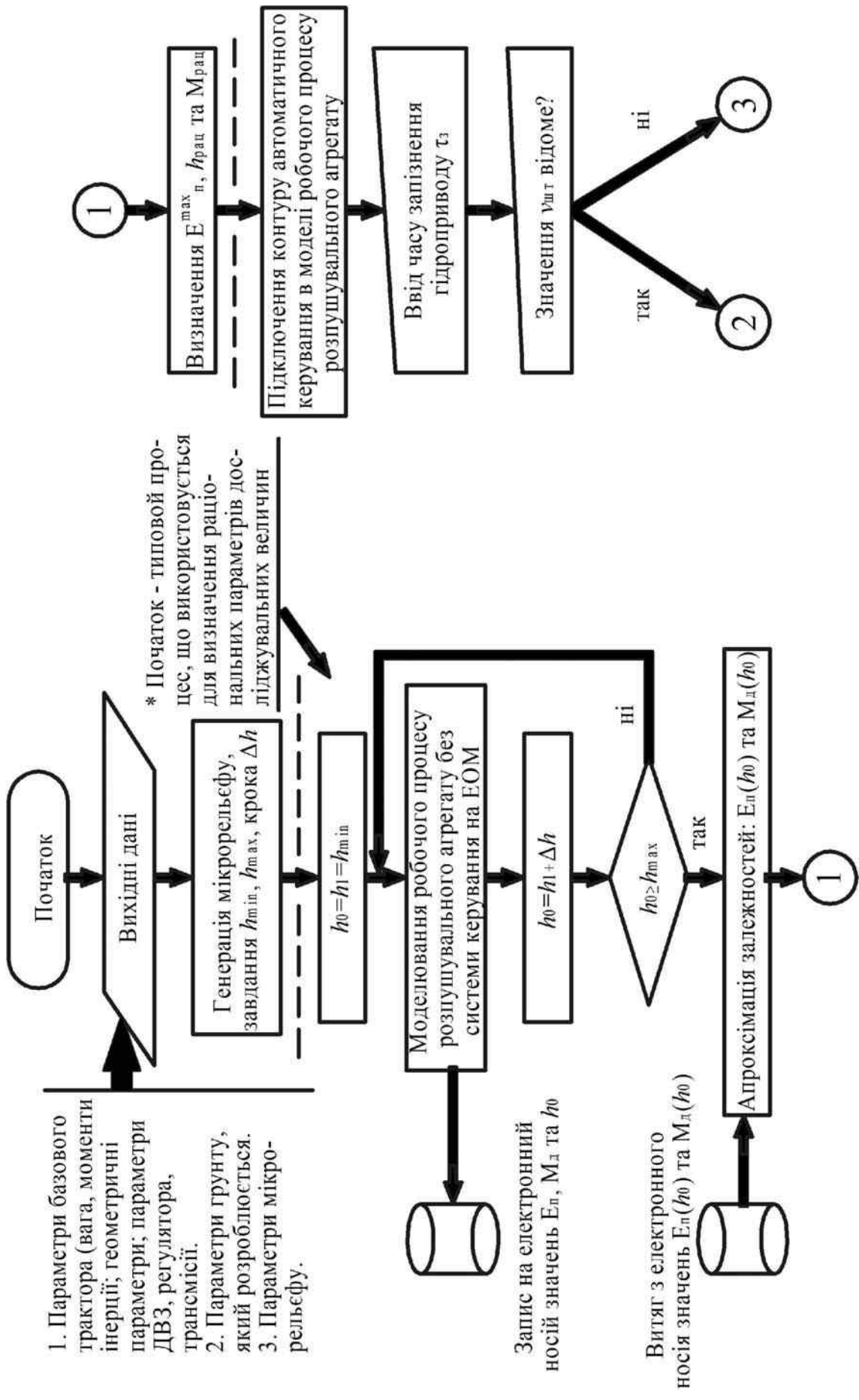


Рисунок 1. Блок-схема вибору раціональних параметрів системи керування розпущувального агрегату

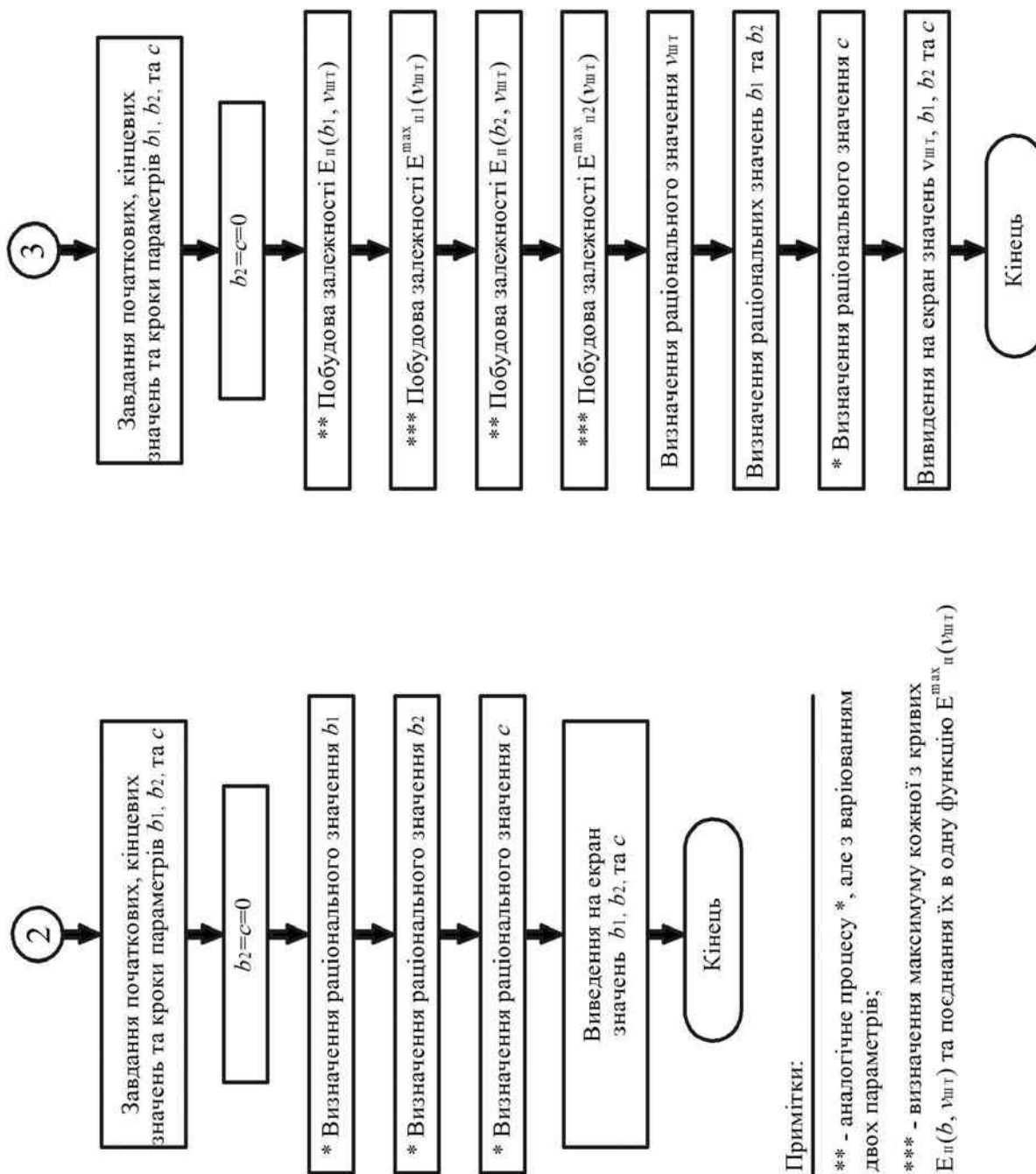


Рисунок 2. Блок-схема вибору раціональних параметрів системи керування розпушувального агрегату

Реальний час одного проходу при тривалості моделювання 150 секунд складав від 1 до 1,5 хвилин. Тривалість повного циклу від завдання початкових даних до виведення на екран отриманих раціональних значень параметрів гідроприводу і системи керування при невідомій швидкості руху штока гідроприводу  $v_{шт}$  та восьми інтервалів для кожного варіюваного параметра, складала 2...3 години.

Аналіз випадкових процесів робився за допомогою пакету програм Statistics Toolbox, що входить до складу MATLAB. Визначення максимуму функцій, а також їх апроксимація робилися за допомогою пакету програм Optimization Toolbox, що також входить до складу MATLAB.

**Висновки.** Характеристики гідроприводу є визначальними при виборі параметрів системи керування розпушувального агрегату. Основним визначальним параметром є час запізнювання гідроприводу  $\tau_3$ , оскільки цей параметр впливає на характер залежностей показника ефективності як від швидкості руху штока гідроприводу, так і від параметрів системи керування. Швидкість руху штока гідроприводу визначає характер залежностей показника ефективності від параметрів системи керування.

Застосування вдосконаленої системи керування розпушувального агрегату дозволяє підвищити його ефективність на 17...20% [9].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Будівельна техніка: підручник / О. М. Лівінський, А. Д. Єсипенко, О. І. Курок і ін.; під заг. ред. О. М. Лівінського. – К.: КНУБА, Українська академія наук, “МП Леся”, 2013. – 614 с.
2. Toshov J.V. Questions modeling of dynamics of drilling tools on the bottom hole. / J. V. Toshov, M. K. Shukurov // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 1–2 (1) 2014. – pp. 116–122.
3. Доценко А. И. Машины для земельных работ: учебник для студентов вузов / А. И. Доценко, Г. Н. Карасев, Г. В. Кустарев, К. К. Шестопалов. – М.: Издательский дом “БАСТЕТ”, 2012. – 688 с.
4. Road and Bridge Construction Equipment. – Satya Narayan Shah: B.Sc. In Mechanical Engineering (India) MS in Manufacturing Engineering & Management (UK), January, 2012, 1. – 112 p.
5. Горбатюк Є. В. Аналіз тенденцій розвитку розпушуючих агрегатів / Є. В. Горбатюк, Т. В. Шевченко // Техніка будівництва: науково-технічний журнал. – К.: КНУБА, 2008. – Вип. 21. – С. 5–10.
6. Pirmatov S.T. Necessary conditions of summability of spectral expansion on eigenfunction of the operator laplace. European science review, “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 5–6 (3) 2015. – pp. 29–32.
7. Сівко В. Й. Прикладна механіка робочих процесів машин: монографія / В. Й. Сівко, М. П. Кузьмінець. – К.: НТУ, 2009. – 349 с.
8. Сухарев Р. Ю. Методика оптимизации параметров системы управления положением рабочего органа цепного траншейного экскаватора // Омский научный вестник. Серия: Приборы, машины и технологии. – Омск: ОмГТУ, 2008. – №2(68). – С. 61–64.
9. Pelevin L. Developing a mathematical substantiation for the physical modelling of the soil-ripping equipment work process / L. Pelevin, Ie. Gorbatyuk, S. Zaichenko, V. Shalenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – vol. 6, no. 2 (90): Information technology. Industry control systems. – pp. 52–60.
10. Дьяконов В. П. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения / В.П. Дьяконов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. – 800 с.
11. Черных И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений / Под. общ. ред. В.Г. Потемкина – М.: Диалог-МИФИ. – 2003. – 496 с.

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ РАБОТАЮЩИХ НА СЖИЖЕННОМ ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ**

Погорлецкий Д.С.

Херсонская государственная морская академия (Украина)

Важное место при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания (ДВС) транспортных средств занимает их предпусковая тепловая подготовка. Особенно сложным является «холодный» пуск, то есть пуск непрогретого двигателя в при низких температурах окружающей среды, причем для тех случаев, когда после пуска осуществляется полная нагрузка на ДВС [1].

Существуют различные способы и средства тепловой подготовки стационарных судовых [2] и тепловозных ДВС [1], но в связи с их специфическими особенностями конструкции и применения они не подходят для использования на колесных транспортных средствах.

Оптимальная тепловая подготовка двигателей колесных транспортных средств (ТС), работающих на сжиженном газовом топливе в условиях низких температур окружающей среды, особенно важна для обеспечения работоспособности. Специфические особенности сжиженного газового топлива (смесь пропана и бутана, в соотношении 70-75%) и топливной аппаратуры для его подачи в двигатель являются причиной осложнений при запуске ДВС работающего на сжиженном газовом топливе. Для решения данной проблемы рекомендуется использовать системы тепловой подготовки транспортного двигателя.

**Цель работы:** провести обзор известных способов тепловой подготовки ДВС транспортных средств работающих на сжиженном газовом топливе.

**Изложение основного материала:** Предпусковая тепловая подготовка, особенно важна для обеспечения работоспособности транспортных ДВС работающих на сжиженном газовом топливе (смесь пропана и бутана) в условиях низких температур окружающей среды. Принудительная предпусковая тепловая подготовка транспортного двигателя до соответствующей температуры не только облегчает его запуск, но и ускоряет после пусковое прогревание, снижая износ деталей, а также способствует снижению расхода топлива на прогрев в после пусковой период. Одним из наиболее важных свойств, пропана и бутана, отличающих их от других видов топлив, является образование при свободной поверхности над жидкой фазой двухфазной системы жидкость - пар, вследствие возникновения давления насыщенного пара, давления пара в присутствии жидкой фазы в баллоне. Эти два газа (пропан и бутан) различаются между собой температурой кипения, при которой они переходят из жидкого в газообразное состояние. Пропан перестает переходить в газ и остается в жидком состоянии при температуре - 43 °С, для бутана эта температура равна 0° С [3].

Процесс пуска транспортного ДВС, работающего на сжиженном газовом топливе в условиях низких температур окружающей среды, осложненный тем, что редуктор испаритель газовой системы питания нужно предварительно подогреть для достаточного испарения газового топлива до температуры 40 - 55 °С. При невыполнении этого условия уменьшается скорость распространения фронта пламени и не обеспечивается в момент пуска оптимальный состав топливной смеси при низких температурах.

Наиболее простым и распространенным способом предпусковой тепловой подготовки транспортного двигателя является подогрев охлаждающей жидкости с помощью специальных устройств [4]. Широко известны три группы предпусковых подогревателей [5]: автономные жидкостные, неавтономные электрические и тепловые аккумуляторы. Также существуют стационарные средства тепловой подготовки ДВС

работающих на сниженном газовом топливе, которые были рассмотрены в диссертации Темирбаева Р.М [6].

Жидкостные автономные предпусковые подогреватели фирм «Webasto» (рис.1) и «Eberspächer», работающие независимо от двигателя и в сочетании со штатной системой прогрева ТС (с жидкостным охлаждение) или в составе отдельной системы отопления, предназначенные для предпускового прогрева транспортного ДВС [7]. Системы предпускового прогрева фирмы «Webasto» и «Eberspächer» наряду с положительными показателями имеют и ряд отрицательных: дополнительное пожароопасное оборудования в подкапотном пространстве ТС; квалифицированное, своевременное и дорогостоящее техническое обслуживание; уровень шума; дорогие, и неремонтопригодные механизмы системы.

Неавтономные электрические предпусковые подогреватели DEFA WarmUp, фирмы «Defa» (Норвегия) которая старается добиваться теплового баланса без дополнительных насосов и термостатов. Теплообмен осуществляется путем естественной циркуляции охлаждающей жидкости. Используя электроэнергию в качестве топлива для своего оборудования, «Defa» (рис.1) заботится об экологии, а также позволяет своим пользователям существенно экономить на постоянно дорожающем топливе для ТС [8]. Также, к аналогичным системам предпускового подогрева относятся системы фирм: Calix (Швеция), Temgo (Канада), Hotstart (США), Северс (Россия), Лестар (Украина). Электрические предпусковые подогреватели привязаны к инфраструктуре и требуют наличия источника электропитания для их использования, что также уменьшает мобильности использования таких систем. Фирма АО «АС» является ведущим в Польше и авторитетным в мире производителем автомобильных инновационных газобаллонных систем (ГБО) LPG / CNG марки STAG. Компанией AC S.A. выпускается подогреватель газового редуктора STAG R01 CS (рис.1) [9]. Недостатком указанной системы подогрева является то, что она подогревает редуктор испаритель за счет использования встроенных электронагревательных элементов с использованием аккумуляторной батареи ТС. Основная часть жидкости системы охлаждения в целом пребывает холодная, это приводит к снижению температуры редуктора испарителя во время работы транспортного двигателя и к невозможности перевода двигателя на газовое топливо без достижения температуры системы охлаждения 45-55 °С.

Тепловой аккумулятор (ТА) является самым редким видом предпускового подогревателя ДВС транспортного средства, несмотря на то, что имеет высокую эффективность. Тепловой аккумулятор это устройство, которое позволяет при работе транспортного двигателя запасать тепло охлаждающей жидкости или отработанных газов, а затем отдавать эту теплоту двигателю перед следующим запуском при низких температурах окружающей среды [10]. Среди указанных устройств отдельно можно выделить так называемые тепловые аккумуляторы фазового перехода (ТАФП), которые появились в конце 80-х, начале 90-х годов XX-го века. В работах Шульгина В.В. [10], Вашуркина И.А. [11], Волкова В.П., Гутаревич Ю.Ф. и Грицука И.В. [1], рассмотрены вопросы применения ТАФП в системах предпускового подогрева транспортных ДВС, представлен обзор существующих конструкций.

Впервые серийный ТАФП для использования на транспортных двигателях предложил немецкий инженер О. Schatz в конце 90-х годов прошлого века. Сегодня по лицензии канадская фирма «CENTAUR Thermal System Inc» (рис.1) выпускает ТАФП четырех типов конструктивного исполнения [4]. Также известна система предпускового прогрева транспортного двигателя с аккумулятором тепла, разработанная компанией ООО «Гольфстрим» (г. Новосибирск). Эта система основана не на ТАФП, а на аккумуляторе тепла, который работает по принципу термоса с двойной металлической колбой [12]. Тепловые аккумуляторы фирм «CENTAUR Thermal System Inc», «Гольфстрим» более безопасны и экологичны при использовании но имеют также недостаток, их рабочая температура не более 50 °С.

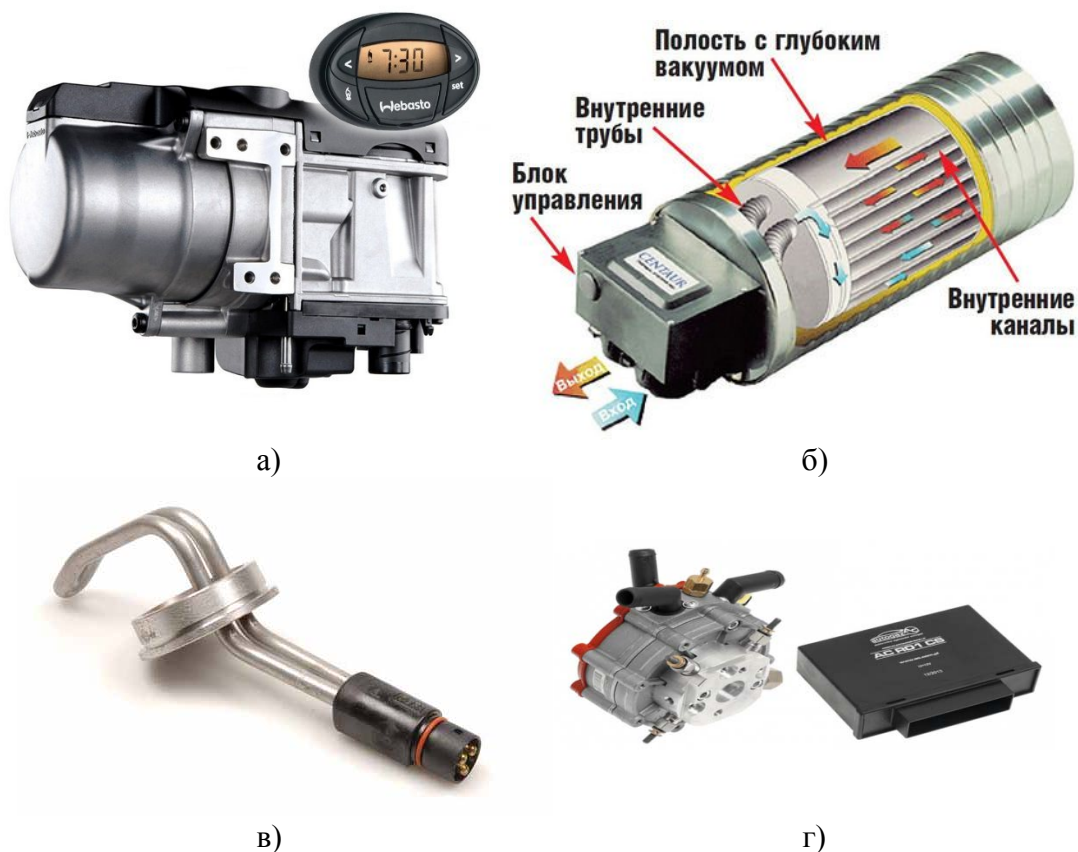


Рисунок 1. Основные типы предпусковых подогревателей: а) «Webasto»; б) «CENTAUR Thermal System Inc»; в) DEFA WarmUp; г) STAG R01 CS

Все рассмотренные способы тепловой подготовки могут использоваться на двигателях колесных ТС, работающих на сниженном газовом топливе, но они имеют ряд недостатков приведённых выше. Эти устройства обеспечивают стабильный пуск транспортного двигателя для достижения рабочей температуре  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  при которой ДВС может принимать нагрузку [1]. Но они не могут обеспечить после пусковую тепловую подготовку ДВС работающего на сжиженном газовом топливе, а тепловые аккумуляторы фазового перехода (ТАФП) позволяют обеспечивать пусковую и после пусковую тепловую подготовку транспортного ДВС, так как их рабочая температура составляет более  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Выводы.** Выполненный анализ показал, что в настоящее время не все используемые способы тепловой подготовки могут быть использованы на двигателях транспортных средств работающих на сжиженном газовом топливе. Выгодней и безопасней использовать тепловые аккумуляторы фазового перехода которые могут держать температуры пуска выше  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  и производить после пусковую тепловую подготовку двигателя что наиболее подходит для двигателей работающих на газовом топливе. В связи с этим можно сделать выводы, что исследования в данном направлении актуальны и требуют дополнительного внимания и рассмотрения данной проблемы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування: монографія / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич, В.Д. Александров і інш. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2015.- 314с.

2. И.В. Возницкий, А.С. Пунда. Судовые двигатели внутреннего сгорания, том 1-2: М. МОРКНИГА, 2008. - 470 с.



3. ГОСТ 27578-87. Газы углеводородные сжиженные для автомобильного транспорта [17.05.18]. [Електроний ресурс] / Режим доступа: [http://www.nge.ru/g\\_27578-87.htm](http://www.nge.ru/g_27578-87.htm) - 19.08.2018.
4. Найман В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях / В.С. Найман. – АСТ.: Астрель, 2007. – 213с.
5. Типы предпусковых подогревателей двигателя. [Електроний ресурс] / Режим доступа: <https://www.autoshcool.ru/1688-tipy-predpuskovykh-podogrevatelej-dvigatelya.html>. - 10.11.2017.
6. Р.М Темирбаева. Повышение эффективности эксплуатации газобаллонных автомобилей в условиях низких температур путем совершенствования процесса подогрева газа. Диссертация. 05.22.10, Омск 2004. – 119с.
7. Предпусковой подогреватель "Вебасто". [Електроний ресурс] / Режим доступа: <https://www.webasto.com/ru/>. - 10.11.2017.
8. Неавтономные электрические предпусковые подогреватели DEFA WarmUp. ". [Електроний ресурс] / Режим доступа: <http://www.defa.com.ru/>. - 19.08.18.
9. Подогреватель газового редуктора STAG R01 CS". [Електроний ресурс] / Режим доступа: <http://www.ac.com.pl/ru-firma-o-firmie>. - 10.11.2017.
10. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів: монографія / В.Д. Александров, Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук, Ю.В. Прилепський, В.А. Постніков, А.М. Гушин, Д.С. Адров, В.С. Вербовський, З.І. Краснокутська – Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (Донецьке відділення), 2014.- 230 с.
11. Вашуркин И.О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой / И. О. Вашуркин– СПб.: Наука, 2002. – 145 с.
12. Система предпускового подогрева двигателя. [Електроний ресурс] / Режим доступа: <http://golfstream-nsk.ru/products/> - 19.08.2018.

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЛНОПРИВОДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ВЕДУЩИХ КОЛЕС

<sup>1</sup>Подригало М.А., <sup>2</sup>Клец Д.М., <sup>1</sup>Кайдалов Р.О., <sup>1</sup>Кудимов С.А.

<sup>1</sup>Национальная академия Национальной гвардии Украины

<sup>2</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (Украина)

Курсовая устойчивость автомобиля является важным эксплуатационным свойством, влияющим на безопасность движения. На показатели курсовой устойчивости оказывают влияние, как условия движения, так и конструктивные параметры автомобиля. Наиболее важными факторами, определяющими устойчивость автомобиля, является коэффициент сцепления колес с дорогой, положение центра масс и распределение крутящих моментов (касательных реакций в пятне контакта колес с дорогой) между осями машины. Применение электропривода ведущих колес в электромобилях и автомобилях с комбинированными энергоустановками позволяет изменять распределение крутящих моментов между осями в зависимости от условий движения и степени загрузки автомобиля.

В специальной литературе [1] устойчивость рассматривается как свойство автомобиля обеспечивать заданное водителем направление движения. Нарушаемое действием боковых сил. Улучшение устойчивости автомобиля способствует повышению безопасности движения. Для оценки устойчивости в работе [2] предложен коэффициент устойчивости, который может быть определен из следующего уравнения вращательного движения автомобиля в плоскости дороги:

$$Jz\dot{\omega}_z = M_{возм} - M_{стаб} = M_{возм} \left( 1 - \frac{M_{стаб}}{M_{возм}} \right) = M_{возм} (1 - K_{уст}), \quad (1)$$

где  $Jz$  - момент инерции автомобиля относительно центральной вертикальной оси;

$\dot{\omega}_z$  - угловое ускорение автомобиля в плоскости дороги;

$M_{возм}; M_{стаб}$  - возмущающие и стабилизирующие моменты, действующие на автомобиль в плоскости дороги

$K_{уст}$  - коэффициент устойчивости автомобиля

$$K_{уст} = \frac{M_{стаб}}{M_{возм}} \quad (2)$$

Для определения моментов  $M_{стаб}$  и  $M_{возм}$  в работе рассмотрена схема сил, действующих на автомобиль при разгоне (рис. 1)

Из рис. 1 видно, что

$$M_{возм} = Rv_1 \cdot a \quad (3)$$

$$M_{стаб} = Rv_1 \cdot b \quad (4)$$

где  $Rv_1; Rv_2$  - предельные по условию сцепления боковые силы на передних и задних колесах;

$a; b$  - расстояние от передней и задней осей автомобиля до проекции центра масс на горизонтальную плоскость, проходящую через оси эти оси (горизонтальные координаты центра масс автомобиля);

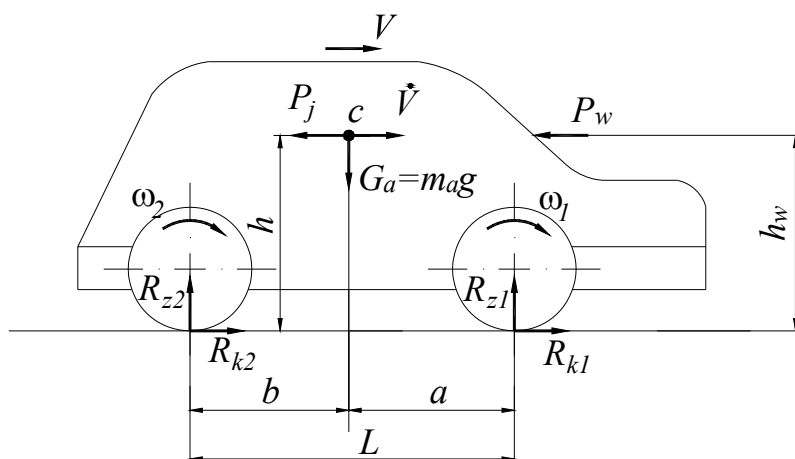


Рисунок 1. Схема сил, действующих на автомобиль при разгоне

$$a + b = L ; \quad (5)$$

$L$  – продольная колесная база.

Из рис. 1 можно определить предельные по сцеплению суммарные боковые реакции дороги

$$R_{v1} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{z1}^2 - K_R^2 \cdot R_K^2} ; \quad (6)$$

$$R_{v2} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{z2}^2 - (1 - K_R)^2 \cdot R_K^2} \quad (7)$$

где  $R_K$  – суммарная касательная реакция дороги на всех колесах автомобиля

$$R_K = R_{K1} + R_{K2} \quad (8)$$

$R_{K1}; R_{K2}$  – суммарные касательные реакции дороги на колеса передней и задней осей;

$$R_{K1} = K_R \cdot R_K \quad (9)$$

$$R_{K2} = (1 - K_R) \cdot R_K$$

$K_R$  – коэффициент распределения суммарной касательной реакции  $R_K$  на переднюю ось.

Однако в работе [2] при определении суммарных нормальных реакций была допущена погрешность, поскольку считалось, что тяговые силы прикладывались не на осях колес а в пятне контакта колес с дорогой

$$R_{z1} = m_a g \frac{b}{L} - R_K \frac{h}{L} \quad (10)$$

$$R_{z2} = m_a g \frac{a}{L} - R_K \frac{h}{L} \quad (11)$$

где  $m_a$  – масса автомобиля;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g=9,81\text{м/с}^2$

$h$  – высота центра масс автомобиля (рис. 1)

Суммарная касательная реакция на ведущих колесах автомобиля

$$R_k = m_d V + \frac{C_x}{2} \rho F V^2 \quad (12)$$

где  $\dot{V}$ ;  $V$  – линейное ускорение и скорость автомобиля;

$C_x$  – коэффициент лобового аэродинамического сопротивления;

$\rho$  – плотность воздуха;

$F$  – площадь лобового сечения (мидела) автомобиля.

В работе [2] после подстановки уравнений (10) и (11) в (6) и (7), соответственно, а затем (6) и (7) в (3), (4) и (2), получено уравнение для коэффициента устойчивости

$$K_{уст} = \frac{b}{a} \sqrt{\frac{\varphi^2 \left( m_a g \frac{a}{L} + R_k \frac{h}{L} \right)^2 - (1 - K_R)^2 R_K^2}{\varphi^2 \left( m_a g \frac{b}{L} - R_k \frac{h}{L} \right)^2 - K_R^2 R_K^2}} \quad (13)$$

Из условия  $K_{уст} \geq 1$  после постановки выражения (12) в (13), в работе [2] получена зона ускорений, в которой обеспечивается устойчивость автомобиля

$$\dot{V}_{уст} \leq \frac{\varphi^2 g \frac{b}{a} \frac{h}{L}}{0,5 \left( \frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \left[ K_R^2 - \left( \varphi \frac{h}{L} \right)^2 \right] - \frac{b^2}{a^2} (K_R - 0,5)} - \frac{C_x}{2m_a} \rho F V^2 \quad (14)$$

Однако в работе [2], поскольку рассматривались автомобили с традиционным механическим приводом, не рассматривались приводы с регулируемым распределением крутящих моментов между осями. Появление электромобилей и гибридных автомобилей позволяет реализовать регулируемое распределение крутящих моментов между осями. Это требует дополнительного исследования.

В работе [3] доказано, что тяговая сила на ведущих колесах должна прикладываться на оси, а не в пятне контакта. В этом случае уравнение (10) и (11) примут вид

$$R_{z_1} = m_a g \frac{b}{L} - R_k \frac{h - r_d}{L} \quad (15)$$

$$R_{z_2} = m_a g \frac{a}{L} - R_k \frac{h - r_d}{L} \quad (16)$$

где  $r_d$  - динамический радиус ведущих колес.

Выражение (13) и (14) с учетом модернизированных уравнений (15) и (16) примут вид

$$K_{уст} = \frac{b}{a} \sqrt{\frac{\varphi^2 \left( m_a g \frac{a}{L} + R_k \frac{h - r_d}{L} \right)^2 - (1 - K_R)^2 R_K^2}{\varphi^2 \left( m_a g \frac{b}{L} - R_k \frac{h - r_d}{L} \right)^2 - K_R^2 R_K^2}} \quad (17)$$

$$\dot{V} \leq \frac{\varphi^2 g \frac{b}{a} \frac{h-r_d}{L}}{0,5 \left( \frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \left[ K_R^2 - \left( \varphi \frac{h-r_d}{L} \right)^2 \right] - \frac{b^2}{a^2} (K_R - 0,5)} - \frac{C_x}{2m_a} \rho F V^2 \quad (18)$$

Максимальная величина ускорения по условию устойчивости имеет вид

$$\left( \dot{V}_{уст} \right)_{\max} \leq \frac{\varphi^2 g \frac{b}{a} \frac{h-r_d}{L}}{0,5 \left( \frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \left[ K_R^2 - \left( \varphi \frac{h-r_d}{L} \right)^2 \right] - \frac{b^2}{a^2} (K_R - 0,5)} - \frac{C_x}{2m_a} \rho F V^2 \quad (19)$$

Используя метод парциальных ускорений [4] представим уравнение (19) в виде

$$\left( \dot{V}_{уст} \right)_{\max} = \dot{V}_{тяг}^{парц} - \dot{V}_w^{парц} \quad (20)$$

где  $\dot{V}_w^{парц}$  - парциальное ускорение, создаваемое аэродинамической силой;

$$\dot{V}_w^{парц} = \frac{C_x}{2m_a} \rho F V^2 \quad (21)$$

где  $\dot{V}_{тяг}^{парц}$  - парциальное ускорение, создаваемое тяговой силой,

$$\dot{V}_{тяг}^{парц} \leq \frac{\varphi^2 g \frac{b}{a} \frac{h-r_d}{L}}{0,5 \left( \frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \left[ K_R^2 - \left( \varphi \frac{h-r_d}{L} \right)^2 \right] - \frac{b^2}{a^2} (K_R - 0,5)} - \frac{C_x}{2m_a} \rho F V^2 \quad (22)$$

Уравнение (22) можно представить в виде

$$\dot{V}_{тяг}^{парц} = \left( m_{\varphi уст} \right)_{\max} \varphi g \quad (23)$$

где  $\left( m_{\varphi уст} \right)_{\max}$  - коэффициент использования сцепного веса автомобиля в тяговом режиме, максимальный по условию сохранения курсовой устойчивости

$$\left( m_{\varphi уст} \right)_{\max} \leq \frac{2 \frac{a}{b} \frac{h-r_d}{L}}{\left( 1 - \frac{a^2}{b^2} \right) \left[ K_R^2 - \left( \varphi \frac{h-r_d}{L} \right)^2 \right] - (2K_R - 1)} \quad (24)$$

Из равенства (20) видно, что  $\left( \dot{V}_{уст} \right)_{\max}$  увеличивается с уменьшением  $\dot{V}_w^{парц}$  и увеличением  $\dot{V}_{тяг}^{парц}$ . Максимальное значение парциального тягового ускорения

$$\left(\dot{V}_{\text{тяг}}^{\text{парц}}\right) = \varphi g = \dot{V}_{\text{пред}} \quad (25)$$

где  $\dot{V}_{\text{пред}}$  - предельное ускорение автомобиля, определяемое сцеплением ведущих колес с дорогой (для полноприводного автомобиля).

Для реализации соотношения (25) необходимо обеспечить

$$\left(m_{\text{уст}}\right)_{\text{max}} = 1 \quad (26)$$

Из уравнения (24) при выполнении условия (26) определим

$$K_R = \frac{1 - \sqrt{1 - \left(1 - \frac{a^2}{b^2}\right) \left[ \left(1 - \frac{a}{b} \varphi \frac{h - r_d}{L}\right)^2 - \left(\varphi \frac{h - r_d}{L}\right)^2 \right]}}{1 - \frac{a^2}{b^2}} \quad (27)$$

Таким образом, при регулировании распределения крутящих моментов между осями по закону (27) обеспечивается курсовая устойчивость автомобиля при всех ускорениях реализуемых без буксования колес.

Вывод. В результате проведенного исследования уточнена зависимость максимального по устойчивости ускорения от скорости автомобиля. Указанное уточнение показывает, что при постоянном распределении крутящих моментов между осями  $\left(\dot{V}_{\text{уст}}\right)_{\text{max}}$  снижается, что показывает более низкую курсовую устойчивость автомобиля. Появление автомобилей с электрическим приводом ведущих колес позволяет реализовать регулирование распределение крутящих моментов между осями. В результате проведенного исследование получен рациональный закон регулирования, обеспечивающий курсовую устойчивость автомобиля при всех возможных значениях ускорения автомобиля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Подригало М.А. Устойчивость колесных машин как сложное эксплуатационное свойство / М.А.Подригало, Д.М.Клец, Н.П.Артемов // Автомобильный транспорт. Вып.29. Харьков; ХНАДУ, 2011.–с. 179-183
2. Подригало М.А. Устойчивость автомобиля против заноса в тяговом режиме движения / М.А.Подригало, Д.М.Клец // Автомобильная промышленность, 2009 - №12.–с. 23-26
3. Подригало М.А. Качение автомобильного колеса и определение понятия “тяговая сила” (В порядке обсуждения) / М.А.Подригало // Автомобильная промышленность, 2007 - №1.–с. 25-26
4. Артемов Н.П. Метод парциальных ускорений и его приложение в динамике мобильных машин / Н.П.Артемов, А.Т.Лебедев, А.С.Полянский и др.// Харьков: Міськдрук, 2012.-220с.

## **К ВОПРОСУ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СЖИГАЮЩИХ УСТРОЙСТВ КАК ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

<sup>1</sup>Скальга Н. Н., <sup>1</sup>Рудинец Н.В., <sup>2</sup>Вербовский В.С.

<sup>1</sup>Луцкий национальный технический университет (Украина)

<sup>2</sup>Институт газа НАН (Украина)

### **Введение.**

На сегодняшний момент времени в системах охлаждения ДВС транспортных средств, в частности, автомобильных, как рабочее тело широко используются различные антифризы и ТОСОЛы. Это продиктовано целым комплексом эксплуатационных факторов, главными из которых, в контексте данного исследования, есть свойство указанных жидкостей предотвращать разрушение двигателя при замерзании. В тоже время, эти жидкости обладают, в отличие от подготовленной воды, одним существенным недостатком – значительно большей стоимостью. Не говоря уже об опасности их токсического воздействия на объекты окружающей среды. Кроме того, пуск холодного двигателя тянет за собой целый ряд отрицательных моментов, связанных не только с увеличением расхода топлива и ростом токсичности отработавших газов (ОГ), но и с повышенным износом основных узлов двигателя вследствие недостаточной смазки.

Эти и другие причины вынуждают владельцев автомобилей оборудовать места парковки (отстоя) различными системами поддержки необходимого теплового режима. И если для единичного автомобиля характерным является использование разного рода систем электроподогрева, при чем, обычно, предстартового, то для автотранспортных предприятий (АТП) – воздушного, водо- и пароподогрева, функционирующих на протяжении всего периода парковки. Частным случаем является использование так называемых автомобилей-термосов, осуществляющих заправку систем охлаждения запаркованных автомобилей горячей рабочей жидкостью [1].

Кроме того, в холодное время года возникают трудности с оборудованием производственных помещений (закрытых стоянок, специализированных мастерских, ремонтных зон и т.д.) источниками тепловой энергии для поддержания санитарно- и/или технологически необходимой температуры в этих помещениях.

Сходные проблемы и способы их решения имеют место и на других видах транспорта: железнодорожном [2], водном [3, 4] и авиационном [5].

### **Актуальность исследований**

Анализ вышесказанного показывает, что на автомобильном и других видах транспорта широко используются различные системы подогрева/прогрева двигателей и подвижного состава, позволяющие в той или иной степени решить экономические и экологические вопросы в условиях эксплуатации. Однако, всем этим системам присущ общий существенный недостаток – полная зависимость от внешних (штатных) источников энергообеспечения.

В свою очередь, предприятия по содержанию и поддержке технического состояния транспортных средств АТП, СТО, депо, порты приписки и другие являются источниками накопления мусорных отходов различного вида: технологических, извлекаемых в процессе сухой уборки в составе комплекса уборочно-моечных работ (УМР), сезонных – от уборки территории зон озеленения, твердых бытовых отходов (ТБО) и прочие. Все эти отходы становятся причиной значительных и постоянных затрат на их утилизацию за пределами предприятий.

Практически те же проблемы касаются и предприятий, являющихся сопутствующими звеньями инфраструктуры эксплуатации транспорта: терминалы, вокзалы, придорожные кафе, предприятия общественного питания, кемпинги и прочее.

На АТП и СТО для вывоза вышеуказанных отходов могут задействоваться транспортные средства, входящие в структуру самих предприятий: основной подвижной состав (например, специализированных коммунальных АТП (КАТП)); гаражная служба, отдел главного механика, прочее. Это дает возможность частично снизить стоимость соответствующих транспортно-эвакуационных работ.

Сложнее обстоят дела с решением этого вопроса на предприятиях-спутниках инфраструктуры эксплуатации транспорта. Такие предприятия обычно имеют небольшой парк специализированного пассажирского, грузового общего назначения и/или грузопассажирского транспорта. В результате им приходится пользоваться услугами специализированных перевозчиков. Последние, в свою очередь, пытаются оптимизировать маршруты и расписание движения имеющихся транспортных средств, что порождает опасность появления локальных мусорных свалок.

К тому же, вышеупомянутые мусорные и технологические отходы в основной своей массе обладают значительным тепловым энергетическим потенциалом. При соответствующих подходах этот потенциал может быть извлечен и направлен, например, для использования в системах подогрева/прогрева, технологических и бытовых целях.

#### **Постановка задачи**

На сегодняшний момент времени имеется большое количество технологий и сжигающих устройств для утилизации мусорных отходов [6], которые так или иначе можно было бы использовать, или уже используются, в качестве дополнительных источников тепловой энергии. Тем не менее, как показывает анализ вышеупомянутых технологий и конструкций сжигающих устройств, проведенный авторами, полнота процесса сгорания в таких установках напрямую зависит от сложности конструкции и ее стоимости. То есть, нет установок, сочетающих в себе свойства качественного сжигания мусорных отходов при минимальном или нулевом выбросе вредных веществ и приемлемой (бюджетной) стоимости, которые можно было бы широко использовать как локальные дополнительные источники тепловой энергии в условиях эксплуатации транспортных средств. Иными словами: одни установки позволяют качественно (на 99,99%) сжечь, но очень сложны конструктивно, громоздки и дороги, другие наоборот – небольшой стоимости, но имеют низкую (55-65%) эффективность сгорания.

#### **Результаты исследований.**

С целью решения поставленных задач авторами разработаны несколько вариантов установок (печей) пиролизного сжигания [7-10]. На рис. 1 показано общее устройство одной из них с противоточной схемой газообмена и рециркуляцией части дымовых газов [11,12].

В общем виде установка работает следующим образом. Твердое, сыпучее топливо постоянно загружается в корпус-бункер – 1 через топливоподводящий – 10 и топливонаправляющий – 11 рукава соответственно.

Воздух, благодаря тяге поступающий внутрь корпуса-бункера – 1 через впускные патрубки – 4, самопроизвольно разделяется воздухопроводом – 9 на первичный и вторичный. При этом, воздух нагревается от тепла горючих и дымовых газов, омывающих впускные патрубки. Первичный воздух поступает в зону горения сквозь зазоры между трубками воздуховода – 9, способствуя возникновению первой стадии процесса горения с распространением фронта пламени от центральной оси корпуса-бункера – 1 к периферии верхнего венца – 14 топливоподводящего рукава – 10. При этом, вследствие высокой скорости втекания воздуха, осуществляется интенсивное сгорание топлива в поверхностном, так называемом, кипящем слое. Продукты сгорания с частичками золы проходят (сдуваются) сквозь отверстия стенок верхнего венца – 14 топливоподводящего рукава – 10 и попадают в зазор между стенками верхнего венца – 14 и стенками корпуса-бункера – 1, здесь продукты сгорания самопроизвольно разделяются на летучие и не летучие (золу). Первые, вследствие наличия тяги, проходя сквозь зазор между отражающим диском – 8 и стенками корпуса-бункера – 1, поступают во внутреннюю полость верхнего колпака – 2 и выпускной трубопровод – 6, а вторые, под действием собственного веса, -- во внутреннюю полость нижнего колпака – 3 и золоотводящего



рукава – 12 соответственно. По мере наработки зола периодически удаляется через золоотводящий рукав – 12.

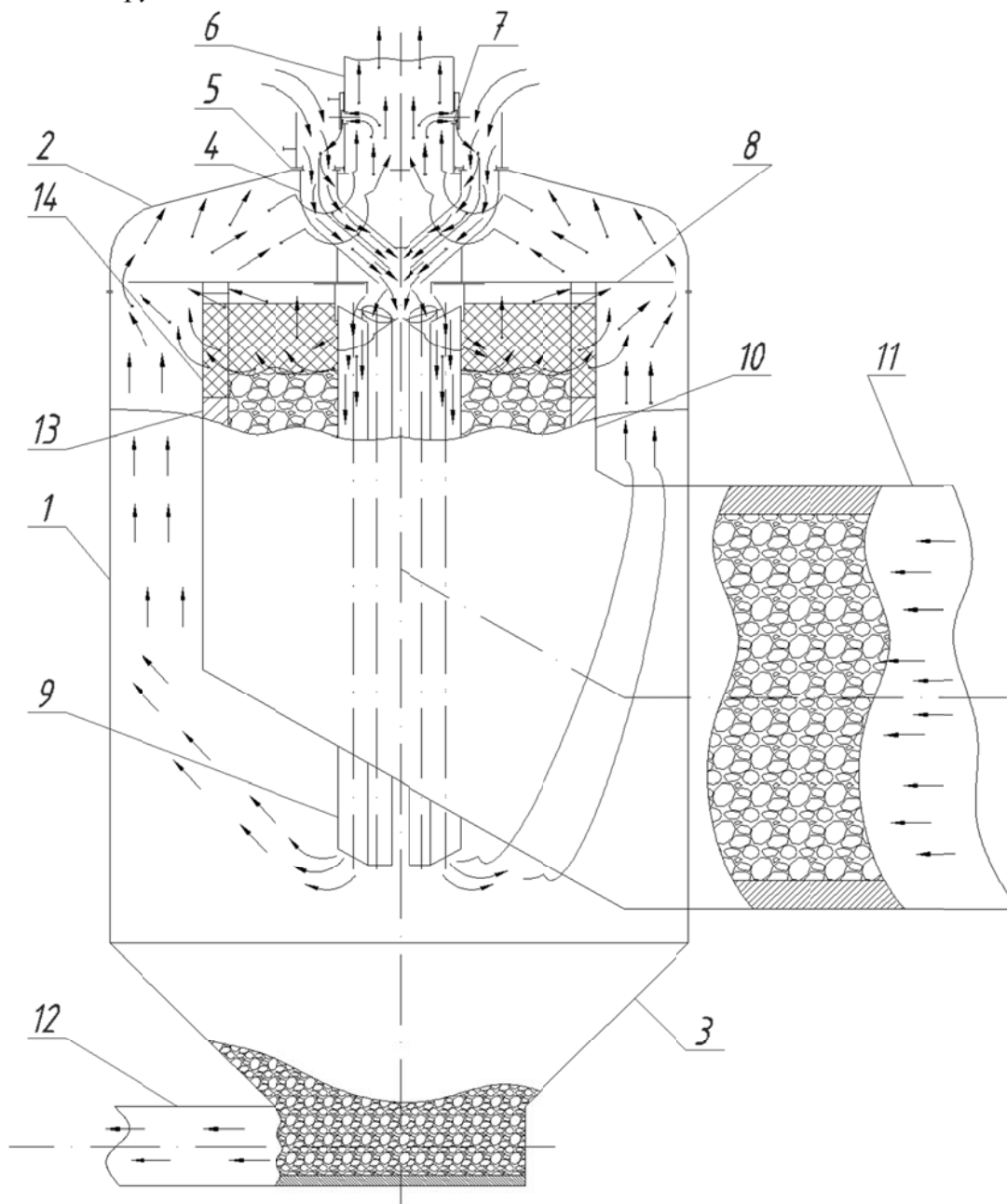


Рисунок 1. Общее устройство установки:

1 – корпус-бункер; 2 – верхний колпак; 3 – нижний колпак; 4 – впускной патрубок; 5 – воздушная заслонка; 6 – выпускные патрубки; 7 – насадки; 8 – отражающий диск; 9 – воздухопровод; 10 – топливоподводящий рукав; 11 – топливонаправляющий рукав; 12 – золоотводящий рукав; 13 – нижний венец; 14 – верхний венец

Вторичный воздух проходит по внутренним каналам трубок воздуховода – 9, выходит из их нижних отверстий и, сквозь зазор между стенками корпуса-бункера – 1 и топливоподводящим – 10 (топливонаправляющим – 11) рукавом, направляется к выпускному трубопроводу – 6. При этом, вторичный воздух соприкасается с недогоревшими частичками топлива и способствует их окончательному дожиганию.

Продукты сгорания (дымовые газы) проходят сквозь зазор между отражающим диском – 8 и стенками корпуса-бункера – 1 во внутреннюю полость верхнего колпака – 2. Далее, основная часть дымовых газов удаляется через выпускной трубопровод – 6. Остальная же, небольшая, часть дымовых газов перепускается (рециркулируется) через насадки – 7 обратно, в окна и горловины впускных патрубков – 4. Так как данная часть

дымовых газов содержит определенное количество различных летучих продуктов неполного сгорания, особенно в начале процесса горения топлива, это дает возможность снова вовлечь их в процесс повторного сгорания. Кроме того, примесь части дымовых газов способствует быстрому прогреву свежего воздуха в окнах и горловинах впускных патрубков – 4. В результате организации распределения газовых потоков и процесса горения таким образом удается значительно повысить полноту сгорания топлива и эффективность теплоотдачи.

#### **Выводы**

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что наиболее целесообразным для использования в инфраструктуре эксплуатации транспорта как средств утилизации мусорных отходов и дополнительных источников тепловой энергии является использование сжигающих устройств с противоточной схемой газообмена и рециркуляцией части дымовых газов.

Сжигающие устройства данного типа превосходят ближайшие существующие аналоги по соотношению основных показателей (конструктивная и технологическая простота, величина КПД, низкая токсичность отработавших газов, контролируемость персоналом и т.д.). Это, по мнению авторов, даст возможность экономить штатные энергоресурсы во время их использования для подогрева/прогрева двигателей и запаркованного транспорта и технологически-бытовых целей.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Техническая эксплуатация автомобиля: Учебник для ВУЗов/ Е.С. Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин и др. - М.: Транспорт, 1991.
2. Большая энциклопедия транспорта. В 8 томах. Том 4. Железнодорожный транспорт: Энциклопедия // Гл. ред. В. П. Калявин. — М.: Большая Российская энциклопедия, 2003. — 1039с.
3. Большая энциклопедия транспорта. В 8 томах. Том 5. Морской транспорт: Энциклопедия // Гл. ред. В. П. Калявин. — М.: ЭЛМОР, 2000. — 377с.
4. Большая энциклопедия транспорта. В 8 томах. Том 6. Речной транспорт: Энциклопедия // Гл. ред. В. П. Калявин. — М.: ЭЛМОР, 1998. — 309с.
5. Большая энциклопедия транспорта. В 8 томах. Том 2. Авиационный транспорт: Энциклопедия // Гл. ред. В. П. Калявин. — М.: машиностроение, 1995. — 399с.
6. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 9- 2015. Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов). – М.: Бюро НДТ, 2015. – 249с.
7. Скалыга Н. Н., Рудинец Н. В. К вопросу использования на железнодорожном транспорте пиролизных сжигающих устройств, как автономных источников тепловой энергии. // Збірник наукових праць ДонІЗТ. Випуск № 39, Донецьк – 2014. – С. 67-71
8. Скалыга Н. Н., Рудинец Н. В. К вопросу использования на автомобильном транспорте пиролизных сжигающих устройств, как средств утилизации мусорных отходов и дополнительных источников тепловой энергии. // Збірник наукових праць ДонІЗТ. Випуск № 4, Донецьк – 2014. – С. 43-47
9. Скалига М.М., Рудинець М.В., Бодак В.І., Вербовський В.С. До питання використання в інфраструктурі автомобільного транспорту піролізних спалюючих пристроїв як засобів утилізації сміття та додаткових джерел енергії. //Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»), випуск 55, липень-вересень 2016, Луцьк, 2016// -- сс.367-371.
10. Скалига М.М., Рудинець М.В. Спосіб роботи піролізної печі з протиточним газообміном. Патент на корисну модель UA 106954 U // 10.05.2016, Бюл. №9//
11. Скалига М.М., Рудинець М.В., Вербовський В.С. Концепція використання в інфраструктурі автомобільного транспорту спалюючих пристроїв з протиточною схемою газообміну. //Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»), випуск 55, липень-вересень 2018, Луцьк, 2018// -- сс.367-371.
12. Скалига М.М., Рудинець М.В. Спалюючий пристрій. Патент на корисну модель UA 126527 U // 25.06.2018.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ NISSAN LEAF**

Смирнов О.П., Борисенко А.О., Марченко А.В.  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

Вступ. Сьогодні спостерігаються глобальні зміни: людство, що змогло нарешті використовувати електроенергію для пересування, входить в нову еру. Електричні енергетичні установки все більше і більше входять в наше життя. Вони самі по собі вже є екологічними товарами покликаними продемонструвати, як власник дбає про навколишнє середовище [1,2]. Nissan Leaf – популярний і доступний електромобіль японського концерну Nissan Motor Co. Ltd, що серійно випускається з весни 2010 року. У Європі, Японії та Північної Америки по вулицях міст і замських трасах пересуваються майже 250 000 таких сучасних транспортних засобів [3,4]. Дослідженню конструктивних особливостей джерела живлення енергетичної установки електромобіля Nissan Leaf присвячена наукова праця.

Актуальність досліджень. Дослідження присвячено актуальній науково-технічній проблемі підвищення екологічної безпеки, енергоефективності, комфорту транспортних засобів та зниження їх цінових експлуатаційних показників. Людство, що знаходиться на порозі виснаження енергетичних та матеріальних природних ресурсів планети, прагне знайти нові джерела живлення та відповідні енергетичні установки для транспортних засобів, які є більш ефективні та екологічні.

Актуальність виконання завдань дослідження полягає також у розширенні функціональних можливостей транспортних засобів, підвищенні умов праці та відпочинку у місцях, де немає стаціонарного джерела енергії, якісному покращенні екологічного стану у мегаполісах, підвищенні енергоефективності транспортних робіт, можливості виконання транспортних робіт в закритих приміщеннях (вокзалах, супермаркетах, промислових та сільськогосподарських підприємствах), тощо.

На сучасному етапі розвитку науки та техніки проблема створення енергозберігаючих транспортних засобів вирішується за рахунок створення електричних енергетичних установок, які застосовуються, наприклад у електромобілях та гібридних транспортних засобах [5]. Для живлення електропривода використовуються акумуляторні батареї літій-іонного типу, важливою проблемою яких є балансування їх елементів під час заряду від зовнішньої електричної мережі [6].

Результати роботи належать до прикладних досліджень і за своїми результатами може бути актуальним в суміжних галузях науки та техніки: енергоефективні, ресурсозберезувальні технології; нові технології перетворення та зберігання електричної енергії; освоєння альтернативних джерел енергії; безпечна, чиста й ефективна енергетика; розумний, зелений та інтегрований транспорт.

Постановка задачі. Метою дослідження є підвищення екологічної безпеки, енергоефективності, комфорту транспортних засобів та зниження їх цінових експлуатаційних показників за рахунок вирішення науково-практичної задачі, яка пов'язана з проведенням дослідження джерела живлення енергетичної установки електромобіля Nissan Leaf. Проведені науково-дослідні дослідження та їх подальший розвиток, складуть основу нового науково-практичного підходу до створення екологічних, енергоефективних та багатофункціональних транспортних засобів різного призначення.

Результати досліджень. У електромобілі Nissan Leaf використовується акумуляторні батареї літій-марганцевого типу  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  у комбінації з літій-нікель-марганець-кобальтовими ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ ) [7]. Ця комбінація хімічних елементів використовує позитивні якості обох систем за рахунок чого підвищується питома енергоемність і термін служби акумуляторів. Саме ці комбіновані акумулятори

використовуються в більшості електромобілів, таких як Nissan Leaf, Chevy Volt і BMW і3. Батареї літій-марганцевого типу  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (частина такого акумулятора складає близько 30 %) забезпечують високі прискорювальні можливості електричного двигуна, а літій-нікель-марганець-кобальтова ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ ) частина відповідає за діапазон автономного пробігу.

Основні компоненти літій-іонної акумуляторної батареї наведені на рисунку 1.

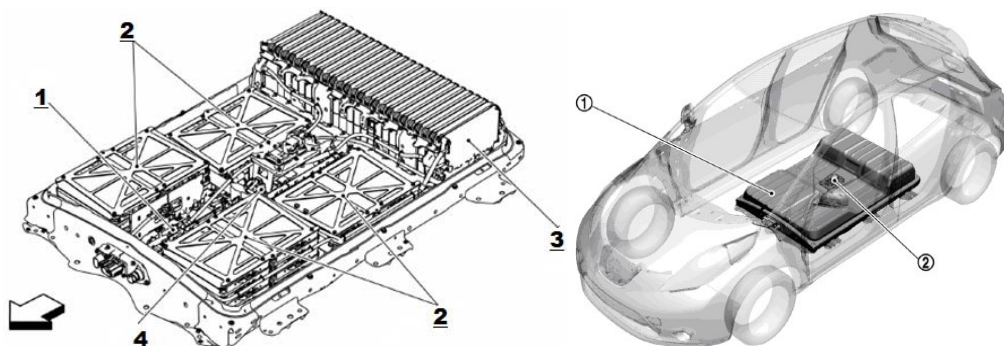


Рисунок 1. Розміщення блоків батареї:

1 – датчик струму, датчик температури; 2 – акумулятор; 3 – контролер; 4 – запобіжник

Чотири літій-іонні елементи об'єднані в одному модулі. В подальшому ці модулі складаються у літій-іонний акумулятор, що вміщає 48 модулів та розміщується в середині корпусу акумуляторної батареї. Об'єднання окремих елементів у секцію, а потім у єдину. Зовнішній вид модуля акумуляторної батареї електромобіля Nissan Leaf відображено на рисунку 2.

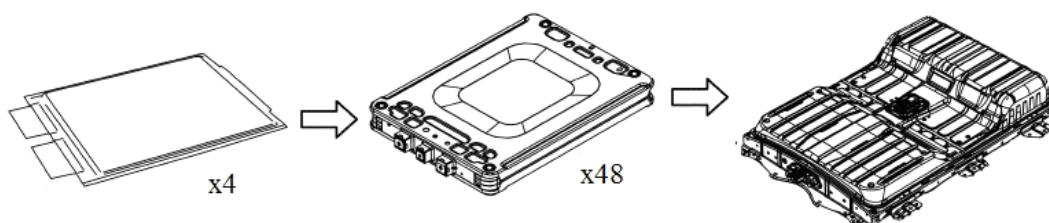


Рисунок 2. Об'єднання секцій акумуляторів

Одна секція акумуляторів складається з двох паралельно з'єднаних акумуляторних елементів. Дев'яносто шість елементів паралельно з'єднаних секцій, з'єднуються послідовно, як це показано на рисунку 3.

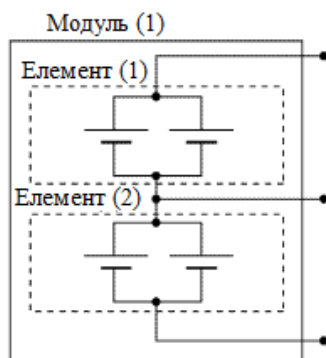


Рисунок 3. Схема підключення акумуляторних елементів

Для вимірювання температури на модуль літій-іонної акумуляторної батареї електромобіля Nissan Leaf встановлюється три датчика.

На рисунку 4 показано зовнішній вид модуля та розташування датчиків температури: два в передньому модулі та один в задньому.

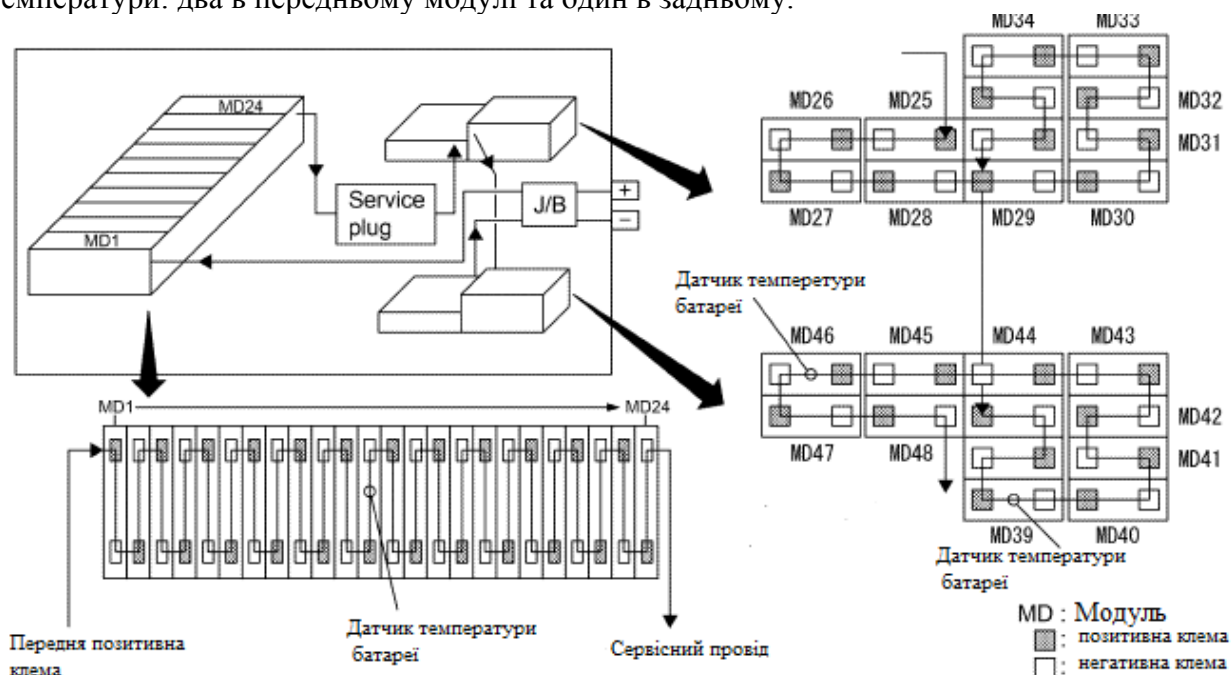


Рисунок 4. Батарейний модуль та розташування датчиків температури

Як датчик використовується термістор з величиною опору, яка змінюється відповідно до зміни температури. Електричний опір термістора зменшується із зростанням температури. Датчик струму вимірює струм заряду / розряду, що протікає в літій-іонному акумуляторі і передає сигнал струму на контролер літій-іонного акумулятора LBC, який керує роботою акумулятора.

Контролер літій-іонного акумулятора LBC 9 (Li-Fe Battery Charger) є ядром управління батареї. LBC контролює стан акумуляторів в будь-який час, і посилає інформацію до модуля управління транспортним засобом VCM (vehicle control module) за допомогою систем комунікацій. Найбільший потенціал у модуля MD 1 і найнижчий потенціал у модуля MD 48.

Контролер літій-іонного акумулятора LBC здійснює контроль за такими параметрами:

- контролює стан батареї, щоб запобігти помилці, наприклад, перенапруження, над розрядкою або надмірного підвищення температури в батареї;
- виявляє помилки (перенапруження, перезарядка, перевантаження по струму, або надмірного підвищення температури) безпосередньо в момент виникнення помилки і сигналізує VCM відключити основне реле для переривання лінії розряду / заряду;
- підтримує оптимальний рівень заряду батареї постійно з функцією регулювання потужності модулів, щоб запобігти зниженню ємності, викликаного коливаннями потужності модулів;
- виявляє роз'єм та стан з функцією виявлення у роз'єму джгута проводів високої напруги і передає виявлене стан на VCM;
- оцінки стану заряду батареї та виявлення низького стану батареї, заснований на даних, отриманих за допомогою функції визначення стану батареї, і відображає ємність батареї.

Контролер літій-іонного акумулятора LBC контролює поточний стан батареї і передає інформаційний сигнал про стан заряду / розряду до VCM, щоб запобігти перенапруженню під час заряду / розряду або надмірного підвищення температури в батареї, чи перевантаженню по струму. Коли виникає помилка, відразу ж надходить сигнал до модуля управління транспортним засобом VCM, який в свою чергу вимикає

основне реле системи для переривання розряду або заряду. Контролер LBC підтримує оптимальний рівень заряду батареї з постійною функцією регулювання потужності модуля, щоб запобігти зниженню ємності на елементі, який викликаний коливаннями потужності модуля.

Схема зв'язку контролера літій-іонного акумулятора наведено на рисунку 5.

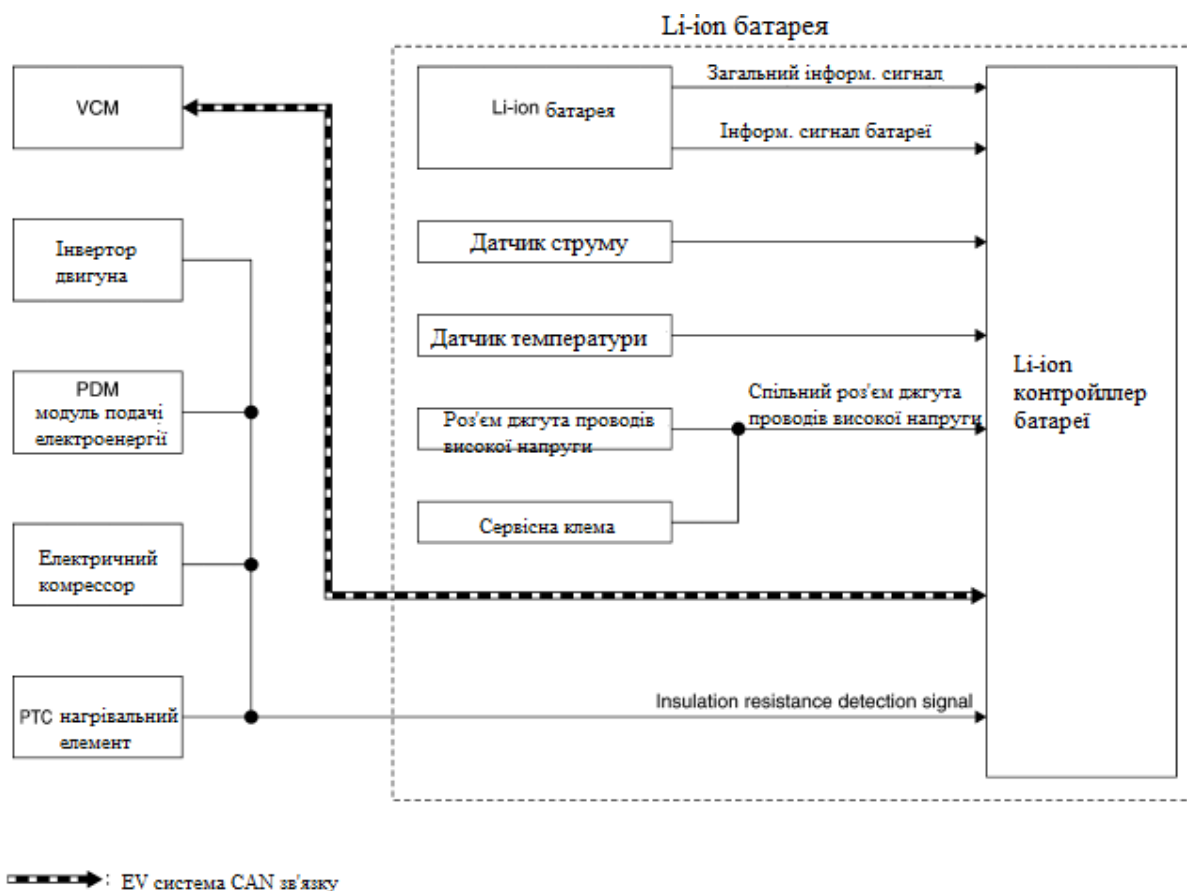


Рисунок 5. Схема зв'язку контролера

Електротранспортні засоби вимагають від батарейних систем високі вимоги до їх характеристик, вони повинні мати задовільну потужності, щоб поглинути і вивільнити енергію в широкому динамічному режимі приводу, а також в режимі рекуперації. Концепції сучасних електромобілів спрямовані на зниження CO<sub>2</sub> і шкідливих викидів. Високовольтна система живлення електромобіля Nissan Leaf повністю забезпечує продуктивність, безпеку і довговічність модулів, що має вирішальне значення в ефективності роботи транспортного засобу.

Висновки. Вирішена науково-практична задача, яка пов'язана з є проведенням дослідження джерела живлення енергетичної установки електромобіля Nissan Leaf. Акумуляторна батарея для електромобіля зібрана з 192 елементів, маса її складає близько 270 кг і розташована вона під передніми сидіннями. Контролер літій-іонного акумулятора LBC 9 (Li-Fe Battery Charger) є ядром управління батареї. LBC контролює стан акумуляторів. Ємності батареї 24 кВт-год з урахуванням енергії, що отримана від рекуперативного гальмування, вистачає приблизно на 160 км пробігу у змішаному циклі. Життєвого циклу батарей достатньо на 8...10 років експлуатації Nissan Leaf.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. The electric vehicle: a review / Ning Ding; K. Prasad; T.T. Lie / International Journal of Electric and Hybrid Vehicles , Volume 9 (1), 2017, p. 49-66.

2. Смирнов О.П. Проблеми та перспективи розвитку електромобілів [Електронний ресурс] / О.П. Смирнов, О.Б. Богаєвський, Р.І. Пігарєв // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – 2013. – № 4. – С. 19–23. – ISSN 2226-9266 – Режим доступу: [http:// www.khadi.kharkov.ua/ fileadmin/ P\\_SIS/AE13\\_1/ 13soppre.pdf](http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE13_1/13soppre.pdf).

3. Обзор электромобиля Nissan Leaf цены и потребление энергии. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://motocarrello.ru/jelektromobili-nissan/1145-jelektromobil-nissan-leaf.html> - Назва з екрану.

4. Nissan Leaf [Електронний ресурс] Режим доступу: [http:// www.nissanusa.com/ electric-cars/leaf/ versions-specs/](http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/versions-specs/) - Назва з екрану.

5. Research and development of in-wheel motor driving technology for electric vehicles / Qiping Chen; Chuanjie Liao; Aiguo Ouyang; Xiangqin Li; Qiang Xiao / Electric and Hybrid Vehicles , Volume 8 (3), p.242-254.

6. Battery cell balance of electric vehicles under fast-DC charging / Wager G., Whale J., Braunl N./ International Journal of Electric and Hybrid Vehicles , Volume 8 (4) – Jan 1, 2016, p. 351-361.

7. Electric Vehicle Lithium-ion Battery // [Електронний ресурс] Режим доступу: [http://www.nissan-global.com/en/technology/overview/li\\_ion\\_ev.html](http://www.nissan-global.com/en/technology/overview/li_ion_ev.html) - Назва з екрану.

## ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОДУВКИ В СУДОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

<sup>1</sup>Соловьев А.А., <sup>2</sup>Житаренко В.М.

<sup>1</sup>Азовский морской институт НУ «ОМА» (Украина)

<sup>2</sup>ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» (Украина)

Одним из основных направлений экономии топлива на морских судах является повышение эффективности вспомогательного судового оборудования за счет снижения потерь теплоты в энергоагрегатах [1,3]. Существенная доля тепловых потерь (до 12-16%) имеет место в судовых паровых котлах (СПК). К реальным организационно-техническим мероприятиям по экономии топлива в СПК можно отнести:

- снижение температуры уходящих газов за счет «внутренней» регенерации теплоты;

- предварительный подогрев питательной воды и воздуха, подаваемых в котел;

- использование теплоты верхней продувки котлов и выбор режима ее проведения.

Реализация комплекса энергосберегающих мероприятий за счет использования теплоты продувки для подогрева воды или воздуха потребует выбора рационального режима продувки. Проведенный анализ данных направлений повышения экономичности СПК показал, что наиболее перспективным направлением является перевод периодической верхней продувки судовых котельных установок в непрерывный режим. Непрерывность проведения верхней продувки успешно используется в стационарных промышленных котлах с применением средств автоматизации для поддержания оптимального солевого содержания (СС) котловой воды. В таких котлах продувочная вода из верхних барабанов непрерывно отводится в расширители продувки с более низким давлением, в результате чего она частично испаряется, а полученный вторичный пар далее используется в схеме энергоустановки, например, в деаэраторе или различных подогревателях. Использование подобной схемы на современных морских судах экономически нецелесообразно из-за периодичности проведения верхней продувки. По правилам технической эксплуатации (ПТЭ) судовых котлов верхняя продувка включается при достижении критических (нормируемых) СС котловой воды [2], превышение которых значительно ухудшает качество пара из-за вспенивания воды в барабане и усложняет их эксплуатацию.

Режимы эксплуатации СПК с периодической продувкой обычно характеризуются значительными колебаниями концентрации солей в котловой воде, что в свою очередь приводит к дополнительным отложениям накипи в поверхностях нагрева и значительно усложняет поддержание оптимального водно-химического режима установки. Так вспенивание котловой воды в ряде случаев может приводить к аварийному отключению котлов из-за срабатывания автоматической защиты по превышению уровня воды в барабане.

Величина верхней продувки зависит от соотношения солевого содержания питательной и котловой воды и определяется из уравнения солевого баланса котла:

$$p = \frac{S_{нг}}{S_{кв} - S_{нг}}, \quad (1)$$

где:  $S_{нг}$  и  $S_{кв}$  – солевое содержание питательной и котловой воды, мг/л.

Тепловые потери с верхней продувкой при этом будут составлять

$$Q_{пр} = pD_k(i_{пр} - i_{нг}) = D_k \frac{S_{нг}}{S_{кв} - S_{нг}}(i_{пр} - i_{нг}), \quad (2)$$

где  $D_k$  – паропроизводительность котла, кг/с;



$i_{np}$ ,  $i_{nv}$  – энтальпии продувочной и питательной воды, кДж/кг.

Существующий режим периодического проведения верхней продувки в судовых котлах при отсутствии автоматического регулирования приводит к превышению минимально необходимого расхода продувочной воды. Это связано, прежде всего, с периодичностью проведения анализов по солесодержанию котловой воды и необходимостью его поддержания на минимально-допустимом уровне (с учетом его колебаний его величины). Превышение тепловых потерь с верхней продувкой (2) при этих условиях эксплуатации может достигать и превышать 1-2 % от общих затрат энергии в котле.

Анализ уравнения солевого баланса СПК (1) свидетельствует о том, что количество растворенных солей, выводимых с верхней продувкой при режимах с периодической и непрерывной продувкой постоянно и определяется только соотношением солесодержания питательной и котловой воды. Поэтому тепловые потери с продувочной водой будут примерно одинаковы при обоих режимах проведения верхней продувки. Но эксплуатационный режим при непрерывной продувке будет более стабилен и надежен, так как отсутствуют значительные колебания величины солесодержания котловой воды и, как следствие, опасность вспенивания. Эксплуатационная величина верхней непрерывной продувки с учетом требований водно-химического режима и параметров судового котла может быть незначительной и соответствовать ПТЭ СПК. При непрерывном продувочном режиме отсутствуют проблемы, связанные с необходимостью строгого контроля уровня воды в барабане и дополнительной подпитки котла во время проведения периодической верхней продувки. Внедрение режима верхней непрерывной продувки в СПК требует обязательной автоматизации этого процесса. Опыт эксплуатации данных систем на тепловых электростанциях [4] показывает, что при наличии автоматики регулирования непрерывной продувки возможно поддержание солесодержания в паровых котлах на 2-3% ниже максимально допустимых его значений. Это позволяет снизить расход продувочной воды и затраты на водоподготовку для котла. Использование автоматики также целесообразно и при проведении периодической верхней продувки вспомогательных судовых котельных установок, но проблема утилизации теплоты продувочной воды в этих схемах усложняется из-за периодичности ее использования.

Существенной проблемой при внедрении непрерывной продувки в СПК является выбор схемы утилизации теплоты продувочной воды. Особенности тепловых схем современных судовых энергоустановок морских судов ограничивают выбор возможных потребителей теплоты продувочной воды СПК. В первую очередь это связано с необходимостью согласования режимов потребления теплоты и условий их работы, а также со значительной длиной соединительных трубопроводов, что снижает эффективность утилизации. Поэтому наибольшее преимущество имеют потребители теплоты непрерывной продувки в пределах котельной установки. В качестве примера предложена схема использования тепла непрерывной продувки СПК для подогрева питательной воды (рис.1). Продувочная вода из барабана (1) расширяется в расширителе непрерывной продувки (2). Образующийся вторичный пар направляется в подогреватель питательной воды 2-й ступени (3), а вода из расширителя смешивается с конденсатом и направляется в подогреватель 1-й ступени (4). Подобная схема применима для подпитки вспомогательных котлов, не имеющих экономайзеров. Повышение температуры питательной воды позволяет снизить расход топлива, но при этом режиме эксплуатации возможно повышение температуры уходящих газов, что приводит к увеличению потерь теплоты с уходящими газами. Данная схема использования теплоты продувки (после расширителя) для подогрева питательной воды котлов характеризуется сложностью конструкции и эксплуатации.

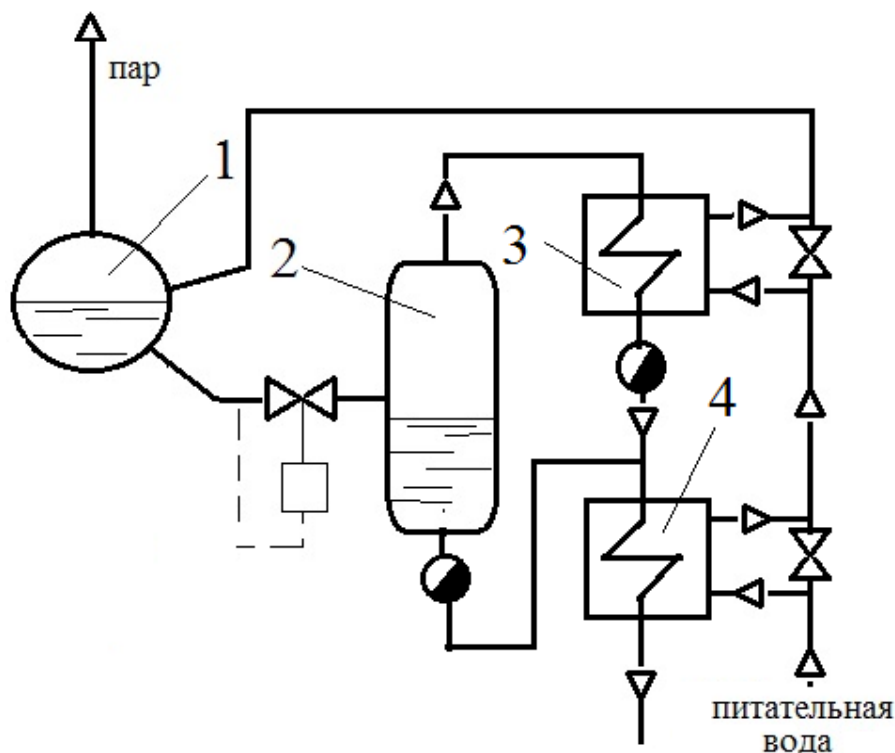


Рисунок 1. Схема использования тепла непрерывной продувки для подогрева питательной воды СПК: 1 – барабан котла; 2 – расширитель продувки 1-й ступени; 3 – подогреватель питательной воды 2-й ступени, 4 – подогреватель питательной воды 1-й ступени.

Перспективной является схема использования теплоты верхней продувки СПК в схеме адиабатной опреснительной установки (АОУ) [5]. Продувочная вода из пароводяного барабана котла поступает в камеру адиабатного опреснителя, где вследствие более низкого давления происходит ее частичное испарение. Полученный пар конденсируется в подогревателе заборной воды и направляется в виде дистиллята к судовым потребителям пресной воды. Для удобства поддержания необходимых эксплуатационных параметров опреснителя устанавливается смеситель продувочной и заборной воды, что обеспечивает возможность регулирования производительности опреснителя при изменении количества продувочной воды. Следует отметить преимущество использования продувочной воды в опреснителе по сравнению с заборной водой за счет ее более низкого солесодержания, что позволяет улучшить качество получаемого дистиллята и снизить величину продувки опреснительной установки. Предлагаемая схема может использоваться в судовых опреснительных установках различных типов, включая многоступенчатые адиабатные и поверхностные опреснители.

Для условий эксплуатации современных морских судов с вспомогательными котельными установками ограниченной мощности, обычно не имеющими водяных экономайзеров и воздухоподогревателей, наиболее целесообразно комплексное использование теплоты верхней непрерывной продувки для предварительного подогрева воздуха и питательной воды, подаваемых в котел. При этом наиболее эффективной и экономичной будет схема использования утилизации теплоты продувки в пределах котельной установки [6]. Вследствие использования парового подогрева воздуха котлу не угрожает низкотемпературная кислотная коррозия, обычно имеющая место в газовых воздухоподогревателях при достижении температуры точки росы. Опыт успешной эксплуатации паровых воздухоподогревателей в судовых котельных установках известен и использован в главных котлах КВГ-34К, устанавливаемых на морских судах с

паротурбинними двигателями. Особенностью схемы энергоустановки этих судов является подача пара с давлением 0.4 МПа на воздухоподогреватель котла из регенеративного отбора главной паровой турбины. Продувочную воду из расширителя продувки целесообразно использовать для подогрева питательной воды перед вспомогательным котлом. Предложенная схема утилизации теплоты непрерывной верхней продувки представляет интерес для внедрения на современных морских судах (рис. 2).

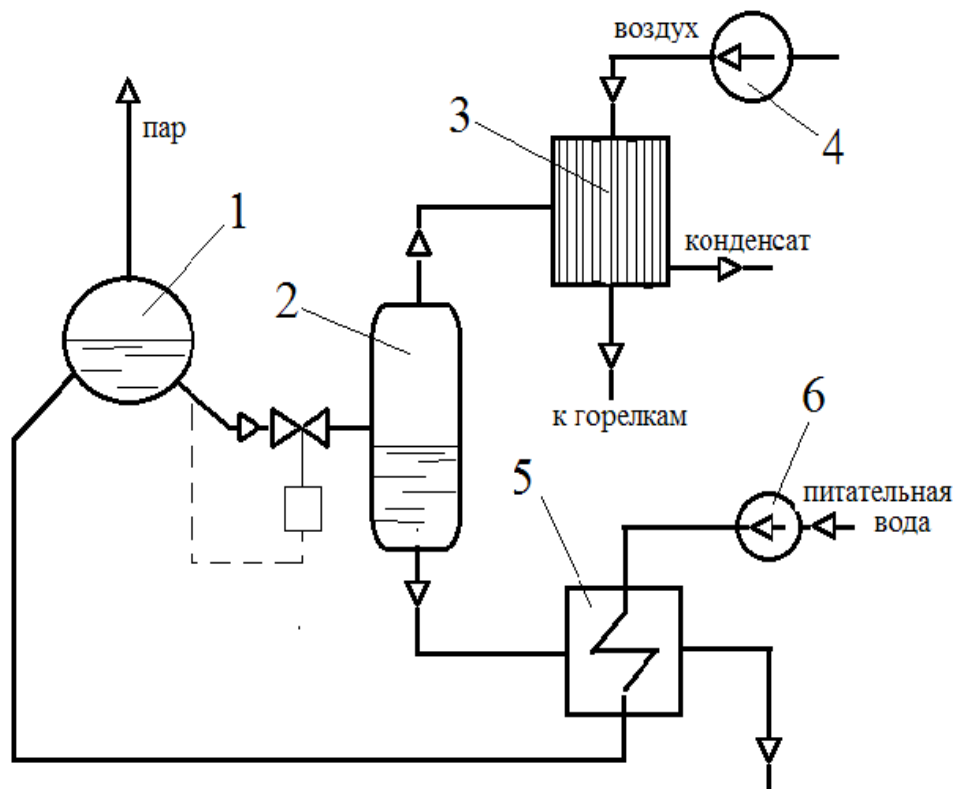


Рисунок 2. Схема использования тепла непрерывной продувки для подогрева воздуха и питательной воды СПК: 1 – барабан котла; 2 – расширитель непрерывной продувки; 3 – подогреватель воздуха; 4 – дутьевой вентилятор; 5.–подогреватель питательной воды; 6 – питательный насос

По предлагаемой схеме продувочная вода из барабана котла (1) поступает в расширитель продувки (2), где при вскипании разделяется на пар и воду. Пар направляется в воздухоподогреватель (3) а вода поступает в подогреватель питательной воды (5). Следует отметить то, что обычно в судовых котельных установках воздух после вентилятора поступает в двойную обшивку корпуса котла (на схеме не показано), а затем в воздухоподогреватель или на горелку. Конденсат после воздухоподогревателя через «теплый» ящик поступает в питательную систему котла.

Очевидно, что повышение температуры питательной воды перед котлом наряду со снижением расхода топлива на ее нагрев приводит к росту температуры уходящих газов и как следствие - снижению КПД установки. Подогрев воздуха перед котлом всегда имеет положительный эффект, так как способствует снижению расхода топлива. При внедрении данной схемы возникает задача выбора оптимального давления в расширителе продувки с учетом достижения максимальной экономии топлива в СПК.

Зависимость КПД установки от температур питательной воды и подогрева воздуха является индивидуальной характеристикой любого СПК и может быть определена расчетным или экспериментальным путем. В данном случае оценим КПД СПК определим по обратному балансу.

$$\eta_k = 100 - q_2 - q_3 - q_5 \quad (3)$$

Потери теплоты с уходящими газами  $q_2$  оценим по методике Равича [7], а потери от химического недожога и в окружающую среду примем типовыми для СПК КВГ-34 (с паровым подогревом воздуха).

$$q_2 = (K\alpha_{yx} + C)(\vartheta_{yx} - \frac{\alpha_{yx}}{\alpha_{yx} + b} t_{xв}) (1 - 0.01q_4) K_Q$$

$$K_Q = \frac{Q_n^p}{Q_n^p + q_6}$$

$$q_6 = 0.35\Delta t(1 + 0.025W^n) Q_n^p \quad (4)$$

где  $K, C, b$  – эмпирические коэффициенты;

$Q_n^p$  - теплота сгорания топлива;

$\vartheta_{yx}$  - температура уходящих газов;

$\alpha_{yx}$  - коэффициент избытка воздуха в уходящих газах;

$t_{xв}$  - температура холодного воздуха;

$\Delta t$  - величина подогрева воздуха в дополнительном калорифере

$W^n$  - приведенная влажность топлива.

Зависимость температуры уходящих газов от температуры питательной воды представим в виде линейной зависимости, полученной интерполяцией опытных данных [7].

$$\vartheta_{yx} = 65 + 1.3t_{ng} \quad (5)$$

Оценочные расчеты при типовых значениях параметров, входящих формулы (3-5) показали, что при снижении давления в РП с 1 МПа до 0.12 МПа подогрев воздуха в калорифере составляет 5- 28<sup>o</sup>С, а нагрев питательной воды незначительный ( 2-5 <sup>o</sup>С).

Таким образом, с учетом особенностей СПК, режима его эксплуатации (рабочего давления, режима продувки, водного режима (допустимого СС) и других факторов может быть установлено оптимальное давление в расширителе продувки, обеспечивающее максимальное охлаждение конденсата пара в подогревателе воздуха до температуры около 35-55<sup>o</sup>С с последующим сбросом его в «теплый ящик». Подогреватель питательной воды целесообразно исключить из схемы из-за незначительной степени подогрева питательной воды, что связано с малыми значениями энтальпии и расхода воды из расширителя продувки. Продувочную воду после расширителя продувки целесообразно направлять в опреснитель, как это было предложено ранее [5]. В судовых котельных установках с газовыми воздухоподогревателями с целью предотвращения низкотемпературной коррозии использование предварительного парового подогрева воздуха за счет утилизации теплоты верхней продувки котла также целесообразно и перспективно.

#### Выводы

1. Внедрение режима верхней непрерывной продувки в современных судовых котельных установках повышает экономичность их эксплуатации, повышает качество вырабатываемого пара и упрощает автоматизацию проведения водно-химических мероприятий.

2. Продувочную воду после расширителя продувки целесообразно использовать в судовой опреснительной установке или вспомогательных подогревателях.
3. Автоматизация процесса проведения верхней продувки в судовых паровых котлах позволит снизить расход продувочной воды и повысить надежность их эксплуатации.
4. Использование предварительного парового подогрева воздуха за счет утилизации теплоты верхней продувки в судовых котельных установках с газовыми воздухоподогревателями также целесообразно и перспективно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хряпченков А.С. Судовые вспомогательные и утилизационные котлы: учебник/ А.С. Хряпченков – Л.: Судостроение, 1998.-296с.
2. Денисенко И.И. Судовые котельные установки: учебник/И.И. Денисенко, И.И. Костылев. – СПб.: Элмор, 2005. – 286с.
3. Седельников Г.Д. Энергосберегающие системы малооборотных дизелей. – Владивосток, 2003. – 230с.
4. Мошкарин А.В. Испарительные установки тепловых электростанций/ А.В. Мошкарин, Р.Ш. Бускунов - М.: Энергоатомиздат, 1994.- 272с.
5. Соловьев А.А. Использование теплоты продувки судовых паровых котлов в опреснительных установках/А.А. Соловьев, В.М. Житаренко//Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО – 2017.- Херсон, 2017. – С. 307-311.
6. Соловьев А.А. Анализ схем утилизации теплоты продувки в судовых котельных установках / А.А.Соловьев, В.М.Житаренко // Сучасні тенденції розвитку морської галузі, безпека судноплавства, підготовка моряків у відповідності до національних і міжнародних вимог: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції 25 травня 2018. – Маріуполь: АМІ НУ «ОМА», 2018. – С. 200-205.
7. Трёмбовля В.И. Теплотехнические испытания котельных установок/ В.И. Трёмбовля, Е.Д. Фингер, А.А. Авдеева – М.: Энергия, 1977. - 296с.

## **АНАЛІЗ НАПРЯМІВ РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ**

Тріфонов Д.М.

Національний транспортний університет (Україна)

### **Вступ**

Енергетична безпека держави – це розвиток нетрадиційних джерел енергії. Задача економії невідновлювальних ресурсів в теперішній час стоїть дуже гостро. Тому пошук та застосування нових джерел енергії є ключовим питанням сучасної науки.

Двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) є одним з найбільш ефективних та універсальних джерел механічної енергії, що використовується в автомобілях, будівельної та сільськогосподарської техніках, стаціонарних енергетичних установках та ін. В якості найбільш поширених джерел паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) для транспортних засобів використовуються невідновлювальні ресурси.

Економія ПЕР може бути реалізована у двох напрямках. По-перше, за рахунок удосконалення робочого процесу ДВЗ. По-друге, за рахунок утилізації частини вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР), які виникають у більших обсягах під час роботи ДВЗ. Потенціал енергозбереження за рахунок використання ВЕР дуже великий і може становити до 40 % від витрати первинних ПЕР.

### **Актуальність досліджень**

Відомо, що з відпрацьованими газами (ВГ) ДВЗ втрачається до 40% теплової енергії отриманої від згорання палива і їх температура може становити близько +350...700°C.

Чимало дослідників визнають, що рекуперація частини теплової енергії ВГ двигуна є однією з найбільш ефективних, що дозволяє знизити загальну питому витрату палива, забезпечуючи при цьому збільшення загальної потужності енергетичної установки і зменшення негативного впливу транспортного засобу на навколишнє середовище. Проведені дослідження [1], показали, що перетворення 6% теплової енергії ВГ в електричну дозволяє скоротити споживання палива до 10%.

Останні технологічні досягнення зробили системи рекуперації ВЕР економічно ефективними, а посилення екологічних та паливно-економічних стандартів до транспортних засобів і необхідними, так як дозволяють підвищити ефективність використання ПЕР транспортним засобом виходячи з його призначення і умов експлуатації.

У зв'язку з цим підвищення енергоефективності енергетичної установки транспортного засобу, перш за все за рахунок зменшення втрат ВЕР є актуальною задачею і одним з пріоритетних напрямків наукових досліджень в цій області.

### **Постановка задачі**

У цій роботі представлено аналіз напрямів використання надлишкової теплової енергії ВГ двигуна внутрішнього згорання, а також методи і системи які дозволяють забезпечити утилізацію та при необхідності акумулювання частини цієї енергії, з метою подальшого її використання у вигляді теплової, електричної або механічної енергії.

### **Результати досліджень**

Як зазначалося вище, рекуперація теплової енергії ВГ двигуна вважається одним з найбільш ефективних засобів підвищення енергоефективності силової установки і може бути досягнута за допомогою численних методів [2 - 11]. Теплова енергія може бути повторно використана в одному і тому ж процесі або передана іншому тепловому, електричному або механічному процесу.

Теплова енергія ВГ може бути використана для вироблення електроенергії з використанням пристроїв, які безпосередньо перетворюють теплову енергію в електричну – термоелектричний генератор (ТЕГ), або проміжних пристроїв – які функціонують за

циклами Ренкіна та Стірлінга.

### Пристрої, що безпосередньо перетворюють теплову енергію в електричну.

Методи прямого перетворення теплової енергії в електричну дозволяють отримувати електричну енергію, минаючи проміжну стадію – перетворення її в механічну роботу, тим самим спрощуючи конструкцію і розширюючи функціональні можливості установки.

Генерування електричної енергії можливо утилізацією теплової енергії ВГ, за допомогою термоелектричних генераторів (ТЕГ).

Принцип функціонування ТЕГ ґрунтується на ефекті Зеєбека – перетворенні теплової енергії в електричну, що полягає у виникненні електрорушійної сили при наявності різниці температур в контактах замкнутого електричного ланцюга, що складається з різнорідних провідників. Генератор представляє собою пристрій, що включає в себе: теплоприймач, термоелектричний модуль і радіатор (рис.1). Випускний колектор містить модулі (рис. 2) з термоелектричним матеріалом, які генерують постійний струм. При нагріванні одного боку термоелектричного модуля (ТЕМ) і охолодженні іншого боку, на контактах виникає напруга (ЕРС).

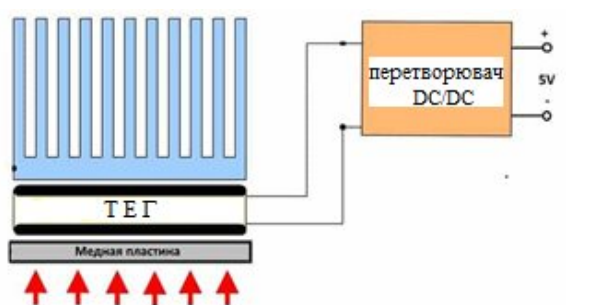


Рисунок 1. Схема загального вигляду пристрою з термоелектричним генератором

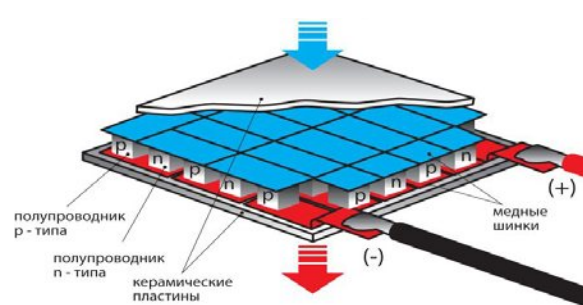


Рисунок 2. Термоелектричний генераторний модуль в розрізі

Термоелектричні генератори є перспективною галуззю розвитку енергоефективних технологій на автомобільному транспорті. Разом з ростом коефіцієнта термоелектричної добротності, зростанням коефіцієнта корисної дії і зниженням питомої вартості за кВт встановленої потужності, термоелектричні генератори будуть знаходити застосування в серійних автомобілях.

В недалекому майбутньому з розробкою нових напівпровідникових матеріалів його розраховують підняти до 20% і більше. Концерн BMW має намір вже найближчими роками почати використовувати ТЕГ при створенні серійного гібридного автомобіля.

Переваги:

- відсутність рухомих частин та складних механічних деталей;
- відсутність необхідності застосування рідин і/або газів під високим тиском;
- безшумність роботи;
- тривалий ресурс роботи без обслуговування;
- компактність та просте управління.

Недоліки:

- ефективність перетворення теплової енергії в електричну досить низька і становить близько 2...8%;
- висока вартість пристрою.

### Пристрої, що перетворюють теплову енергію в механічну.

Рекуперация теплової енергії ВГ і перетворення її в механічну роботу можливі за допомогою термодинамічних циклів Ренкіна і Стірлінга.

Дослідження пристрою для рекуператії теплової енергії ВГ, заснованого на циклі Ренкіна, для двигуна вантажного автомобіля, які представлені в роботі [6], показали, що цей пристрій може поліпшити паливну економічність на 12,5%. Проведені компанією

Cummins дослідження також показали, що теплова ефективність двигуна вантажного автомобіля може покращитися на 5,4% за рахунок рекуперації теплової енергії ВГ [7]. Компанією BMW була проведена робота по застосуванню парового циклу Ренкіна для збільшення ефективності ДВЗ, однак замість генератора був встановлений модуль, який передавав потужність на колінчастий вал. За даними BMW така система дозволяє знизити витрату палива до 15% [8].

На рисунку 3 приведена схема перетворювача теплової енергії ВГ в електричну, що об'єднує паросилову установку і генератор. Система заснована на генерації пари з використанням теплової енергії ВГ для отримання механічної енергії в результаті розширення пара. При розширенні в сопловому апараті пар набуває значну кінетичну енергію, яка в роторі турбіни перетворюється в механічну роботу. Механічна енергія турбіни перетворюється в електрогенераторі в електричну енергію. Після турбіни пар надходить в конденсатор, який представляє собою теплообмінник, в трубах якого циркулює вода, яка охолоджує пар.

З метою збільшення ефективності утилізації теплової енергії ВГ рядом авторів запропоновано використання органічного циклу Ренкіна. Органічний цикл Ренкіна - це технологія утилізації теплової енергії для виробництва електроенергії по замкнутому паровому циклу Ренкіна. Замість водяної пари застосовується органічна речовина.

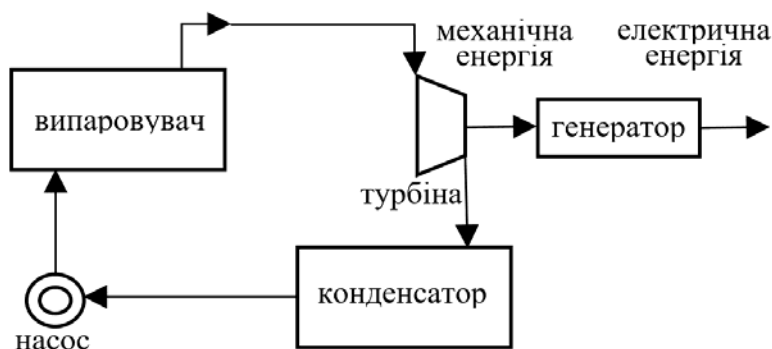


Рисунок 3. Схема перетворювача теплової енергії ВГ в електричну, що об'єднує паросилову установку і генератор

Використання органічного циклу за даними [9] забезпечує наступні переваги:

- високий загальний ККД турбіни (до 85%);
- низькі механічні навантаження на турбіну через низьку швидкості обертання турбіни, що дозволяє застосувати пряме з'єднання з генератором;
- відсутність корозії в зв'язку з використанням неагресивних органічних рідин;
- можлива експлуатація при низьких температурах навколишнього повітря;
- низький рівень шуму і тривалий термін роботи.

За результатами аналізу пристроїв для рекуперації теплою енергії ВГ, заснованих на циклі Стирлінга [10, 11], найбільш перспективним представляється застосування системи, яка складається з вільно-поршневого двигуна Стирлінга і лінійного генератора з постійним магнітом (рис. 4). У таких системах теплова енергія ВГ перетворюється в механічну двигуном Стирлінга, а лінійний генератор перетворює механічну енергію в електричну. Генератор може бути підключений до електричної мережі автомобіля або навантаженні за допомогою електричного перетворювача. Використання лінійного генератора замість традиційних систем перетворення механічної енергії в електричну дозволяє отримати деякі переваги: підвищення надійності системи, зниження шуму і вартості системи, що призводить до підвищення ефективності системи в цілому.



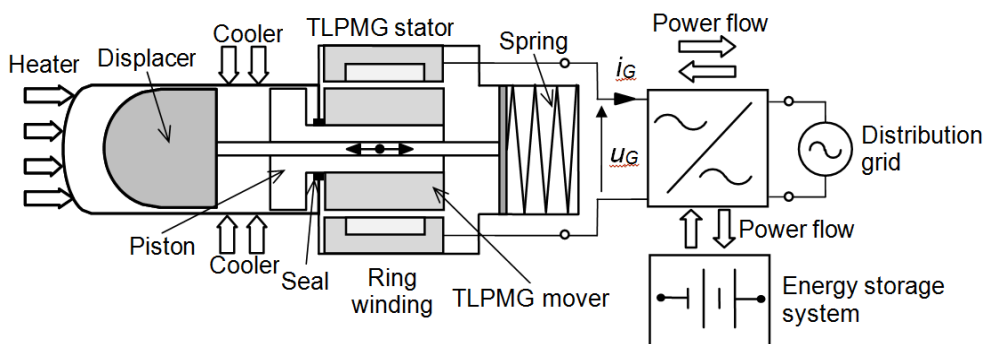


Рисунок 4. Схема вільно-поршневого перетворювача енергії, що об'єднує двигун Стірлінга і однофазний TLPMG [11]

Пряме використання теплової енергії відпрацьованих газів.

Забезпечення ефективної експлуатації автомобіля, що відповідає сучасним вимогам до паливної економічності та екологічної безпеки, неможливе без урахування умов експлуатації. При експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря має місце погіршення його паливної економічності. Основними причинами зростання витрат палива є неповнота згорання, яка пов'язана з погіршенням розпилювання і випаровування палива та збільшенням тривалості прогрівання холодного двигуна.

В умовах низьких температур навколишнього повітря тепла енергія може бути використана, наприклад, для обігріву салону автомобіля, акумуляторної батареї, підігріву повітря на впуску, палива та ін. Дослідження, представлені в роботах [2, 4] щодо впливу підігріву повітря на впуску на паливну економічність і концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах ДВЗ, показали поліпшення його паливної економічності, зменшення концентрацій  $C_mH_n$  і  $CO$ , а також зниження шуму при роботі двигуна. Рекуперація теплової енергії ВГ з метою попереднього підігріву альтернативних видів палив, зокрема біодизеля, дозволяє знизити його в'язкість, що забезпечує поліпшення розпилення, випаровування і краще сумішоутворення, що призводить до зниження емісії  $CO$ .

Більшість систем рекуперації теплової енергії побудовані на основі теплових акумуляторів (ТА) з різними способами передачі теплоти без її перетворення. Такі системи, мають відносно низьку питому собівартість, здатні тривалий час зберігати накопичену теплову енергію і не створюють додатковий аеродинамічний опір в випускному колекторі двигуна. На сьогоднішній день розроблена і випробувана досить велика кількість технічних рішень у цьому напрямку, створено багато різноманітних нових типів і конструкцій ТА. Перспективним напрямом у галузі створення енергоємних ТА є використання в ТА теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ), який здатен акумулювати частину теплової енергії ВГ з метою подальшої її передачі споживачеві. ТА, який має ТАМ з фазовим переходом (ТАФП), порівняно з традиційними теплоємнісними, має високу щільність акумульованої енергії за рахунок використання прихованої теплоти фазового переходу. (рис. 5, рис.6).

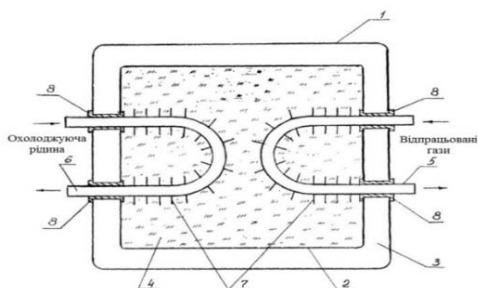


Рисунок 5. Система передпускової теплової підготовки двигуна з ТАФП [5]

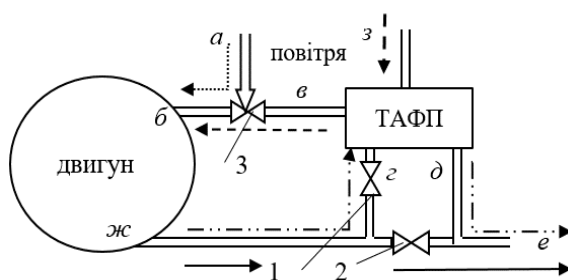


Рисунок 6. Схема функціонування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП [2]

В умовах низьких температур навколишнього повітря, за даними [3], застосування ТАФП для підігріву повітря на впуску при прогріванні в режимі холостого ходу карбюраторного двигуна MeM3-245 дозволяє зменшити час прогрівання на 19%, поліпшити паливну економічність на 20%, зменшити сумарні масові викиди продуктів неповного згорання, зведених до CO, на 48%; двигуна з системою впорскування і зворотнім зв'язком VW BBU – зменшити час прогрівання на 9%, поліпшити паливну економічність на 22%. Крім того, зазначається, що підігрів повітря на впуску прискорює початок функціонування каталітичного нейтралізатора (КН), підвищення температури ВГ в зоні попереднього каталітичного нейтралізатора до 360°C на 19% швидше ніж зі штатною системою. Сумарні масові викиди, зведені до CO, до попереднього КН зменшились на 10%, після попереднього КН – на 51%.

Переваги прямого використання теплової енергії ВГ:

1. Рекуперація теплової енергії ВГ прямим її використанням через ТА не вимагає внесення суттєвих конструктивних змін в системи та механізми двигуна;
2. Не погіршує аеродинамічний опір у впускному та випускному колекторах;
3. Не вимагає залучення фахівців при проведенні робіт з технічного обслуговування ТА;
4. Простота конструкції системи рекуперації не погіршує надійність транспортного засобу.

### **Висновки**

Виходячи з аналізу сучасних науково-технічних джерел, проведеного в ході виконання науково-дослідної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Існує великий потенціал для поліпшення паливної економічності і екологічних показників ДВЗ за рахунок використання технологій утилізації частини теплової енергії ВГ. Утилізація теплової енергії дозволяє забезпечити транспортний засіб різними видами енергій виходячи з умов експлуатації та його призначення - тепловою, електричною або механічною, без додаткових витрат на їх виробництво. Використання автовиробниками цих технологій призведе до підвищення енергоефективності енергетичної установки.

2. Для ДВЗ при безгаражному утриманні в умовах низьких температур навколишнього повітря і з тривалими періодами простою актуальним є питання безаварійного пуску холодного двигуна та зменшення часу на відновлення его теплового стану. Використання для цього систем рекуперації теплової енергії ВГ, спрямованих на попередній розігрів охолодної рідини і оливи системи мащення двигуна, а також підігрів повітря на впуску та палива сприяє підвищенню паливної економічності двигуна, зменшенню шкідливого впливу на навколишнє середовище і зменшенню зносу циліндропоршневої групи.

3. Генератори, що використовують прямий метод перетворення теплової енергії в електричну, мають на теперішній час високу вартість і досить низьку ефективність, але в найближчому майбутньому ефективність може бути збільшена за рахунок використання нових технологій, що дозволить, враховуючи мали масогабаритні характеристики та простоту обслуговування стати досить ефективним та безальтернативним технологічним рішенням отримання електричної енергії на борту транспортного засобу.

4. Застосування систем, що працюють за циклом Ренкіна, для рекуперації теплової енергії ВГ двигуна утрудняється складністю конструкції, великими розмірами основних вузлів, а також через непридатність застосування в якості робочого тіла води в районах з низькими температурами навколишнього повітря.

5. Застосування двигуна Стірлінга для рекуперації теплової енергії ВГ двигуна, незважаючи на досить високу ефективність, ускладнюється великою металоємністю, масогабаритними характеристиками, високою вартістю ущільнюючих елементів і робочого тіла. Причому, в разі використання в якості робочого тіла водню, необхідно також забезпечувати пристрій системи контролю та безпеки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Vazaquez J., Zanz-Bobi M.A., Palacios R., Arenas A., "State of the art of thermoelectric generators based on heat recovered from the exhaust gases of automobiles," Proceedings of 7th European workshop on thermoelectric, Paper #17, 3-4 Oct 2002, Pamplona, SPAIN.
2. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., "Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator," SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>.
3. Тріфонов Д.М. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобіля використанням теплових акумуляторів фазового переходу для прогріву двигуна: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20 — «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / Д.М. Тріфонов – Київ, 2018. 236 с.
4. Shahadat Z., Hoque E. and Mizuno T., "Study on Diesel Combustion by Preheated Inlet Air with Blends of Diesel and Biodiesel," SAE Technical Paper 2009-01-2900, 2009, <https://doi.org/10.4271/2009-01-2900>.
5. <http://www.findpatent.ru/patent/215/2150603.html>
6. Sprouse C. Iii and Depcik C., "Review of organic Rankine cycles for internal combustion engine exhaust waste heat recovery," Applied Thermal Engineering, vol. 51, pp. 711-722, 2013.
7. Jadhao J.S., Thombare D.G. «Review on exhaust gas heat recovery for I.C. Engine». International journal of engineering and innovative technology (IJEIT) Volume 2, Issue 12, June 2013
8. Ringler J., Seifert M., Guyotot V. and Hübner W. «Rankine cycle for waste heat recovery of IC Engines» (SAE 2009-01-0174).
9. Жарко Д.Н. Возможности современных биогазовых установок / Д.Н. Жарко БНТУ Материалы 70 й научно технической конференции студентов и аспирантов, Актуальные проблемы энергетики, Электронное издание Минск, 2014, с. 122-124.
10. Recovery of Exhaust Waste Heat for ICE Using the Beta Type Stirling Engine, Wail Aladayleh, Ali Alahmer, Hindawi Publishing Corporation, Journal of Energy, Volume 2015, Article ID 495418, 8 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/495418>
11. Analysis and Design of a Linear Tubular Electric Machine for Free-piston Stirling Micro-cogeneration Systems Università degli Studi di Padova 2014 P. 197.

## **ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Чабан В.А., Безкровный В.А., Камаев О.Ю.  
Херсонская государственная морская академия (Украина)

**Введение.** Важность рассматриваемой проблемы обусловлена потенциальной опасностью деятельности человечества на окружающую среду. Загрязнителей гидросферы много и они мало чем отличаются от загрязнителей атмосферы, отсутствие единого подхода к задачам вероятностного анализа безопасности технических систем при различных внешних и внутренних воздействиях. Однако и здесь есть свои особенности, связанные с химическими процессами и реакциями.

**Актуальность проблемы.** В мировом масштабе в качестве основного загрязнителя гидросферы сегодня выступают нефть и нефтепродукты, попадающие в водную среду в результате добычи нефти, ее транспортировки, переработки и использования в качестве топлива и промышленного сырья. Среди других продуктов промышленного производства особое место по своему отрицательному воздействию на водную среду занимают детергенты очень токсичные синтетические моющие вещества. Они плохо поддаются очистке, а между тем в водоемы их попадает не менее половины от начального количества. Детергенты часто образуют в водоемах слои пены, толщина которых на шлюзах и порогах достигает 1 м и более. «Коварными» промышленными отходами, загрязняющими воду, являются тяжелые металлы: ртуть, свинец, цинк, медь, хром, олово и др., а также радиоактивные элементы. Особую опасность для водной среды представляет ртуть (метилртутные фракции) [1].

Одним из наиболее значительных источников загрязнения водных ресурсов становится танкерный флот. Это проявляется прежде всего в смыве нефтепродуктов и попадании их в водоемы. В науке широко известен эффект эвтрофикации (или доступ к чистой воде городского (А) и сельского (Б) населения в отдельных регионах эвтрофирования) водоемов вследствие загрязнения их нефтью. В результате в водоемах снижаются кормовые ресурсы (фитопланктон, микроводоросли поверхностного слоя), затем снижается количество рыбы, ракообразных и других организмов. Однако со временем огромные толщи фитомассы отмирают, расходуя при этом все запасы кислорода. В водоеме интенсивно накапливается сероводород, а сам он, агонизируя, постепенно «умирает» [4], [6].

**Целью исследования** Цель данного исследования заключалась в разработке теоретикометодических основ комплексной оценки риска для водных экосистем при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов, растительности, стимулированию роста вредных синезеленых водорослей. Попавшая в морскую среду нефть начинает растекаться, стремясь попасть в мономолекулярный слой. Однако практически всегда образуются пятна (слитки) с чистой нефтью в центре, тогда как на периферии пятен появляется нефтеводная эмульсия. Легкие фракции нефти быстро испаряются. Таким образом, испарение играет огромную роль в перераспределении углеводородов между и атмосферой. Часто случающиеся катастрофы танкеров служат причиной серьезного загрязнения не только моря, но и атмосферы! Оставшиеся после испарения высококипящие фракции нефти образуют смолистые «комки», способные погружаться на дно. Раньше этот эффект широко использовался с помощью диспергирующих агентов, погружающих нефть на дно. Однако впоследствии такой способ отвергли, так как диспергирующий агент (т. е. химикат) оказывался токсичнее самой нефти.

Согласно многим источникам, ежегодно в Мировой океан поступает около 25—30 млн т этих веществ. Пути их попадания разные: 23% общих загрязнений нефтью и нефтепродуктами приходится на преступный сброс с судов промывочных и балластных вод; 28% — на приток с речными водами; 17% — на потери при переливе нефти с

танкеров при загрузке; 16% — на береговые промышленные сточные воды; 10% — на атмосферные осадки; 5% — на катастрофы танкеров и 1% — на шельфовое бурение[3].

Днепр не умирает, он де-факто мертв, поскольку лишился способности к самоочищению. В первую очередь потому, что он техногенно-деформирован, у него нет нормального поверхностного водообмена, а также стока грунтовых вод. На сегодняшний день продолжают наращиваться изменения водного баланса и качества вод, которые поступают в Днепр. Одной из главных проблем является недостаточно эффективная очистка промстоков. Несмотря на то, что их количество заметно снизилось, уровень загрязнения продолжает нарастать.

В тоже время сегодня идет активная добыча песка в ряде водохранилищ, при которой нарушается естественный равновесный профиль, который сложился уже в условиях водохранилищ. Так начинается перераспределение этих песчано-глинистых материалов, в результате чего начинают появляться отмели возле опор мостов, где уменьшено сечение русла реки и увеличена скорость.

Это связано непосредственно с процессом эвтрофикации реки. Проще говоря, это процесс аномального роста водной растительности и в частности сине-зеленых водорослей. Вызвано это крайне высоким уровнем фосфатов в воде, которые являются благодатной почвой для развития микроорганизмов. В результате в воде уменьшается количество кислорода, она начинают буквально гнить. Это приводит к массовому мору рыбы. К сожалению, процесс этот остановить невозможно, ведь Днепр неспособен сам себя очищать. Не стоит также забывать, что Днепр «кормит» примерно 70% питьевого водоснабжения Украины, хотя по качеству он **абсолютно непригоден**.

Величины опасностей тесно связаны также с количеством разлитых веществ, режимом сброса (одномоментный или продолжительный), гидрометеорологическими условиями, морфометрией акватории и видами населяющих ее гидробионтов.

Долговременные экологические последствия загрязнения Океана и вообще всей гидросферы нефтью и нефтепродуктами изучены пока недостаточно. Есть аспекты, которые еще ждут своего исследования. Так, известно, что нефть и нефтепродукты всегда содержат полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), отличающиеся канцерогенной активностью. До сих пор считалось, что главным источником таких особо опасных веществ является отработанное машинное масло, попадающее в водную среду с судов. Однако в последние годы в науке сформировалась точка зрения, согласно которой некоторые морские организмы могут не только аккумулировать ПАУ, но и синтезировать их из сырой нефти. Если в дальнейшем это подтвердится, то проблем только усугубится.

При этом степень их накопления и проявления токсичности в значительной степени зависит от гидродинамических и термических характеристик водного объекта. Например, в непроточном водоеме углеводы аккумулируются в донных отложениях, которые становятся источником хронического загрязнения. С повышением температуры токсическое воздействие практически всех углеводов усиливается.

Иногда в пищевых цепях ихтиофауны наблюдается своеобразный эффект усиления концентрации токсикантов. Так, если морской планктон содержит одну единицу известного углевода, то мальки рыб — уже 25 единиц, хищная морская птица — около 1500 единиц, а крупные морские животные — намного больше. Отметим также, что представители ихтиофауны, отличающиеся большей жирностью, представляют для человека значительную опасность.

Долговременные экологические последствия загрязнения Океана и вообще всей гидросферы нефтью и нефтепродуктами изучены пока недостаточно. Есть аспекты, которые еще ждут своего исследования. Так, известно, что нефть и нефтепродукты всегда содержат полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), отличающиеся канцерогенной активностью. До сих пор считалось, что главным источником таких особо опасных веществ является отработанное машинное масло, попадающее в водную среду с судов. Однако в последние годы в науке сформировалась точка зрения, согласно которой некоторые морские организмы могут не только аккумулировать ПАУ, но и синтезировать их из сырой нефти. Если в дальнейшем это подтвердится, то проблем только приобретет глобальные проблемы для человечества

У нас есть системы очистки воды, однако они малоэффективны. В Украине используют от двух до трех степеней очистки воды, в то время как в развитых странах — от 8 до 12. В основном у нас идет хлорирование воды, в цивилизованном мире подобные методы давно не используются. Ведь хлор вступает в реакцию с рядом смесей, примесей и образует большую цепочку токсичных соединений.

В Европе работают ультрафиолетовые, акустические и другие, более безопасные системы очистки. В условиях нарастающего загрязнения больших украинских рек, вода которых активно используется в питьевой цепочке, мы по эффективности очистки отстаем от техногенных изменений и поэтому формируем повышенные риски для здоровья людей. В условиях существенной роли случайных и неопределенных параметров это позволяет более адекватно учесть разбросы характеристик внешнего воздействия и рассматриваемого объекта, а также условности расчетных моделей, несовершенство средств диагностики, возможные ошибки персонала и некоторые другие особенности функционирования сложных технических систем морского судна. К настоящему моменту сложилась определенная схема выполнения вероятностных анализов безопасности. Тем не менее, применение вероятностных подходов на основе концепции приемлемых рисков к оценке безопасности судовой техники носит ограниченный характер и в большинстве случаев выполнены только весьма приблизительные его оценки. Большинство исследований не уделяет должного внимания вкладу человеческого фактора и касаются в основном различных аспектов функционирования технологического оборудования.

Деятельностью человека руководят мыслительные процессы, основанные на навыках, правилах или знаниях. С учетом этого предложено использовать логическое дерево предсказания ожидаемого поведения человека при выполнении им работы, что ни одна из существующих моделей не может быть универсальной при анализе надежности человека.

**Выводы** Таким образом в данной работе проведены исследования в разработке теоретико-методических основ комплексной оценки риска для водных экосистем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов Б.В., Пархоменко В.П., Солбаков В.В., Шапочкин Д.А. Математическое моделирование распространения нефтяных разливов в морской среде. М.: ВЦ РАН. 2001. - 55 с.
2. Ильин И.Е. Изучение опасности перераспределения загрязнителей химической и биологической природы в водной среде // Гигиена и санитария. 1986. №6. - С.811.
3. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию: Учебное пособие. СПб.: Химиздат. 1999. - 144 с.
4. Кацман Ф.М., Ершов А.А. Аварийность морского флота и проблемы безопасности судоходства // Транспорт Российской Федерации. №5, 2006. - С. 82 - 84.
5. Лазарев Н.В. Неэлектролиты. Опыт биологофизикохимической их систематики. Л.: Военномедицинская академия. 1944. 272 с.
6. Леонов В.Е., Ходаковский В.Ф., Куликова Л.Б. Основы экологии и охрана окружающей среды. Монография./ Под редакцией профессора Леонова В.Е./ Херсон : Издательский центр ХГМИ. 2010-352с.
7. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства. Утверждена Министерством природных ресурсов РФ. Приказ №71 от 30 марта 2007 года.
8. Никаноров А.М., Пантюхин Я.В., Заволжский М.В., Коханая С.И. Адаптационные характеристики водных экологических систем. В кн.: «Экологическое нормирование и моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы». Вып. 2. СПб.: Гидрометеиздат. 1999. - С. 654.
9. SOLAS. Consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea 1974. London IMO. 2004-566p.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИЕЙ СБРОСНОГО ТЕПЛА

Чередниченко А.К.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова (Украина)

Анализ проблем утилизации вторичных энергоресурсов тепловых двигателей транспортных энергетических установок позволил сформулировать научную гипотезу, о том, что на судах и объектах океанотехники, применение газообразного топлива рационально осуществлять в комбинированной установке с термохимической регенерацией сбросного тепла двигателей. Перспективным направлением применения термохимической регенерации тепла в пропульсивной установке может быть конверсия испаряющегося в процессе транспортировки газоведами сжиженного газа (LPG и LNG).

Математическое моделирование позволило исследовать влияние температуры реакции паровой конверсии на прирост теплотворной способности углеводородных топлив и сопоставить эффективность использования транспортных тепловых двигателей разного типа. Зависимость прироста теплотворной способности продуктов конверсии LNG от температуры реакции может быть представлена в виде

$$\begin{aligned} \sum \Delta H_U = & P_M \cdot [a_M \cdot T^7 + b_M \cdot T^6 + c_M \cdot T^5 + \\ & + d_M \cdot T^4 + e_M \cdot T^3 + f_M \cdot T^2 + g_M \cdot T + h_M] + \\ & + P_E \cdot [a_E \cdot T^6 + b_E \cdot T^5 + c_E \cdot T^4 + d_E \cdot T^3 + \\ & + e_E \cdot T^2 + f_E \cdot T + g_E] + P_P \cdot [a_P \cdot T^6 + \\ & + b_P \cdot T^5 + c_P \cdot T^4 + d_P \cdot T^3 + e_P \cdot T^2 + f_P \cdot T + g_P] + \\ & + P_B \cdot [a_B \cdot T^5 + b_B \cdot T^4 + c_B \cdot T^3 + d_B \cdot T^2 + e_B \cdot T + f_B], \end{aligned}$$

где  
 $P_M, P_E, P_P, P_B$  - доли компонентов газа: метан, этан, пропан, бутан соответственно;  
 $a, b, c, d, e, f, g, h$  - коэффициенты, полученные путем обработки результатов расчетов методами регрессионного анализа

Автором предложена и исследована методами математического моделирования схема комбинированной дизель-газотурбинной установки (ДГТУ) с термохимической регенерацией тепла отходящих газов ГТД путем паровой конверсии углеводородного топлива (рис. 1).

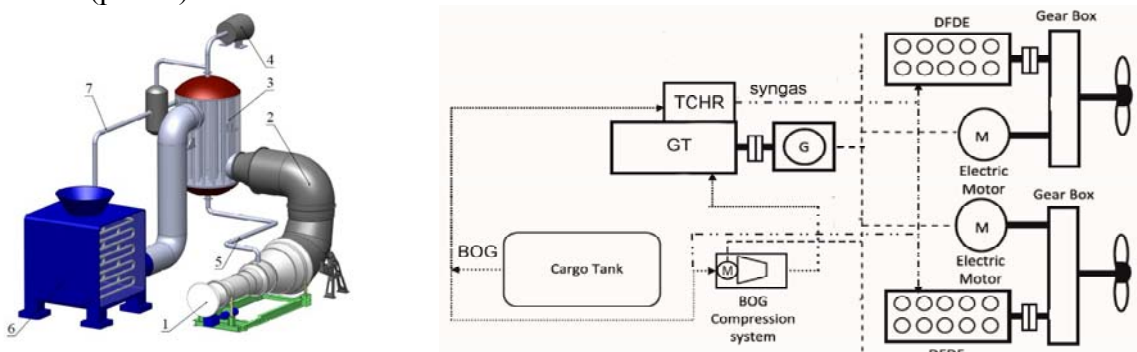


Рисунок 1. Схема ДГТУ с ТХР

Применительно к энергетической установке газоведа LNG грузоместимостью 266 тыс. м<sup>3</sup> данная схема предполагает единую электроэнергетическую установку суммарной мощностью 44 МВт. В состав установки входит газотурбогенератор на базе ГТД Siemens SGT 400, мощностью 12,9 МВт и 2 двухтопливных четырехтактных среднеоборотных дизельных двигателя Wärtsilä 16V50DF мощностью 15,6 МВт каждый. Рассмотрено два варианта: В1 – ГТД работает на природном газе, ДВС на продуктах конверсии; В2 – совместная работа ГТД и ДВС на конвертируемом синтез-газе.

Проведено сопоставление значений достигаемого конструктивного индекса энергетической эффективности судна Attained EEDI для предложенной схемы и базового варианта пропульсивной установки с МОД, работающим на тяжелом топливе HFO и системой повторного сжижения испарившегося груза. Результаты представлены на рис. 2. Там же представлены требования IMO по Required EEDI, вступающие в силу в различные временные фазы.

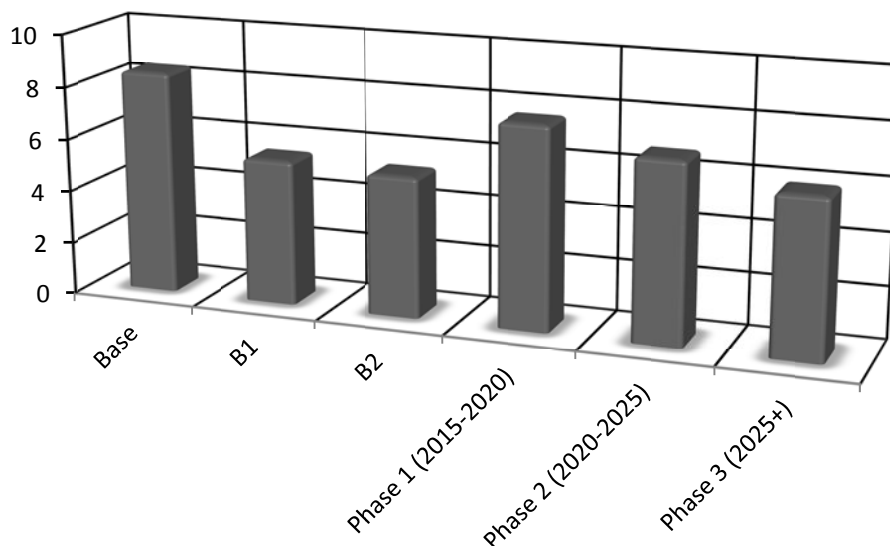


Рисунок 2. Attained EEDI для моделируемых пропульсивных установок газозовозов и Required EEDI, действующие и вступающие в силу с 2020 года

Выводы. Применение в транспортной энергетической установке судна термохимических технологий утилизации вторичных энергоресурсов тепловых двигателей, позволяет снизить достижимый конструктивный индекс энергетической эффективности судна на 35-40% и обеспечить перспективные требования IMO по энергоэффективности.



### **Секція 3**

## **КОНСТРУКЦІЯ ТА РОБОЧІ ПРОЦЕСИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

## **MARINE DIESEL ENGINES VIBRATION DIAGNOSTICS METHODS**

Varbanets R.A., Yeryganov O.V., Shumilo O.M., Loginov O.M., Kyrnats V.I., Maulevych V.O.  
Maritime Institute of Odessa National Maritime University (Ukraine)

Presentation discusses the possibility of vibration diagnostics of marine diesel engine, given the rate of machinery vibration, according to international standards. The analysis of vibration diagnostics methods applied to piston engines are being shown. Introduction into the vibrospeed RMS zones for various classes of mechanisms according to the ISO 10816 standard. DFT leakage effect and it's amplitude, frequency and phase affection is shown. Suggested an elimination method of the leakage effect, based on solving a system of complex equations, where an amplitude spectrum harmonic values are used as the parameters. Presented main defects of various diesel units and the frequencies of the harmonics that indicates their occurrence.

The structure of marine diesel engines combines various mechanisms and units associated with different functions and operations, such as:

- reciprocating motion mechanisms (the crank mechanism, pistons);
- rotary mechanisms (gear, belt and chain drives, oil and water pumps, turbocharger, crankshafts and camshafts);
- high pressure fuel injection elements (high pressure fuel pumps, valves and injectors);
- gas distribution mechanism (inlet and exhaust valve drives);
- rolling bearings, crankshaft bearings and connecting couplings;
- other components (generators in the diesel generators etc.)

Normal functioning of a marine diesel engine is ensured by a set of a certain operational mechanisms. Each one of these mechanisms generates its own specific vibrations, mere fact of which greatly complicates the task of vibration diagnosis of marine diesel malfunctions, despite relatively easy malfunction diagnosis based on analyzing vibrations an a rotary type machinery. The fact that the vibration signal at some location results from a sum of very heterogeneous signals from the different nearby mechanisms somehow even more complicates the task. This being mentioned, in order to simplify the task of diagnosis, vibro-diagnostics methods of marine diesels are usually reduced to the diagnosis of the individual components and mechanisms.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ CROSS CURRENT**

Авраменко Н.Н., Растегина Г.И.  
Херсонская государственная морская академия (Украина)

**Введение.** Судовая электроэнергетическая система (СЭЭС) входит в состав судовой энергетической установки и функционально связана с системами судовождения, общесудовыми, контроля, управления и защиты, а также специальными системами и устройствами. Элементы СЭЭС органически вписываются в судно и составляют с ним единое целое [1]. От надежной работы СЭЭС зависит работоспособность всех электрифицированных судовых технических средств и безопасность плавания судна.

На современных судах значение СЭЭС поднялось до значения главной энергетической установки. Вместе с ростом мощности и сложности СЭЭС повышается степень ее автоматизации. В связи с этим значительно возрастают требования к знаниям и навыкам в области судового электрооборудования не только судовых электромехаников, но и судовых механиков.

Требования к компетентности, профессионализму, методам демонстрации компетентности и критериям ее оценки для электромехаников и механиков сформулированы в Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДНВ) 1978 г. с Манильскими поправками 2010 года [2].

**Актуальность исследований.** Анализ известных аварий, происходивших в судовых электроустановках показывает, что сравнительно часты случаи выхода из строя синхронных генераторов судовой электростанции (СЭС) и их приводных двигателей по причине возникновения ошибок при включении синхронных генераторов в параллель, а также в процессе последующего перераспределения нагрузки между ними [3].

Формирование компетентности cross current регламентируется IMO MODEL COURSE 2.07 Engine room simulator [4].

**Цель исследований.** Определить причины возникновения cross current в судовых электроэнергетических системах при параллельной работе синхронных генераторов, выявить их влияние на работу синхронных генераторов и электростанции в целом. Научиться по показаниям электроизмерительных приборов выявлять эти токи.

**Результаты исследований.** Исследования проводились с помощью программы MC90-V (MD111), которая является симулятором работы механизмов машинного отделения судна.

В дословном переводе cross current это перекрестный ток, т.е. электрический ток, который может возникнуть между обмотками статоров параллельно работающих синхронных генераторов. В теории СЭЭС этот ток называется уравнивающим. Рассмотрим причины его возникновения и влияние на работу генераторов.

Для включения синхронного генератора параллельно с другим необходимо выполнение следующих условий:

- 1) равенство напряжения сети и ЭДС подключаемого генератора;
- 2) равенство их частот;
- 3) совпадение порядка чередования фаз;
- 4) равенство углов сдвига между ЭДС каждого генератора и напряжением на шинах.

Последнее условие сводится к геометрически одинаковому положению роторов генераторов относительно обмоток своих статоров.

Процесс приведения генераторов в такое состояние, при котором все перечисленные условия будут выполнены, называется синхронизацией генераторов.

Если генераторы синхронизированы, то включение их на параллельную работу протекает спокойно, без появления в системе каких-либо дополнительных бросков тока. Если хотя бы одно из условий не выдержано, то между генераторами появляются значительные токи (уравнительные или токи биения), которые не позволяют осуществить параллельную работу генераторов, а токи биения могут даже вызвать их повреждение.

Для простоты рассмотрим параллельную работу двух однофазных синхронных генераторов.

Если генераторы одинаковы, электродвижущие силы и скорости вращения их равны, то при отсутствии внешней нагрузки (т. е. при холостом ходе) в цепи обмоток статоров генераторов тока не будет, так как ЭДС взаимно уравновешиваются.

При включении внешней нагрузки оба генератора начнут отдавать одинаковую мощность. При индуктивной нагрузке напряжение каждого уменьшится на одну и ту же величину, причем между э. д. с. генератора и его напряжением появится некоторый сдвиг, по фазе определяемый углом  $\delta$ . Мощность, отдаваемая генератором во внешнюю цепь, пропорциональна этому углу.

Предположим, что мы увеличили возбуждение, а следовательно, и ЭДС первого генератора и уменьшили возбуждение второго так, что общее напряжение генераторов осталось прежним.

Так как мощность, развиваемая первичными двигателями, осталась неизменной, то как общая мощность, так и мощности, отдаваемые каждым из генераторов, также не изменились. Не изменился и ток внешней нагрузки:  $I$  — общий и  $I/2$  — для каждого генератора.

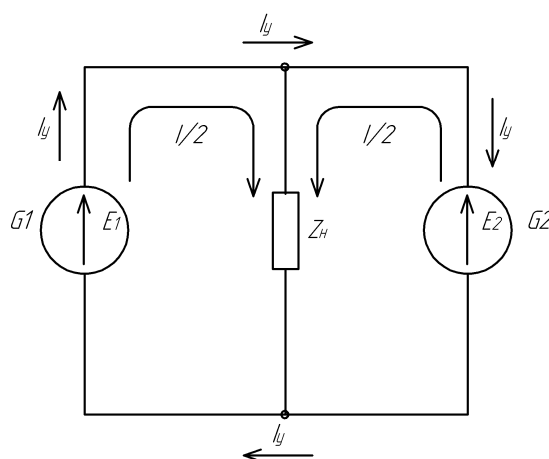


Рисунок 1. Схема соединения генераторов и нагрузки

Так как ЭДС обоих генераторов уже не равны, то между генераторами появится уравнительный ток  $I_y$ , протекающий только по цепи генераторов. Распределение токов в этом случае показано на рис. 1. Как видим, ток в первом генераторе будет равен геометрической сумме токов внешней нагрузки  $I/2$  и уравнительного  $I_y$ , а во втором – геометрической их разности. Индуктивные сопротивления обмоток статоров генераторов значительно больше их активных сопротивлений. В связи с этим уравнительный ток будет отставать от разности э. д. с. генераторов почти на  $90^\circ$ . При этом условии при сложении токов в первом генераторе и вычитании их во втором результирующий ток будет отставать от напряжения в каждом генераторе на различный угол.

Иными словами, каждый из генераторов будет работать при своем коэффициенте мощности, отличном от коэффициента мощности внешней сети. Если активная мощность, потребляемая внешней нагрузкой, близка к суммарной мощности обоих генераторов, то у перевозбужденного генератора действующий ток превысит номинальный ток генератора, чего допускать нельзя (перегрузка по току).

Отсюда следует, что при параллельной работе синхронных генераторов необходимо стремиться к тому, чтобы все генераторы работали с одним и тем же коэффициентом мощности, равным коэффициенту мощности сети.

На тренажере симуляторе машинного отделения проведем исследования и проверим правильность наших рассуждений.

Включаем на параллельную работу два дизельгенератора DG1 и DG2. Эти генераторы имеют одинаковую мощность и настройки их автоматических регуляторов напряжения и частоты совпадают. Схема генерирования тренажера приведена на рис. 2.

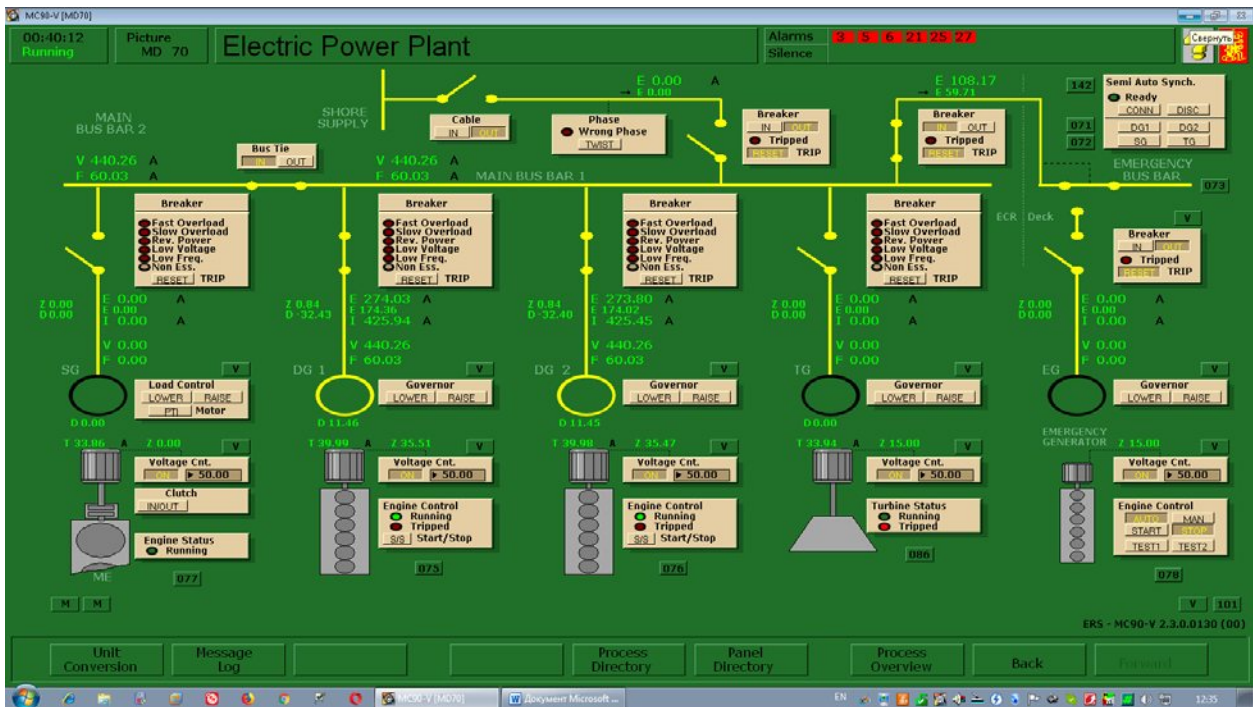


Рисунок 2. Схема тренажера при параллельной работе двух генераторов

Смотрим показания электроизмерительных приборов на генераторных панелях ГРЩ дизельгенераторов DG1 и DG2. Показания приборов практически одинаковые (см. рис. 3).

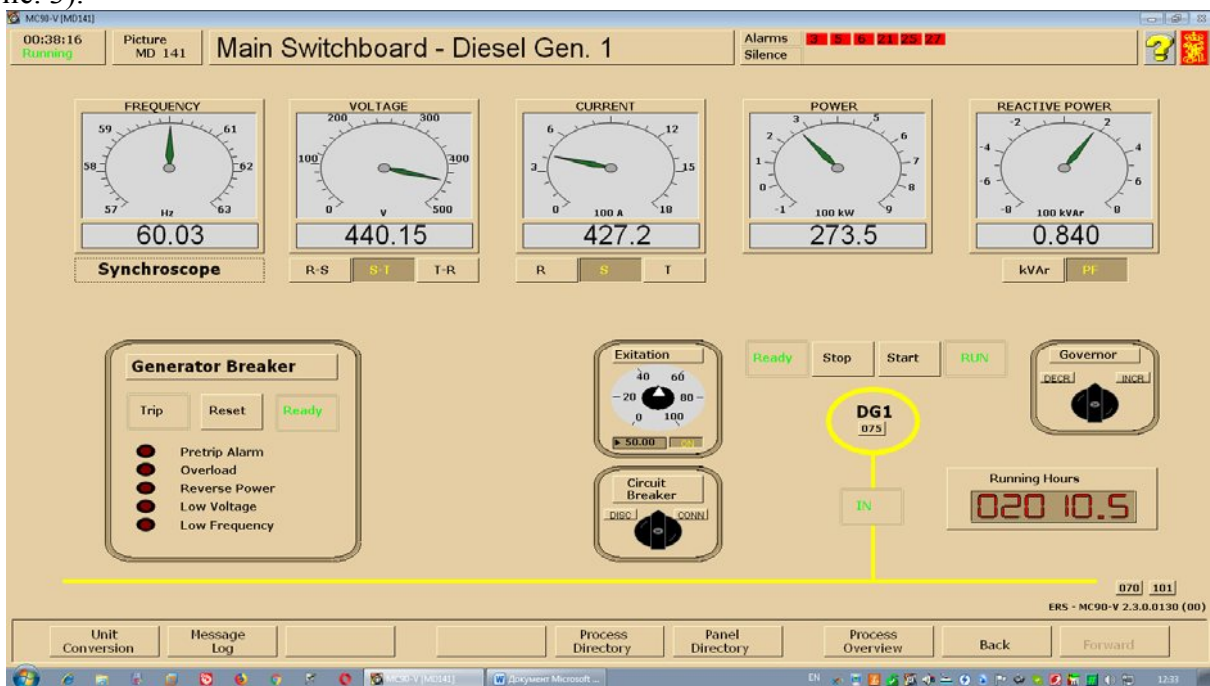


Рисунок 3. Генераторная панель DG1 при номинальных настройках

Генераторы работают с одинаковой активной и полной нагрузкой и имеют одинаковые коэффициенты мощности 0,84.

Изменяем настройку ЭДС первого генератора в сторону уменьшения, а настройку второго генератора не трогаем. Показания приборов на генераторной панели DG1 представлены на рис. 4, а второго генератор DG2 на рис. 5.

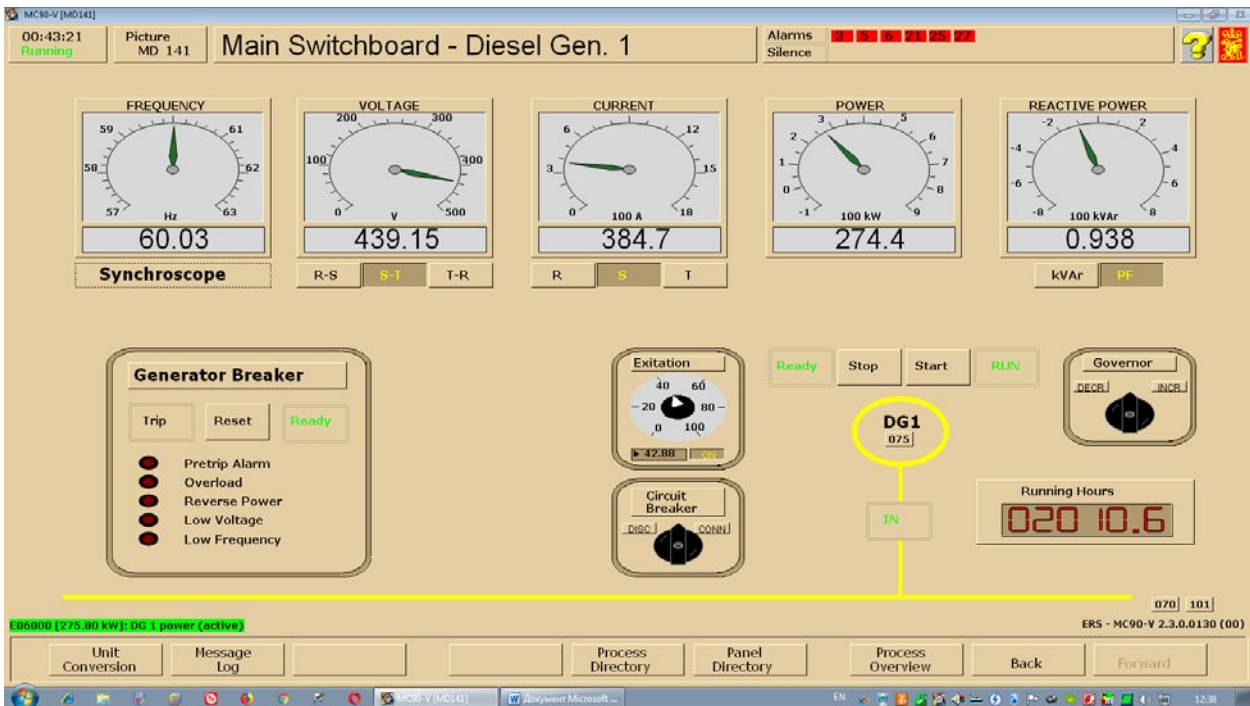


Рисунок 4. Генераторная панель DG1 при невозбуджении

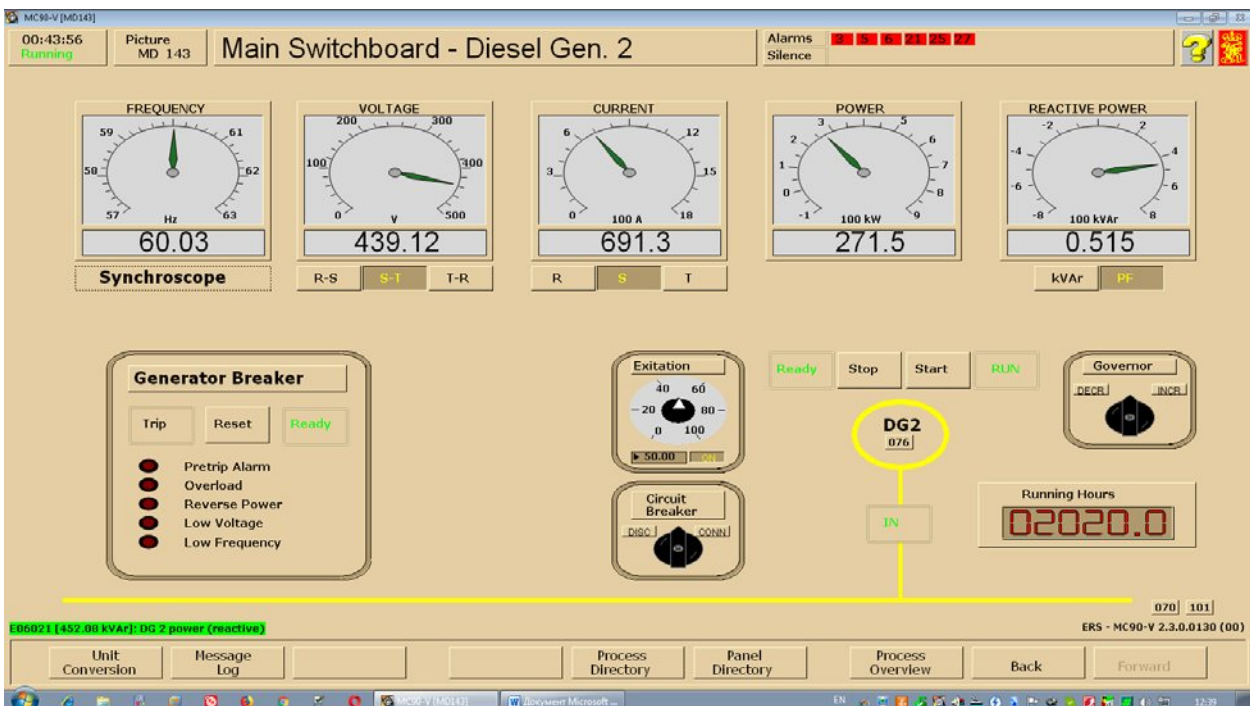






Рисунок 5. Генераторная панель DG2 при номинальных настройках

Изменился коэффициент мощности генераторов и их суммарный ток нагрузки, хотя внешняя нагрузка не изменилась. Эти изменения вызваны появлением уравнительного тока (cross current), который носит реактивный характер и может вызвать

перегрузку по полному току генератора. В таблице 1 представлено сравнение показаний приборов контроля коэффициента мощности двух генераторов.

Таблица 1. Сравнение показаний приборов контроля коэффициента мощности на генераторных панелях ГРЩ дизельгенераторов DG1 и DG2

Номер дизельгенератора	Показания приборов на ГРЩ в зависимости от настройки AVR	
	AVR DG1 и DG2 настроены одинаково на номинальное возбуждение	AVR DG1 настроен на недовозбуждение, DG2 – на номинальное возбуждение
Diesel Generator 1 (DG1)		
Diesel Generator 2 (DG2)		

Недовозбужденный генератор сбрасывает реактивную нагрузку и даже переходит в режим потребления реактивной энергии, о чем свидетельствует его отрицательный коэффициент мощности.

#### Выводы:

1. В результате эксперимента получены уравнивающие токи (cross current), которые протекают между обмотками статоров параллельно работающих генераторов и возникают, если ЭДС параллельно работающих генераторов не равны.
2. Уравнивающий ток носит реактивный характер, увеличивает коэффициент мощности генератора с меньшей ЭДС и уменьшает коэффициент мощности генератора с большей ЭДС, что приводит к увеличению его полного тока.
3. Уравнивающий ток может создавать дополнительную реактивную нагрузку и не дает возможность загрузить генератор по активной мощности.
4. Чтобы предотвратить появление уравнивающих токов необходимо периодически проверять настройку автоматических регуляторов напряжения. Внешние характеристики всех параллельно работающих генераторов должны совпадать.
5. Работа генераторов при возникновении уравнивающих токов является неэкономичной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы / А.П. Баранов - СПб: Судостроение, 2005. – 528 с.
2. Техническая эксплуатация судового электрооборудования: учебно-справочное пособие / под ред. С.Е.Кузнецова. – Москва: Проспект, 2010. – 512 с.
3. Сюбаев М.А. эксплуатация судового электрооборудования: Учеб. Пособие / М.А. Сюбаев. – СПб.: Издательство ГМА им. Адм. С.О.Макарова, 2008. – 48с.
4. MODEL COURSE 2.07. Engine-room simulator- IMO Publication. Sales number: ETB207E, 2017 – p. 184 – электронный ресурс [www.imo.org](http://www.imo.org).

## ОРГАНИЗАЦИИ ВНУТРЕННЕГО СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В СУДОВЫХ МАЛООБОРОТНЫХ ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

<sup>1</sup>Белоусов Е.В., <sup>1</sup>Грицук И.В., <sup>2</sup>Варбанец Р.А., <sup>3</sup>Вербовский В.С.

<sup>1</sup>Херсонская государственная морская академия (Украина)

<sup>2</sup>Одесский национальный морской университет (Украина)

<sup>3</sup>Институт газа НАН Украины (Украина)

### Введение

Ужесточение экологических норм на морском транспорте заставило производителей судового энергетического оборудования искать новые пути снижения вредного воздействия элементов судовых энергетических комплексов на окружающую среду. Вследствие больших агрегатных мощностей судовых энергетических установок, в местах интенсивного судоходства загрязнение воздушного бассейна порой достигает критических значений особенно оксидами азота ( $\text{NO}_x$ ) удельное выделение которых, в силу специфики организации рабочего процесса, особенно велико у малооборотных судовых дизелей. Кроме ограничений по  $\text{NO}_x$  стандартами международной морской организации (ИМО) через конвенцию MARPOL [2] регламентированы выбросы твердых частиц, соединений серы ( $\text{SO}_x$ ), а так же парниковых газов. В дополнение к общим нормам, международное морское законодательство также устанавливает особые зоны контроля (ECA – Emission Control Area), в которых к выбросам предъявляются ещё более жесткие требования. Как видно из рис. 1, в перспективе, перечень регионов, где эти требования будут предъявляться, только возрастет.

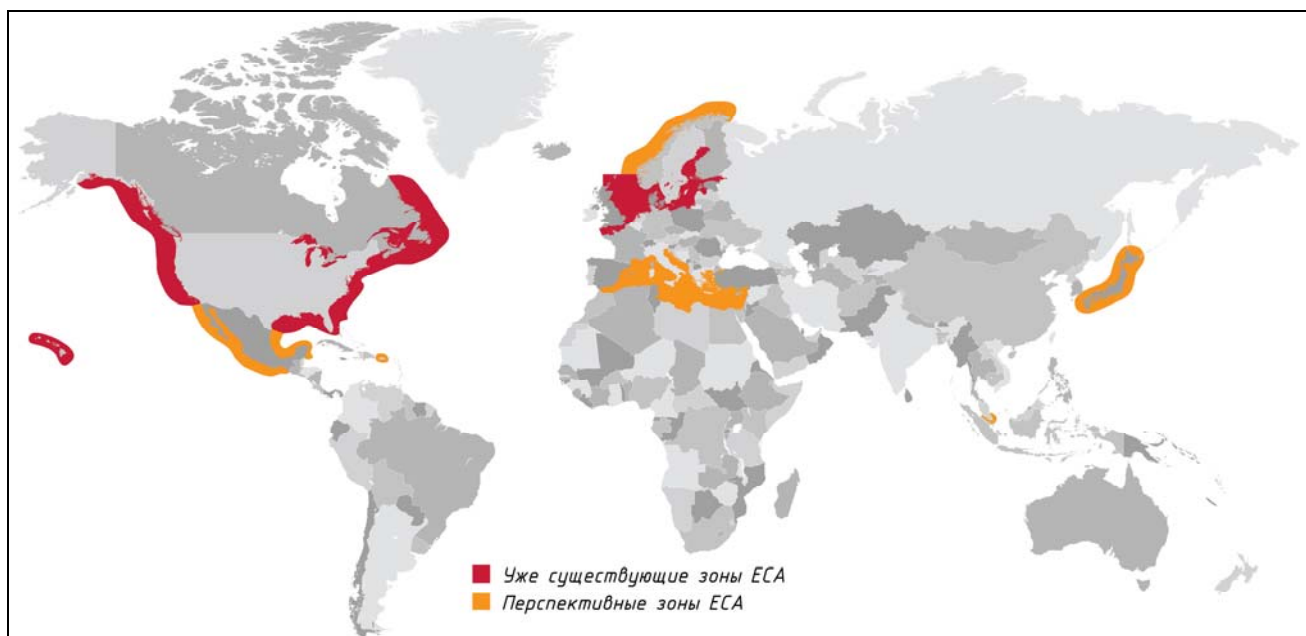


Рисунок 1. Уже существующие и перспективные зоны ECA

Специалистами, в настоящее время, рассматриваются три основных подхода для достижения приведенных выше норм, особенно при плавании в зонах ECA:

- переход на новый вид ультранизкосернистого топлива (ULSFO);
- внедрение технологии очистки отработавших газов на выходе из двигателя;
- использование в качестве моторного топлива природного газа или пропанобутановых смесей [3].



### **Анализ состояния проблемы**

Использование топлив ULSFO позволяет решить проблему сокращения выбросов соединений серы, однако не позволяет снизить выбросы таких вредных компонентов как оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) и сажи (С) а так же сократить выбросы парниковых газов.

Технологии очистки отработавших газов после двигателя на сегодня активно развиваются, но существующие технические решения существенно ухудшают массогабаритные показатели энергетических установок. На сегодня размеры реактора для каталитической очистки газов соизмеримы с размерами двигателя, для которого этот реактор используется (рис. 2). Кроме того использование таких реакторов на борту судна требует наличия запаса реагентов, обеспечивающих функционирование реактора.

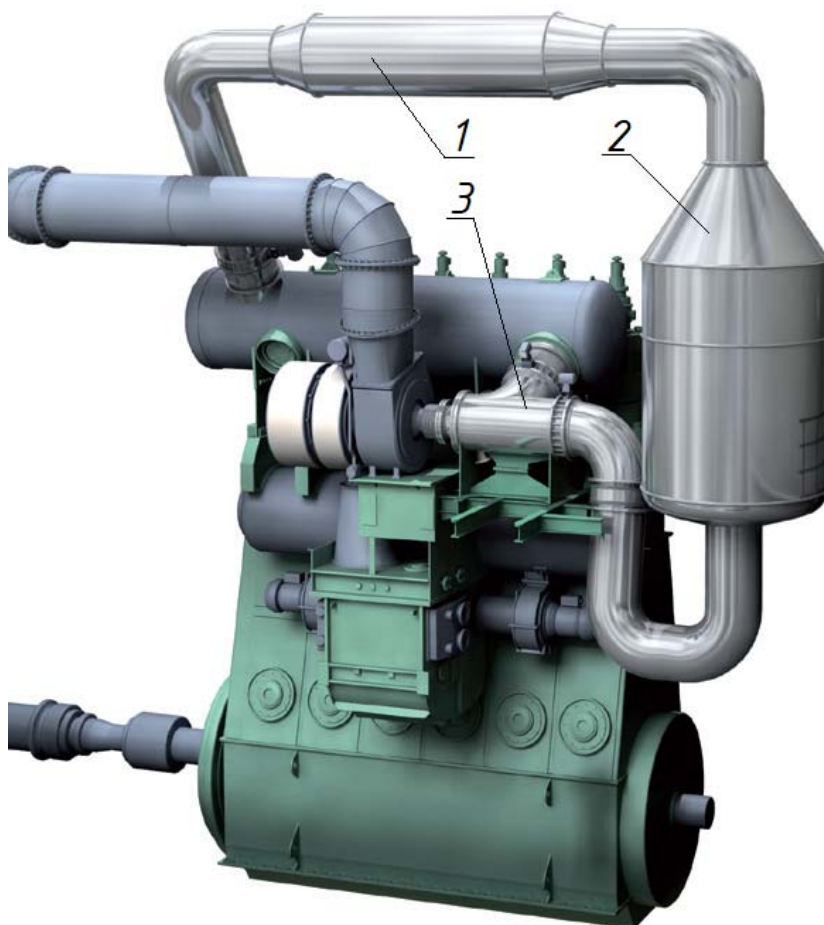


Рисунок 2. Каталитическая система снижения токсичности отработавших газов двигателя: 1 – блок для смешения и испарения реагентов с отработавшими газами; 2 – каталитический реактор; 3 – блок управления потоками отработавших газов

Последнее направление – использование сжиженного природного газа рассматривается как наиболее перспективное направление для всех типов судовых дизелей и в первую очередь главных малооборотных [3, 4].

В силу особенностей организации рабочего процесса, в двухтактных малооборотных дизелях используется только внутреннее смесеобразование с подачей газового топлива (ГТ) в процессе сжатия воздушного заряда. На сегодня реализованными являются два варианта смесеобразования в начале сжатия с подачей ГТ в рабочий цилиндр под низким давлением (фирма Wärtsilä) (рис. 3а) и в конце сжатия под высоким давлением (фирмы MAN и Mitsubishi) с последующим запальным воспламенением газоз-воздушной смеси (рис. 3б).

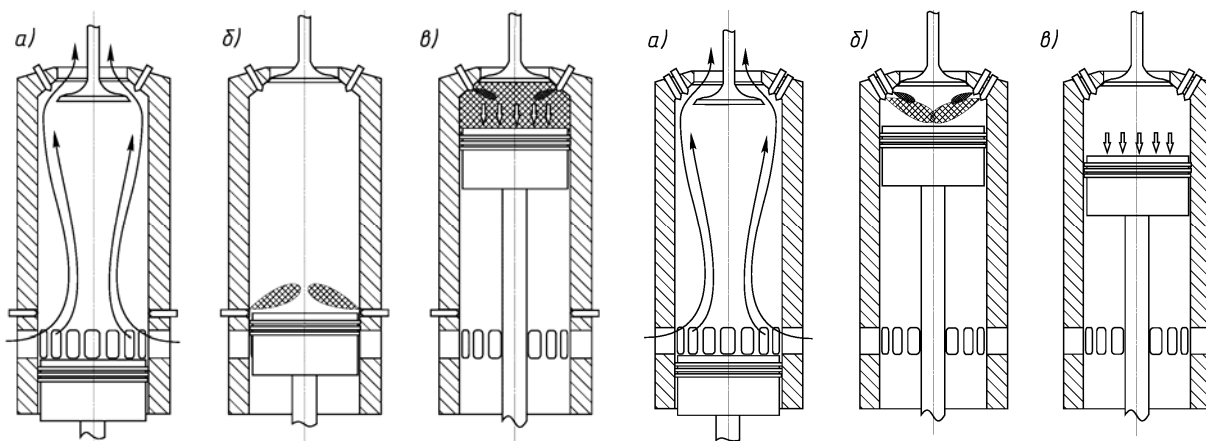


Рисунок 3а. Рабочий процесс двухтактного газодизельного двигателя с подачей ГТ в рабочий цилиндр в начале такта сжатия: а – продувка цилиндра; б – подача газа; в – воспламенение, сгорание и рабочий ход

Рисунок 3б. Рабочий процесс двухтактного газодизельного двигателя с подачей газа в конце такта сжатия: а – продувка цилиндра; б – подача газа, воспламенение и сгорание; в – рабочий ход

Авторами, в работе [5] было показано, что помимо существующих способов организации внутреннего смесеобразования вполне рациональным может быть реализация подачи ГТ в рабочий цилиндр под средним давлением, которая позволяет сочетать в себе преимущества обоих вариантов подачи газа под высоким и низким давлением. Однако не исследованным остается вопрос, определения требований к показателям работы газоподающей аппаратуры для обеспечения подачи ГТ в рабочий цилиндр в ходе процесса сжатия. Исследованию временных параметров работы газоподающих клапанов было посвящено описанное ниже исследование.

#### Методика исследования

Для анализа процессов смесеобразования на такте сжатия воздушного заряда авторами была разработана расчетная модель позволяющая получить значение массовых расходов ГТ через газовый клапан заданного сечения в условиях меняющегося в процессе сжатия противодействия [5]. С помощью данной модели был проведен ряд численных экспериментов, для которых в качестве исходных данных были использованы параметры двигателя RT-flex50DF, в котором реализовано внутреннее смесеобразование под низким давлением (1,6 МПа). Такой подход позволил не только получить ряд характеристик смесеобразования, но и проверить модель путем сравнения результатов расчета с экспериментальными данными для уже реализованных вариантов подачи ГТ в рабочие цилиндры дизелей. При проведении численных экспериментов, в качестве жидкого топлива принимались характеристики тяжелого топлива типа IFO-180 (Intermediate Fuel Oil), а в качестве ГТ, характеристики природного газа состоящего преимущественно из метана.

Наиболее сложным для практической реализации циклового дозирования ГТ при внутрицилиндровом смесеобразовании, является определение количества ГТ поступающего в рабочий цилиндр в условиях меняющегося противодействия. Как показали результаты исследования приведенные в работе [5], истечение ГТ через сечение газовых клапанов может носить как закритический так и докритический характер. Наиболее простым методом дозирования цикловой порции топлива является регулирование продолжительности открытия газового клапана, особенно если скорость истечения является закритической, в результате чего массовый расход газа через клапан остается величиной постоянной на протяжении всего периода подачи. Как показали расчеты для рассмотренного в качестве прототипа двигателя, в нем реализован именно такой способ регулирования [5].

Важким аспектом при проектуванні газодизельних двигателів с внутріциліндровим смесеобразованием является определения моментов открытия и закрытия газовых клапанов, для обеспечения подачи необходимого количества топлива. Главным фактором, влияющим на продолжительность открытия газового клапана на выбранном участке процесса сжатия, является давление газа перед ним. В условиях изменяющегося противодействия характер истечения может носить как докритический так и докритический характер. В первом случае массовый расход ГТ будет постоянным по времени, и не будет зависеть от величины противодействия. Такой способ дозирования наиболее прост в реализации, однако требует более высокого давления перед клапаном, на поддержание которого требуются значительные энергетические затраты. В случае докритического характера истечения, массовый расход будет величиной переменной, в результате чего задача определения необходимого периода открытия клапана усложняется. Однако в этом случае давление перед газовым клапаном может быть значительно снижено. Так, при условии обеспечения 20% запаса по давлению перед газовым клапаном по отношению к максимальному давлению в рабочем цилиндре на участке топливоподачи, давление в двигателе RT-flex50DF может быть снижено с 1,6 до 1,1 МПа, то есть почти в полтора раза.

#### **Результаты проведенного исследования**

Для исследования процессов наполнения цилиндра, при условии наличия перед клапаном запаса по давлению на уровне 20%, была проведена серия расчетных экспериментов, в каждом из которых давление перед газовым клапаном принималось увеличенным на 1,0 МПа. В ходе каждого эксперимента определялся угол закрытия газового клапана с шагом 0,5°, при котором максимально соблюдалось условие обеспечения заданного запаса по давлению. Далее определялся угол открытия газового клапана, при котором обеспечивается поступление необходимого количества ГТ в рабочий цилиндр с учетом переменного характера его истечения. Учитывая дискретность угловых промежутков, выбор углов закрытия и открытия газовых клапанов осуществлялся из критерия максимального приближения к заданному значению.

Результаты расчетов, представлены на рис. 3, из которых видно, что при давлениях ГТ приблизительно до 8,0 МПа, его истечение носит смешанный характер, а при более высоких давлениях только докритический. Очевидно, что попытка перевести характер истечения из докритической области в докритическую при подаче ГТ ближе к концу сжатия, потребует значительного увеличения давления, однако численная оценка данного предположения требует дополнительного исследования.

Вторым способом изменить характер истечения газового топлива, может быть изменение проходных сечений органов газоснабжения. Для экспериментов, проведенных в рамках данного исследования, параметры газоподающих клапанов принимались аналогичными используемым на двигателе RT-flex50DF. Другие конфигурации газоподающих устройств требуют дополнительного исследования.

На рис. 4 представлено характер изменения углов открытия и закрытия газовых клапанов как функция давления ГТ перед ними и углового промежутка их открытия.

В результате исследования установлено, что при низких давлениях ГТ (1,0 МПа), открытие газового клапана должно происходить при повороте коленчатого вала на угол 33°, а закрытие 87°. В открытом состоянии газовый клапан находится на протяжении углового промежутка в 54° п.к.в., что по времени составляет 0,072 с.

С увеличением давления газа, угол пребывания клапана в открытом состоянии значительно сокращается, вплоть до давления 4...5 МПа. Далее увеличение давления приводит к незначительному сокращению периода открытия клапана. Так при давлении 5,0 МПа, угол открытия клапана составляет 15°, а время 0,019 с, а при 17 МПа угол открытия клапана составляет 6,5°, а время 0,008 с.

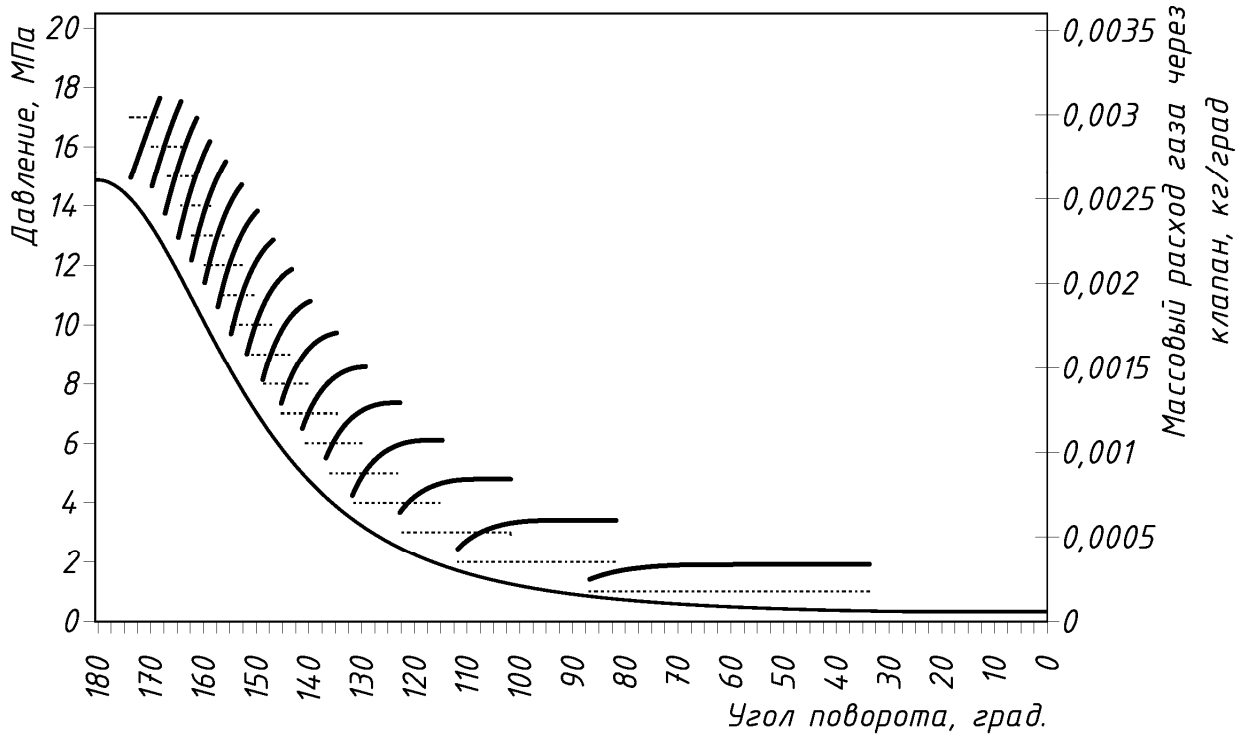


Рисунок 3. Изменение массового расхода ГТ при разном давлении перед газовым клапаном; — — линия сжатия в координатах  $r\varphi$ ; — — линия массового расхода ГТ через сопловое отверстие газового клапана; - - - - давление газа перед клапаном

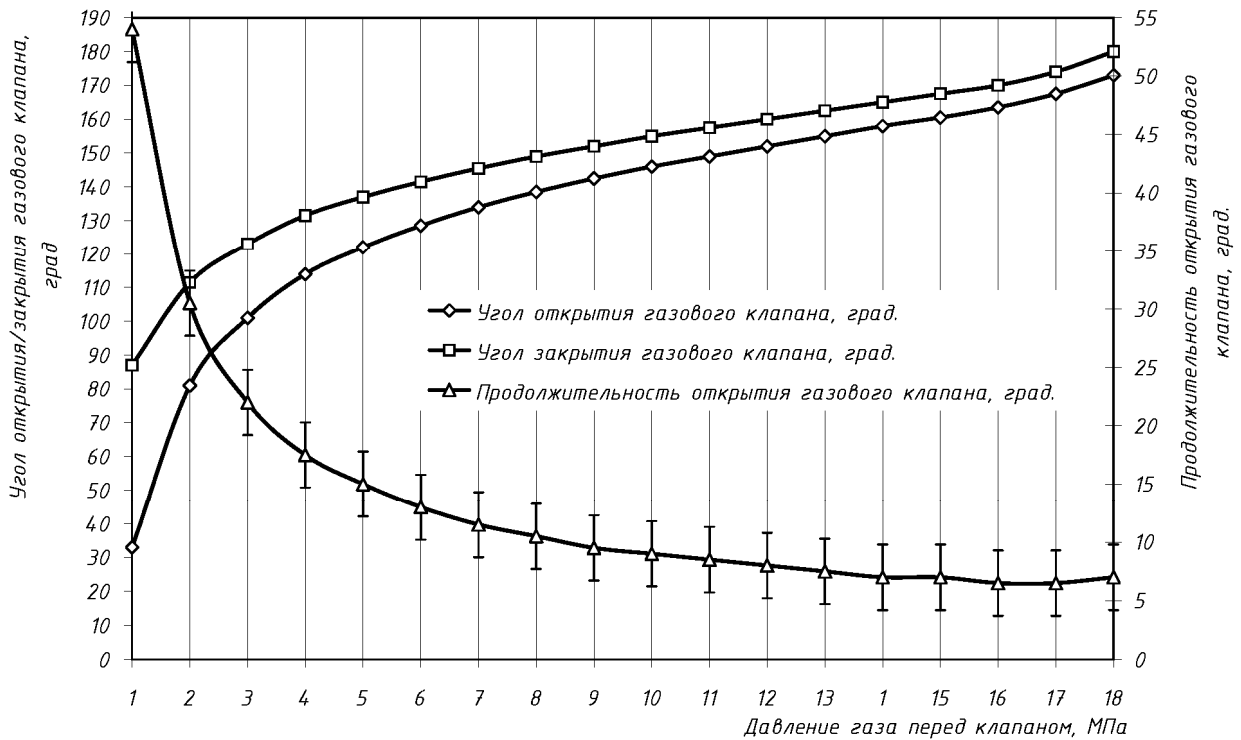


Рисунок 2. Изменение углов открытия и закрытия газовых клапанов и продолжительность процесса подачи ГТ как функция давления перед ними

Соответственно, с увеличением давления ужесточаются требования к быстрдействию газовых клапанов и их приводов.

## **Выводы**

В результате исследования установлено:

- истечения ГТ из соплового отверстия газового клапана в условиях изменяющегося противодействия в рабочем цилиндре носить переменный характер, который в свою очередь зависит от величины давления перед газовым клапаном;
- при заданном запасе давления перед газовым клапаном, с увеличением давления ГТ, характер истечения смещается в сторону докритического, то есть с переменным расходом, что усложняет процедуру определения необходимого углового промежутка для подачи заданной цикловой порции;
- с увеличением давления перед газовым клапаном, период его открытия сокращается, сначала значительно (в диапазоне 1...5 МПа в 3,7 раза), а при увеличении давления свыше 5 МПа угол подачи газа сокращается незначительно (в диапазоне 5...17 МПа в 2,4 раза). Данная особенность должна быть учтена при проектировании, как самих газовых клапанов, так и их приводов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Котиков Ю. Г. Транспортная энергетика / Ю.Г. Котиков, В.Н. Ложкин. – М.: ИЦ «Академия», 2006. – 272 с.
2. Международная конвенция MARPOL 73/78. Приложение VI «Предотвращение загрязнения атмосферы судами». – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2000. – 281 с.
3. ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines A Technical, Operational and Cost-effective Solution for Ships Fuelled by Gas, (2012). Denmark, Copenhagen: MAN Diesel & Turbo, 36 p.
4. Wettstein R. (2014) The Wärtsilä low-speed, low-pressure dual-fuel engine, AJOUR Conference, Odense, 27/28 Nov, 31 p.
5. Белоусов Е.В. Организация внутреннего смесеобразования в судовых малооборотных газодизельных двигателях / Савчук В.П., Грицук И.В., Белоусова Т.П. – Двигатели внутреннего сгорания // Научно-технический журнал. Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – №2. С. 13-16.

## **ВИМІРЮВАННЯ ПОЛІВ ШВИДКОСТІ І ТИСКУ ПОТОКУ ПОВІТРЯ У РОБОЧІЙ ДІЛЯНЦІ РОЗІМКНЕНОЇ АЕРОДИНАМІЧНОЇ ТРУБИ ДОЗВУКОВИХ ШВИДКОСТЕЙ**

<sup>1</sup>Горобець В.Г., <sup>2</sup>Богдан Ю.О., <sup>1</sup>Троханяк В.І., <sup>1</sup>Антипов Є.О., <sup>1</sup>Масюк М.Ю.  
<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)  
<sup>2</sup>Херсонська державна морська академія (Україна)

**Вступ.** Значна кількість аеродинамічних та теплотехнічних експериментів у лабораторних умовах виконується за допомогою аеродинамічної труби. Аеродинамічна труба – технічний пристрій, призначений для моделювання взаємодії потоку зовнішнього середовища на розміщені у ній тіла. Застосування таких труб в аеродинаміці і теплотехніці базується на принципі зворотності рухів і теорії подібності фізичних явищ. В теплотехніці аеродинамічна труба застосовується для досліджень теплообміну, аеродинамічного опору і закономірностей обтікання газовим потоком пучків труб та інших теплообмінних поверхонь. Об'єктами випробувань в аеродинамічних трубах в теплотехнічних дослідженнях являються моделі натурних теплообмінних апаратів чи їх елементів. Взагалі випробуванням у трубі підлягають і інші об'єкти такі як лопаті, сопла, насадки, ротори та ін., що знайшли застосування у багатьох галузях господарства країн світу.

З умов зворотності руху в аеродинамічних трубах слідує, що повітряний потік в тій частині труби, де встановлюються досліджувані зразки, тобто у робочій її частині, повинен мати рівномірні поля швидкостей і тисків. Для забезпечення таких умов необхідно виконувати аеродинамічний контур труби і пристроїв, що розташовані у трубі, так, щоб вони не створювали умов для виникнення у потоці повітря збурень (відриву пограничного шару і утворення вихорів, скосів потоку і т.п.). Поява збурень у будь-якій частині труби, буде спотворювати потік, порушувати його рівномірність на всіх ділянках течії, у тому числі і у робочій ділянці. Побудові і вдосконаленню аеродинамічних труб присвячена значна кількість робіт [1-5] проте кожна труба являється оригінальною і потребує обов'язкового попереднього визначення її характеристик до початку виконання досліджень з дослідними зразками [6].

**Актуальність дослідження.** Основною частиною будь-якої аеродинамічної труби являється її робоча ділянка, цінність якої для експериментальних досліджень визначається характеристиками її полів швидкості і тиску. Тому їх визначення являється необхідною і обов'язковою умовою з підготовки (тарування) труби перед виконанням подальших досліджень.

**Метою роботи** являється вимірювання і аналіз полів швидкості і тиску та визначення їх середніх значень у робочій ділянці досліджуваної аеродинамічної труби.

**Обладнання і методика експерименту.** Схема і основні розміри аеродинамічної труби дозвукових швидкостей наведені на рисунку 1. Аеродинамічна труба складається з ділянок, що утворюють проточну частину (колектор (1), хонейкомб (2), сопло Вітошинського (3), стабілізуюча ділянка (5), робоча ділянка (6), заспокійлива ділянка (8), розтруб (9) і одного осьового вентилятора (10) типу ВО-46-130-5,6-0,1 продуктивністю 11000 м<sup>3</sup>/год і напором до 370 Па, який приводиться у обертання трьохфазним асинхронним двигуном потужністю 2,2 кВт.

Аеродинамічна труба працює за принципом всмоктування і представляє собою канал квадратного перерізу (300×300 мм<sup>2</sup>). Стінки каналу (короба) виготовлені із оцинкованої жерсті, а робоча ділянка з органічного скла. Рівномірність розподілення швидкостей у входному перерізі труби досягається за рахунок профільованого за формулою Вітошинського входного сопла, при цьому з метою зменшення опору і нерівномірності потоку на вході у трубу встановлений плавний круговий колектор і хонейкомб, який вирівнює потік у напрямку руху, розбиваючи крупні вихори, а також

зменшує нерівномірність розподілу повздовжніх швидкостей. За соплом Вітошинського знаходиться стабілізуюча ділянка призначена для вирівнювання полів швидкості і статичного тиску перед робочою ділянкою, власне у якій і розміщується досліджуваний об'єкт.

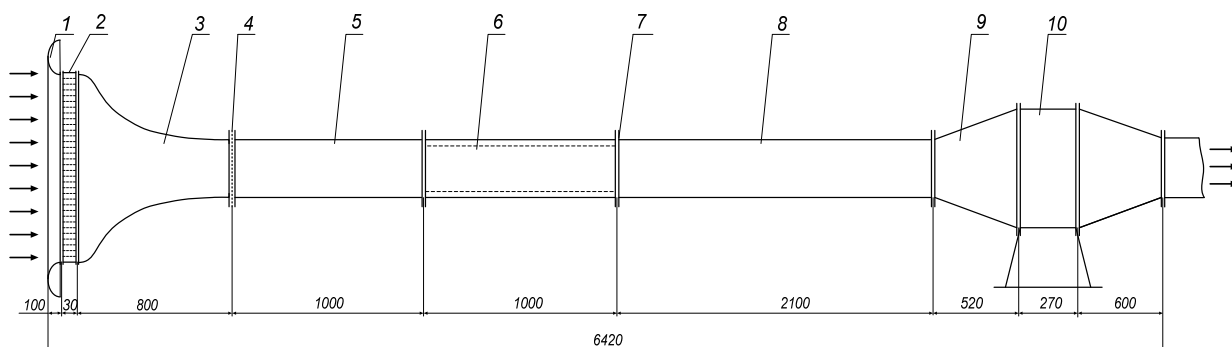


Рисунок 1. Схема розімкненої аеродинамічної труби дозвукових швидкостей: 1 – колектор; 2 – хонейкомб; 3 – вхідне сопло Вітошинського; 4 – сітка; 5 - стабілізуюча ділянка; 6 – робоча ділянка; 7 – фланець; 8 – заспокійлива ділянка; 9 – розтруб; 10 – осьовий вентилятор

Швидкість повітряного потоку регулюється за допомогою перетворювача частоти струму, який регулює частоту обертання ротора електродвигуна і відповідно частоту обертання робочого колеса вентилятора, змінюючи при цьому витрату повітря.

Дослідження полів швидкості і тиску у робочій ділянці виконувались за допомогою термоанемометра АМ-70 і мікроманометра ММН-2400(5) класом точності 1,0. Щуп термоанемометра або трубка Піто-Прандтля переміщались у площині поперечного перерізу робочої ділянки, по ширині (координата  $x$ ) і по висоті (координата  $y$ ). Переміщення щупа термоанемометра та трубки Піто-Прандтля в фіксованих точках потоку, записувались з показів термоанемометра АМ-70 і мікроманометра ММН-2400.

Рівномірність швидкостей у робочій ділянці труби характеризується величиною співвідношення,

$$\frac{\Delta v}{v_{cp}} = \frac{v - v_{cp}}{v_{cp}}, \quad (1)$$

де  $v$  – місцева швидкість у певній точці поперечного перерізу робочої ділянки аеродинамічної труби, м/с;

$v_{cp}$  – середня швидкість у поперечному перерізі робочої ділянки аеродинамічної труби, м/с.

Аналогічна характеристика використовується і для поля тисків.

Повна обробка результатів дослідження проводилась за допомогою програм Microsoft Exel і Matcad.

#### Аналіз результатів дослідження.

Побудовані на основі результатів вимірювання поля швидкостей у поперечному перерізі робочої ділянки аеродинамічної труби без встановленого хонейкомба наведені на рисунку 2. Як видно з рисунка 2 більш рівномірний розподіл спостерігається у центральній зоні перерізу. На зовнішній границі робочої ділянки внаслідок впливу стінок, швидкість падає до нуля і у цій області потік не являється рівномірним. Для зменшення нерівномірності швидкості на вході в сопло встановлено спрямляючі решітку – хонейкомб. Що представляє собою системи трубок діаметром 10 мм і довжиною 30 мм з тонкими стінками. Трубки заповнюють весь переріз сопла. На рисунку 3 наведені поля швидкостей у поперечному перерізі робочої ділянки аеродинамічної труби зі встановленим хонейкомбом. Як видно з рисунка 3 зона рівномірного розподілу

збільшилась і являється більш монотонною у порівнянні з полями швидкостей для труби без хонейкомбу. Середня швидкість потоку повітря у зоні рівномірного розподілу складає 17 м/с.

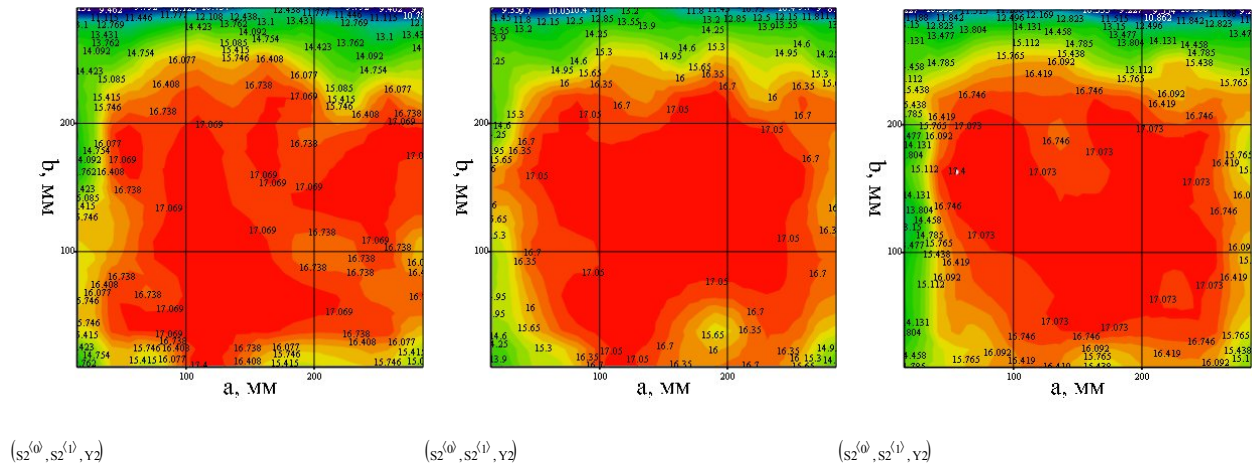


Рисунок 2. Поля швидкостей у поперечному перерізі робочої ділянки аеродинамічної труби без хонейкомба

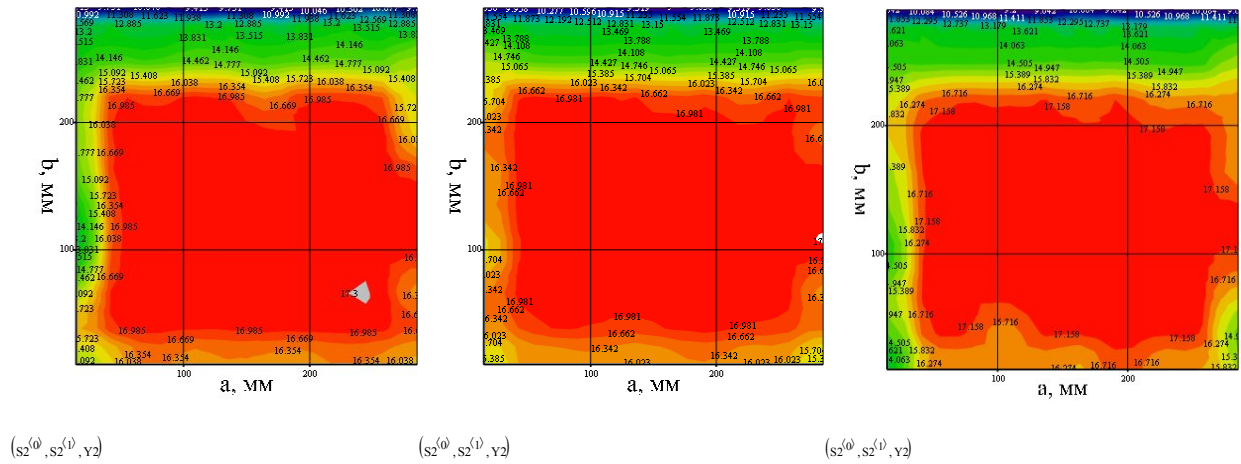


Рисунок 3. Поля швидкостей у поперечному перерізі робочої ділянки аеродинамічної труби зі встановленим хонейкомбом

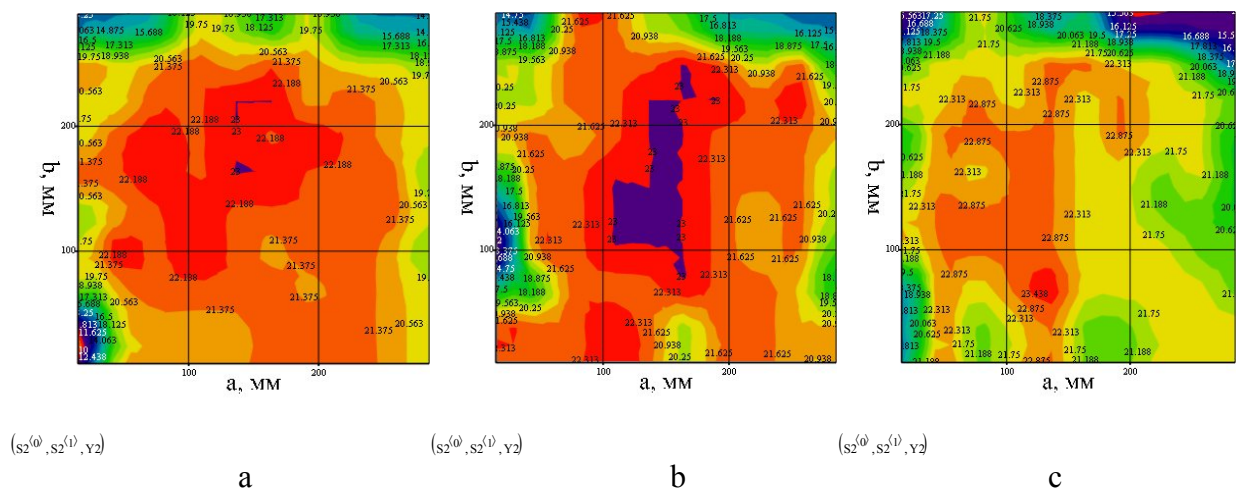


Рисунок 4. Поля тисків у поперечному перерізі робочої ділянки аеродинамічної труби: а – без хонейкомба; б – зі встановленим хонейкомбом



Значення тисків у поперечному перерізі являються змінними, співвідношення різниці місцевого і середнього тиску до величини середнього тиску не перевищує 1 %, що свідчить про достатньо рівномірний розподіл. Середній тиск у центральній частині перерізу складає 22 Па.

Достовірність результатів вимірювання підтверджується повторюваністю виконання експерименту і точністю вимірювального обладнання.

**Висновки.** Проведено вимірювання полів швидкості й тиску у робочій ділянці аеродинамічної труби отримано експериментальні результати досліджень. Середні швидкість і тиск потоку повітря у зоні рівномірного розподілу у робочій ділянці досліджуваної аеродинамічної труби складають 17 м/с і 22 Па відповідно. При подальших дослідженнях дослідних зразків у аеродинамічній трубі вимірювання слід проводити у рівномірній зоні, що має умовні обмеження зліва і зправа 30 мм, зверху і знизу відповідно 100 і 30 мм. Площа зони рівномірного розподілу потоку складає  $240 \times 170 \text{ мм}^2$ , що складає 45 % від загальної площі поперечного перерізу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. - М: Машиностроение, 1965. – 480 с.
2. Идельчик И.А. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Изд. 3-е. – Москва: Машиностроение, 1992. – 672 с.
3. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента / А.М. Харитонов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 643 с.
4. Pankhurst R.C. Wind-tunnel Technique / R.C. Pankhurst, D.W. Holder. - London: Pitman, 1968. – 762 p.
5. Lerner J.C. Wind Tunnels and Experimental Fluid Dynamics Research / Jorge Colman Lerner. InTech, 2011. – 709 p.
6. Специальный физический практикум по физической гидро- и аэродинамике / Исатаев С.И., Аскарова А.С., Болегенова С.А. и др.– Алматы: Казак университети, 2015. – 226 с.

## **ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДІЯЛЬНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ОПЕРАТОРА «ПЕРЕДНЬОГО КРАЮ»**

<sup>1</sup>Камишин В.В., <sup>2</sup>Рева О. М., <sup>3</sup>Шульгін В.А.

<sup>1</sup>Український інститут науково-технічної експертизи і інформації

<sup>2</sup>Національний авіаційний університет (Україна)

<sup>3</sup>Льотна академія Національного авіаційного університету (Україна)

Урахування впливу людського чинника на процеси функціонування авіаційних транспортних систем (АТС) – це перманентно нагальне завдання забезпечення належного рівня безпеки польотів (БП), яке має вирішуватися, у тому числі, ґрунтовним і всебічним дослідженням професійної діяльності авіаційних операторів (АО) «переднього краю» (членів льотного екіпажу (ЧЛЕ), авіадиспетчерів), які безпосередньо (як позитивно, так і негативно) впливають на зазначені процеси [1]. Саме тому, орієнтуючись на можливість цієї категорії авіаційного персоналу активно втручатися у локалізацію і усунення наслідків відмов технічної частини такої складної поліергатичної активної і організаційної підсистеми АТС, як «льотний екіпаж – повітряне судно (ПС) – середовище – орган обслуговування повітряного руху», ІСАО розглядає їх як «останній рубіж оборони» в забезпеченні БП [2; 3].

Завдання дослідження професійної діяльності АО «переднього краю» може бути ефективно вирішене, у тому числі, шляхом моделювання відповідних процесів. Про це переконливо свідчать актуальні й досі результати, отримані Генеральним конструктором О.К. Антоновим понад 40 років тому. Ним було встановлено, що лише ергономічне моделювання під час проектування сучасних ПС різних класів дозволяє [4]:

- понизити завантаженість екіпажів ЧЛЕ на 20-40%;
- підвищити відносний час, який мають в своєму розпорядженні ЧЛЕ для пілотування, при одночасному поліпшенні умов праці на 30-60%;
- підвищити оперативну готовність ПС до польоту на 15-20%;
- зменшити ймовірність помилкових дій ЧЛЕ і збільшити надійність його роботи в аварійних ситуаціях;
- оптимізувати процеси професійної підготовки (ПП) ЧЛЕ.

Отже, імітаційні моделі професійної діяльності АО «переднього краю» в АТС, що використовуються для вирішення завдань організаційної ергономіки, відносяться до специфічного класу імітаційних моделей. Для забезпечення адекватності моделі реальної операторської діяльності необхідно, щоб вона мала щонайменше такі властивості [5; 6]:

- динамічністю, тобто здатністю до врахування фактора часу в діяльності АО;
- розмірністю, тобто здатністю до опису процесу вирішення завдань АО з урахуванням багатьох взаємопов'язаних змінних;
- невизначеністю, тобто можливістю врахування імовірнісного і «розпливчастого» характеру професійної діяльності АО;
- факторністю, тобто здатністю до урахування багаточисельних чинників (об'єктивних / суб'єктивних, зовнішніх / внутрішніх, у тому числі ризиків тощо), що впливають на діяльність АО;
- дескриптивністю, тобто можливістю глибинного опису процесу вирішення завдань оператором.

Оцінка формальних математичних моделей з погляду вказаних властивостей приведена в табл. 1 [6-9 та ін.]. З таблиці видно, що формальна модель оператора, що досить добре враховує всі сторони його діяльності, відсутня. Однак, можливий інший шлях побудови моделі оператора, коли його діяльність імітується за допомогою ЕОМ. Цей метод отримав назву імітаційного (статистичного) моделювання [10-12 та ін.]

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики найбільш уживаних моделей професійної діяльності авіаційних операторів

Теорія, що лежить в основі моделі	Характеристики (властивості)				
	Розмірність	Невизначеність	Динамічність	Факторність	Описовість
1	2	3	4	5	6
Теорія інформації	++	++	–	+	++
Теорія масового обслуговування	+++	++	++	+	–
Теорія автоматів	+	+	+++	–	–
Теорія оптимального управління	++	+	+++	–	–
Теорія статистичних рішень	++	+++	+	++	–
Теорія графів	++	++	–	–	–
Факторний аналіз	+++	++	+	+++	–
Імітаційне моделювання на ЕОМ	+++	++	+++	++	++
Проактивні моделі	++	+++	+	++	+++
ПРИМІТКА: «–» – мала здібність до урахування властивостей; «+» – мінімальна допустима здатність; «++» – середня здатність; «+++» – висока здатність					

Імітаційне моделювання в широкому сенсі означає процес створення логіко-математичної моделі досліджуваної системи, що описує її структуру і поведінку і зазвичай має форму машинної програми, а також проведення експериментів з моделлю на ЕОМ з метою здобуття даних про функціонування системи впродовж певних інтервалів часу.

У процесі імітаційного моделювання дослідник має справу з трьома основними елементами: реальною системою, імітаційною моделлю і ЕОМ. Реальна система описується деякою множинністю характеристик, що змінюються в процесі функціонування і є функціями часу. Імітаційна модель включає набір інструкцій по зміні значень безлічі характеристик, виконання яких дозволяє відтворити з деяким наближенням процес функціонування реальної системи. Проведення експериментів з моделлю на ЕОМ, тобто імітація функціонування реальної системи, полягає в проведенні машинних прогонів з метою збору, накопичення і подальшої обробки статистики змін значень характеристик.

Для здобуття об'єктивних і науково обґрунтованих результатів необхідно, аби модель оператора розроблялася на правильній методологічній основі. Розглянемо основні методологічні принципи реалізації імітаційної моделі операторської діяльності, яка базується на основних роботах по моделюванню [7; 10-12 та ін.]

**1. Принцип адекватності.** Модель може бути використана для дослідження, якщо вона адекватна описуваній діяльності АО. Відповідність моделей реальній діяльності оператора слід розглядати в імовірнісному сенсі з чітко визначеними межами її застосовності до конкретних завдань і умов професійної діяльності. Адекватність забезпечується, по-перше, поступовим наближенням моделі до структури досліджуваної реальної діяльності, по-друге, – відповідністю вихідних даних, використовуваних в моделі, реальним характеристикам діяльності оператора.

**2. Принцип мікроструктурного моделювання.** Методи мікроструктурного моделювання, розроблені представниками наукової школи В. П. Зінченка [13; 14], дозволяють «розгорнути» процес діяльності оператора. При цьому час від початку виникнення завдання до реалізації рішення ділиться на ряд інтервалів, і передбачається, що кожен такий інтервал є часом виконання того чи іншого перетворення, здійснюваного певним функціональним блоком. Потім на основі попереднього якісного аналізу діяльності будується імовірнісний або нечіткий алгоритм завдання з типових функціональних блоків. Для врахування впливу специфічних особливостей діяльності (параметрів інформаційної моделі, навченості, стомленості і т. д.) в моделі використовуються експериментальні дані або аналітичні залежності, що характеризують

вплив умов діяльності на кількісні характеристики окремих функціональних блоків. Таким чином, мікроструктурне моделювання дозволяє досліджувати діяльність оператора в єдності з об'єктами і засобами діяльності.

**3. Принцип універсальності моделі.** Специфіка діяльності АО визначається вирішуваним завданням, умовами діяльності і структурою діяльності – наявністю і значимістю тих чи інших робочих дій і операцій. Все це дозволяє говорити про різноманіття діяльності. Принцип універсальності моделі передбачає забезпечення дослідження цього різноманіття діяльності. Реалізація принципу універсальності моделі забезпечується:

- повнотою вибору функціональних блоків для всіх видів досліджуваної операторської діяльності;
- можливістю «генерування» імовірнісних або нечітких алгоритмів різних типів завдань із типових функціональних блоків;
- повнотою врахування впливу умов діяльності на показники діяльності;
- ієрархічною багаторівневою структурою побудови моделі, що забезпечує моделювання діяльності на різних рівнях її деталізації.

**4. Принцип ієрархічності побудови моделі.** Побудова моделі АО у вигляді рівнів зростаючої організації обумовлюється вимогами до міри відповідності моделі характеру діяльності оператора і мірою нашого знання про саму діяльність. Необхідно забезпечити можливість вдосконалення моделі з метою повнішого і адекватнішого опису діяльності в міру накопичення необхідних знань. Ієрархічна (багаторівнева) побудова моделі, при якій результати, отримані на нижніх рівнях моделі, є вихідними даними для вищих рівнів, дозволяє удосконалювати модель без перебудови її конструкції. Крім того, ієрархічність побудови моделі дозволяє обмежуватися таким рівнем моделювання діяльності оператора, який визначається характером вирішуваних завдань.

**5. Принцип конструктивності опису моделі.** Імітаційна модель діяльності оператора реалізується у вигляді програм для ЕОМ за допомогою певної алгоритмічної мови. Сукупність операцій, що описуються мовою, складає засоби реалізації моделі. Опис моделі буде конструктивним відносно засобів реалізації в тому випадку, якщо всі вказівки, що входять в опис, можуть бути однаково виконані за допомогою операцій відповідної алгоритмічної мови.

**6. Принцип управління моделюванням.** Для дослідження впливу чинників на результати діяльності оператора необхідно моделювати процес діяльності значну кількість разів. Проведення експериментів на моделі займає досить багато машинного часу і обходиться досить дорого. Тому необхідно раціонально планувати експерименти і управляти моделюванням, мінімізуючи кількість експериментів на моделі і в той же час забезпечуючи достатню повноту дослідження. Вирішення подібних завдань можливе за допомогою методів планування експериментів [15].

**7. Принцип автоматизації обробки результатів моделювання.** Обробка результатів моделювання, як правило, включає систематизацію і аналіз значних масивів числових даних, здійснення розрахунків, побудову графіків і т. д. Для забезпечення оперативності і високої точності обробки результатів моделювання необхідна автоматизація цього процесу.

Таким чином, метод імітаційного моделювання має безперечні переваги і перед експериментальними методами дослідження операторської діяльності, оскільки дозволяє замінити дорогі реальні (натурні) експерименти імітацією діяльності оператора за допомогою ЕОМ в широкому діапазоні умов діяльності.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Рева А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов: (Проактивное исследование влияния): монография / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухамбетов ; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы, 2006.– 242 с.

2. Фундаментальные концепции человеческого фактора // Человеческий фактор: сборник материалов № 1. - Циркуляр ИКАО 216 AN / 131. - Монреаль, Канада, 1989. - 34 с.
3. Давиденко М.Ф. Последний рубеж обороны (Человеческий фактор: фундаментальные концепции ИКАО) / М.Ф. Давиденко, О.М. Рева // Авиакомпания. – М., 1995 (пробный номер). – С. 23-28.
4. Антонов О. К. К вопросу об эргономическом проектировании кабины экипажа / О. К. Антонов // Авиационная эргономика : межвуз. сб. науч. тр. – К. : КИИГА, 1975. – С. 24-27.
5. Чачко А. Г. Производство. Язык. Человек / А. Г. Чачко. - М. : Энергия, 1977. - 225 с.
6. Герасимов Б.М. Організаційна ергономіка: методи та алгоритми досліджень проектування : монографія / Б.М. Герасимов, В.А. Камишин. – К. : ТОВ «Інформаційні системи», 2009. – 220 с.
7. Цвиркун А. Д. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем / А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфиев, В.А. Филиппов. - М. : Наука, 1985. - 174 с.
8. Шеридан Т. Б. Системы человек-машина: Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором / Т. Б. Шеридан, У. Р. Феррел ; под ред. К. В. Фролова ; пер.с англ. – М. : Машиностроение, 1980. – 400 с.
9. Шибанов Г. П. Количественная оценка деятельности человека в системах «человек-техника» / Г. П. Шибанов. – М. : Машиностроение, 1983. – 263 с.
10. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. - М. : Наука, 1968. - 310 с.
11. Бусленко В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / В. Н. Бусленко. - М. : Наука, 1977. - 240 с.
12. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. - М. : Мир, 1978. - 417 с.
13. Зинченко В. П. Методологические проблемы психологического анализа деятельности / В. П. Зинченко, В. М. Гордон // Системные исследования : ежегодник. - М.: Наука, 1975. - С. 32-127.
14. Методология психологии: проблемы и перспективы / Ф. Е. Василюк, В. П. Зинченко, Б. Г. Мещеряков [ и др.] ; учеб. пособ.; под общ. ред. Т. Г. Щедриной. – М.; СПб.: Центр гуманитарных инициатив, 2012. – 577 с.
15. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке : Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион. - М. : Финансы и статистика, 1980. - 214 с.

## **ЗМЕНШЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ОБЕРТАННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**

Ломакін В.О., Ільченко А.В., Кравченко О.П.  
Житомирський державний технологічний університет (Україна)

**Вступ.** Двигуни внутрішнього згоряння завжди були джерелом різноманіття коливань, які виникають внаслідок робочих процесів, не зрівноваженості кривошипно-шатунного механізму, не лінійності сил опору, наявності різноманіття змінних в часі сил, що діють на опори та інших процесів. Для усунення негативних наслідків коливальних процесів використовують гасії коливань, окремо крутильних коливань та коливань двигуна внутрішнього згоряння на підвісі, які дозволяють зменшити вібраційні навантаження від робочих процесів шляхом розсіювання енергії.

Класично використовували гасії крутильних коливань як складову частину веденого диску зчеплення, що згодом призвело до створення двомасових маховиків, які набувають все більшого поширення [1-3]. Наприклад, автомобільна промисловість східної Європи випускала лише 10% легкових автомобілів з механічною трансмісією та двомасовими маховиками, а в 2011 році – вже біля 70%.

**Мета дослідження.** Удосконалення підходів щодо зменшення нерівномірності обертання колінчастого вала двигуна внутрішнього згоряння використанням маховиків змінного моменту інерції та інших електромеханічних пристроїв.

**Результати досліджень.** Відомо, що на усталеному режимі роботи двигуна внутрішнього згоряння спостерігається нерівномірність обертання колінчастого вала.

Для її оцінки на усталеному режимі роботи використовується відносна величина, яку називають коефіцієнтом зміни середньої швидкості або коефіцієнтом нерівномірності обертання [1-3]. При проектуванні задаються величиною коефіцієнту і досягають її в першу чергу підбором маховика двигуна.

Цей підхід забезпечує заданий рівень нерівномірності в номінальному режимі роботи, а в режимах часткових навантажень, холостого ходу нерівномірність обертання, особливо для малоциліндрових двигунів, може бути більшою в рази. Наприклад, для 4-х циліндрового рядного двигуна MeM3-245-7 нерівномірність обертання колінчастого вала зображена на рис. 1. Для випадку, що наведено на рис. 1а - 0,236, а для випадку, що наведено на рис. 1б - 0,143, при цьому даний двигун має відповідати умовам проектування, де для номінального режиму встановлено 0,01-0,02 [1-3].

Нерівномірність обертання є комплексною характеристикою робочих та коливальних процесів, що мають місце в двигуні внутрішнього згоряння та призводять до підвищення рівнів напруг в окремих деталях, втрат енергії. Втрата енергії відбувається в з'єднаннях деталей (сухе тертя), самому матеріалі (внутрішнє тертя) і характеризується гістерезисом. Нажаль, всі фактори, що впливають на демпфування зазвичай невідомі, тому часто розглядають середню потужність втрат, яка розрахована за умови лінійного наближення. Це дає можливість оцінити втрати енергії при коливальних процесах. Наскільки вони можуть бути впливовими на експлуатаційні параметри необхідно детально вивчати в кожному конкретному випадку.

Нерівномірність обертання обернено пропорційна середній частоті обертання та стрімко зменшується при зростанні останньої, тому на режимі холостого ходу та режимах близьких за частотою обертання до нього, спостерігається найбільша нерівномірність обертання колінчастого вала. Іншими ефективними способами зменшення нерівномірності обертання є підвищення кількості циліндрів та покращення конструкції маховика. Саме тому розповсюдження двомасових маховиків на сучасних автомобілях є досить стрімким.

Двомасові маховики фокусують на собі руйнівний вплив коливальних процесів та, враховуючи їх відносну складність, стають відносно ненадійним вузлом двигуна в порівнянні з класичними маховиками.

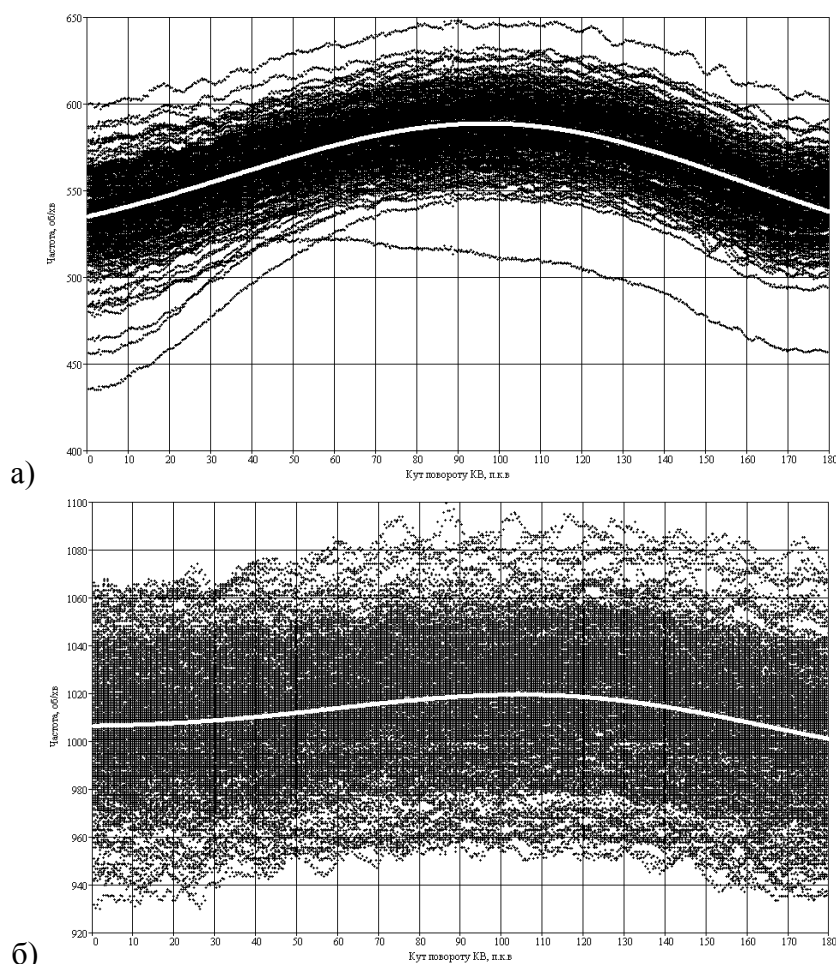


Рисунок 1. Експериментальні дані та регресійна модель нерівномірності обертання колінчастого вала двигуна MeM3-245-7 на режимах холостого ходу: а – мінімальна частота обертання; б – середня частота обертання  $1019 \text{ хв}^{-1}$

Для досягнення заданого рівня нерівномірності обертання на всіх режимах роботи необхідно використовувати комплексний підхід, що дозволяє компенсувати більшість збурюючих факторів. Для вирішення цієї задачі використовуються маховики змінного моменту інерції [4, 5], які значно покращують нерівномірність обертання. Ці маховики ефективніше впливають на деякі першопричини виникнення нерівномірності обертання колінчастого вала. Але змінювати момент інерції маховика, щоб покращити нерівномірність обертання двигуна внутрішнього згорання, використовуючи лише механічну енергію обертання є досить складним завданням, що негативно впливає на надійність пристрою. Тому для вирішення цієї задачі пропонується до використання гібридний маховик змінного моменту інерції, що дозволяє змінювати момент інерції як в межах одного оберту, так і при переході з одного режиму роботи на інший, покращуючи, наприклад, прийомистість (рис. 2). Окремо слід зауважити на високу швидкість протікання процесів в двигуні внутрішнього згорання, що ускладнює практичну реалізацію, але сучасні електронні системи дозволяють реалізувати конструкцію в повній мірі.

Використання гібридних електромеханічних маховиків дозволяють змінювати момент інерції як протягом оберту, так і при переході від одного режиму роботи до іншого. В основі гібридного маховика лежить диск з магнітами та багатополюсна обмотка статора, які запасують та віддають як електричну, так і механічну енергію протягом оберту, що забезпечує зменшення нерівномірності обертання колінчастого вала. Основна ідея роботи гібридного маховика полягає в тому, що під час кутового прискорення колінчастого вала електромагнітна енергія перетворюється на електричну і накопичується

в акумуляторній батареї (АКБ) або суперконденсаторі (режим генератора). Потім під час уповільнення колінчастого вала електрична енергія перетворюється в механічну (режим двигуна). В зв'язку з тим, що процес є досить швидким контролювати роботу гібридного маховика має мікроконтролер. Накопичення кінетичної енергії двигуна внутрішнього згоряння в механічну та електричну дає суттєву перевагу для швидкого її повернення в потрібні моменти часу. А відсутність прямого контакту між поверхнями складових частин дозволяє припустити, що надійність гібридного маховика є вищою за механічні аналоги.

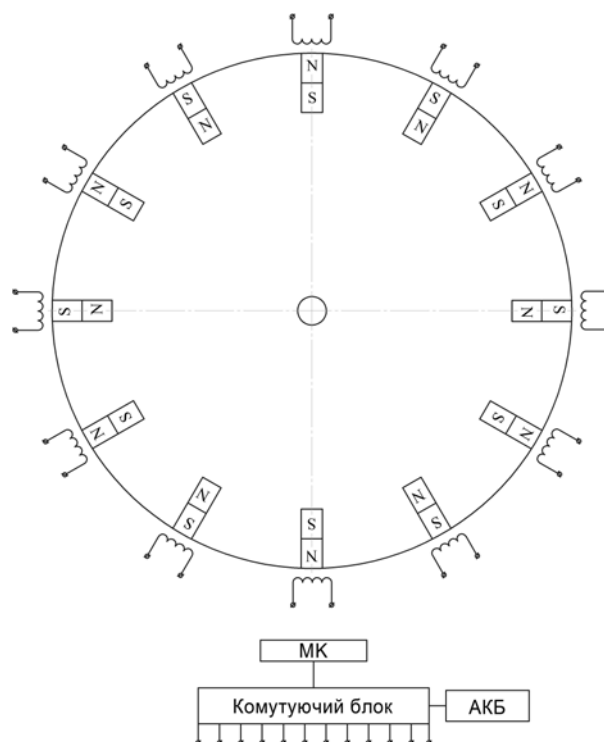


Рисунок 2. Схема гібридного маховика змінного моменту інерції

**Висновок:** запропоновано метод та засоби зменшення нерівномірності ходу двигуна внутрішнього згоряння на всіх режимах роботи за допомогою гібридного маховика змінного моменту інерції.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Двигатели внутреннего сгорания: в 3 кн. / [В.Н. Луканин, И.В. Алексеев, М.Г. Шатров и др.]. Под. ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 3-е изд. перераб. Кн. 2: Динамика и конструирование: учебник для вузов – М.: Высш. шк., 2007. – 400 с.
2. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни: підручник [3-тє видання] / Ф.І. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долганов, І.І. Тимченко // – К.: Арістей. – 2007. – 476 с.
3. Ленин И.М. Автомобильные и тракторные двигатели. Теория, системы питания, конструкции и расчет / [И.М. Ленин, К.Г. Попык, О.М. Малашкин, И.Я. Райков, Г.И. Самоль, К.И. Сидорин]; под. ред. И.М. Ленина. – М.: Высш. шк., 1969. – 656 с.
4. Ломакін В. О. Зменшення нерівномірності ходу двигуна внутрішнього згоряння удосконаленням конструкції маховика: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.03 "Двигуни та енергетичні установки" / Ломакін Володимир Олександрович; Національний транспортний університет. – Київ, 2018. – 194 с.
5. Ломакін В.О. Маховики переменного момента инерции для поршневых двигателей (теоретические основы разработки и практическое применение) / В.О. Ломакін, А.В. Ильченко. Наукова монографія. – Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 112 с. – ISBN-13 978-3-659-71200-5.



## ДВИГУНИ SCB STIRLING: ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ

Мазін В.О., Сухонос Р.Ф.

Запорізький національний технічний університет (Україна)

**Вступ.** В умовах сучасного стану ринку енергоресурсів зростає роль перспективних та альтернативних джерел механічної енергії, зокрема двигунів із зовнішнім підведенням теплоти, серед яких виділяється клас машин, що узагальнено названі «двигуни Стірлінга» (ДС), які працюють за замкнутим термодинамічним циклом, близьким до циклу Стірлінга. Широке використання теплових двигунів такого типу спроможне зробити значний внесок до забезпечення енергонезалежності України, що наразі є актуальним питанням.

**Актуальність досліджень.** Річна потреба України в електродвигунах і двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) потужністю від 500 Вт до 3000 Вт оцінена близько 300 тисяч штук. Третя частина з них – ті, які використовуються стаціонарно, може бути замінено на ДС. Виглядає перспективним використання ДС зазначеної потужності у фермерських та приватних господарствах для приводу компресорів, електрогенераторів, крупорушок, циркулярних пилок тощо. У цій сфері застосування ДС здатне цілком замінити стаціонарні електродвигуни та ДВЗ, з огляду на ряд переваг ДС. Умовою успішного застосування ДС є широкий вибір джерел теплоти, простота конструкції, низька шумність, можливість реалізації найбільш вигідного закону згорання палива, що знижує витрату палива і покращує екологічні показники.

Таким чином, очевидні перспективи застосування ДС на ринках, що розвиваються. Актуальними питаннями є практична розробка ДС, що має високі характеристики за низьку ціну, а також дослідження особливостей перебігу його робочих процесів.

**Постановка задачі.** Використання ДС в якості стаціонарного силового двигуна замість ДВЗ і електромоторів в фермерських та приватних господарствах виглядає привабливим, що й формує попит на них. Забезпечення тепловою енергією відбувається за рахунок спалювання промислових, сільськогосподарських і побутових відходів, деревного вугілля, торфу. Тверде паливо дробиться, пресується в пелети або брикети.

Використання ДС дозволяє економити ліквідні нафтові і газові палива, утилізувати різного роду відходи.

У світі існують моделі ДС потужності від 500 Вт до 3000 Вт від наступних виробників: Philips (Голландія), Whisper Tech Limited (Нова Зеландія), ve // ingenieure GmbH (Німеччина), Genoastirling S.r.l. (Італія), BG Group plc (Велика Британія), SOLO Kleinmotoren (Німеччина), Stirling Technology Company, Sunpower, Inc. (США), BG Group plc (Велика Британія), Uwe Moch (Німеччина) та ін. [1]. Але популярності у покупців більшість з цих двигунів не отримали. Основною причиною є висока вартість внаслідок малої програми випуску (від 200 до 2900 \$/кВт для серійного двигуна).

В Україні на даний час ДС не виготовляються, відомі лише окремі демонстраційні зразки, наприклад, двигун УДС-1 [2] максимальною потужністю  $N_{e\max} = 7,7$  Вт при  $4000 \text{ хв}^{-1}$ . Проте, приймаючи до уваги сучасні тенденції до економії енергоресурсів та покращення умов довкілля, прийнято рішення щодо створення спеціального конструкторського бюро SCB STIRLING, що займається проектуванням, випробуванням та дослідженням сучасних двигунів Стірлінга потужністю до 3 кВт.

Відомо, що основними перевагами двигунів Стірлінга перед існуючими ДВЗ є:

- можливість легкої зміни палива;
- висока термодинамічна ефективність;
- контрольовані викиди відпрацьованих газів.

Якщо ці якості ДС покращити, напередусім завдяки вдосконаленню існуючих систем проектування на основі інформації, отриманої з реальної експлуатації, то ДС можуть мати значний вплив на ринку та скласти конкуренцію дизель-генераторам.

За головні недоліки ДС прийнято вважати (порівняно з ДВЗ) більшу металоємність (питому масу); необхідність тривалого використання стисненого газу (водень, гелій чи повітря) при високому тиску (до 15 МПа), що вимагає застосування якісних ущільнень; високі вимоги до ефективності теплообмінників; велика теплова інерційність системи.

Якісна конструкція ДС, що сприяє реалізації термодинамічного циклу Стірлінга, дозволяє досягти значення ефективного ККД  $\eta_e = 60\%$ , – це більше, ніж у існуючих бензинових і дизельних ДВЗ (35% і 42% відповідно).

Саме ці міркування і стали причиною до проектування ДС нової конструкції та дослідження перебігу робочих процесів.

**Результати досліджень.** Розроблено конструкцію ДС розмірністю  $S/D = 40/72$  мм з використанням деталей серійного двигуна внутрішнього згорання з міркувань отримання достатньо низької вартості серійного агрегату (рисунок 1).

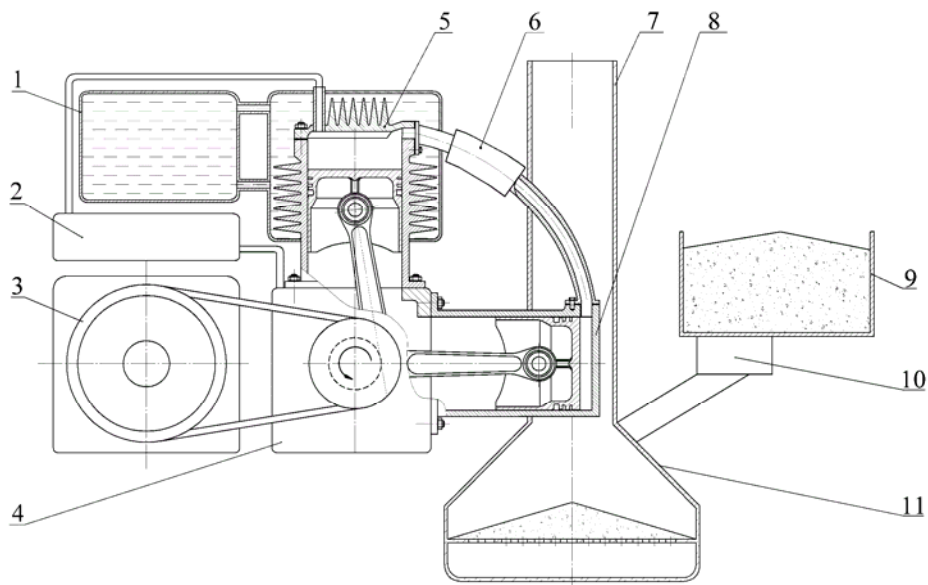


Рисунок 1. Принципова схема установки: 1 – радіатор; 2 – компресор повітряний; 3 – приводний механізм; 4 – двигун Стірлінга; 5 – холодний циліндр; 6 – регенератор; 7 – димова труба; 8 – гарячий циліндр; 9 – бак з паливом; 10 – пристрій дозування і подачі палива; 11 – топка

З відомих [3-5] варіантів компоновання ДС обрана схема альфа-типу: двигун з двома поршнями в «гарячому» (ГЦ) і «холодному» (ХЦ) циліндрах, розміщених під кутом і з'єднаних трубою з регенератором. Існують також схеми «бета» та «гамма». Такий вибір обумовлюється найменшими труднощами в умовах виробництва ДС на існуючому моторобудівному підприємстві, в тому числі з метою уніфікації.

ГЦ і ХЦ в ДС альфа-типу рознесені в просторі, що спрощує організацію підведення і відведення теплоти, для них характерна менша кількість деталей, ніж в бета- і гамма-типах. Це істотно важливо для забезпечення умов простоти і стаціонарності готової установки.

Як робоче тіло в спроектованому ДС застосовується повітря. Цей газ значно менш ефективний, ніж водень або гелій, але набагато дешевший, простіший та безпечніший в експлуатації. За допомогою повітряного компресора 2 (див. рис. 1) робоче тіло підкачуються до мінімального необхідного тиску  $P_{min}$ . Заданий початковий тиск і далі в підтримується протягом роботи ДС автоматично.

Максимальні значення тиску робочого тіла обмежені внаслідок обмеженості умов надійної роботи ущільнення.

Сконструйований перспективний зразок ДС має просту конструкцію, тривалий термін експлуатації і універсальність. Використання уніфікованих деталей (поршень,

шатун, поршневий палець, підшипники, втулки) дозволяє виробляти модель на діючому моторобудівному підприємстві України.

Для спроектованого ДС зроблено розрахунок ідеальної термодинамічної циклу і реального циклу за ізотермічним методом Шмідта [3, 6]. Метод Шмідта побудований на ряді припущень [6]:

- процеси розширення і стиснення ізотермічні;
- миттєвий тиск прийнято рівним по всьому внутрішньому об'єму ДС;
- робоче тіло має властивості ідеального газу;
- регенерація відбувається ідеально;
- температура в регенераторі дорівнює середньому арифметичному температур в ГЦ і ХЦ;
- об'єми циліндрів змінюються за синусоїдальним законом.

Для розрахунку приймаємо, що тиск надлишковий, початок циклу при куті повороту колінчастого валу  $\varphi = 0^\circ$  ПКВ в момент, коли ГЦ знаходиться в верхній мертвій точці. Визначено закони зміни об'ємів порожнин ДС (рис. 2), побудовані індикаторні діаграми тиску (рис. 3, 4).

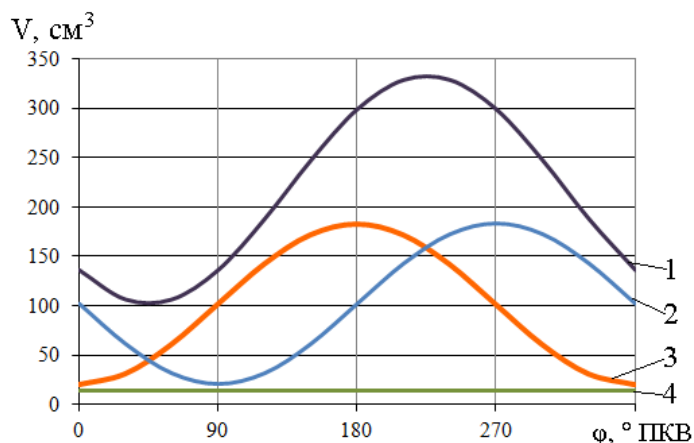


Рисунок 2. Закон зміни об'ємів, що займає робоче тіло у порожнинах ДС: 1 – сумарний об'єм  $V_{\text{сум}}$ ; 2 – об'єм холодного циліндра  $V_{\text{ХЦ}}$ ; 3 – об'єм гарячого циліндра  $V_{\text{ГЦ}}$ ; 4 – мертвий об'єм  $V_{\text{м}}$

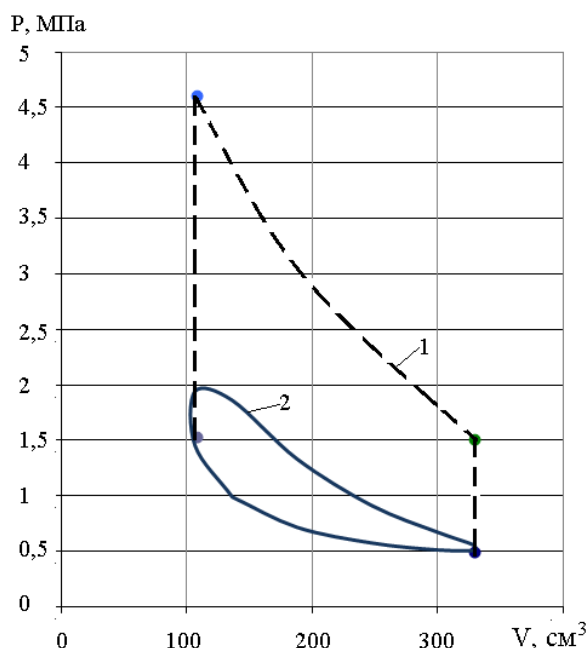


Рисунок 3. Індикаторна діаграма циклу ДС розмірністю  $S/D = 40/72$  мм: 1 – ідеальний цикл Стірлінга; 2 – розрахована за методом Шмідта

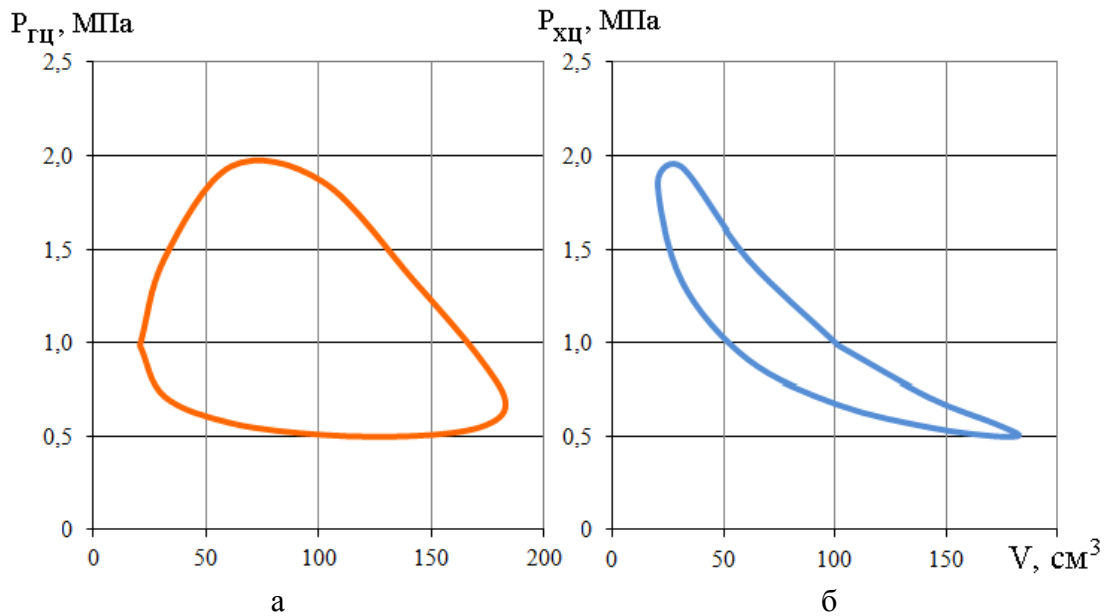


Рисунок 4. Індикаторні діаграми циклу ДС розмірністю  $S/D = 40/72$  мм при  $P_{\text{сер}} = 1,0$  МПа: а – для ГЦ; б – для ХЦ

Визначаємо індикаторну роботу за цикл:

$$L_i = L_{\text{ГЦ}} + L_{\text{ХЦ}}, \quad (1)$$

де  $L_{\text{ГЦ}} = \oint PdV_{\text{ГЦ}}$  і  $L_{\text{ХЦ}} = \oint PdV_{\text{ХЦ}}$  – індикаторні роботи відповідних циліндрів, Дж;

$P$  – тиск у робочому об'ємі при певному куті повороту колінчастого валу  $\varphi$ , Па;

$V_{\text{ГЦ}}$ ,  $V_{\text{ХЦ}}$  – об'єм гарячого та холодного циліндрів відповідно,  $\text{м}^3$ .

Індикаторна потужність двигуна, Вт:

$$N_i = \frac{L_i \cdot n}{60}, \quad (2)$$

де  $n$  – частота обертання колінчастого валу,  $\text{хв}^{-1}$ .

Відомо, що з ростом тиску  $P_{\text{min}}$  в газовій порожнині індикаторна робота  $L_i$  та індикаторна потужність  $N_i$  має збільшуватися [3-5]. Зі збільшенням  $P_{\text{min}}$  потужність дійсно збільшується лінійно (див. рисунок 5, таблицю 1). При  $P_{\text{min}} = 0,5$  МПа отримано  $N_i = 2705,2$  Вт.

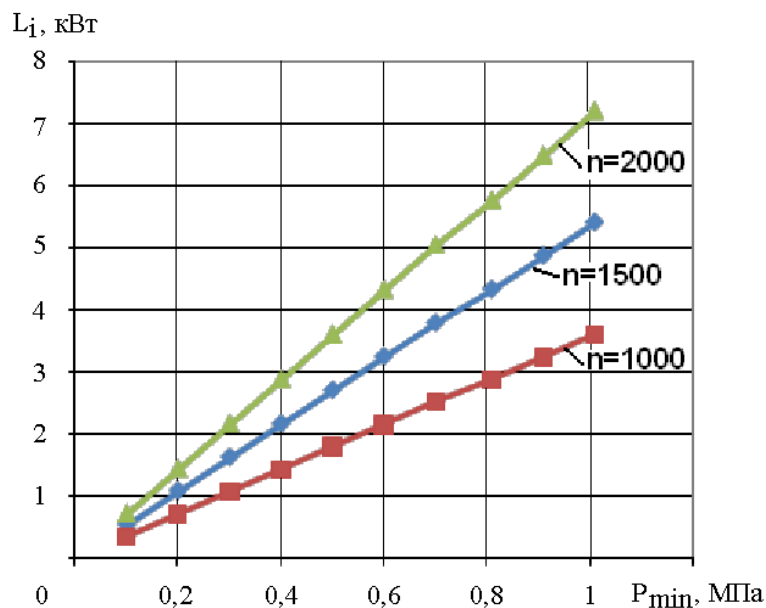


Рисунок 5. Зміна індикаторної потужності ДС від мінімального тиску робочого тіла  $P_{\text{min}}$  при різних обертах  $n$

Таблиця 1. Індикаторні показники циклу ДС: індикаторна робота  $L_i$  і індикаторна потужність  $N_i$ 

$P_{\min}$ , МПа	$P_{\text{сеп}}$ , МПа	$P_{\max}$ , МПа	$L_i$ , Дж	$N_i$ , Вт,		
				1000 $\text{хв}^{-1}$	1500 $\text{хв}^{-1}$	2000 $\text{хв}^{-1}$
0,10	0,2	0,39	21,6	360,7	541,0	721,4
0,20	0,4	0,78	43,3	721,4	1082,1	1442,8
0,30	0,6	1,17	64,9	1082,1	1623,1	2164,2
0,40	0,8	1,55	86,6	1442,8	2164,2	2885,6
0,50	1,0	1,94	108,2	1803,5	2705,2	3607,0
0,60	1,2	2,33	129,9	2164,2	3246,3	4328,4
0,70	1,4	2,72	151,5	2524,9	3787,3	5049,8
0,81	1,6	3,10	173,1	2885,6	4328,4	5771,2
0,91	1,8	3,50	194,8	3246,3	4869,4	6492,6
1,01	2,0	3,89	216,4	3607,0	5410,5	7214,0

Для ДС розмірністю  $S/D = 40/72$  мм при  $P_{\text{сеп}} = 1,0$  МПа реальна (ефективна) потужність із врахуванням ККД складає  $N_e = 730$  Вт.

#### Висновки:

1. Потужність від 0,5 кВт до 3 кВт і частота обертання  $1500 \text{ хв}^{-1}$  згідно технічного завдання на проектування двигуна Стірлінга є найбільш затребуваними на ринку України.

Виконано попередній розрахунок ДС за ізотермічним методом Шмідта. Отримані результати підтверджують обґрунтованість вибору компоновки і розмірності двигуна під проектну потужність 500 ... 1200 Вт.

2. Показники ДС в значній мірі залежать від величини мертвого об'єму і початкового тиску: зі збільшенням мертвого об'єму потужність зменшується, а зі збільшенням початкового тиску – збільшується. Раціональне співвідношення цих факторів необхідно встановлювати спеціально.

3. Роль природи робочого тіла (повітря, гелій, водень) і температури, при якій підводиться теплота  $T_{\text{гп}}$ , та їх вплив на показники ДС вимагають спеціального вивчення.

4. З метою більш точного визначення параметрів і характеристик сконструйованого ДС необхідні подальші розрахунки термодинамічного циклу за адіабатичним та Simple методами.

5. В роботі підтверджено відомі положення з літератури про залежність потужності ДС від початкового тиску робочого тіла та частоти обертання. Встановлено, що недостатньо вивчений вплив на робочий процес регенератора і немає універсальної методики його проектування, – цей напрямок претендує на наукову новизну.

Уточнення розрахункової методики і постановка коректного експерименту дозволять уточнити існуючі уявлення про процеси ДС і істотно підвищити ефективність їх циклів. Є підстави вважати, що ДС замінять значну частину стаціонарних теплових двигунів і в недалекому майбутньому почнуться розробки агрегатів різної потужності.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Stirling Engine Assessment [Текст] : звіт про НДР (закл.) / EPRI; керівн. D. Thimsen ; викон.: J. Majeski [та ін.]. – Palo Alto, CA, 2002. – 170 с. – Інв. № 1007317.
2. Долганов К. Е. Характеристики мініатюрного двигателя Стирлинга модели УДС-1 [Текст] / К. Е. Долганов, Ю. А. Постол. // Авіаційно-космічна техніка і технологія. Двигуни та енергоустановки: Зб. наук. пр. – 2002. – №30. – С. 28–30.
3. Уокер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга [Текст] : Пер. с англ. / Г. Уокер. – М.: Энергия, 1978. – 152 с.
4. Ридер Г. Двигатели Стирлинга [Текст] : Пер. с англ. / Г. Ридер, Ч. Хупер. – М.: Мир, 1986. – 464 с.
5. Двигатели Стирлинга [Текст] / Под ред. М. Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1977. – 150 с.
6. Hirata K. Schmidt Theory for Stirling Engines [Електронний ресурс] / Koichi Hirata. – 1997. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nmri.go.jp/oldpages/eng/khirata/list/general/schmidt.pdf>.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АЭРОСМЕСИ НА ВЕРТИКАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ТРАНСПОРТНОГО ТРУБОПРОВОДА

<sup>1</sup>Рыбалко Р.И., <sup>2</sup>Гущин О.В.

<sup>1</sup>Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (Украина)

<sup>2</sup>Донбасская государственная машиностроительная академия (Украина)

В настоящей работе приведена методика определения скорости движения аэросмеси на вертикальном участке пневмотранспортного трубопровода, примененная для нескольких случаев движения смеси, и, позволившая получить требуемые зависимости.

Движение аэросмесей на вертикальных участках отличается от их перемещения на горизонтальных. В зависимости от физико-механических свойств сыпучих материалов и конструкции вертикального участка трубопровода возможно возникновение двух ситуаций. Первая – объём (порция) сыпучего материала движется плотной неаэрированной

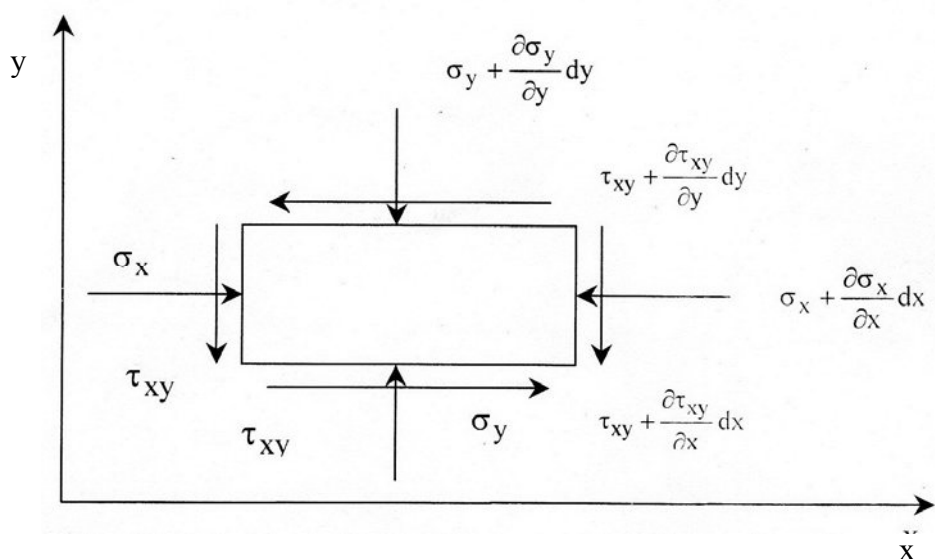


Рисунок 1. Схема действия сил на выделенный элемент

массой, вторая – объём (порция) сыпучего материала движется в аэрированном состоянии. Для первого случая, в соответствии с законами механики сыпучих сред [1], поперечному сечению движущейся массы возникают дополнительные распорные усилия, вызванные взаимодействием частиц между собой и со стенками трубопровода. Во втором случае объём сыпучего материала находится в аэрированном состоянии, а распорные усилия между отдельными частицами и стенкой трубопровода отсутствуют [2]. Для неустойчивых режимов в реальных условиях, помимо вышеуказанных случаев, возможно их сочетание.

Рассматривается первый случай в предположении, что движение равномерное (рис. 1). Влияние распорных усилий, действующих в радиальном направлении, учитывается коэффициентом бокового давления  $k_6$  ( $k_6 > 0$ ). Его осреднение по ширине «а» выделенного элемента:

$$B = \frac{1}{a-a} \int_2^2 k_6(y) dy. \quad (1)$$

В общем случае взаимосвязь осевого напряжения с радиальным  $\sigma_x = \sigma_y \cdot k_6$ , где  $k_6$  – коэффициент бокового давления, или взаимосвязь между осевым  $\sigma_x$  и радиальным  $\sigma_y$  напряжениями с учетом осредненного коэффициента бокового давления

$$\sigma_x = \sigma_y \cdot B. \quad (2)$$

Уравнение равновесия элемента  $a \cdot dx$ :

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial x} \cdot B \cdot dx + 2\sigma_y f dx + \frac{dv}{dt} a \rho dx - g \rho a dx = 0, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент внешнего трения;  
 $g$  – ускорение силы тяжести;  
 $\rho$  – плотность рассматриваемой среды.

Так как в данном случае общее напряженное состояние среды определяется  $\sigma_y$ , а  $\rho = \rho(\sigma_y)$ , то плотность сплошной среды  $\rho$  является функцией напряжения  $\sigma_y$ , т.е.:

$$\rho = \rho(\sigma_y). \quad (4)$$

Уравнение сплошности сжимаемой среды:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + V \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial v}{\partial x} = 0. \quad (5)$$

Уравнения (3) и (5) преобразуются в систему двух дифференциальных уравнений первого порядка относительно двух неизвестных функций –  $\sigma_y(x, t)$  и  $v(x, t)$ :

$$\begin{cases} S \frac{\partial \sigma_y}{\partial x} + \rho(\sigma_y) \left( v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} \right) + L \sigma_y - g \rho(\sigma_y) = 0; \\ v \frac{\partial \sigma_y}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial t} \frac{\rho(\sigma_y)}{\rho'(\sigma_y)} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \left( L = \frac{2f}{a} = const. \right) \end{cases} \quad (6)$$

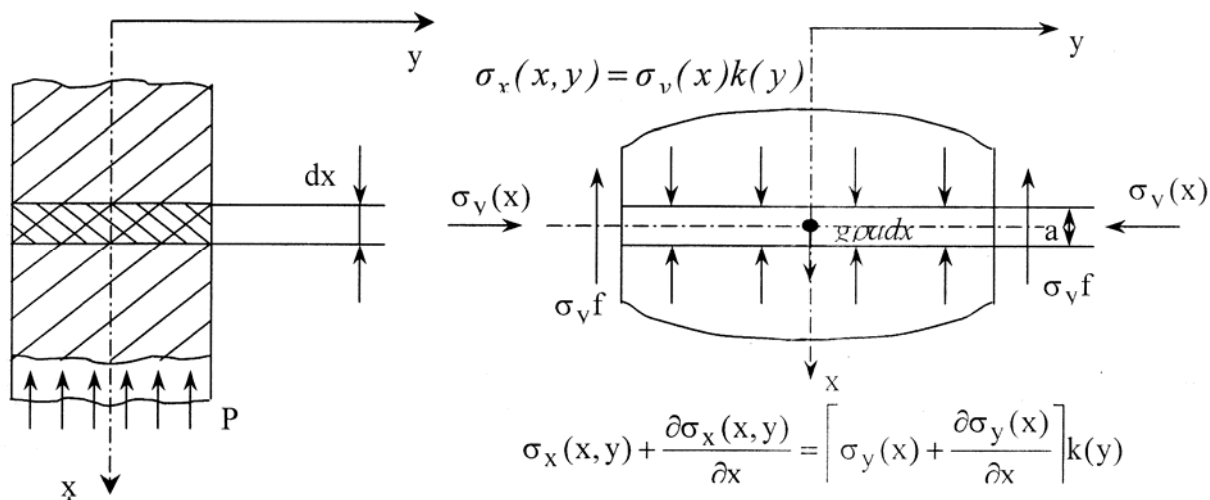


Рисунок 2. Схема действия сил на вертикальном участке трубопровода при одномерном движении аэросмеси

Для второго случая, т.е. когда сыпучий материал находится в аэрированном состоянии, из баланса сил для вертикального участка уравнения движения [3]:

$$\rho_1 \varepsilon_1 \frac{dv_1}{dt} = -\rho_1 \varepsilon_1 g - \varepsilon_2 S f - \varepsilon_3 \frac{\partial p}{\partial x}; \quad (7)$$

$$\rho_2 \varepsilon_2 \frac{dv_2}{dt} = -\rho_2 \varepsilon_2 g + \varepsilon_2 S f - \varepsilon_3 \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial \sigma}{\partial x}, \quad (8)$$

где  $\rho_1, \rho_2$  – плотность несущей и несомой компонент;  
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – объемные доли компонент;  
 $v_1, v_2$  – скорости движения компонент;  
 $S$  – поверхность твердых частиц, отнесенная к их объему;  
 $f$  – удельная сила межфазного сопротивления;  
 $p$  – давление;  
 $\sigma$  – напряжение в дисперсной фазе.

Пренебрегая присоединенной массой и плотностью несущего воздушного потока уравнения движения (7) и (8) принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} - f\varepsilon_2 S &= 0; \\ \rho_2 \varepsilon_2 \frac{dv_2}{dt} &= -\rho_2 \varepsilon_2 g - \varepsilon_2 \frac{\partial p}{\partial x} + f\varepsilon_2 S. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Для установившегося процесса

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0: \frac{\partial v_2}{\partial t} = \frac{\partial v^2}{\partial t} + v_2 \frac{\partial v_2}{\partial x} = v_2 \frac{\partial v_2}{\partial x}. \quad (10)$$

Уравнение сохранения массы смеси для случая, когда поток массы между фазами отсутствует [4]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \bar{V}(\rho v), \quad (11)$$

где  $p$  – давление в трубопроводе;

$\bar{V}$  – оператор;

$\rho$  – плотность смеси;

$v$  – скорость смеси.

Уравнение сохранения массы преобразуется к виду:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 \varepsilon_1 v_1 &= c_1; \\ \rho_2 \varepsilon_2 v_2 &= c_2, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – удельные расходы фаз (т.е.  $c_1 = Q_1/F$ ;  $c_2 = Q_2/F$ );

$Q_1, Q_2$  – массовые расходы фаз;

$F$  – площадь поперечного сечения трубопровода.

Замыкается система уравнений (9), (10) и (11) уравнением состояния газа:

$$\rho_1 = \frac{p}{R_r T}, \quad (13)$$

где  $p$  – избыточное давление;

$R_r$  – газовая постоянная;

$T$  – температура по Кельвину.

Из (9) и (10) градиент давления:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho_2 \varepsilon_2 (g + v_2 \frac{\partial v_2}{\partial x}). \quad (14)$$

При  $\varepsilon_2 > 0.05$  градиент давления на участке равномерного движения определяется удельным весом смеси (т.е.  $\partial p/\partial x = -\rho_2 \varepsilon_2 g$ ), а трение газа и частиц о стенки трубопровода становится небольшим.

Проанализировав полученные уравнения, можно сделать вывод о том, что как и в случае с движением частиц в горизонтальном трубопроводе, так и в случае вертикального участка, скорость частиц зависит от физико-механических свойств транспортируемых материалов, массовой концентрации смеси, расхода по воздуху и материалу, величины избыточного давления и рассматриваемого участка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сивко В.Й. Основы механики будівельних сумішей / В.Й. Сивко. – К.: Вища шк.. – 1998. – 168 с.
2. Островский Г.М. Прикладная механика неоднородных сред / Г.М. Островский. – СПб.: Наука, 2000. – 359 с.
3. Рыбалко Р.И. Определение скорости движения аэросмеси на разгонном участке пневмотранспортного трубопровода // Рыбалко Р.И., Гуцин О.В. / Международная научно-практическая конференция «Современные энергетические установки на транспорте, технологии и оборудование для их обслуживания», СЭУТТОО-2017. – Херсон. – С.374-377.
4. Математическое моделирование на транспорте: процессы и структуры: монография / П.Б. Комов, А.Б. Комов, И.В. Грицук, Ю.В. Прилепский, В.М. Гуцин, Р.И. Рыбалко, В.В. Коломиец.– Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2012. – 328с.



## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ И АЭРОДИНАМИКИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

<sup>1</sup>Тарасов С. В., <sup>1</sup>Редчиц Д. А., <sup>2</sup>Моисеенко С. В., <sup>1</sup>Тарасов А. С.

<sup>1</sup>Институт транспортных систем и технологий НАН Украины (Украина)

<sup>2</sup>Херсонский национальный технический университет (Украина)

### **1. Современное состояние и тенденции развития ветроэнергетики**

Экономика Украины существенно зависит от внешних поставок энергоносителей. Для развития ядерной энергетики после Чернобыля необходимо создание АЭС нового поколения, отвечающим повышенным требованиям эффективности, безопасности и экологичности, что требует международного сотрудничества.

К одному из перспективных направлений решения энергетической безопасности Украины относится ветроэнергетика. В ближайшее десятилетие ветроэнергетика может стать источником наиболее дешевой электроэнергии, вырабатываемой в промышленных масштабах.

В зависимости от ориентации оси вращения по отношению к направлению потока ветра ВЭУ можно разделить на два основных класса: горизонтально-осевые (ГО) и вертикально-осевые (ВО). Горизонтально-осевой называется установка, ось вращения которой совпадает с направлением потока ветра. У вертикально-осевых ВЭУ ось перпендикулярна потоку. Наиболее широко распространенными представителями данного класса являются роторы Дарье и Савониуса.

В настоящее время основу ветроэнергетики составляют ГО ВЭУ. На их долю приходится порядка 85 % вырабатываемой электроэнергии. Одной из причин широкого распространения ГО ВЭУ является хорошее понимание их аэродинамики. Это обратная пропеллерная задача, хорошо отработанная с начала XX века. В тоже время лопасть ГО ВЭУ имеет сложный профиль, что приводит к дорогой технологии их производства. ГО ВЭУ эксплуатируются при достаточно больших скоростях ветра, порядка 10-15 м/с. Зарубежный опыт показывает, что при скоростях ветра  $U < 5$  м/с их эксплуатация становится нерентабельной.

На Украине существует всего два региона, которые удовлетворяют условиям эксплуатации ГО ВЭУ – Карпаты и Юг Украины (Приазовье и Причерноморье). Общий энергетический ветровой потенциал в Украине – умеренный. Поэтому, нельзя механически переносить зарубежные разработки на территорию Украины. Это может привести к коммерчески провальным проектам. Отрицательный опыт в этом отношении уже имеется. Здесь нужны рациональные технические решения!

На наш взгляд, альтернативой для Украины являются вертикально-осевые ВЭУ. К преимуществам ВО ВЭУ можно отнести: низкий порог рабочей скорости ветра, отсутствие механизма ориентации на ветер, меньший уровень эксплуатационных расходов, простота формы лопасти, пониженный уровень шума. По нашим оценкам реально создание недорогих и надежных ВО ВЭУ, работающих в рамках умеренного ветропотенциала Украины. Одна из основных проблем – недостаточный уровень понимания аэродинамических процессов ВО ВЭУ из-за их малой изученности.

Эффективность работы любой ВЭУ определяется коэффициентом использования энергии ветра (коэффициентом мощности). Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют, что высокими значениями коэффициента мощности обладают быстроходные ГО ВЭУ пропеллерного типа, а также роторы Дарье с фиксированным и изменяемым углом установки лопасти. И при хорошем аэродинамическом проектировании вертикально-осевые ВЭУ фактически не уступают широко распространенным ГО ВЭУ пропеллерного типа.

Очевидно, аэродинамика играет основную роль в работе ВЭУ. От продуманности компоновки, оптимизации форм ротора, аэродинамических качеств вращающихся поверхностей зависит конечная эффективность самой ВЭУ. Повышение мощности ВЭУ и увеличение коэффициента использования энергии ветра привели к необходимости учета взаимного влияния лопастей друг на друга, поля скоростей вокруг самого ротора и в дальнем следе ветроагрегата. Таким образом, возникла потребность в изучении процессов формирования и распада вихрей, а также их влияния на аэродинамические характеристики ВЭУ.

## **2. Модели и методы расчета аэродинамических характеристик вертикально-осевых ветроэнергетических установок**

При проектировании ВЭУ следует проводить комплексное исследование аэродинамических характеристик лопастей, траверс и ротора в целом с учетом как нестационарных, так и пространственных эффектов. Экспериментальная аэродинамика зачастую оперирует ограниченными объемами данных. Кроме того, натурные эксперименты не всегда возможны, как по техническим, так и экономическим соображениям.

Существующие методики проектирования роторов ВЭУ основаны на полуэмпирических соотношениях и на экспериментальных данных по авиационным профилям. Такой подход не позволяет должным образом учесть все особенности обтекания роторов, кроме того требует промежуточных экспериментальных исследований с последующей корректировкой и уточнением расчетной методики. Это весьма дорогостоящий и длительный путь эволюции технических образцов. По этому пути шло развитие авиации, кораблестроения, турбиностроения.

Главными трудностями в расчете нестационарных процессов при обтекании роторов ВО ВЭУ являются эффекты динамического срыва потока. До настоящего времени ни одна из известных упрощенных методик не давала возможности адекватно рассчитать аэродинамические характеристики роторов в этом случае.

Современные тенденции в проектировании сложной техники связаны с применением полных математических моделей механики жидкости и газа, основанных на самых общих физических законах (сохранение массы, импульса, энергии), реологических соотношениях, динамике турбулентных вихрей. Такие модели являются, с математической точки зрения, сложными системами нелинейных дифференциальных уравнений, для решения которых требуется использование мощных вычислительных комплексов. Для создания таких моделей используется практически весь аппарат высшей математики – аналитическая и дифференциальная геометрия, математический анализ, тензорное исчисление, теория уравнений математической физики. Решение таких систем создает качественно новый уровень проектирования – проведение численных экспериментов, полностью воспроизводящих условия натуральных экспериментов. Такой подход является основой сравнительно молодой науки – вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics – CFD).

## **3. Вычислительная гидродинамика как инструмент аэродинамического проектирования**

На сегодняшний день вычислительная гидродинамика является одной из составляющих процесса проектирования во многих отраслях промышленности, что обусловлено меньшей стоимостью численных экспериментов по сравнению с натурными. Основная задача CFD – воспроизведение реальных физических процессов с максимальной степенью достоверности. За счет этого удастся глубже понять происходящие процессы, выработать рекомендации по аэродинамическим формам проектируемого устройства близким к оптимальным. Подобные расчеты позволяют получить подробные характеристики устройства задолго до его изготовления и внедрения, существенно

сокращая затраты на дорогостоящие продувки в аэродинамических трубах, которые присутствуют при стандартных методах проектирования. Отдельной проблемой является компьютерная визуализация получаемого решения, необходимая не только для получения отдельных характеристик, но и для понимания общей картины течения.

Современный уровень вычислительной гидродинамики ориентирован на использование высокопроизводительных суперкомпьютерных систем с быстродействием в десятки и сотни терафлоп (*1 Терафлоп –  $10^{12}$  операций в секунду*). Такие системы установлены и эксплуатируются в США, странах Западной Европы, Японии, России. Украинские ученые пока лишены этих возможностей.

Необходимость использования столь мощной компьютерной техники обусловлена тем, что подавляющее большинство встречающихся на практике течений являются нестационарными, трехмерными, турбулентными. К примеру, для моделирования одной секунды полета истребителя F-16 компьютеру мощностью в 1 Терафлоп требуется порядка 1000 лет расчетов. Практическое применение вычислительной гидродинамики, например, выбор оптимальной конфигурации устройства, требует проведения многих параметрических исследований при реальных сроках выполнения единичного расчета (не более 30-50 часов машинного времени).

В тоже время, роторы ГО и ВО ВЭУ, как и ротор вертолета, пропеллер самолета, газовые турбины, являются одними из самых трудных в плане аэродинамического расчета и проектирования. В общем случае при моделировании обтекания роторов ВЭУ необходим учет трехмерных процессов, нестационарности поля течения, вязких эффектов, включая турбулентность и ее крупномасштабную часть. В настоящее время реализация такого полного подхода доступна лишь крупным исследовательским организациям, использующим суперкомпьютеры или кластеры персональных компьютеров и имеющим достаточный уровень финансирования.

Специалисты Института транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг» накопили большой опыт разработки и применения методов вычислительной гидродинамики в области ветроэнергетики. К сожалению, реальные расчеты в настоящее время ограничены двумерными (плоскими) течениями. Мощности персональных компьютеров или небольших кластеров (4-20 ПК) пока не позволяют проводить исследования обтекания тел сложной конфигурации (полные трехмерные компоновки роторов ВО ВЭУ), применять современные методы моделирования турбулентности (крупномасштабная турбулентность, прямое численное моделирование).

Отсутствие в Украине высокопроизводительных компьютерных систем приводит к неизбежному разрыву между украинскими и зарубежными учеными в области вычислительных технологий, в реальных возможностях моделирования задач промышленного уровня, к зависимости от импортного программного обеспечения.

#### **4. Сложность уравнений Навье-Стокса**

Система уравнений Навье-Стокса, выведенная в первой половине XIX века, до сих пор является основой вычислительной гидродинамики. Уравнения Навье-Стокса, использующие законы сохранения массы, импульса, энергии в сочетании с основными термодинамическими и реологическими законами, содержат минимальное количество исходных предположений, что делает их наиболее полной и обоснованной системой уравнений механики жидкости и газа. Именно уравнения Навье-Стокса (в отличие от уравнений потенциала и Эйлера) позволяют воспроизводить реальные физические процессы с необходимой точностью.

В тоже время с математической точки зрения они составляют самую сложную систему уравнений математической физики, применяемых к изучению реальных объектов. Для сравнения, уравнения Максвелла и Шрёдингера, составляющие основу классической электродинамики и квантовой механики, являются более простыми, допускающие аналитические (точные) решения. Для уравнений Навье-Стокса ситуация обратная, их

решение возможно только на основе численного эксперимента, потому что большинство встречающихся на практике течений являются нестационарными, трехмерными и турбулентными.

Характерной особенностью указанной системы уравнений является ее нелинейность при наличии дифференциальных слагаемых второго порядка с малым параметром. Хотя существующий уровень вычислительной техники позволяет использовать полную постановку начально-краевой трехмерной задачи, реализация в индустриальных приложениях такого подхода остается слишком трудоемкой.

### **5. Проблемы моделирования турбулентности**

Моделирование турбулентности при расчете аэродинамических характеристик составляет отдельную проблему. Один из лауреатов Нобелевской премии по физике сказал: «Когда предстану перед Создателем, я задам ему два вопроса: о природе квантовой механики и о природе турбулентности. Но боюсь, что на второй вопрос я не получу ответа».

Прямое численное моделирование турбулентности (Direct Numerical Simulation – DNS) является самым общим подходом в вычислительной гидродинамике. Здесь требуется учет динамики возникновения и разрушения турбулентных вихрей практически на молекулярном уровне. Такой подход является научно-исследовательским в вычислительной гидродинамике. Он весьма дорогостоящий даже для индустриально развитых стран и его внедрение в промышленность прогнозируется на вторую половину XXI века.

Существуют альтернативные способы, в которых не учитываются мелкомасштабные турбулентные пульсации: метод осреднения по Рейнольдсу (RANS) и методы фильтрации (LES, DES). Эти методы требуют дополнительных соотношений для замыкания исходной системы уравнений Навье-Стокса.

В методе RANS применяются алгебраические или дифференциальные модели турбулентности. Создание моделей турбулентности – это попытки математического описания на основе некоторых теоретических соображений взаимодействия вихрей разного масштаба в диапазоне от Колмогоровского (порядка нескольких микрон) до крупномасштабной турбулентности, сравнимой с масштабами обтекаемого тела. Существует несколько десятков моделей турбулентности, разработанных для разных классов течений. Универсальной модели не существует и вряд ли такая когда-нибудь будет создана. На сегодняшний момент расчеты на основе RANS широко применяются в промышленной практике.

Модели LES, DES, основанные на разделении вихрей различных масштабов, являются промежуточным звеном между подходами DNS и RANS. Применение моделей LES и DES в промышленных задачах крайне ограничено и возможно лишь в достаточно простых геометрических областях, что в основном связано с высокими требованиями данных моделей к вычислительным ресурсам. Таким образом, для практических расчетов в современных условиях рекомендуется использовать класс RANS моделей.

### **6. Пакеты прикладных программ вычислительной гидродинамики**

Современный этап развития вычислительной гидродинамики характеризуется разработкой программных продуктов, реализованных в виде пакетов прикладных программ. Развитие вычислительной гидродинамики сохраняет высокие темпы благодаря непрерывному совершенствованию элементной базы вычислительной техники, расширению парка доступной для аэродинамиков-вычислителей высокопроизводительных компьютеров.

Современные пакеты программ, ориентированные на решение задач вычислительной гидродинамики, можно разделить на три группы.

К *первой* группе относятся научно-прикладные пакеты, разрабатываемые в крупных исследовательских центрах США и странах западной Европы (NASA-США, ONERA-Франция, DLR-Германия, NLR-Нидерланды), а также в корпорациях Boeing, Lockheed и др. Эти программные средства развивались в течение нескольких десятилетий и предназначены, в первую очередь, для решения прикладных задач аэрокосмической промышленности. Они предполагают использование суперкомпьютеров с массовым распараллеливанием вычислительных процессов для получения результатов в реальные сроки. Кроме того, как показывает обзор научной литературы, новые подходы к решению уравнений Навье-Стокса, новые модели турбулентности перед внедрением в практику отрабатываются в рамках данных программных средств. К сожалению, данные пакеты программ являются интеллектуальной собственностью разработчиков и, как правило, недоступны для широкого круга исследователей.

Ко *второй* группе следует отнести коммерческие CFD программы, такие как ANSYS, STAR-CD, CFX, FLUENT, FLOW-3D, ACE-U, SolidWorks CFD++ и др. К примеру, бюджет ANSYS на 2008 год составлял около 250 млн. долларов. А стоимость одной лицензионной копии пакета ANSYS – 600-800 тыс. долларов. Кроме того, развиваются коммерческие программы, предназначенные для обслуживания отдельных этапов задач CFD: генерация сеток (GridGen, Chimera), визуализации течений (TecPlot). Эти программные средства появились в конце 1990-х и начале 2000-х годов. Объективной целью коммерческих CFD программ является помощь проектировщикам, связанным с решением задач вычислительной гидродинамики, но не имеющим реальных возможностей для разработки собственных CFD пакетов. С точки зрения применяемых аппаратных средств, коммерческие пакеты предназначены для эксплуатации на персональных компьютерах либо кластерах ПК. Это, в свою очередь, ведет к снижению достоверности получаемых результатов в пользу автоматизации расчетов, что делает их использование для расчета процессов обтекания ротора ВЭУ проблематичным.

*Третью* группу составляют CFD программы, разрабатываемые в университетах и небольших научно-исследовательских центрах практически во всех развитых странах. Коллективы сотрудников обычно небольшие (4-10 человек ученых, аспирантов, программистов), компьютерная техника разнообразная, зависящая от уровня финансирования организации. Именно здесь появляются новые CFD-идеи, новые модели турбулентности. Хотя эти пакеты уступают первой и второй группе по универсальности, научно-исследовательские пакеты могут успешно конкурировать при решении отдельных, узкоспециализированных задач вычислительной гидродинамики.

## **7. Результаты**

Авторами доклада разработан специализированный CFD пакет, в котором достигнут компромисс между требуемыми вычислительными ресурсами и качеством получаемых результатов. Реализован полный подход вычислительной гидродинамики на основе уравнений Навье-Стокса, включая несколько дифференциальных моделей турбулентности, а также многоблочный подход для описания течений вблизи вращающегося многолопастного ротора ВЭУ. На основе разработанного программно-методического обеспечения проведено численное моделирование аэродинамики и динамики роторов Дарье и Савониуса с двумя и тремя лопастями. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными, полученными в ЦАГИ (РФ), Sandia (США) и IRPHE (Франция).

Разработанное программно-методическое обеспечение позволяет воспроизводить реальные аэродинамические процессы обтекания роторов Дарье и Савониуса, используется в ИТСТ НАН Украины и в МНПК «ВЕСТА» для расчета и проектирования вертикально-осевых ВЭУ среднего (до 500 кВт) и малого (до 50 кВт) классов.

Результаты аэродинамического расчета служат исходными данными при расчете напряженно-деформированного состояния элементов конструкции ВО ВЭУ (роторов,

опорно-поворотных узлов, элементов трансмиссии, включая мультипликаторы и т.д.), определении вибраций, шумовых полей, а также при проектировании специализированных электрогенераторов.

К тому же полученные параметрические зависимости коэффициента мощности роторов Дарье и Савониуса от коэффициента быстроходности для различных коэффициентов заполнения и чисел Рейнольдса используются для совершенствования существующих инженерных и полуэмпирических методик.

### **Заклучение**

Решение энергетических проблем в Украине требует комплексного подхода как для традиционных (нефть, газ), так и для нетрадиционных (ветер, солнце, биотопливо) источников энергии. Именно решение, а не спекуляции вокруг газового вентилля. Ветроэнергетика является перспективным направлением для создания дополнительного энергетического потенциала Украины. Поэтому основной задачей при решении данной проблемы должна быть разработка новых экономически эффективных ВЭУ с учетом природно-климатических условий Украины и современных научно-технических достижений.

Развитие CFD и наличие мощных вычислительных центров служит одним из критериев, по которым страна относится к числу развитых. Новые компьютерные технологии позволяют решать на современном уровне экономические, технологические проблемы, в том числе и проблемы ветроэнергетики.

В программе ООН развития мировой энергетики сказано, что *в XXI столетии развитыми будут те страны, где интенсивно развивается ветроэнергетика*. Очевидно, что разрозненными усилиями отдельных организаций невозможно выйти из сложившейся ситуации. Для эффективного развития ветроэнергетики в Украине необходимо четкое сочетание государственной координации усилий и инициативных новаторских предложений в различных отраслях знаний (аэродинамика, прочность, электродинамика, экология, строительство).

#### **Секція 4**

### **ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ, ВИРОБНИЦТВА ТА РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ЇХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ**

## **MODERN ICE-RETAINING DEVICES FOR THE MAINTENANCE OF COMFORTABLE WORKING CONDITIONS IN FLOATING DOCKS**

Shchedrolosiev O.V., Uzlov O.M., Konovalova H.V., Kyrychenko K.V.  
National University of Shipbuilding (Ukraine)

**Introduction.** To reduce the operational costs the hull is needed to be cleaned in floating dock from fouling. It is not possible to carry out maintenance without ship-lifting devices because most of vessels are heavy and huge part of a hull is under water [1].

Floating dock plunges to a certain depth for receiving and repair of the vessel in special foundation dug in the water area of a shipyard. Foundation along with devices serves to hold over the system “vessel-dock”, provides transportation links with coast and supplying various types of energy to perform work. All this is an expensive complex of hydro-technical installations [2].

**Research relevance.** Often docking of vessels needed to be conducted in cold season with a lot of ice in the water area. A lot of ice entering simultaneously with the vessel on the pontoon deck of a dock, this ice settles on the pontoon deck after surfacing and fills in all spaces between bottom of the vessel and pontoon deck. The ice prevents normal ship sitting of vessel on keel-blocks. It's hard or even impossible to maintain repair work under the bottom of the vessel. The removal of ice requires a lot of labor and time and increases costs of docking repairs of vessels. For that reason, designing and modernization of floating docks provides for special ice-retaining devices.

**Formulation of the problem.** The aim of this work is to analyze the existing ice-retaining devices, which improve working conditions in floating docks. The examples of ice-retaining devices and systems, which are exploited for the protection from icing over floating docks, are also provided.

**Research results.** Containment booms for ice protection have not been widespread cause of bulkiness. The designer V. P. Sekisov proposed device, which holds up ice with counter jets of water. Those ice-retaining devices must be installed from the both ends of the pontoon deck. One ballast pump in the dry tank serves the fore end, the other one serves aft end. The side embrasures closed by girder to avoid impact of ice.

Pneumatic ice-retaining device is widespread, this device consist from tube 90 mm in diameter lying at very edge of a pontoon deck of floating dock. In this tube drilled holes in diameter 3-5 mm at the distance of 80-100 mm one from another.

One end of a tube is plugged and another end is connected to the compressed air line. The air coming out of the openings forms on the water surface breaker, which prevents hitting ice on the pontoon deck.

Ice-retaining devices installed on the both of ends of a floating dock. Two dock compressors (with production capacity 10 m<sup>3</sup>/min) support their work. Considerable experience of exploiting this construction has given good results. Amount of ice, which comes on the pontoon-deck of floating dock, equipped with pneumatic ice-retention device, is insignificant.

Pneumatic ice-retention device designed for building docks consist of air tubes 1,2 in diameter 108 mm, which placed in contour of console sites (crinolines) under the fender. On the bottom side of tubes drilled holes in diameter 4 mm at the distance of 50 mm. Device switches into airline of the floating dock through tubes 3,4 in diameter of 57 mm.

Special pneumatic systems are using to protect hydro-technical constructions from ice and support navigational channels. Those systems use air that supplied by tubes, this air comes out with small bubbles causes the movement of the lower warmer layers of water to the surface. This prevents freezing of water on the surface with purely mechanical way, and due to the heat of lower layers of water which coming to the surface. That principle can be used for support of the open water space in the ice covering around dock. For that purpose, air tubes must be installed in underwater part along contour of the floating dock. Those tubes receive air



periodically from a special automatic compressor. Supplied air must be dried cause of ice plug formation in the pipe network.

Pipe network of compressed air is placed along the counter of a dock under the fender. This network connected with 40 sections (28 – tree nozzles and 12 – two nozzles), which took to a depth of 4 meters under the water. Every section consist of a vertical tube, which end connected to horizontal tube with nozzles. Tubes installed on special struts, which fixed on the dock. This construction makes disassembling easier after the winter season. Sections disconnect and remove from the water. After that, pipe network installed with plugs.

All system is fed from a separate unit, which consist from 2 compressors (with production capacity 3 m<sup>3</sup>/hour), air filter, air-cooler, water and oil separator and receiver with volume of 4 m<sup>3</sup>. The necessary pressure for efficient work of a system after reduction is 1,4 kg/sm<sup>2</sup>. The work of a system for support of the open water space in the ice covering lasts 5-10 min every hour.

Floating docks are opened in ends and often have open corridors (loaded openings) in towers. According to that on the pontoon deck often may appear powerful draughts that may cause illness of a dock workers. Strong winds, which are driven to the end of a dock may disrupt working process or even make it impossible.

Plants that exploit floating docks always facing the need to close the ends of a dock and corridors in towers. The ends and corridors are often planked with special barriers. This consumes a lot of timber and workforce. Besides, cause of the complexity and significant value of this barriers, they are placed only in a winter season after conducting “the last for the year” docking (in freezing ports), this means that vessel is entering a dock on a winter period with extensive repair works.

Thus, the ends of a dock are keeping opened and workers need to operate under constant draught conditions, during entire cold period, part of winter and in spring.

Must be given a lot of attention to devices with reliable and simple construction of closing the ends of a dock and loaded openings, while designing new floating docks. Closing does not interfere a normal working process, while staying in the idle position on the dock. The closing of the loaded openings of the dock is easily accomplished with the aid of sheets, which move on rollers along the track. Figure 1 represents construction of such doors with upper rack bar, which place on the outside of dock. Special devices provided for fixing doors in open and closed positions. The guide closings of ends with help of canvas curtain, secured by the rope on the special columns that installed in support braces, which placed in the side ends of a dock.

There are curtains attachments, which placed on special cranes, which placed on the towers of a dock and at the catwalk etc. However, canvas closings are not widespread because of deficit, rapid decay of materials and labor intensity of their mounting and assembling.

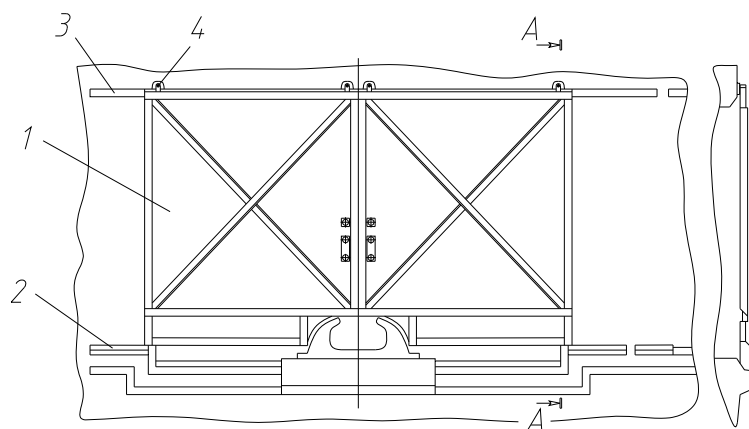


Figure 1. Doors for closing loaded openings are represented, there are  
1–doors; 2– bottom batten; 3–upper batten; 4–roller

Various closures in the form of metal sliding folding screens or gates are not widespread either, because of length reduction and sometimes cause of reducible width. However, some of these closures are interesting and in some cases can be used. One of the construction of similar closings represented on the figure 2. Extendible shields placed in the ends of towers (in the non-operating position). For that reason provided installation of special frameworks. Shields are moving by dock's spires or cranes along guided tracks by rope through the cheek blocks.

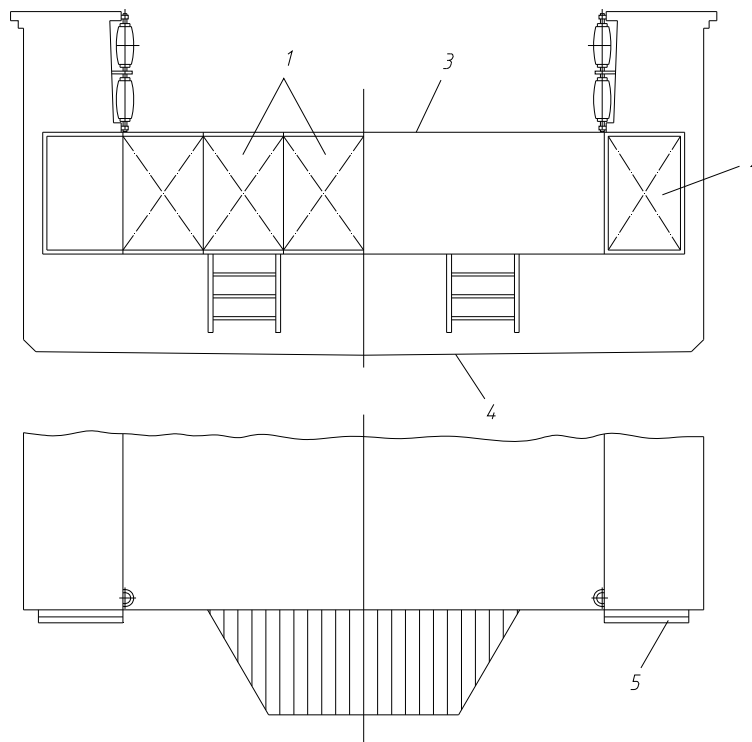


Figure 2. Scheme of closing the ends of a dock by extendible shields, where  
1 – shields in operating position; 2 – shields in non-operating position;  
3 – upper guided track; 4 – bottom guided track; 5 – framework for the shields installation

In another version, the closure is carried out by sliding gates, which consist of two or four section halves of the folding screen. Folding parts assembled from metal shields, which connected one with another by fittings. There are rollers in the bottom part of foldings and on the pontoon deck of a dock battens for better direction and movement of the gate. Opening and closing of the gate is performed by crane of a dock by ropes that lying along blocks, that installed in towers of the dock. Designers should envisage special niches for mounting in them sliding gates in non-operational position. Considering that vessels can be docked with overhang in the ends of central foldings near gates must be required fastening of the canvas, which close space between barriers and vessel's lines.

Several variants were designed to close ends with folding gates and by corrugated steel plate. Steel is rolled in rolls in non-operational position. After that, steel is rolling in rolls and mounting in vertical or horizontal position in the end of a dock.

The construction of described closures is wieldy. However, the idea of a permanent enclosure of the dock's ends is attractive, especially for the cold regions of the country, as well as for areas that suffer from the strong winds.

The construction of closing ends is three-shielded steel plate, which enforced by hinge at the bottom part of permanent console dock's area (Fig.3). The steel plate is placed in lowered position like plating and little overhangs with upper part from the limits. The fenders are provided to avoid damage of overhanded parts. Pillars of a dock carry out the lifting of shield. The middle shield is not lifted, while entering a vessel with overhang in dock. Only two outermost shields and canvas curtains between them and vessel carry out the closure of the ends.

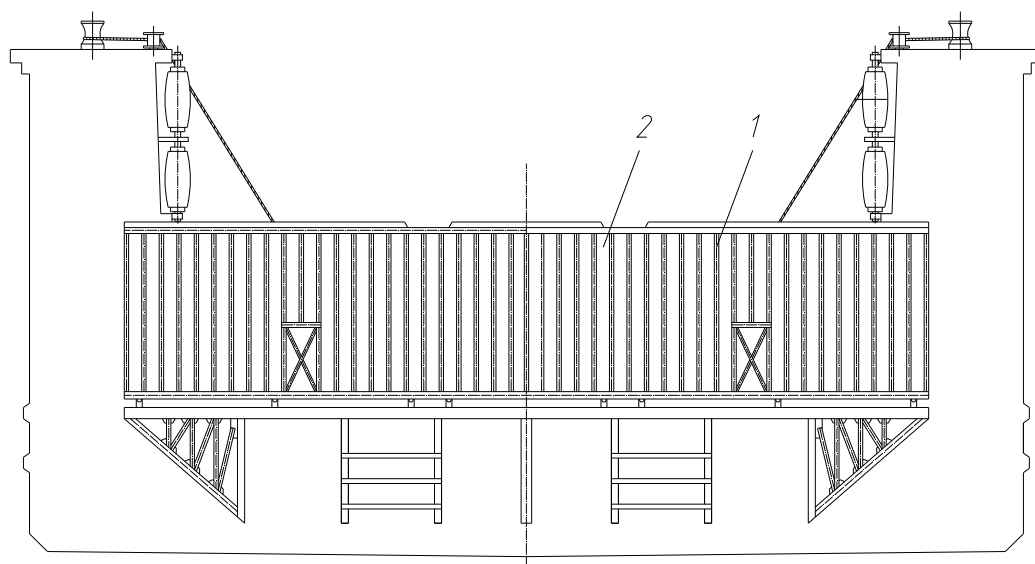


Figure 3. Three shielded closure of the dock's ends.  
1 – side shield; 2 – middle shield.

**Conclusion.** Represented classification of ice-retaining devices, which allow ensuring the normal ship sitting on keel blocks and reduce much labor input and time while removing ice. Represented schemes of devices for closing the ends of docks, which allow reducing draughts that are driven to the end of it.

#### LITERATURE

1. Рашковский А.С. Совершенствование конструкции ремонтных плавучих доков [Текст] / А.С. Рашковский, А.В. Щедролосев, В.Н. Перов // Зб. наук. праць НУК: - Миколаїв, НУК, 2016. Вип. 1 – С. 11–18.
2. Щедролосев А.В. Анализ состояния строительства плавучих доков [Текст] / А.В. Щедролосев, К.В. Кириченко // Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri: – Баку, Азербайджанська Державна Морська Академія, 2018. Вип.1 - С. 48-58.

## **NANOMODIFIED EPOXY COMPOSITE MATERIALS FOR METAL-POLYMERIC TRIBOSYSTEMS OF TRANSPORT VEHICLES**

Zinchenko D.A., Bulgakov N.P.  
Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

The problems of friction and wear of details and mechanisms of polymer tribosystems are among the most difficult problems and represent a combination of many particular problems of creating the conditions to provide maximum use of their potential capabilities. The constant complication of equipment with the simultaneous expansion of the scale of its application put ever higher demands on the reliability of constructive elements, physico-mechanical and tribotechnical properties of details surfaces of metal-polymer tribosystems, where different processes and types of friction and wear arise and develop simultaneously [1-3].

Scientifically grounded search and development of methods for strengthening and modifying of polymer friction surfaces are an important direction in solving these problems.

**Purpose of the work** is to establish the main regularities of influence of nano-, microdispersed fillers on tribological properties of composite materials.

### **II. Experimental procedure**

The epoxy diene oligomer ED-20 grade (GOST 10587-84) was selected as the main binder component in CM formation. Polyethylene polyamine hardener (PEPA) (TU 6-05-241-202-78) was used for cross-linking of epoxy compositions. Silver carbonate (SC) with dispersion of 500 nm was used as modifier, as fillers – molybdenum disulfide (MD) and microtalc (MT) with dispersion of 7 ... 10  $\mu\text{m}$ .

CM with dispersed particles were formed with the following composition:

- matrix (ED-20 : PEPA – 100 : 10);
- CM 1 (ED-20 : PEPA : MD : SC – 100 : 10 : 70 : 0,8);
- CM 2 (ED-20 : PEPA : MD : SC – 100 : 10 : 80 : 0,8);
- CM 3 (ED-20 : PEPA : MT : SC – 100 : 10 : 70 : 0,8).

The tribological properties of materials were investigated on testing machine of series production 2070 SFM-1 using scheme "shaft – hub segment" and technique according to GOST 23.224-86. Researches were carried out at sliding velocity  $v = 0,5$  m/s and unit load  $P = 1$  MPa.

**Results and discussion.** It is known [4,5] that the input of SC into the composition of CM leads to a change in the character of the structuring of the macromolecular grid of the matrix and the formation of a three-dimensional structure with given parameters. Proceeding from this, the input of silver carbonate particles into the binder allows within a wide range predictably regulate physico-mechanical and, correspondingly, tribological characteristics of the materials. Therewith, it should be borne in mind that a decrease in the degree of structure formation of a polymer with the introduction of an excessive amount of particles can lead to an increase in the shrinkage of the matrix during polymerization, and an increase in the intermolecular crosslinking density leads to an increase in the chemical and thermal stability of the epoxy composite. The results of tribological studies are given in Table 1.

Table 1. Tribological properties of composite materials

Parameters	Material			
	matrix	CM 1	CM 2	CM 3
Friction moment, $M$ , $\text{N}\times\text{m}$	1,8...2,0	1,6...1,8	1,4...1,5	1,4...1,5
Friction coefficient, $f$	0,36...0,38	0,34...0,35	0,28...0,29	0,29...0,30
Temperature, $T$ , K	335...337	358...360	335...338	338...340
Path of running-in, $l$ , m	2500...3500	2500...3000	2500...3000	2000...2500
Mass intensity of wear, $I_m$ , $\text{mg}/\text{km}$	2,0...2,2	2,6...2,8	3,0...3,4	1,8...2,1

It is proved that filling of epoxy binder with MD, MT and SC particles has a significant effect on tribological properties of CM. In particular, it should be noted that friction moment and friction coefficient of CM 1 compared with matrix, are significantly decreasing from  $M = (1,8...2,0) \text{ N}\times\text{m}$  and  $f = 0,36...0,38$  to  $M = (1,6...1,8) \text{ N}\times\text{m}$  and  $f = 0,34...0,35$  respectively (Table 1). This is accounted for by an increase in the degree of crosslinking with the formation of additional physical bonds between binder and the filler. The increase in the cohesive strength of the material due to physical bonds, the increase in the surface energy of the two-component filler is determined primarily by the topology and activity of its surface.

In turn, this leads to an improvement in parameters of tribological properties of CM in the selected range of the study. Additional evidence of this is the fact that the path of running-in under the given conditions is reduced to  $l = 2500...3000 \text{ m}$  relative to the matrix ( $l = 2500...3500 \text{ m}$ ). However, with such filling of the system, the material wear intensity ( $I_m = 2,6...2,8 \text{ mg/km}$ ) increases compared to the matrix ( $I_m = 2,0...2,2 \text{ mg/km}$ ). In our opinion, this is due to the formation of pores and cavities in the surface layer of the material, which causes its cohesive failure under frictional interaction of rider and composite.

A similar tendency was observed when testing of material CM 2. The results of the study make it possible to affirm about the improvement of tribological properties of this CM in comparison with CM 1, as evidenced by a decrease in parameters of friction moment from  $M = (1,6...1,8) \text{ N}\times\text{m}$  to  $M = (1,4...1,5) \text{ N}\times\text{m}$  and friction coefficient from  $f = 0,34...0,35$  to  $f = 0,28...0,29$ . This is explained by the predominant influence of deformation-strength and antifriction properties of molybdenum disulphide filler, the amount of which in the material is increased to  $q = 80 \text{ wt } \%$ , on the properties of the composite as a whole. In this case, frictional contact occurs in the presence of a lubricating film, which originates because of increased content of the filler. Therewith, in the volume and in the surface layer of composite a significant number of macroblocks are formed, which contain two layers of sulfur atoms and a layer of molybdenum atoms between them (*S-Mo-S*).

However, it has been additionally established (Table 1) that when the content of MD filler in CM 2 increases, compared with CM 1, the material wear intensity increases from  $I_m = 2,6...2,8 \text{ mg/km}$  to  $I_m = 3,0...3,4 \text{ mg/km}$ . The reason for this is the selective adsorption of one of the binder components on the filler surface and the partial oxidation of MD to an oxide for which antifriction properties are not characteristic. The decrease of components reactivity occurs, which leads to an increase of material wear intensity.

The following tendency was observed regarding CM 3. The friction moment, the friction coefficient, the running-in path and the wear intensity of CM 3 (Fig. 1, d, Table 1), compared with matrix, significantly decrease from  $M = (1,8...2,0) \text{ N}\times\text{m}$ ,  $f = 0,36...0,38$ ,  $l = 2500...3500 \text{ m}$ ,  $I_m = 2,0...2,2 \text{ mg/km}$  to  $M = (1,4...1,5) \text{ N}\times\text{m}$ ,  $f = 0,29...0,30$ ,  $l = 2000...2500 \text{ m}$ ,  $I_m = 1,8...2,1 \text{ mg/km}$ . This is due to the improved physico-mechanical and thermophysical properties of the composite, and also because of the achievement of the maximum density of the structural mesh of the material due to improved interaction at the phase boundary between system components.

In the process of wear, the structure of contact medium changes as a result of formation of a boundary layer in the friction area, which differs in properties from composite in volume. Iron ions of the rider penetrate into the boundary layer in the process of friction. In addition, ions of iron, silver and magnesium, which are constituent of SC and MT fillers, circulating in the friction system, settle on surfaces of contacting parts. The microcracks and protrusions of objects of friction pair are anodic areas, therefore the metal ions are grouped in the gaps of contacting surfaces.

It was also believed that the process of additional partial polymerization occurs as a result of interaction in the complex of  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$  ions, forming a thin film of polymer and the above metals, which covers the friction surfaces. This metal-polymeric film, which is formed in the process of friction, is called "servovite." Protective film refers to a self-organizing class of systems. It should be noted that when friction is in this mode, the parts contact on a large total

area. As a result, contact stresses decrease, almost all deformations are perceived by a thin metal layer, and the material is subjected to only elastic deformations throughout the entire volume.

As a result of the conducted experiments and analysis of study results, it can be stated that nano- and microdispersed particles have a significant effect on improving the tribological properties of composites.

**Conclusions.** The influence of a two-component bidispersed filler on the tribological properties of epoxy composites was experimentally set. It was proved that materials based on epoxy resin ED-20 filled with molybdenum disulphide particles ( $d = 7...10 \mu\text{m}$ ) and silver carbonate ( $d = 0,5 \mu\text{m}$ ) in the ratio of 100:80:0,7 respectively, or microtalc ( $d = 7...10 \mu\text{m}$ ) and silver carbonate ( $d = 0,5 \mu\text{m}$ ) in a ratio of 100:70:0,8 respectively are marked by improved properties. The developed materials are characterized by the following indicators of tribological properties: friction coefficient  $f = 0,28...0,30$ , temperature  $T = 335...340 \text{ K}$ , mass intensity of wear  $I_m = 3,0...3,4 \text{ mg/km}$  and  $I_m = 1,8...2,1 \text{ mg/km}$  respectively, path of running-in  $l = 2500...3000 \text{ m}$  and  $l = 2000...2500 \text{ m}$  respectively. It is substantiated that the improvement of tribological properties is caused by the formation of an antifricition film and partial adsorption of system components on the surface of the rider in the first case, and also by the formation of a self-organized servovite metal-polymeric film in the contact area in the second case.

#### REFERENCES

1. P. Stukhlyak, «Antifricition and adhesive properties of coatings of thermosetting plastics modified with thermoplastic polymers», *Soviet Journal of Friction and Wear*, **7(1)** (1986) 138-141.
2. P. Savchuk, A. Kostornov, V. Kashitskii, O. Sadova, «Friction Wear of Modified Epoxy Composites», *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, **53(3)** (2014) 205-209.
3. P. Bogdanovich, V. Prushak, *Friction and Wear in Machines*, Minsk: Vysheyshaya Shkola Press, 1999.
4. O. Sapronov, A. Buketov, D. Zinchenko, V. Yatsyuk, «Features of structural processes in epoxy composites filled with silver carbonate on increase in temperature», *Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal*, **8(1)** (2017) 47-65.
5. A. Buketov, P. Maruschak, O. Sapronov, D. Zinchenko, V. Yatsyuk, S. Panin, «Enhancing performance characteristics of equipment of sea and river transport by using epoxy composites», *Transport*, **31(3)** (2016) 333-342.

## **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ АЗОТУВАННЯ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ПОКРИТТІВ ІЗ НАПЕРЕД ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Агєєв М.С.

Херсонська державна морська академія (Україна)

**Вступ.** Одним із завдань сучасної інженерії поверхні є забезпечення параметрів міцності та довговічності поверхневих шарів, а у випадку втрати геометричних характеристик деталей в результаті зношування, відновлення їх профілю з одночасним забезпеченням новосформованих областей поверхні необхідним комплексом експлуатаційних властивостей. При цьому запропоноване технологічне рішення має бути оптимальним не тільки з позицій максимального подовження терміну експлуатації виробу, але і з точки зору економічної доцільності витрат енергії та ресурсів.

Характерною особливістю методів поверхневого зміцнення є те, що одночасно не вдається підвищити експлуатаційні властивості деталі для всього спектру режимів роботи [1].

Усунення цього недоліку покриттів досягається при використанні багатоопераційних технологій та нанесенні багатошарових, багатофункціональних покриттів [2].

Однією з технологій, що використовується в сучасному машинобудуванні є газотермічне напилення покриттів [3]. Її застосування зумовлене достатньою простотою відновлення геометрії поверхонь деталей, відносно невеликою вартістю обладнання та ціни відновлення конкретного виробу [4].

Разом з тим покриття, отримані за допомогою газотермічного напилення мають ряд недоліків. До них відносять низьку міцність зчеплення з основою, високу пористість та недостатню твердість [3]. Суттєво підвищити ці властивості можна за допомогою додаткової хіміко-термічної обробки, зокрема, термоциклічного іонно-плазмового азотування.

Використання такого варіанту інтегрованих технологій дозволяє суттєво підвищити довговічність елементів конструкцій, що працюють в умовах абразивних та ерозійних навантажень [3, 4].

Відмітимо, що при термоциклічному іонному азотуванні при поверхневих шарів, які отримані за допомогою газотермічного напилення, виникає проблема раціонального вибору режимів азотування з метою отримання покриттів із наперед заданими властивостями.

**Метою роботи** є побудова математичних співвідношень, що дозволяють проводити управління дифузійним насиченням пористих покриттів в умовах іонного азотування для підвищення експлуатаційних характеристик приповерхневих шарів.

### **Побудова математичних співвідношень.**

Ефект прискореної дифузії речовини, що отримав назву «аномальний масоперенос», реалізується в різних видах механіко-термічної обробки матеріалів, і на даний час використовуються для підвищення експлуатаційних властивостей поверхневих шарів деталей, які працюють в умовах контактних навантажень. Особливо чітко процес аномального масопереносу реалізується при термоциклічному іонному азотуванні [1].

Широке впровадження даного ефекту призводить до необхідності управління цим явищем – вибором таких параметрів зовнішніх впливів, які формують покриття із заданим комплексом властивостей.

Для розв'язання даної проблеми будемо використовувати підходи термодинаміки - дифузійну теорію пружності Підстригача Я.С. та локально-нерівноважну термодинаміку Бурака Я.Й. [5, 6].

В літературі накопичено велику кількість експериментальної інформації про зміну швидкості дифузійних процесів під дією впливів на тіло полів різної природи. Ця інформація досить повно відображена в роботах [7, 8].

До факторів, які мають вплив на швидкість масоперенесення, відносять:

1. Температуру;
2. Параметри зовнішніх силових впливів;
3. Структурно-фазовий стан матеріалу в початковий момент часу.

При цьому швидкість деформації є одним з визначальних фактором, що змінює як рухливість атомів як основного металу, так і домішкових елементів, а залежність коефіцієнта дифузії в середовищі від швидкості деформації має вид:

$$D_M = D_0 + C|\dot{\varepsilon}|^\alpha \cdot \exp\left(\frac{\beta}{T}\right), \quad (1)$$

де  $D_0$  - коефіцієнт дифузії у випадку відсутності деформацій,  $\dot{\varepsilon}$  - швидкість деформацій,  $\alpha, \beta$  - константи,  $T$  - температура.

Процес іонного азотування включає в себе наступні етапи [9, 10]:

1. Підведення азоту з відповідного середовища до поверхні деталі.
2. Утворення приграничного шару біля поверхні деталі, де на міжфазній межі середовище-метал відбувається дисоціація азотовмісного середовища і адсорбція поверхнею атомів азоту.
3. Проникнення атомів азоту через поверхню в матеріал деталі.
4. Дифузія атомів азоту у поверхневий шар по границях зерен і через зерна.

При цьому керуючими параметрами є: 1) температура насичення; 2) тиск газу; 3) склад газу; 4) час повної обробки; 5) форма і часова інтенсивність енерговведення [10].

Якщо параметри (1)-(4) є досить важливим з позиції отримання покриттів із заданим рівнем властивостей, то остання характеристика визначає можливість прискорення дифузійних процесів і, як результат, формування поверхневих шарів деталей з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Для врахування форм і часових особливостей зовнішнього енерговведення в рамках описаних вище емпіричних співвідношень розглянемо векторну величину – потік енерговведення, який описується співвідношенням:

$$\vec{j}_E(s, \tau) = -\left(\frac{\partial^2 E}{\partial v \partial \tau}\right) \vec{n}(s), \quad (2)$$

де  $\vec{j}_E(s, \tau)$  – вектор потоку енерговведення у точці поверхні  $s$ ,  $\vec{n}(s)$  – зовнішня одинична нормаль до поверхні в точці  $s$ ,  $\left(\frac{\partial^2 E}{\partial v \partial \tau}\right)$  - змішана похідна від енерговведення за часом і по нормалі до поверхні.

При побудові співвідношення (2) використовувалися апріорні припущення про те, що границею тіла є гладка поверхня, в кожній точці якої можливо побудувати одиничну нормаль і знайти похідну по поверхні в будь-якій розглянутий проміжок часу.

Представимо  $\vec{j}_E(s, \tau)$  у вигляді:

$$\vec{j}_E(s, \tau) = -|j_E^1(s)| \cdot |j_E^2(\tau)| \vec{n}(s), \quad (3)$$

де  $j_E^1(s)$  - складова потоку, що відповідає за форму енерговведення,  $j_E^2(\tau)$  - складова потоку, що відповідає за часове проходження енерговведення.

Згідно робітз локально-нерівноважної термодинаміки [5, 6], запишемо:

$$j_E^2(\tau) = j_E^2(\tau = \tau_0) + \left.\frac{\partial j_E^2(\tau)}{\partial \tau}\right|_{\tau=\tau_0} \tau + \frac{1}{2} \left.\frac{\partial^2 j_E^2(\tau)}{\partial \tau^2}\right|_{\tau=\tau_0} \tau^2 = \Pi_1 + \Pi_2 \tau + \Pi_3 \tau^2, \quad (4)$$

де  $\Pi_1 = j_E^2(\tau = \tau_0)$  - величина часової складової енергопотіку у початковий момент часу,

$\Pi_2 = \left.\frac{\partial j_E^2(\tau)}{\partial \tau}\right|_{\tau=\tau_0}$  - величина швидкісної часової складової енергетичного потоку в



початковий момент часу,  $\Pi_3 = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 j_E^2(\tau)}{\partial \tau^2} \Big|_{\tau=\tau_0}$  - величина прискорення часової складової енергопотуку в початковий момент часу.

Представлення величини  $j_E^1(s)$  залежить від апріорних передумов про геометричні параметри області енерговведення.

При проходженні дифузійних процесів у пористих середовищах коефіцієнт дифузії суттєво залежить від структури середовища [11, 12], яке в загальному випадку може задаватись довільною кількістю змінних.

В цьому зв'язку, із врахуванням співвідношень (1) – (4), представимо коефіцієнт дифузії пористих покриттів, який залежить як від параметрів зовнішніх енергетичних впливів, так і від характеристик пористості напilenого покриття:

$$D_M = D_M \left( \left\{ \Pi_k^i \right\}_{i=1, \dots; k=1, \dots}; \left\{ \theta_j \right\}_{j=1, \dots} \right), \quad (5)$$

де  $D_M$  - коефіцієнт масопереносу,  $\Pi_k^i$  - параметри енергетичних впливів під час технологічної модифікації,  $\theta_j$  - змінні, що описують пористість структури покриття,  $i, j, k$  - біжучі індекси.

Вибір параметрів  $\Pi_k^i$  залежить від рівня конкретизації задачі опису енергетичних впливів (врахування силових, термічних та інших видів навантаження), задання змінних  $\theta_j$  проводиться з врахуванням необхідного рівня деталізації пористої структури поверхні. В припущенні про ізотропію пористої структури величини  $\theta_j$  приймають як змінні скалярної природи.

Оскільки в загальному випадку встановлення залежностей типу (5) на даний момент є відкритою проблемою, запропонуємо наступне подання коефіцієнту масопереносу у виді лінійного адитивного розкладу у ряд по основним змінним:

$$D_M = \sum_{i,k} C_{i,k} \Pi_k^i + \sum_j A_j \theta_j, \quad (6)$$

де  $C_{i,k}, A_j$  - емпіричні коефіцієнти.

Відмітимо, що задання коефіцієнту масопереносу у виді (2) знаходиться у відповідальності із сучасними роботами із дослідження фізичних особливостей дифузії в умовах високоінтенсивних енергетичних впливів [11, 12].

При постановці задачі управління дифузійним насиченням приповерхневих шарів важливим є вибір критерію (функціоналу), згідно якого буде проводитись встановлення оптимального розв'язку.

В даній роботі в якості критерію оптимальності пропонується величина (глибина) насиченого шару, отриманого в результаті технологічної модифікації:

$$L \rightarrow \max. \quad (7)$$

З врахуванням залежності функціоналу (7) від параметрів пористості конструкції та зовнішніх енергетичних впливів

$$L \equiv L \left( \left\{ \Pi_k^i \right\}_{i=1, \dots; k=1, \dots}; \left\{ \theta_j \right\}_{j=1, \dots} \right) \quad (8)$$

задача управління дифузійним насиченням приповерхневих шарів в умовах термоциклічного іонного азотування має вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi_k^i - ? \\ L \equiv L \left( \left\{ \Pi_k^i \right\}_{i=1, \dots; k=1, \dots}; \left\{ \theta_j \right\}_{j=1, \dots} \right) \rightarrow \max. \end{array} \right. \quad (9)$$

Розв'язання задачі (9) можна проводити за допомогою розкладу функціоналу (8) в системі базисних функцій  $\{P_k^i\}$  за допомогою методу зважених нев'язок - методу Гальоркіна, або за допомогою чисельних наближень з використанням методу градієнтного спуску, на основі модельних уявлень роботи [5], або розширених уявлень, які описані в праці [6].

#### **Висновки.**

Підвищення функціональних властивостей пористих покриттів вимагає вирішення наукової проблеми управління дифузійними процесами у приповерхневих шарах деталей отриманих в результаті газотермічного напилення.

Представлений аналіз сучасних моделей механіки, що описують взаємопов'язані процеси силової, термічної та дифузійної природи і фізичні уявлення про вплив структурних параметрів на інтенсивність масопереносу в пористих середовищах.

На основі проведеного аналізу запропонована постановка задачі управління дифузійним насиченням пористих покриттів в умовах термоциклічного іонного азотування.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Прочность материалов и конструкций/ [под ред. В.Т. Трощенко]. – К.: Академперіодика, 2005. – 1088 с.
2. Оптимизация технологии нанесения покрытий по критериям прочности и износостойкости/ [ Ляшенко Б.А., Соловых Е.К., Мирненко В.И. и др.]; под ред. В.В. Харченко. – К.: Ин-т проблем прочности, 2010. – 193 с.
3. Повышение долговечности быстроизнашиваемых деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники интегрированными технологиями упрочняющих защитных покрытий/ Б.А. Ляшенко, Л.А. Лопата, Е.К. Соловых [и др.]/Конструювання, експлуатація та виробництво сільськогосподарських машин. – 2011. – вип. 41, ч. 11. – с. 9 – 19.
4. Методы упрочнения поверхностей машиностроительных деталей/ [Новиков Н.В., Бидный А.А., Ляшенко Б.А. и др.]. – К.: Ин-т сверхтвердых материалов, 1989. – 112 с.
5. Подстригач Я.С. Введение в механику поверхностных явлений в деформируемых твердых телах/ Я.С. Подстригач, Ю.З. Повстенко. – К.: Наукова думка, 1985. – 200 с.
6. Бурак Я.Й. Визначальні співвідношення локально-градієнтної термомеханіки/ Я.Й. Бурак // Доп. АН УРСР. Сер. А. – 1987. – № 12. - с. 19-23.
7. Массоперенос и формообразование в металлах при импульсных воздействиях/ [Миронов В.М., Мазанко В.Ф., Герцрикен Д.С., Филатов А.В.]. – Самара, 2001. – 232 с.
8. Герцрикен Д.С. Импульсная обработка и массоперенос в металлах при низких температурах/ Герцрикен Д.С., Мазанко В.Ф., Фильченко В.М. – К.: Наукова думка, 1991. – 208 с.
9. Азотирование и карбонитрирование/ Чаттерджи-Фишер Р., Эйзели Ф.В., Хоффманн Р. [и др.] / Под ред. Супова А.В. – М.: Металлургия, 1990. – 280 с.
10. Теория и технология азотирования/ [Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Шпис Г.И., Бемер З.]. – М.: Металлургия, 1991. – 320 с.
11. Трехмерные капиллярно-пористые покрытия/ В.И. Калита, В.Н. Соколов, В.А. Парамонов// Физика и химия обработки поверхности. – 2000. - № 4. – с. 55 -61.
12. Плаченцов В.Т. Порометрия/ В.Т. Плаченцов, С.Д. Колосенцев. – Л.: Химия, 1988. – 176 с.

## **РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ЗВОРотної ДЕФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ СУДНА**

Воробйов П.О., Носов П.С.  
Херсонська державна морська академія (Україна)

### **Вступ**

Під час переходу судна у зонах із складними погодними умовами таким як шторми, арктичні широти та інше, можливі часткові пошкодження борту судна у вигляді деформацій що впливають на його остійність та показники швидкості та маневреності. Ситуація може бути погіршена тим, що компанії які здатні виконати поточний ремонт судна розташовані на великій відстані, а також тим, що вантаж треба доставити у відповідний за договором строк.

З цього приводу, для забезпечення цілісності поверхні судна треба мати допоміжні ремонтні пристрої що матимуть виконувати ремонтні роботи не змінюючи траєкторію та швидкість пересування судна на морі.

### **Актуальність дослідження**

Технічне рішення, що дозволить виконувати поточний ремонт для забезпечення зворотної деформації металевих поверхонь бортів судна дасть можливість значно скорочувати час на виконання нескладних, але важливих операцій не впливаючи на час переходу.

Особливістю технічного рішення є те, що це має бути розроблений автономний пристрій який здатен локально ідентифікувати деформацію, прийняти рішення для її усунення та визначити інструментарій для ремонтних дій.

Наразі для галузі морського транспорту у відомій літературі не знайдені аналоги що виконують автономно роботи пов'язані із зворотною деформацією, але у галузі автомобілебудування використовуються стаціонарні станції що виконують риштовку вакуумним способом. Огляд існуючих технічних рішень в автомобільній галузі не дозволяє використовувати розроблені пристосування для поточного ремонту морського транспорту і вимагає розробки спеціальних пристроїв.

### **Постановка завдання**

З огляду на вищезазначене можна стверджувати, що метою роботи є максимальне скорочення термінів автоматизованого ремонту формозмінних поверхонь судна шляхом створення автоматизованого пристрою зворотної деформації.

На наш час вирівнювання поверхні судна має свої недоліки, найчастіше використовується зварювання, тому позбутися вм'ятини без пошкодження поверхні або попередньої її обробки не можливо [1]. Для усунення пошкоджень магнітом використовуються магніти з великою силою на розрив. Також паралельно може використовуватись додаткове нагрівання поверхні .

Для розробки автоматизованого пристрою за основу були взяті два методи відновлення пошкодження поверхні це усунення пошкоджень магнітом та спеціальним обладнанням з їхнім удосконаленням. Процес ідентифікації пошкоджених поверхонь відбувається за наступною схемою (рис. 4).

В основі конструкції пристрою присутні елементи які можна зустріти на 3-D сканерах та 3-D принтерах (Рис. 2 а,б) [2,3]. Функції цих пристроїв поєднані тому, що процес зворотної деформації відбувається у два етапи: сканування деформованої поверхні та її вирівнювання (Рис. 3).

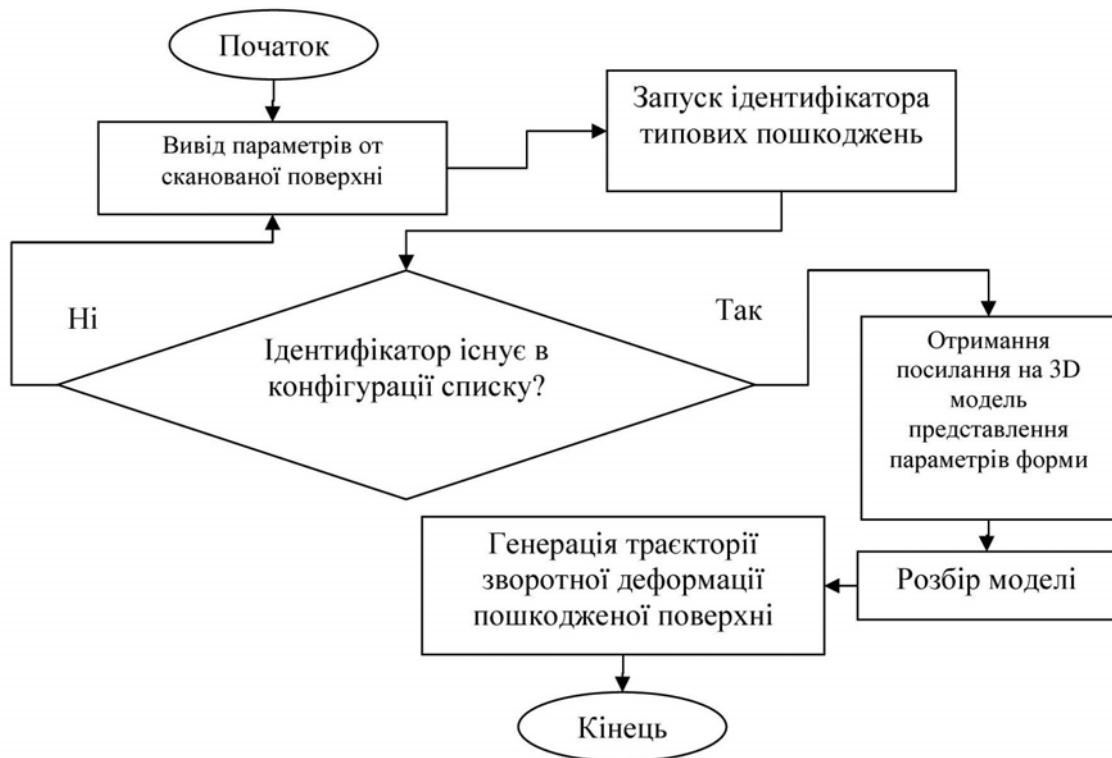


Рисунок. 1. Схема ідентифікації пошкоджених поверхонь судна

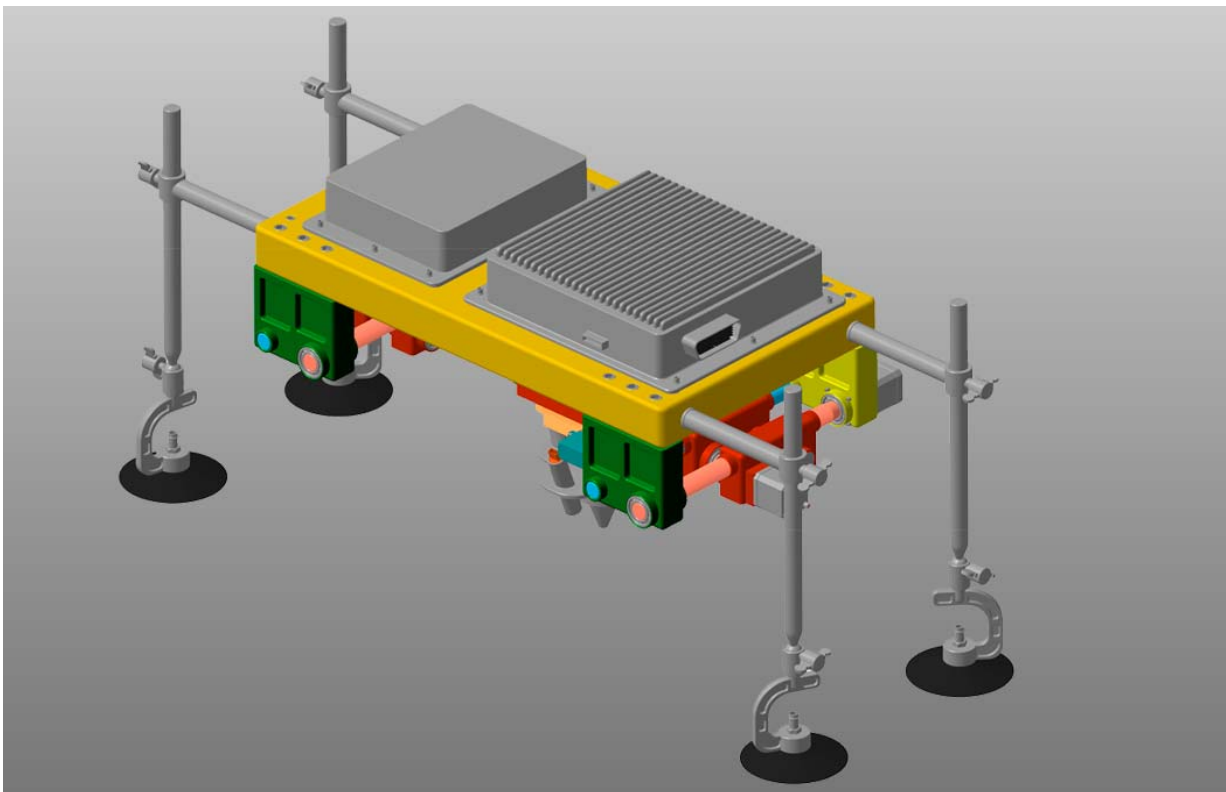


Рисунок. 2а. Пристрій зворотної деформації (положення зверху)

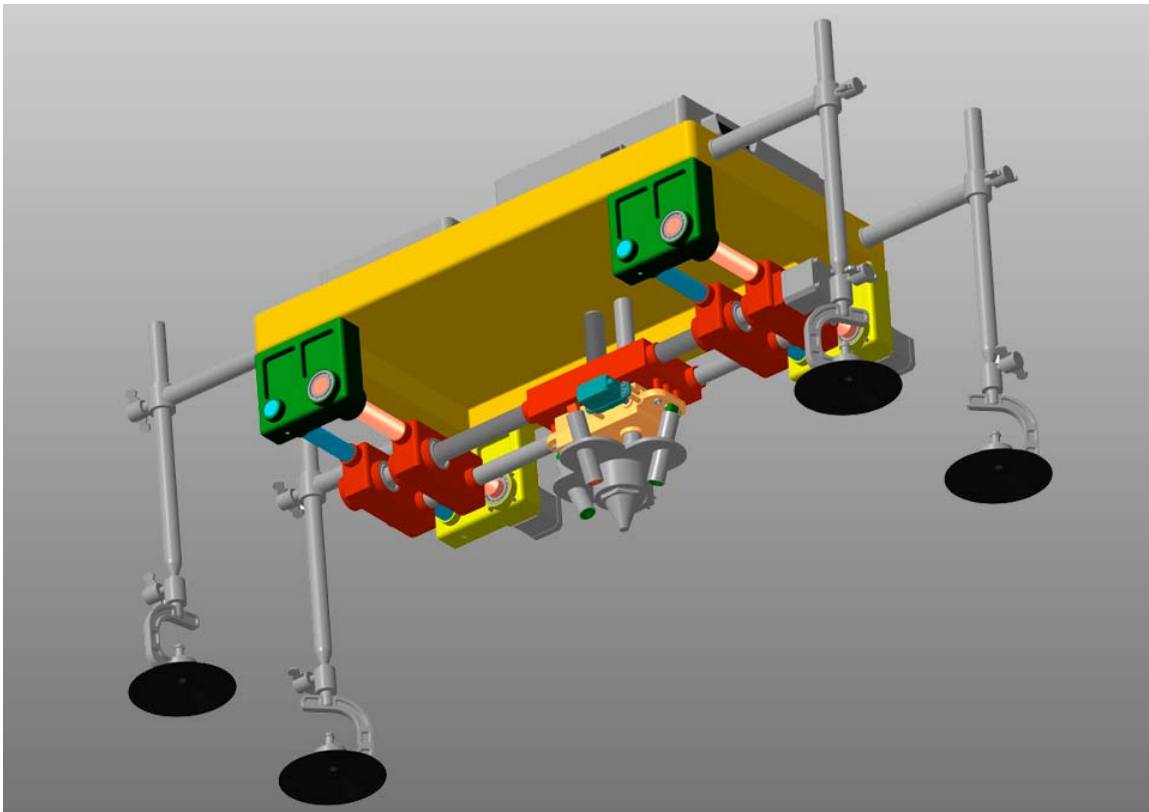


Рисунок 2б. Пристрій зворотної деформації (положення знизу)

В основі конструкції пристрою використані наступні деталі та конструкційні елементи: направляючі вісі або вали зі сталі AISI 304, аналогом по ДСТУ є сталь марки 08X18H10T (нержавіюча сталь з низьким рівнем вуглецю є кислотостійким та витримує короточасне підняття температури до 900 градусів по Цельсію, також через малий вміст вуглецю метал володіє антиферомагнітними властивостями, володіє високою міцністю); крокові двигуни використовуються марки NEMA17 з мінімальним кроком в  $1,8^\circ$ ; цифровий сервопривід марки Anderson Brushless Digital High Voltage Servo 530511 HV-SG 28kg (сервопривід виконаний в алюмінієвому корпусі з металевим понижуючим редуктором зі швидкістю обертання на виході  $0,062 \text{ сек}/60^\circ$ ); електромагніт зворотної дії. В електронному блоці управління зібрані найпоширеніші елементи в 3D принтерах: основна або материнська плата; контролери крокових двигунів та сервоприводу; промисловий лінійний лазер 1 mW, 635 nm з товщиною лінії 3 мм.; циліндрична відеокамера марки VC-26S виробника Viatek з інфрачервоною під свідкою, що надає можливість сканувати поверхню крила навіть при поганому освітленні; вакуумні присоски TJG TAIWAN professional (D2336) навантаження понад 50 кг.

Всі складові та елементи розміщені на несучій металевій плиті з пористою структурою всередині для зменшення маси пристрою і надання можливості закріплення його на борту судна без додаткових стендів і пристосувань.

Зворотна деформація пристроєм здійснюється за допомогою електронного блоку управління, підключеним до комп'ютера через модуль WiFi.

#### **Результати досліджень**

Зворотна деформація поверхні відбувається у декілька проходів, в залежності від глибини та розміру пошкоджень. Процес відбувається у кілька проходів і зумовлений тим, що металева поверхня під час зворотної деформації змінюватиме свою форму і для коректної роботи пристосування та достатньо високої якості роботи необхідно в реальному часі вносити корективи щодо стану поверхні, після чого програма рівномірно розподіляє навантаження на відповідні точки поверхні.

Самі ж проходи поділяються на два етапи. Перший етап - лазерне сканування поверхні. На першому етапі роботи пристрою програма завантажує 3-вимірне зображення пошкодження, потім автоматично спираючись на базові точки поверхні добудовує фантомне зображення наближене до еталонної форми. Фантомне зображення переводиться у хмару крапок з координатами, які мають вигляд машинних команд для крокових двигунів, сервоприводу та контролеру електромагніта.

На другому етапі пристрій починає «чорнове» коректування електромагнітом зворотної дії. Для більшої практичності використовуються роз'ємні наконечники різних діаметрів. За допомогою електромагніту поступово витягується деформація. Після першого проходу, пристрій робить нове сканування поверхні, програма будує нове фантомне зображення поверхні з більшою точністю, задаючи якомога більше опорних точок. Це необхідно для досягнення максимального наближення до початкової форми при коректуванні пошкодженої поверхні (Рис. 3).

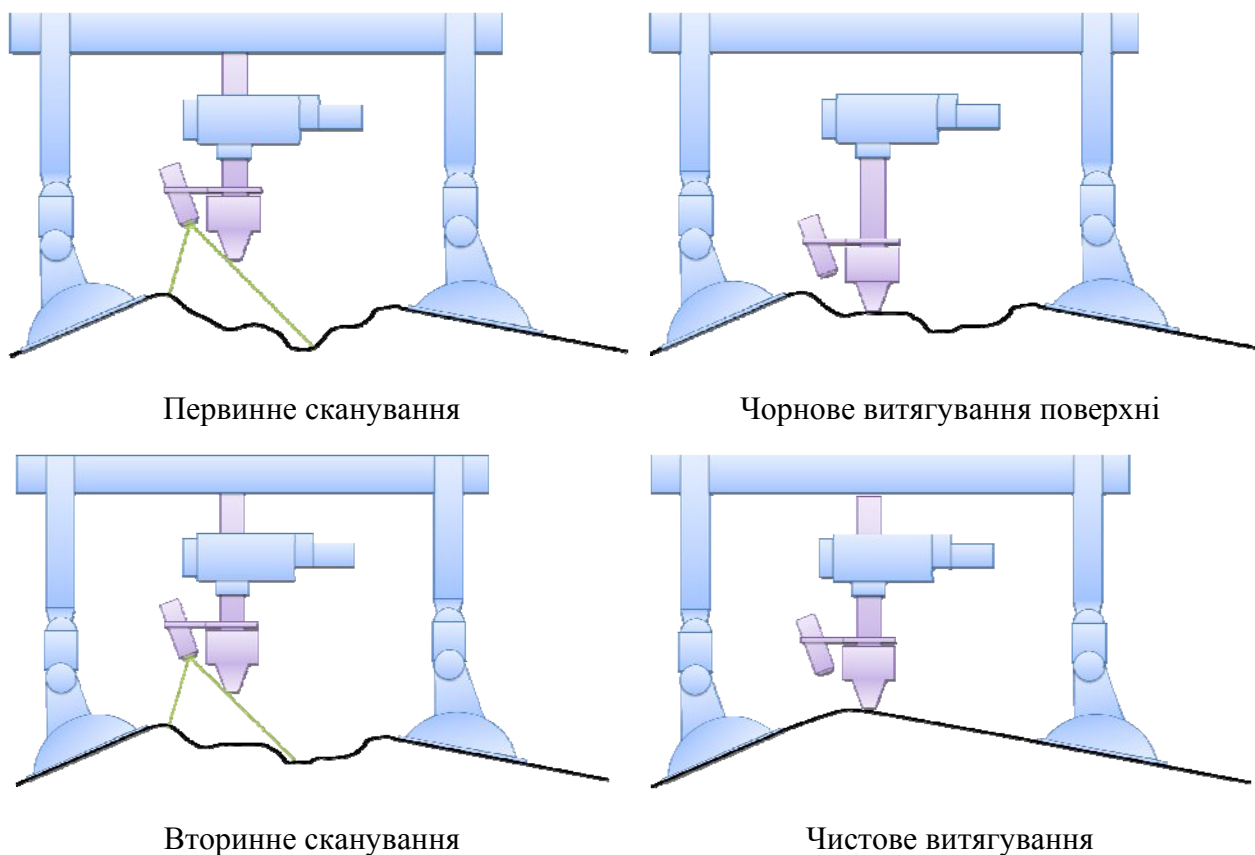


Рисунок. 3. Етапи роботи автоматизованого пристрою зворотної деформації

Після сканування та прорахування програмою координат, магнітна голівка починає «чистовий» етап зворотної деформації, але швидкість підйому голівки на даному етапі відрізняється від попереднього етапу у 2 рази (повільніше), це забезпечує більшу точність та гладкість поверхні, також на другому етапі відбувається сканування поверхні в реальному часі, вносячи корективи в фантомне зображення та координати опорних точок додаючи їх чи віднімаючи (рис. 4).

З метою більш швидкої деформації на передньому та/або зворотному боці борту у місці пошкодження можуть бути розміщені додаткові нагрівальні елементи. Однак, слід враховувати, що при нагріванні до  $768^{\circ}$  (точка Кюрі) залізо втрачає свої магнітні властивості, хоча решітка його не змінюється [4]. Таким чином слід розташувати датчики температури уздовж контуру деформації та враховувати температурні поля розповсюдження тепла у середині фрагменту металевого борту судна з метою не

перевищення точки Кюрі. До того ж, під час нагрівання гумові присоски слід замінити на потужні магніти із рифленою поверхнею.

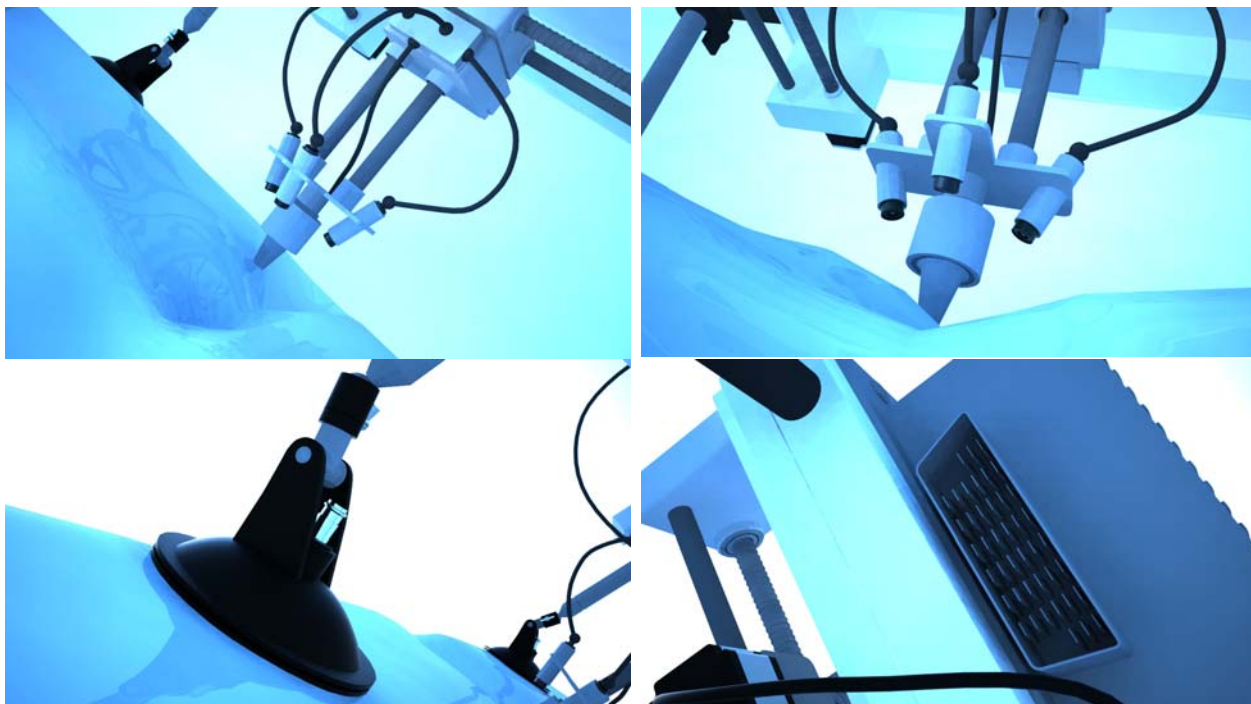


Рисунок. 4. Схематичне зображення роботи пристрою

**Висновок.** Таким чином спроектований пристрій зворотної деформації дозволить автоматизовано виконувати складно параметричний вид діяльності по виправленню деформованої поверхні судна із листового матеріалу. Імітаційне 3D моделювання процесу зворотної деформації дає змогу стверджувати, що принцип роботи та конструкція пристрою має об'єктивний функціонал для виконання ремонтних робіт на морському транспорті.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Носов П.С. Комп'ютерні технології в інженерній практиці: навч. посіб. 2-е вид. доп. та перероб. / П.С. Носов, О.Є. Яковенко. – О.: Бахва, 2014. – 292 с.
2. Автоматизоване проектування механізмів та агрегатів автомобілів / Навчальний посібник / Укладачі: П.С. Носов, О.Є. Яковенко. - Херсон: ХПТК ОНПУ, 2012. – 261 с.
3. П.О. Воробйов, П.С. Носов, О.В. Литвиненко. Особливості 3D ідентифікації геометрично деформованих поверхонь кузову автотранспортних засобів // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць [Текст]. – Вип. 4(11) – Херсон.: ТОВ «ВКФ «Старт» ЛТД», 2015. – 295 с.
4. Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Некоз О.І та ін. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. К.: Техніка, 2002. – с. 374.

## **СОЗДАНИЕ АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ**

Врублевский Р.Е.

Херсонская государственная морская академия (Украина)

**Введение.** Производительность процесса магнитно-импульсной обработки (МИО) зависит от выбора необходимых параметров режимов, для обеспечения требуемой твердости обрабатываемой детали. При этом задача обеспечения максимальной производительности становится задачей многофакторной оптимизации. Необходимо учитывать, что экстремум каждой из функций зависит не только от управляемых параметров процесса обработки, но и от параметров состояния (загрязнение обрабатываемой детали, неоднородность материала). Параметры состояния носят случайный характер, что не дает возможности учета их влияния на результат обработки. Кроме этого параметры состояния невозможно измерить прямым методом, возможна лишь косвенная оценка их влияния на процесс обработки.

**Цель работы.** Создание алгоритма функционирования системы управления магнитно-импульсной обработкой на основе генетических алгоритмов и нечетких нейронных сетей.

**Основная часть.** Существуют адаптивные и неадаптивные системы управления. У каждого класса систем существует своя область применения. Неадаптивные используются в случаях, когда известна математическая модель объекта управления и его свойства не изменяются в процессе управления. Адаптивные системы используют, когда с помощью обычных систем не удастся справиться с поставленной задачей. Это обычно происходит, когда начальной информации об объекте недостаточно или характеристика объекта в процессе функционирования системы изменяется непредвиденным образом в широких пределах.

Так как процесс МИО очень сложный и все параметры не зависят друг от друга, для его управления следует использовать интеллектуальную систему, позволяющую выполнять программы целесообразной деятельности по решению поставленных перед ней задач на основании конкретной ситуации, складывающейся на данный момент. Применение такой системы при управлении процессом МИО, наиболее целесообразно как с технологической точки зрения, так и с экономической. На основании исследований и требований к системе управления МИО, был составлен алгоритм функционирования МИО рис. 1

**Выводы.** Созданный алгоритм работы интеллектуальной системы управления МИО позволит ей изменять параметры режимов обработки в зависимости от материала и геометрии обрабатываемого изделия. Это позволит быстро перенастраиваться на обработку изделий различных типов и материалов. Применению нечетких нейронных сетей в управлении, позволит точно оптимизировать параметры режимов МИО для конкретного типа изделия. Применение предложенного подхода к управлению МИО позволит сократить время на обработку изделий, повысить качество МИО, и сократить расход электроэнергии затрачиваемой на процесс МИО.



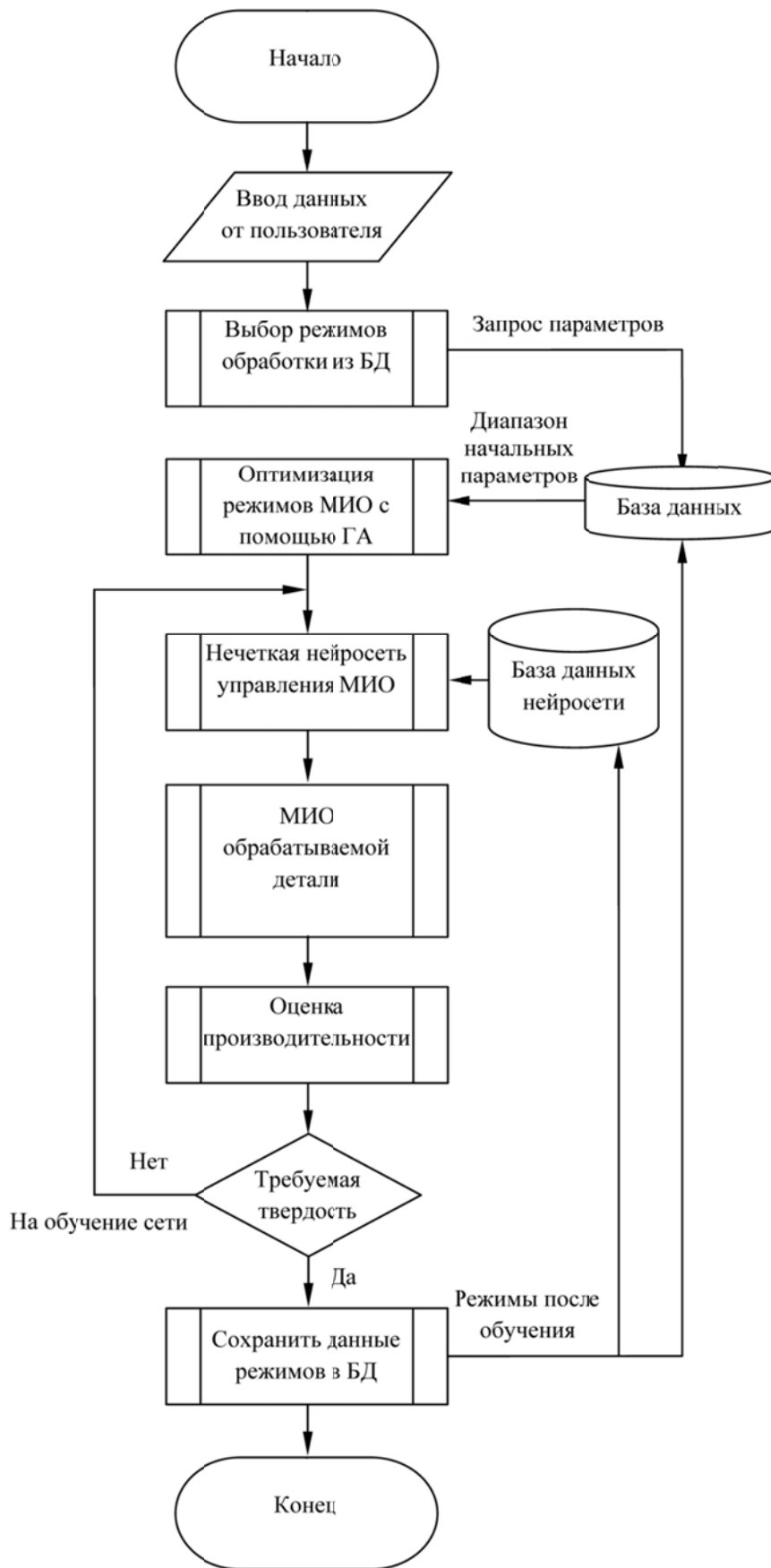


Рисунок 1. Алгоритм функционирования ИСУ МИО

## **ВПЛИВ НА МАСОВІ ПОКАЗНИКИ РЕГЕНЕРАТИВНОЇ ГТУ УМОВ ЇЇ РОЗМІЩЕННЯ У МАШИННОМУ ВІДДІЛЕНІ**

Горбов В.М., Соломонюк Д.М.

Національний університет кораблебудування імені Макарова (Україна)

**Вступ.** Створення і експлуатація швидкохідних морських суден, кораблів, плавучих електростанцій та видобувних платформ вимагає впровадження високоефективних суднових енергетичних установок (СЕУ) з малими масою та габаритами. Використання газотурбінних установок (ГТУ) дозволяє досягти високих значень потужності СЕУ при невеликих масо-габаритних показниках, що приводить до збільшення корисного навантаження судна, швидкості його ходу та дальності плавання. Впровадження ГТУ на цих об'єктах стає перспективним вже при підвищенні їх ККД до 40-50 %, що можливо досягти за рахунок використання складних циклів з регенерацією теплоти [1].

**Актуальність досліджень.** Однією з основних вимог, що пред'являються до СЕУ, є зниження їх маси та габаритів. Використання у складі ГТУ теплообмінників-регенераторів приводить до істотного погіршення їх масо-габаритних показників. Крім цього, при проектуванні регенеративних ГТУ доводиться враховувати жорсткі обмеження їх габаритів, які виникають внаслідок розміщення двигунів та теплообмінників у машинних відділеннях сучасних суден [1]. Оскільки більша частина маси та об'єму (80-90 %) регенеративної ГТУ приходить на теплообмінник, розробка конструкції регенератора, яка б забезпечила потрібну економічність установки при помірних масо-габаритних показниках, є важливою задачею.

**Постановка задачі.** В регенеративних ГТУ використовують теплообмінники з трубними або пластинчастими теплообмінними матрицями, питома маса останніх в 1,8–2,5 рази менша ніж пластинчастих. Трубчасті регенератори менш чутливі до термічних навантажень, що виникають у процесах пуску, зупинки та перехідних режимів роботи ГТУ, здатні забезпечити надійну роботу при високих температурах і тисках робочих середовищ, тому вважаються більш довговічними й надійними в експлуатації [2].

Відомо, що одним з основних напрямків зменшення маси та габаритів теплообмінних матриць є зменшення розмірів каналів для проходу теплоносіїв [3, 4], проте при цьому не враховується його вплив на габарити всього регенератора і не аналізується можливість розміщення теплообмінника у складі ГТУ у машинному відділенні.

**Результати досліджень.** Виконані розрахунки регенераторів ГТУ з теплообмінними матрицями із гладких трубок та трубок профільованих для збільшення тепловіддачі лунками або канавками. Встановлено, що для трубчастих регенераторів зменшення діаметрів трубок та їх кроків у пучці окрім зменшення маси приводить до зменшення ширини регенератора з одночасним збільшенням його довжини та висоти. Внаслідок цього, починаючи з деяких значень діаметрів труб (18-20 мм), конструкція регенератора з мінімальною масою не відповідає висунутим до неї габаритним обмеженням. При проектуванні вона замінюється варіантом з іншим компонуванням теплообмінної матриці, що приводить до зростання маси теплообмінника. При подальшому зменшенні діаметрів труб, різниця між масами регенератора, спроектованого без обмежень габаритів, і регенератора, що відповідає заданим габаритам, збільшується.

Таким чином, введення обмежень на довжину ( $L$ ), ширину ( $B$ ) та висоту ( $H$ ) теплообмінника приводить до збільшення маси регенератора, оскільки доводиться відкидати варіанти конструкцій з меншими масами, габарити яких не відповідають поставленим умовам і замінювати їх більш важкими, габарити яких цим умовам відповідають. Так при обмеженні одного з вказаних габаритів маса регенератора може збільшитись на 15%.

Також істотно на масу регенератора впливає обмеження співвідношення довжини та ширини корпусу регенератора ( $L/B$ ). Виходячи із умови раціонального компоновання регенератора з ГТУ та газоходом це співвідношення повинно бути близьким до одиниці ( $L/B_{\text{тр}}=1$ ). Проте точне дотримання цієї умови ( $L/B=L/B_{\text{тр}}$ ) може привести до збільшення маси регенератора на 50 % (порівняно з варіантом без габаритних обмежень). Якщо ж виконувати цю умову менш жорсткішою ( $0,7 L/B_{\text{тр}} \leq L/B \leq 1,3 L/B_{\text{тр}}$ ), то можна обмежити збільшення маси 20 %.

**Висновки.** Таким чином, введення обмежень габаритів регенераторів ГТУ приводить до суттєвого росту його маси, і обмежує мінімальні значення діаметрів труб, при яких забезпечується зменшення маси теплообмінника. Виходячи з цього врахування габаритних обмежень та обмежень форми регенератора є дуже важливим при виборі геометричних параметрів поверхні теплообміну на початкових етапах проектування.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Артемов Г.А. Судовые энергетические установки с газотурбинными двигателями [Текст] / Г.А. Артемов, В.М. Горбов, Г.Ф. Романовский // Изд. УГМТУ. – Николаев, 1997. – 233 с.
2. Мовчан С.Н. Этапы развития стационарных и судовых ГТД с регенерацией теплоты [Текст] / С. Н. Мовчан, Ю. В. Бочкарев, Д. Н. Соломонюк // Газотурбинные технологии. – 2008. – №8 – С.8-11.
3. Ребров Б.В. Судовые газотурбинные установки [Текст] / Б.В. Ребров – Л.: Судпромгиз, 1961. – 536 с.
4. Справочник по теплообменным аппаратам [Текст] / П.И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селиверстов. – М.: Машиностроение, 1989. – 365 с.

## **СТРУКТУРА І ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МОТОРНОЇ УСТАНОВКИ З ЗАСОБАМИ МОНІТОРИНГУ НА БАЗІ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ, ОБЛАДНАНОГО ГАЗОБАЛОННОЮ СИСТЕМОЮ ЖИВЛЕННЯ, В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБАМИ ITS**

<sup>1</sup>Грицук І.В., <sup>1</sup>Погорлецький Д.С., <sup>2</sup>Володарець М. В., <sup>1</sup>Курносенко Д.В.

<sup>1</sup>Херсонська державна морська академія (Україна)

<sup>2</sup>Український державний університет залізничного транспорту (Україна)

### **Актуальність проблеми**

Ефективність функціонування транспортних засобів (ТЗ), як складної технічної системи, залежить від його технічного стану [1]. У зв'язку з цим виникає потреба визначення його технічного стану і керування ним в умовах експлуатації на основі даних, отриманих в процесах моніторингу та при прогнозуванні основних його параметрів. Моніторинг процесів прогрівання двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), працюючого на зрідженому газовому паливі, має суттєві складності тому, що потребує формування вимірювального комплексу на основі ТЗ. Ефективність роботи вимірювального комплексу при використанні в ТЗ напряду залежить від своєчасності і контрольованості теплових процесів, що потребує наявності моніторингу параметрів роботи ДВЗ. Для цього доцільно враховувати інформацію системи OBD (On Board Diagnostic), зокрема інформацію, отриману скануванням пам'яті електронного блоку керування (ЕБК) ТЗ спеціальними технологічними засобами (за наявності) [2].

Аналіз літературних джерел показав, що дослідження структури вимірювального комплексу для моніторингу теплових режимів роботи ДВЗ транспортного засобу, обладнаного системою впорскування газового палива, в умовах експлуатації засобами ITS не проводились і, відповідно, не розроблявся для цього дослідження вимірювальний комплекс, який забезпечує дистанційний моніторинг засобами ITS ДВЗ транспортного засобу, що й підтверджує актуальність даної роботи.

### **Викладення основного матеріалу**

Для дослідження температурних режимів роботи ТЗ з двигуном, обладнаним системою впорскування газового палива в умовах експлуатації засобами ITS потрібно вимірювати параметри технічного стану ТЗ, щонайменше в частині витрати палива, температур технологічних рідин, часу теплової підготовки, частоти обертання, швидкості і положення ТЗ. Для аналізу отриманих значень параметрів технічного стану ТЗ додатково потрібно отримати коефіцієнт надлишку повітря, температуру каталізатора, напругу на датчиках O<sub>2</sub> каталізатора, тиск і температуру у впускному колекторі, напругу бортової мережі - зарядки акумулятора. В частині використання системи впорскування газового палива особливо потрібна додаткова фіксація і дослідження параметрів теплоносіїв в системі охолодження двигуна ТЗ. Проведення досліджень бензинового ТЗ, оснащеного системою впорскування газового палива, викликано особливостями процесів теплової підготовки ТЗ в період після пускового прогріву і особливостями запуску системи впорскування газу. Специфічні особливості зрідженого газового палива та конструкції газової паливної апаратури для його подачі у двигун є причиною ускладнень при запуску транспортного двигуна, який працює на зрідженому газовому паливі в умовах низьких температур навколишнього середовища.

Проаналізувавши існуючі в ТЗ засоби і методи визначення вказаних параметрів технічного стану, сучасне обладнання та інформаційні можливості ITS, авторами запропонований варіант структури моторної установки, оснащеної засобами моніторингу, для здійснення дистанційного дослідження температурних режимів роботи ДВЗ транспортного засобу, обладнаного системою впорскування газового палива, в умовах

експлуатації засобами ITS, структурна схема розміщення додаткових датчиків контролю температури в системі охолодження ДВЗ, переобладнаного на живлення газом паливом наведена на рис. 1.

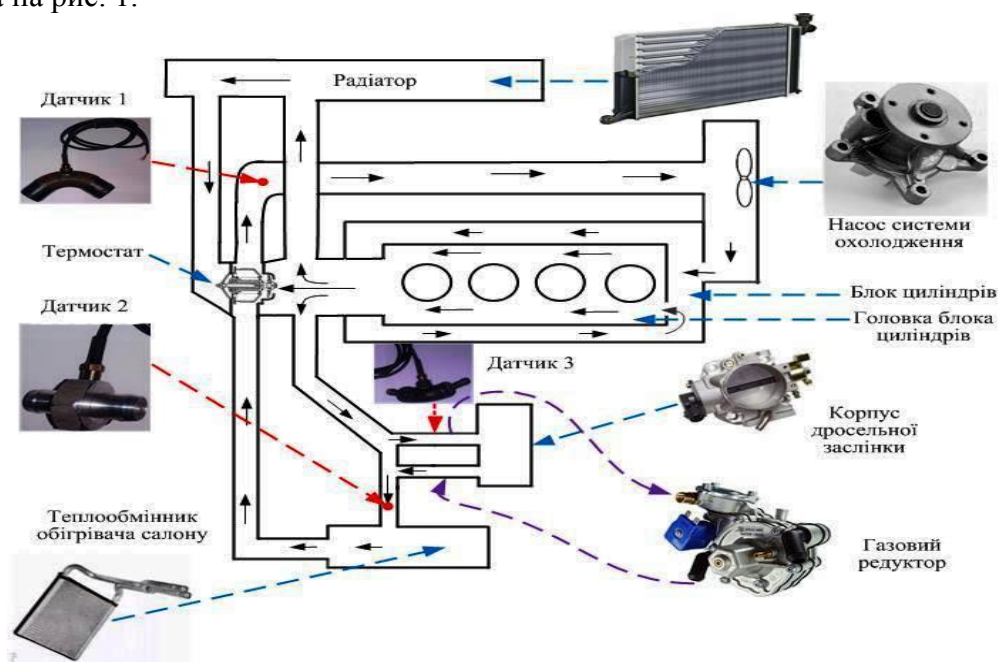


Рисунок 1. Структурна схема

В якості дослідних ТЗ було обрано KIA Ceed і KIA Magentis 2.0 5МКПП з двигуном G4GC, обладнаних газобалонним обладнанням 4-покоління у складі інжекційного газового редуктора Tomasetto AT-09 Alaska, форсунок Hana, блоку керування STAG, температура (за параметрами температури охолоджуючої рідини) запуску газової апаратури 40 °С.

Система моніторингу параметрів технічного стану дослідного ТЗ включає в себе: штатні датчики транспортного двигуна і ТЗ, штатні датчики системи подачі газового палива, електронного блоку керування (ЕБК) транспортного двигуна і ЕБК системи подачі газового палива, лінії системи стандарту OBD-II, адаптер (сканер) OBD-II [3, 4, 5].

Для отримання інформації про параметри технічного стану системи охолодження двигуна ТЗ, системи подачі зрідженого палива, відбулося в ТЗ встановлення додаткових датчиків температури (рис. 1), які під'єднуються до контролеру сканеру - комунікатору (трекеру). В системі моніторингу використовувався трекер компанії «Відеокомпроекти» - це компактний ГЛОНАСС/GPS/GSM термінал призначений для визначення координат транспортного засобу і їх передачі по мережі GSM [6]. В цілому GPS термінал-трекер компанії «Відеокомпроекти» дозволяє швидко і легко визначати місце розташування віддалених рухомих об'єктів (вантажних, легкових автомобілів тощо). Загальний вигляд трекеру та датчиків температури зображений на рис. 2. Основні технічні характеристики трекеру приведені в табл. 1.

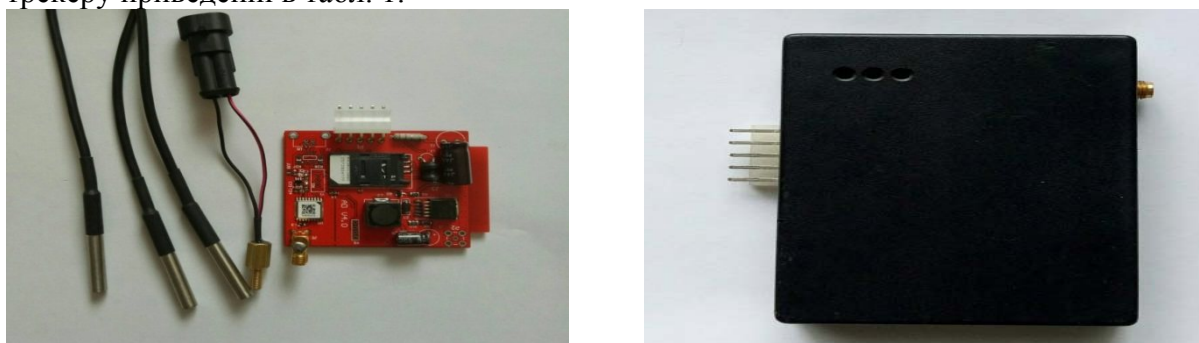


Рисунок 2. Загальний вигляд елементів і трекеру компанії «Відеокомпроекти»

Таблиця 1. Основні технічні характеристики трекеру компанії «Відеокомпроекти»

Параметр	Значення
Частотний діапазон, МГц	GSM850/900/1800/1900
Передача даних	GPRS клас 10, SMS (текст, данні)
Характеристики ГЛОНАСС/GPS	NMEA, GGA, GGL, GSA, GSV, RMC, WGS-84GPS приймач: 50 каналів; Чутливість: -161 дБм.
Інтерфейси	3 - цифрових входу; 5 – цифрових виходи; 1- аналоговий вхід; 1-Wire; Роз'їм для блоку живлення; SMA для зовнішньої GPS антени;
Живлення	+10...+30 V..
Розміри	112 x 75 x 21
Вага	80 г.

У якості датчиків температури використовувався датчик Arduino DS18B20. Цифровий датчик DS18B20 є одним з найбільш популярних температурних датчиків, він використовується в водонепроникному корпусі для вимірювання температури води або інших рідин. DS18B20 - це цілий мікроконтролер, який може зберігати значення вимірювань, сигналізувати про вихід температури за встановлені межі (самі кордони ми можемо встановлювати і змінювати), міняти точність вимірювань, спосіб взаємодії з контролером і багато іншого [7].

До особливостей цифрового датчика DS18B20 відноситься: похибка вимірювання не більше 0,5 °С (для температур від -10 °С до + 95 °С), що дозволяє точно визначити значення температури; йому не потрібно додаткове калібрування; температурний діапазон вимірювань лежить в межах від -55 С до +125 °С; датчик живиться напругою від 3,3 до 5 В; можливість програмно задати максимальну роздільну здатність до 0,0625 С, найбільше дозвіл 12 біт; простота під'єднання так використання датчиків даного типу. В якості бортового транзитного серверу СМІТС для виведення та збереження отриманої інформації може використовуватись смартфон або планшет, після встановлення на них необхідного програмного забезпечення, а також персональний комп'ютер всі ці пристрої повинні мати підключення до Інтернет мережі.

### Висновок

В роботі обґрунтовано склад та структуру моторної установки обладнаної засобами моніторингу для дослідження температурних режимів роботи ДВЗ транспортного засобу, обладнаного системою впорскування газового палива з можливістю дистанційної реєстрації і виводу отриманих результатів на віддалений комп'ютер засобами ITS при проведенні експериментальних досліджень в умовах експлуатації.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування: монографія / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич, В.Д. Александров і інш. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2015.- 314с.
2. Гутаревич Ю.Ф. Обґрунтування структури вимірювального комплексу для дослідження роботи двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу з системою прогріву й тепловим акумулятором в процесі пуску і прогріву/Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук, Д.С. Адров, А.П. Комов, Д.М. Трифонов // Вісник Національного технічного

університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле - та тракторобудування. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 10 (1053). – с.55-62.

3. Волков В. П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем. Монография / Под редакцией В.П. Волкова / В.П. Волков, В.П. Матейчик, О.Я. Никонов и др. // Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2013.–398 с.

4. Волков В.П., Мырхалыков Ж.У., Грицук И.В., Никонов О.Я., Сатаев М.И., Волков Ю.В., Саипов А.А. Интеллектуальные и телематические технологии на транспорте / Под ред. доктора технических наук, профессора В.П. Волкова– Шымкент: Изд-во ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2016. – 508 с.

5. Интеллектуальные системы управления работоспособностью автомобилей / В.П. Волков, В.П. Матейчик, И.В. Грицук, Ю.В. Волков / Под редакцией Волкова В.П. – Харьков: Майдан, 2016. – 504 с.

6. «Видеоконтроль». Охранные системы видеонаблюдения и спутниковой навигации. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://observer.biz.ua/>. - 27.08.2018.

7. Датчик температуры Arduino DS18B20. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/arduino-ds18b20/>. - 27.08.2018.

## **ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ ДИЗЕЛІВ У ГАЗОВІ ДВИГУНИ**

Захарчук В.І., Ярощук І.О., Поручник І.М.  
Луцький національний технічний університет (Україна)

Ідея переобладнання дизеля у газовий двигун з іскровим запалюванням виникла недавно. Але зараз над цим питанням працюють в багатьох країнах світу. До даного часу не було розроблено цілісної технології переобладнання дизелів у газові двигуни з іскровим запалюванням, здійснювалось переобладнання лише окремих марок двигунів, зокрема в Німеччині, США та Японії [1, 2]. В Луцькому національному технічному університеті розроблено таку технологію.. При її розробці враховувався досвід як закордонних, так і вітчизняних наукових шкіл. Технологія дозволяє отримати прийнятні показники двигуна за помірних затрат на переобладнання. За розробленою технологією можна переобладнати будь-який дизель в газовий двигун, незалежно від кількості та розміщення його циліндрів та інших конструктивних особливостей, від того, турбодизель це чи атмосферний дизель. Таке переобладнання можна здійснювати в умовах невеликих майстерень.

Переобладнання включає в себе демонтаж дизельної системи живлення, зменшення ступеня стиску та забезпечення нормального протікання робочого процесу за циклом Отто, тобто встановлення іскрової системи запалювання та додаткового газового обладнання для зберігання і подачі газу в циліндри двигуна, заміна приводу керування регулятором частоти обертання дизеля на привод керування дросельною заслінкою газоповітряного змішувача, перевірка газової системи живлення на герметичність, виконання необхідних регулювань систем живлення та запалювання, які включають регулювання складу газоповітряної суміші та виставлення оптимального установочного кута випередження запалювання, випробування техніки при роботі двигуна на малих обертах холостого ходу та пробігом. При цьому необхідно виконувати вимоги нині діючих нормативно-технічних документів, що регламентують переобладнання мобільної техніки для роботи на стисненому природному газі. Наступна експлуатація технічного засобу з газовим двигуном, переобладнаним з дизеля, здійснюється відповідно до рекомендацій інструкції з експлуатації.

Для переобладнання дизелів у газові двигуни застосовується серійне газове обладнання газобалонних автомобілів: газоповітряні змішувачі, газові редуктори низького тиску, газові редуктори високого тиску, електромагнітні клапани, газові балони з вентилями та трубопроводами. Характеристики газоповітряного змішувача і газового редуктора низького тиску (перш за все, діаметри дозувальних отворів дозуючо-економайзерного пристрою) мають бути узгоджені з витратними характеристиками двигуна.

Газовий двигун може обладнуватись як звичайною електронною системою запалювання з високовольтним розподільником, так і мікропроцесорною системою запалювання з індивідуальними котушками для кожного циліндра. Кращим є другий варіант, оскільки відпадає необхідність встановлення розподільника запалювання. Для кожної марки двигуна необхідно визначати і встановлювати оптимальний установочний кут випередження запалювання.

Технологія охоплює переобладнання як нових дизелів, так і тих, які були в експлуатації. Стосовно нових дизелів, то для здешевлення їх переобладнання пропонується їх поставка на автоскладальне виробництво без дизельної паливної апаратури і встановлення безпосередньо на заводі газової апаратури і системи запалювання. Що стосується дизелів, які були в експлуатації, то особливо виправданою є конвертація в газові двигуни дизелів у разі необхідності ремонту їх циліндро-поршневої групи або паливної апаратури. В цьому випадку витрати на переобладнання дизеля частково компенсуються за рахунок засобів, які все одно необхідно затрачувати на ремонт.

З виконаного аналізу термічного ККД і середнього тиску циклу Отто зроблено висновок, що в даному циклі доцільно здійснювати робочий процес реального двигуна із



ступенями стиску, що не перевищують  $\varepsilon=12$ . На першому етапі досліджень розроблена математична модель і програма розрахунку на комп'ютері робочого циклу газового двигуна, яка дозволила визначити його потужності та економічні показники і отримати оптимальні значення параметрів конструкції та робочого циклу двигуна [3].

За розробленою технологією в лабораторії автомобільних двигунів Луцького НТУ переобладнано дизель Д-240 в газовий двигун. На переобладнаному двигуні замість форсунок встановлено іскрові свічки запалювання фірми BRISK, привод паливного насоса високого тиску переобладнано для кріплення переривача-розподільвача, встановлено безконтактне електронне запалювання з датчиком Хола в переривачі-розподільнику.

На впускному колекторі нової конструкції встановлено газовий змішувач СГ-250, а також газові редуктори високого і низького тиску та інше газове обладнання. Ступінь стиску газового двигуна зменшено з 16 до 12 одиниць. Тобто дизель конвертували в двигун з іскровим запалюванням і зовнішнім сумішоутворенням. Експериментальні випробування конвертованого газового двигуна включали моторні дослідження на електричному гальмівному стенді КИ-4893 ГОСНИТИ. Газовий двигун стійко працював на всіх режимах. Була отримана серія навантажувальних характеристик при різних частотах обертання та регульовальні характеристики за складом суміші та за кутом випередження запалювання. Рівень викидів основних шкідливих речовин у газового двигуна менший і відсутня сажа у відпрацьованих газах. Шум при роботі газового двигуна значно менший, ніж дизеля. Крім того, в природному газі практично не міститься сірки, завдяки чому двигун, працюючий на природному газі, має практично нульовий рівень викидів  $SO_2$ , що вигідно відрізняє його від дизеля, в якого викиди оксидів сірки наносять суттєву шкоду екології. Це особливо актуально для нашої держави, тому що в дизельному паливі, яке виробляється на наших нафтопереробних заводах вміст сірки в декілька разів перевищує допустимі норми. Важливою перевагою двигунів, які працюють на природному газі, є малі викиди в атмосферу двооксиду вуглецю  $CO_2$ , який сприяє утворенню парникового ефекту на Землі. Це пояснюється тим, що в природному газі міститься менше вуглецю, ніж в нафтових паливах.

Проведені дослідження виявили деякі особливості протікання робочого процесу газового двигуна. Зокрема те, що газоповітряна суміш має гіршу займистість порівняно з бензоповітряною сумішшю. Тому для компенсації більш низької займистості газоповітряної суміші потрібно застосовувати системи запалення високої енергії і досконаліші свічки запалення.

Висновки. Переведення навіть частини сільськогосподарської техніки на живлення природним газом дасть значний економічний ефект у масштабах держави. При переході на газ затрати на паливо-мастильні матеріали зменшуються приблизно у три рази. Зменшуються затрати на поточний ремонт, оскільки відпадає необхідність міняти розпилювачі форсунок та плунжерні пари, які досить часто виходять з ладу. Термін окупності інвестицій на переобладнання складає від 7 до 10 місяців. Вартість переобладнання трактора у газобалонний перебуває в межах 1000 у.о., але надалі власник такого трактора буде економити значні кошти за рахунок використання більш дешевого палива. Не менший економічний ефект буде і від переобладнання автомобіля з дизелем у газобалонний. Крім того має місце також екологічний ефект від зменшення забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами двигунів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Hamling P. "Down Under" success with natural gas buses / P. Hamling // NGV Worldwide. – 2002. – February. – P. 11.
2. Nylund N. Pathways for natural gas into advanced vehicles / N. Nylund, J. Laurikko, M. Ikonen. – Brussel: IANGV. – 2002. – 105 p.
3. Захарчук В.І. Можливість переобладнання дизелів сільськогосподарської техніки у газові двигуни / В.І. Захарчук, І.С. Козачук, О.В. Захарчук // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. -2009. – Випуск 18. – С. 127–132.

## **ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ ЯК ІНСТРУМЕНТ АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

<sup>1</sup>Кампов Ю.О., <sup>2</sup>Саравас В.Є.

<sup>1</sup> ООО «КАМРОВ TECHNOLOGY» (Україна)

<sup>2</sup> ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (Україна)

**Вступ.** Щорічно фахівці в області незалежно від специфіки діяльності та кваліфікації стикаються з труднощами, з-за яких багато компаній несуть втрати.

**Актуальність досліджень.** Традиційно експерти виділяють такі основні причини втрат:

- втрата з-за поломок обладнання - 48%;
- втрати за переналадок та регулювання обладнання - 18%;
- втрати з-за зниження швидкості роботи обладнання - 14%;
- втрати з-за короткотермінових зупинок обладнання - 9%;
- втрати з-за браку - 8%;
- втрати при запуску обладнання - 3%.

**Постановка задачі.** Середня тривалість неефективного робочого часу або простою обладнання в кораблебудуванні, машинобудуванні та металургії за добу становить 6 годин, а основною причиною є людський фактор. Ці дані спонукали до розробки ряду рішень, передбачених для зниження втрат внаслідок впливу людського фактора, метою якого було усунення нестабільного рівня результату, відходу від стандартів та інструкцій, що традиційно розробляються, але не використовуються зважаючи на їх малу ефективність.

**Результати досліджень.** Першим таким шагом стала розробка візуалізованої документації (стандартів) із зазначенням кроків з проведення операцій та контролю за параметрами виробництва. Однак, на сьогоднішній день, кращою практикою можна по праву вважати застосування додаткової реальності (AR - augmented reality) - технологій додаткової реальності в виробничому процесі. Ці технології мають ряд ключових переваг, а саме:

- Візуалізація - відображення в очках послідовного виконання необхідних дій безпосередньо "на обладнанні";
- Підхід 911 - можливість проведення Skype-дзвінків з технічними експертами прямо під час виконання операцій;
- Мобільність - вільні руки для виконання необхідних дій.

Технологія AR на підприємстві дає можливість завжди мати всю необхідну інформацію в максимально наочному вигляді, включаючи конструкторсько-технологічну документацію, принципів однолінійні схеми, схеми підключення обладнання для monterів, генеральний план усіх комунікацій тощо.

Крім того, можливість роботи з 3D-моделями окремих механізмів, на яких показано порядок виконання операцій для досягнення поставленої задачі, - монтаж / демонтаж / усунення несправностей істотно скорочує час на підготовку та проведення операцій - ремонт, обслуговування, усунення несправностей. За даними Harvard Business Review і General Electric технології додаткової реальності підвищують швидкість монтажних робіт на 34% і скорочують кількість помилок в 2 рази.

За допомогою додаткової реальності робочі можуть оперативнo отримувати доступ до інструкцій та керівництв за будь-якими деталями обслуговуваної енергетичної установки. Інформацію вони отримують у вигляді тривимірної візуальної анімації, відео, аудіо, фотографій, картинок або графіків. Такий підхід дозволяє знизити вимоги до кваліфікації спеціалістів, а також зменшити час на вивчення та перегляд робочих інструкцій. Причому, сама система здатна розпізнати деталі форми та її номер і вчасно повідомити, якщо технік вчини помилкові дії по її монтажу.



Рисунок 1 Застосування технології доповненої реальності при обслуговуванні об'єктів

В автомобільному концерні Fiat Chrysler Automobiles завдяки системі доповненої реальності досягли вражаючих результатів. Ті робітники, які користувалися при складанні зубчастих передач і ланцюгів спеціальною AR-програмою, виконували свою роботу більш ефективно, ніж група, яка користувалася паперовими інструкціями. Продуктивність в «AR-групі» зросла на 38%, якість - на 80%.

Досвід зарубіжних вчених спонукав розробити і застосувати технології доповненої реальності в умовах і з урахуванням потреб українських підприємств.

Для вирішення поставленого завдання була розроблена технологія доповненої реальності, що націлена на прискорення роботи електромонтерів та механіків. Один з трудомістких процесів в пуску та налагодження енергоустановок - збірка двигунів головного приводу. Робочим необхідно зберігати концентрацію та уважно стежити, щоб строго виконувалася певна послідовність дій. У першому випадку працівникам доводилося слідувати інструкціям по збірці, звіряючись з паперовою документацією або інформацією на ноутбучі і постійно перемикаючись між безпосередньою роботою і пошуком інформації. У другому випадку механік користувався розробленим спеціальним додатком для Microsoft HoloLens: користуючись розумними окулярами та QR-кодами, співробітник отримував покрокову інструкцію по збірці двигуна, при цьому у нього вільні руки і він міг відразу ж без відволікань виконувати потрібні дії. Ми створили детальну анімацію процесів збирання та розбирання двигуна. При наведенні очок на кришку клемниками із зображенням QR-коду двигун буквально оживає на екрані, даючи можливість простежити складний технологічний процес від початку до кінця. Також для інсталяції були розроблені інтерактивні інформаційні плашки із супровідною інформацією та медіа.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що в результаті час на виконання робіт скоротився на 25%, а кількість помилок істотно зменшилася.

Крім того, слід зазначити, що окуляри оснащені фронтальною камерою і допомагають технікам в процесі: інженер може бачити і реальні компоненти, і 3D-моделі деталей, які потрібно встановити, і інструкцію подальших дій.

Завдяки новаціям швидкість роботи інженерів при використанні технології доповненої реальності може бути збільшена на 20-35%, а точність - до 96%.

## **УНІВЕРСАЛЬНА ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ГАЗОВИМИ ДВЗ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ, КОНВЕРТОВАНИМИ НА БАЗІ ДИЗЕЛІВ ДЛЯ РОБОТИ НА ЗРІДЖЕНОМУ НАФТОВОМУ ГАЗІ**

Ковальов С.О.

Державне підприємство «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» (Україна)

За останні роки в результаті суттєвого збільшення забруднення оточуючого середовища транспортними засобами (далі – ТЗ), що працюють на традиційних рідких моторних паливах, виникла необхідність приділяти підвищену увагу використанню більш екологічно чистих видів палив, до яких у першу чергу належить газіві моторні палива.

У зв'язку з цим, а також з урахуванням того, що сучасні колісні транспортні засоби (далі – КТЗ), особливо категорій М2, М3 (автобуси) та N (вантажні автомобілі та тягачі), а також комунальна і сільськогосподарська техніка (самохідні шасі, потужні колісні та гусеничні трактори) оснащені переважно дизелями, що мають високі експлуатаційні витрати дизельного палива, стає очевидним доцільність його заміни на більш дешеве та екологічно чисте газове моторне паливо – зріджений нафтовий газ (далі – ЗНГ, на англійській мові скорочено – LPG) [1 – 3].

Найбільш ефективним способом підвищення використання ЗНГ для зазначених вище категорій ТЗ є конвертація їх дизелів у газіві ДВЗ з іскровим запалюванням. Головними перевагами такого переобладнання є: 100% заміна більш дорогого дизельного палива на більш дешеве газове моторне паливо; зменшення рівня шкідливих викидів оксидів (СО) та діоксидів вуглецю (СО<sub>2</sub>), оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) і твердих частинок у відпрацьованих газах; зменшення зовнішнього шуму, створюваного сільськогосподарською технікою; збереження енергетичних параметрів газівих ДВЗ з примусовим запалюванням на рівні 80 ... 100 % від штатного дизеля; підвищення моторесурсу двигуна тощо [4].

У ДП «ДержавтотрансНДПроект» проведено роботи з розроблення новітньої української синтез-технології Avenir Gaz для переобладнання транспортних (тракторних та автомобільних) дизелів у газіві ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ. Згідно з синтез-технологією переобладнання ТЗ проводиться на базі створеної універсальної електронної системи управління газівими ДВЗ, основою якої є перспективний електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37 (далі – ЕБУ, на англійській мові – Engine Control Unit, скорочено – ECU).

На сьогодні в інституті проводяться роботи з адаптації синтез-технології Avenir Gaz для переобладнання як тракторів моделей МТЗ-80 та МТЗ-82 з дизелями 4С11/12,5 (моделей Д-240 и Д-243) та самохідного шасі СШ-2540 з дизелем Д-120, так і КТЗ (зокрема автобусів моделей А-092 «Богдан»).

Застосування синтез-технології Avenir Gaz вимагає як часткового розбирання дизеля з внесенням деяких змін до його конструкції, так і повний демонтаж систем живлення та впорскування дизельного палива (включаючи дизельні паливні баки, трубопроводи, фільтри тощо), а також і внесення відповідних змін у його конструкцію ДВЗ. До змін конструкції двигуна відносяться як доопрацювання головки блоку циліндрів дизеля для встановлення свічок запалювання, так і доопрацювання старих поршнів або встановлення нових поршнів, у яких змінена форма (об'єм) камери згорання для зменшення стиснення.

Крім того, газівий ДВЗ має бути дообладнано двома такими головними сучасними системами як: системами живлення та багатоточкового впорскування ЗНГ типу Common Rail (з впорскуванням газу електромагнітними форсунками до впускного колектору ДВЗ у зону наближену до впускного клапана) та електронною індуктивною системою іскрового

запалювання з нерухомим розподільником напруги (з двохіскровими або індивідуальними котушками запалювання).

До того ж, газовий ДВЗ має бути дообладнано системою управління наповненням циліндрів зарядом робочої суміші. Система складається з дросельної заслінки із механічним приводом із датчиком кута повороту дросельної заслінки та механізму байпасного регулювання потоку повітря.

Для виконання відповідних екологічних вимог газовий ДВЗ може бути дообладнано додатковими сучасними системами такими, як: системою нейтралізації відпрацьованих газів (з трьохкомпонентним каталітичним нейтралізатором та одним або двома лямбда-зондами) та системою рециркуляції відпрацьованих газів (без охолоджувача відпрацьованих газів або з охолоджувачем).

Для роботи газового ДВЗ з дообладнаними головними та додатковими системами (за відсутності у складі дизеля) мають бути встановлені ще і додаткові датчики та пристрої.

Ефективне управління роботою переобладнаного газового ДВЗ із встановленими головними і додатковими системами та датчиками і пристроями може здійснюватися лише універсальною системою електронного управління. Головним елементом такої системи є електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37.

Мікропроцесорний ЕБУ Avenir Gaz 37, в цілому, має виконувати управління роботою відповідних систем газового ДВЗ, а також здійснювати регулювання його окремих параметрів на різних швидкісних та навантажувальних режимах роботи ДВЗ.

Головними функціями мікропроцесорного ЕБУ Avenir Gaz 37 є: управління системою живлення ДВЗ ЗНГ та системою впорскування ЗНГ (при груповому або послідовному чи індивідуальному видах впорскування газового палива [4, 5]); управління електронною індуктивною системою запалювання із нерухомим розподільником напруги (з двохіскровими або індивідуальними котушками запалювання) з можливістю регулювання системи запалювання по сигналу датчика детонації. До того ж, мікропроцесорний ЕБУ здатний виконувати додаткові функції такі, як: регулювання величини пускової циклової подачі газового палива в залежності від температури охолоджувальної рідини; регулювання частоти обертання колінчатого валу газового ДВЗ на режимі холостого ходу залежно від температури охолоджувальної рідини; регулювання системи нейтралізації ВГ (складу ВГ) по сигналам одного або двох лямбда зондів; регулювання системи рециркуляції ВГ (на англійській мові скорочено – EGR); паралельна робота з другим ЕБУ тощо.

Принципова схема універсальної системи електронного управління газовим ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ показана на рис. 1. Система електронного управління газовим ДВЗ 1 з іскровим запалюванням в цілому працює наступним чином. На початку роботи (в момент запуску) ДВЗ 1 водій повертає ключ у замку запалювання 22 і напруга з акумулятора 23 подається до ЕБУ 41, який проводить опитування всіх датчиків та пристроїв системи на наявність та справність. За позитивними результатами опитування датчиків (тому числі датчика 49 температури охолоджуючої рідини газового ДВЗ), ЕБУ 41 розраховує початок моментів подачі та тривалість імпульсів подачі (впорскування) ЗНГ газовими електромагнітними форсунками 39, тобто, величину пускової подачі ЗНГ, а також початок моментів та величину імпульсів струму, що подається на первинну обмотку котушки запалювання 6, необхідних для пуску газового ДВЗ. Після запуску газового ДВЗ, залежно від температури охолодної рідини в блоці циліндрів ДВЗ, яка визначається датчиком 49 температури охолодної рідини, ЕБУ 41 розраховує величину подачі ЗНГ, а також початок моментів та величину імпульсів струму, що подається на первинну обмотку котушки запалювання 6, необхідних для роботи газового ДВЗ на мінімальній частоті обертання холостого ходу. Одночасно ЕБУ 41 розраховує положення регулятора 11 холостого ходу, забезпечуючи відповідні витрати повітря по байпасному каналу регулятора холостого ходу (далі – РХХ) при закритій дросельній заслінці 10. При подальшому прогріві газового ДВЗ, ЕБУ 41 за сигналом

датчика 49 регулює величину подачі повітря через РХХ та ЗНГ, зменшуючи тим самим величину мінімальної частоти обертання холостого ходу.

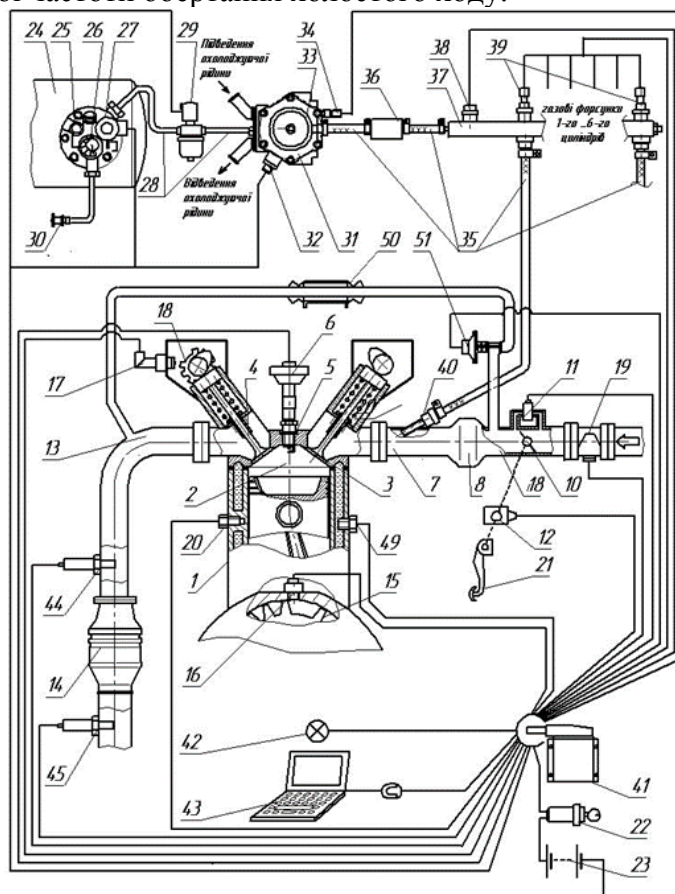


Рисунок 1. Принципова схема універсальної системи електронного управління газовим ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ:

1 – газовий ДВЗ з примусовим запалюванням, що працює на ЗНГ; 2 – камера згоряння; 3 – впускний клапан; 4 – випускний клапан; 5 – свічка запалювання; 6 – індивідуальна котушка запалювання (для ДВЗ з парним числом циліндрів можуть бути застосовані двохіскрові котушки запалювання); 7 – патрубок впускного колектору; 8 – об'єднана частина впускного колектору; 9 – дросельний пристрій з механічним приводом; 10 – дросель; 11 – регулятор холостого ходу; 12 – датчик положення дросельної заслінки; 13 – випускний колектор; 14 – трьохкомпонентний каталітичний нейтралізатор; 15 – задаючий диск типу 60-2; 16 – датчик частоти обертання і положення колінчастого валу; 17 - фазний датчик положення розподільного валу; 18 – зубчасте колесо або спеціальний задаючий диск (пластина з отворами); 19 – масовий витратомір повітря з інтегрованим датчиком температури; 20 – датчик детонації; 21 – механічна педаль акселератора (педаль газу); 22 – замок запалювання; 23 – акумуляторна батарея (АКБ); 24 – автомобільний газовий балон для ЗНГ; 25 – мультиклапан газового балона; 26 – показчик рівня ЗНГ в газовому балоні; 27 – дистанційно керований запірний електромагнітний клапан мультиклапана; 28 – магістральний газопровід високого тиску для ЗНГ; 29 – дистанційно керований запірний газовий клапан (магістральний електромагнітний клапан); 30 – заправний вузол; 31 – одноступінчатий газовий редуктор-випарник ЗНГ ; 32 – дистанційно керований запірний електромагнітний клапан газового редуктора-випарника редуктора-випарника; 33 – підігрівач газового редуктора-випарника; 34 – датчик температури охолоджуючої рідини газового ; 35 – гнучкі газопроводи (газопроводи низького тиску); 36 – газовий фільтр парової фази ЗНГ; 37 – газова рейка (Common Rail); 38 – комбінований датчик тиску і температури газу; 39 – електромагнітні газові форсунки; 40 – газове сопло; 41 – ЕБУ Avenir Gaz 37; 42 – індикатор роботи двигуна на СНД; 43 – діагностично-налагоджувальний інтерфейс; 44, 45– лямбда-зонд; 46 – датчик температури відпрацьованих газів; 49 – датчик температури охолоджуючої рідини газового ДВЗ; 50 – охолоджувач відпрацьованих газів в системі EGR; 51 – клапан системи EGR

При русі ТЗ та зміні навантаження (збільшення або зменшення навантаження) на газовий ДВЗ, ЕБУ 41 для відповідного режиму роботи (що задається датчиком 12 педалі 21 акселератора) за результатами опитування датчиків: витратоміра повітря 19, регулятора холостого ходу 11, дросельної заслінки 10 (датчика положення 12), а також датчика температури 49 охолодної рідини в блоці циліндрів ДВЗ, датчика 16 частоти обертання колінчастого валу, датчика 18 положення розподільного валу та датчика детонації 20, розраховує початок моментів подачі та тривалість імпульсів подачі (впорскування) ЗНГ газовими електромагнітними форсункою 39. Крім того, ЕБУ 41 розраховує початок моментів та величину імпульсів струму, що подаються на первинну обмотку котушки запалювання 6, яка в результаті генерує іскровий розряд на свічці запалювання 22. При виникненні детонації, за сигналом від датчика детонації 20, ЕБУ 41 коректує величину кута випередження запалювання (початок моментів імпульсів струму, що подається на первинну обмотку котушки запалювання 23) у бік запізнення. Для забезпечення на всіх швидкісних та навантажувальних режимах роботи ДВЗ гомогенної стехіометричної газоповітряної суміші ( $\alpha = 1$ ) ЕБУ 41 використовує також сигнал від лямбда-зондів 44 та 45, які встановлено перед трьохкомпонентним каталітичним нейтралізатором 14 та після нього.

На підставі принципової схеми універсальної системи електронного управління газовим ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ, була розроблена загальна схема системи електронного управління, яка показана на рис. 2.



Рисунок 2. Загальна схема системи електронного управління газовим 6-ти циліндровим ДВЗ з примусовим запалюванням для роботи на ЗНГ

Для управління роботою транспортного газового ДВЗ із примусовим запалюванням, на підставі принципової та загальної схем універсальної системи електронного управління газовим ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ був розроблений і виготовлений промисловий зразок сучасного багатофункціонального ЕБУ Avenir Gaz 37.

Промисловий зразок ЕБУ Avenir Gaz 37 побудовано на основі мікроконтролера моделі STM32F4, створеного на базі високопродуктивного 32-х розрядного ядра ARM Cortex-M4 [6, 7] з робочою частотою 168 МГц. Обчислювальна потужність (продуктивність) мікроконтролера при робочій частоті досягає 210 DMIPS. У мікроконтролер інтегровані: статична пам'ять з довільним доступом SRAM (ОЗП) 192 кбайт, а також 4 кбайт резервної SRAM і до 1 Мбайт Flash пам'яті. Для обробки аналогових сигналів служать два 12-бітових ЦАП і три 12-бітних АЦП. Всі дані, навіть при відключенні акумуляторної батареї, зберігаються у зовнішній постійній EEPROM пам'яті (з електричним стиранням) моделі AT45DB041D об'ємом 4 Мбіт. Зовнішній вигляд розробленого ЕБУ Avenir Gaz 37 показано на рис. 3.



Рисунок 3. Зовнішній вигляд ЕБУ Avenir Gaz 37

Для візуалізації роботи системи електронного управління газового ДВЗ в цілому, використовується 20-ти символний 4-х рядковий рідкокристалічний індикатор (дисплей) моделі WH2004A-PLL-CTVE [7].

При проведенні пуско-налагоджувальних робіт ЕБУ підключається до персонального комп'ютера за допомогою перетворювача інтерфейсів USB-UART, який створено на базі мікроконтролера моделі PIC16F1825 і перетворювача інтерфейсу FT232 [7].

Проведено безмоторні випробування промислового зразка ЕБУ Avenir Gaz 37, які підтвердили його працездатність і показали, що обчислювальна потужність (продуктивність) ЕБУ з мікроконтролером моделі STM32F4 дозволяють управляти роботою газового ДВЗ у реальному масштабі часу.

В результаті, універсальна система електронного управління газовим ДВС розроблена у вигляді модульної структури, що складається з двох головних і ряду додаткових підсистем. Залежно від комплектації різними датчиками і пристроями головних підсистем, а також наявності та кількості додаткових підсистем, система забезпечує управління роботою її чотирьох версій - «Базової», «Середньої», «Вищої» і «Майстер».

Розроблено спеціальний інтерфейс, що дозволяє за допомогою персонального комп'ютера (ноутбука) налаштовувати або перепрограмувати кожен з чотирьох версій універсальної системи електронного управління газовим ДВС.

На базі тракторного дизеля Д-240 із використанням синтез-технології Avenir Gaz та застосуванням універсальної електронної системи управління газовими ДВЗ і ЕБУ Avenir Gaz 37 виготовлено газовий ДВЗ з іскровим запалюванням моделі Д-240-ЗНГ.

Завдяки значно меншій середній роздрібній вартості 1-го літра ЗНГ, яка коливається у межах 50 ... 55 % від вартості дизельного палива, очікуваний річний економічний ефект від переобладнання транспортних (у т.ч. тракторних) дизелів у ДВЗ з примусовим запалюванням та їх подальшої експлуатації в Україні, коливається у межах 35 ... 45 % від річних витрат на дизельне паливо.

Висновки. Розроблено сучасну українську синтез-технологію Avenir Gaz переобладнання транспортних (тракторних та автомобільних) дизелів у газові ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на ЗНГ.



Розроблено універсальну електронну систему управління газовими ДВЗ з іскровим запалюванням.

Розроблено та виготовлено сучасний багатофункціональний електронний мікропроцесорний блок управління Avenir Gaz 37. Проведені безмоторні випробування ЕБУ, які підтвердили його працездатність.

На підставі синтез-технології Avenir Gaz із застосуванням універсальної електронної системи управління газовими ДВЗ з ЕБУ Avenir Gaz 37 виготовлено газовий ДВЗ з іскровим запалюванням моделі Д-240-ЗНГ.

Подальший напрямок робіт пов'язано із проведенням моторних випробувань газового ДВЗ моделі Д-240-ЗНГ та випробуваннями газового ДВЗ в якості силового агрегату трактора МТЗ-80.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Ковальов С.О. Переобладнання дизеля самохідного шасі СШ-2540 у газові ДВЗ для роботи на газових моторних паливах / Ковальов С.О // Збірник тез доповідей XIII Міжнародної наукової конференції «Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy» (17 – 19 травня 2017 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2017. – С. 9 - 11.

2. Редзюк А.М. Разработка газовых ДВС с принудительным зажиганием на базе штатного дизеля Д-120-45 самоходного шасси СШ-2540 / Редзюк А.М., Ковалёв С.А. // XXII-міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доповідей. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2017. – С. 46.

3. Ковальов С.О. Розроблення системи управління транспортними газовими ДВЗ з примусовим запалюванням, конвертованими на базі штатних дизелів для роботи на зрідженому нафтовому газі / Ковальов С.О. // Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя; Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 23–25 травня 2018 року: матеріали конференції. Київ, НУБіП, 2018. Т.5. – С. 174 - 176.

4. Автомобильный справочник BOSCH. Перевод с англ. Первое русское издание. – М.: Издательство «За рулем», 2000. – 896 с.

5. Системы управления бензиновыми двигателями BOSCH. Перевод с немецкого. Первое русское издание. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. – 432 с.: ил.

6. ARM Archi-tecture Reference Manual//ARM Limited. [Электронный ресурс] /<http://people.freebsd.org/~chuckr/arm/ARMArchitectureRefMan.pdf>. Режим доступа на 07.03.2018.

7. Ковалёв С.А. Разработка электронной системы управления газовыми ДВС, переоборудованными на базе транспортных дизелей для работы на сжиженном нефтяном газе / Ковалёв С.А. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2018. – № 2. – С. 55 – 61.

## **ПРО ОНОВЛЕННЯ КРУЇЗНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ФЛОТУ ЗМІШАНОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ПЛАВАННЯ**

Кукалець Л.М.

Державний університет інфраструктури і технологій (Україна)

**Вступ.** Моральна та технічна застарілість круїзного пасажирського флоту, який експлуатується під прапором України, з однієї сторони та привабливість цього сегменту для учасників туристичного ринку з іншої, потребує детального аналізу можливих варіантів оновлення круїзного пасажирського флоту і, наряду з цим, обґрунтування концепцій виконання кожного з них.

**Актуальність досліджень.** Річки Дунай, Рейн, Дніпро та північно-західний регіон Чорного моря мають високий потенціал для розвитку круїзного судноплавства та підвищення попиту серед туристів. Але, при практичній відсутності власного круїзного флоту пасажирські порти країни розглядаються лише в якості транзитних для рейсів, що базуються на Середземноморських напрямках та країн західної Європи. Подальший розвиток вітчизняної круїзної індустрії неможливий без оновлення пасажирського флоту.

**Постановка задачі.** Проблемами оновлення флоту в останні десятиріччя займалися багато вітчизняних та зарубіжних науковців, але, в основному, у світлі економічних проблем та перспектив розвитку транспортного комплексу країни. Деякі науковці більш детально розглядали питання модернізації та переобладнання вантажних суден внутрішнього та змішаного плавання. Майже відсутня інформація щодо оновлення круїзного пасажирського флоту, а та, що є в наявності – не систематизована. Ідентифікація та класифікація напрямів щодо адаптації та оновлення пасажирського флоту надасть змогу прогнозувати обсяг робіт за кожним з напрямів на науковій основі.

Поставлена мета обумовлює необхідність вирішення наступних питань:

- аналіз наукових джерел щодо можливих заходів оновлення суден внутрішнього та змішаного плавання і систематизація наявної інформації;
- визначення сутності, методики кожного з них з точки зору оновлення саме пасажирського флоту змішаного та внутрішнього плавання;
- ідентифікація та класифікація виявлених напрямів з метою їх подальшого детального аналізу;
- визначення переліку та обсягів робіт за кожним з напрямів.

**Результати досліджень.** Приклади модернізації і переобладнання суден відомі ще з початку ХХ сторіччя. Історично, технічна реалізація переобладнання суден йшла попереду його теоретичного обґрунтування. В основному, потреба в нових типах або недостатність визначених типів суден завжди була передумовою для переобладнання суден, в тому числі з використанням частин інших суден. В різні періоди ХХ сторіччя виникала необхідність модернізації та переобладнання суден, але, у зв'язку з можливістю поповнення флоту новими суднами, займала незначне місце. На початку 90-х років необхідність адаптації суден до різних водних шляхів, навігаційних, юридичних, екологічних вимог спричинила істотне збільшення проценту оновлення флоту за рахунок реновації, модернізації, переобладнання тощо. У зв'язку з цим розширилася номенклатура та обсяг робіт з оновлення флоту. За останні десятиріччя визначення реновації та інших термінів щодо оновлення набуває нового змісту. Таким чином, постає питання перегляду трактування самого поняття оновлення та модернізації флоту, більш детальної диференціації робіт з оновлення флоту внутрішнього та змішаного плавання та визначення їх методики і обсягів.

В науковій літературі майже відсутня інформація щодо оновлення пасажирського круїзного флоту. Існуючі методики, системи щодо оновлення транспортних вантажних суден не можуть застосовуватись до пасажирських суден, оскільки пасажирський флот

має специфіку, зумовлену призначенням, конструктивними особливостями та життєвим циклом суден.

Аналіз публікацій з даної тематики та виконаних робіт з оновлення пасажирського флоту надає змогу виділити декілька напрямлень оновлення матеріально-технічної бази круїзного пасажирського флоту внутрішнього і змішаного плавання, а саме:

- побудова нових суден внутрішнього та змішаного плавання;

- адаптація існуючих суден внутрішнього та змішаного плавання до сучасних вимог судноплавства, за наступними напрямками: реновація, реконструкція, рекласифікація, переобладнання, дообладнання, модернізація, конверсія, капітальний ремонт суден.

Існуюча інформація щодо проведених робіт з оновлення та огляд наукових джерел доводить, що для пасажирських круїзних суден значним фактором при оновленні буде комфортабельність судна. Перелік та обсяг робіт з оновлення пасажирських суден буде суттєво відрізнятися від обсягу оновлення вантажних суден. Враховуючи цю відмінність, можна сформулювати притаманний саме пасажирському флоту комплекс визначень напрямів оновлення, а також види робіт за кожним з них.

Модернізація - приведення судна у відповідність до нових (сучасних) умов експлуатації, правил і норм класифікаційних товариств. Може відбуватися як зі зміною, так і без зміни первісного проектного стану, архітектурного типу, класу, основного призначення судна або зі зміною тільки окремих його параметрів.

Реновація – оновлення внутрішнього інтер'єру і систем з заміною на більш сучасні та нові без зміни загального розташування внутрішніх приміщень, їх призначення, архітектурного типу та основного призначення судна.

Переобладнання – оновлення внутрішнього інтер'єру і систем із зміною загального розташування внутрішніх приміщень судна та (або) їх призначення, додавання систем та приладів з можливою зміною призначення судна.

Реконструкція – внесення змін у зовнішні та внутрішні конструкції корпусу та надбудови без зміни призначення та типу судна.

Рекласифікація – виконання певних робіт для приведення судна до іншого класу (як вищого, так і нижчого) згідно району плавання.

Дообладнання – внесення змін в конструкцію та системи судна з метою розширення району плавання, зміни регіону плавання і/або підвищення комфортабельності судна.

Конверсія – значні зміни внутрішніх та зовнішніх конструкцій судна зі зміною розмірів, типу, класу, призначення та району плавання судна.

Капітальний ремонт – відновлення зношених конструкцій відповідно існуючого (діючого) проекту судна.

Всі ці напрями можна класифікувати як наведено на рис. 1.

Побудова нових суден та суден з використанням суден-донорів також є одним з шляхів оновлення пасажирського флоту, яка має встановлені правила побудови та нормативну документацію щодо проведення робіт, але це найбільш довготривалий та капіталомісткий шлях оновлення, з довгим терміном повернення вкладених коштів. Ремонт судна проводиться для відновлення придатного технічного стану його елементів і з модернізацією не пов'язаний. Капітальний ремонт судна є різновидом ремонту і виконується з метою відновлення техніко-експлуатаційних характеристик судна практично до проектного стану, внаслідок чого містить великий обсяг та значну номенклатуру робіт, прогнозується шляхом існуючих методів нормування робіт та потребує окремого підходу до вивчення. В даній роботі ці шляхи (побудова та ремонт) не розглядаються.

Таким чином, модернізація пасажирського флоту включає декілька напрямів, кожен з яких має свій перелік робіт, які умовно можна поділити на основні, тобто обов'язкові при даному напрямі та супутні (можуть виконуватись при даному напрямі) види робіт (табл. 1).

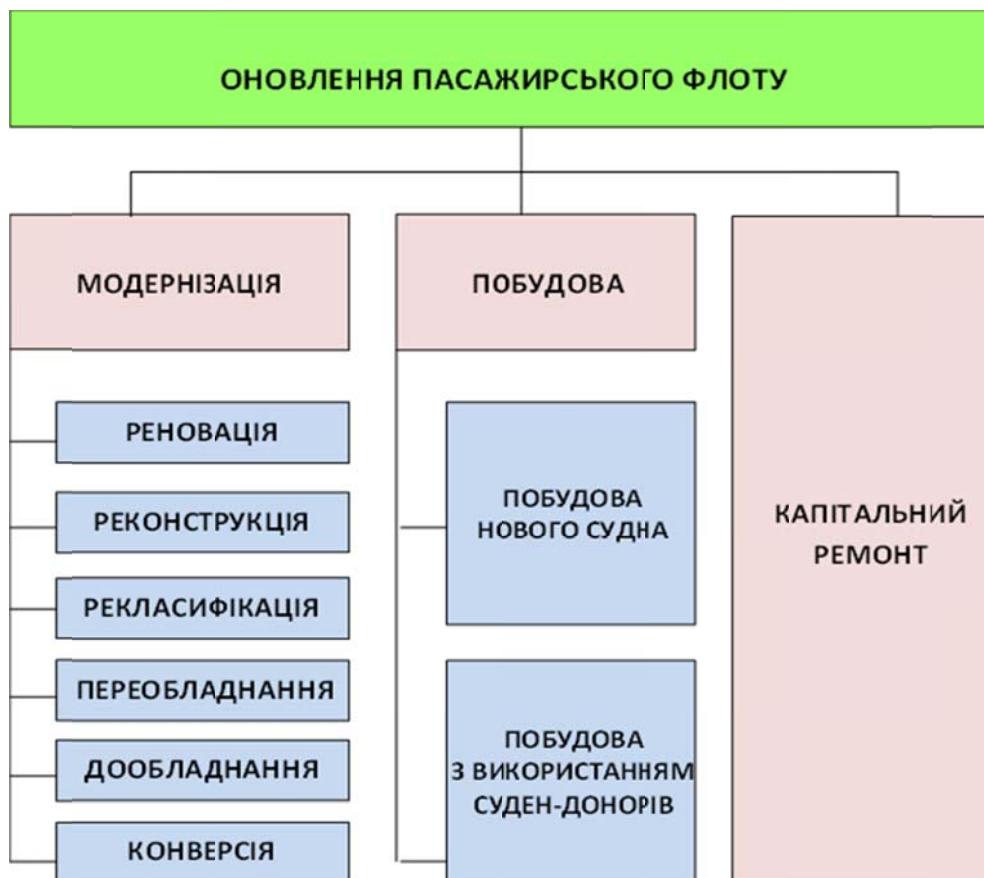


Рисунок 1. Напрями оновлення пасажирського флоту

З метою ранжування напрямів модернізації був розрахований чисельний показник глибини модернізації, який є відношенням кількості основних робіт до кількості супутніх за кожним з напрямів. Чим вище цей показник, тим більша кількість основних робіт притаманна напрямку модернізації. Як видно з таблиці, найбільший перелік робіт припадає на такі напрями модернізації, як конверсія та переобладнання, причому майже всі з них є основними. Найменшу кількість основних робіт з оновлення мають наступні напрями в порядку зменшення: реновація, реконструкція, дообладнання та рекласифікація.

На сьогодні, існуючі судна пасажирського круїзного флоту змішаного та внутрішнього плавання мають достатній ресурс для подальшого використання при умові їх оновлення. Було проведено збір та аналіз інформації щодо оновлення суден круїзного пасажирського флоту України, Росії та Західної Європи за останні 20 років (табл.2). При аналізі було розглянуто 154 судна пасажирського круїзного флоту і виявлено, що кожне з них було оновлено в тій чи іншій мірі за час існування. Обсяги робіт по кожному судну відрізнялися в залежності від віку, технічного стану судна, можливостей судноплавної компанії, подальшого району плавання та призначення судна.

Співвідношення визначених в таблиці 1 видів робіт з проведеними на судах обсягами оновлення показав, що вітчизняні судна та судна Західної Європи найчастіше піддавались такому напрямку модернізації, як реновація – 47,4 % від загальної кількості проаналізованих суден. Значна частина суден піддавалася переобладнанню – 38,3%. Наступними в переліку є реконструкція і дообладнання – 7,8% та 3,9% відповідно. Найменший процент серед напрямів модернізації на розглянутих судах займають конверсія (2,6%) та рекласифікація. Причому рекласифікація завжди відбувалась у поєднанні з іншими напрямками, а саме з конверсією, переобладнанням або дообладнанням суден.

Таблиця 1. Види робіт відповідно до напрямів оновлення пасажирських суден

Напрями модернізації суден	Види робіт																Співвідношення основних та супутніх робіт	Чисельний показник глибини модернізації											
	Загальні			Корпус і надбудови			Відкриті палуби			Каюти пасажирські				Приміщення загального користування (ЗК)					Енергетичний комплекс та господарсько-побутові системи										
	Зміна (розширення) району плавання та класу судна	Зміна первісного проектного стану	Зміна призначення судна	Зміна корпусу (з використанням окремих елементів іншого судна)	Зміна розмірів судна	Зміна кількості палуб	Екстер'єр судна	Зміна площі	Зміна планування	Дообладнання палуб	Зміна площі	Зміна кількості кают	Зміна пасажиромісткості кают	Оновлення інтер'єру	Встановлення санвузлів	Дообладнання кают балконами			Зміна або встановлення нового внутрішнього обладнання	Зміна площі приміщень ЗК	Зміна номінальної потужності приміщень	Зміна розташування приміщень	Оновлення інтер'єру	Зміна, встановлення додаткового обладнання, пристроїв (ліфт тощо)	Зміна головних двигунів	Зміна допоміжних механізмів	Зміна судової електростанції	Господарсько-побутові системи	
Рекласифікація	О	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	1/16	0,06
Дообладнання	М						М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	3/13	0,23
Реконструкція		М			М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	6/16	0,38
Реновація							М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	5/10	0,50
Переобладнання	М		М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	12/12	1
Конверсія	М	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	24/2	12,00

\*О - обов'язкові (основні) роботи при заданому напрямку; М - можливі (супутні) роботи при заданому напрямку

Також було виявлено, що судно протягом життєвого циклу може піддаватися різним напрямам оновлення. Під час здійснення модернізації напрями суміщаються і мають тенденцію до періодичного повторення. Так, реновація може повторюватись 3-4 рази, реконструкція та дообладнання не більше двох раз, переобладнання, конверсія і рекласифікація не більше одного разу протягом життєвого циклу судна. Періодичність повторення того чи іншого напрямку, в першу чергу пов'язано з номенклатурою та обсягом робіт і, як наслідок, вартістю та періодом виконання. Чим менше обсяг, вартість та період здійснення окремого напрямку модернізації, тим частіше використовується цей напрям.

Таблиця 2. Кількість круїзних пасажирських суден відповідно до напрямів модернізації та їх періодичності

Напрями модернізації	Періодичність згідно життєвого циклу судна (рази)	Країни				Всього	Частина напрямку в загальній кількості оновлених суден, %
		Російська Федерація	Україна	Білорусь	Західна Європа		
Реновація	3-4	56	2	-	15	73	47,4
Переобладнання	0-1	43	4	-	12	59	38,3
Реконструкція	0-2	10	-	-	2	12	7,8
Дообладнання	0-2	3	1	-	2	6	3,9
Конверсія	0-1	3	-	1	-	4	2,6
Рекласифікація	0-1	5*	2*	-	-	7*	-
Всього суден		115	7	1	31	154	100

\*- кількість за даним напрямом не врахована до загальної кількості суден.

**Висновки.** Область проектування в частині оновлення існуючого пасажирського флоту є маловисвітленою, сучасні наукові та прикладні методи щодо оновлення пасажирських круїзних суден - відсутні. Різноманітна інформація про оновлення, що є в наявності не систематизована в тій мірі, яка дозволила б прогнозувати перелік, обсяг робіт з оновлення пасажирського флоту та економічну доцільність.

Більша частина існуючих вітчизняних та західних круїзних суден були модернізовані за останні 20 років, що підтверджує необхідність та затребуваність саме цього шляху оновлення пасажирського флоту. Існуючі методи щодо оновлення вантажних суден не можна використовувати для пасажирських круїзних оскільки пасажирський флот має інше призначення, конструктивні та комерційні особливості, життєвий цикл.

Основними шляхами оновлення пасажирського круїзного флоту є побудова нових суден, капітальний ремонт та модернізація існуючих суден внутрішнього та змішаного плавання до рівня сучасних вимог судноплавства. Модернізація суден охоплює декілька основних напрямів: реновація, реконструкція, рекласифікація, переобладнання, дообладнання та конверсія.

Кожен з запропонованих напрямів модернізації має свій притаманний йому перелік робіт – як основних, так і супутніх. Відсутність методів оцінювання доцільності проведення робіт по кожному з напрямів модернізації потребує більш детального аналізу переліку, обсягів робіт та їх комерційної складової з урахуванням сучасних та перспективних вимог круїзного ринку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Лазарев А. Н. Теоретические аспекты модернизации судов смешанного «Река – море» плавания. / А. Н. Лазарев, С. С. Марченко // *Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. СПб, 2016. №1(35). С.76-84.
2. Марченко С. С. Возможности повышения конкурентоспособности сухогрузных судов смешанного плавания за счет модернизации флота. *Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. СПб, 2013. №3(22). С.136-143.
3. Егоров Г. В. Что такое «конверсия» судов?. *Морская биржа : информационно-аналитический журнал*. СПб : ООО «Принт-Экспо», 2011. №2(36). С.18-27.
4. Егоров Г. В. Опыт модернизации и строительства речных круизных судов с использованием элементов судов-доноров. / Г. В. Егоров, Я. В. Калугин // *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова*. Миколаїв, 2013. № 2. С.4-11.
5. Семин А. А. Влияние комфортабельности на выбор главных размерений пассажирских круизных судов внутреннего и смешанного плавания / А. А. Семин // *Збірник наукових праць «Вісник Одеського національного морського університету»*. Одеса : ОНМУ, 2005. Вип. 17. С. 39-45.
6. Перов В. М. Реновація суден : навч. посіб. / В. М. Перов. Миколаїв : НУК, 2006. 148с.
7. Гундобин А. А. Размерная модернизация и переоборудование судов. / А. А. Гундобин, Г. Н. Финкель . Л. «Судостроение», 1977, 192 с.
8. Круизное информационное агенство CRUISINFORM.RU. [Электронный ресурс]. Дата оновлення: 10.01.2018. URL: <http://cruiseinform.ru> (дата звернення 10.01.2018)

## ЗАСТОСУВАННЯ ЧИСЕЛЬНОГО МЕТОДУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ПІДВІСОК ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Кухтов В.Г., Калінін Є.І.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка (Україна)

Чисельний метод розрахунку дозволяє сильно скоротити число припущень, які зазвичай робляться при розрахунковому дослідженні підвісок тягово-транспортних засобів. Легко враховуються, наприклад, нелінійність характеристик шини, ресори, амортизатору, відрив колеса від несучої поверхні дороги та інше. Без істотного ускладнення розрахунку враховується вплив на коливання остова невіднесорених мас.

Висота нерівності в чисельному методі розрахунку задається чисельно через однакові відрізки часу (на границях кожного інтервалу розрахунку). Це дозволяє використовувати для розрахунку нерівності будь-якого профілю: косинусоїдального, синусоїдального або випадкового. Випадковий профіль задається відрізком дороги зі «стандартним» набором випадкових нерівностей. Такий набір нерівностей можна отримати обробкою результатів численних вимірювань мікропрофілю опорної поверхні.

Диференціальні рівняння досить важко піддаються вирішенню в загальному вигляді при несталому процесі коливань остова. Для чисельного методу розрахунку немає різниці у визначенні параметрів сталих і несталих коливань.

Плавність ходу тягово-транспортного засобу залежить від дуже великої кількості факторів. Тому розрахунок його підвіски чисельним методом носить перевірочний характер. Розрахунком визначаються параметри плавності руху (наприклад, кутові прискорення, період коливань, максимальне лінійне прискорення на місці оператора і т.д.).

Ідея використовуваного чисельного методу розрахунку досить проста: діючі на остов зусилля приймаються постійними на інтервалі інтегрування, тобто застосовується метод Ейлера. Точність розрахунку виявляється достатньою при належному виборі інтервалу розрахунку (кроку інтегрування). Інтервал розрахунку слід вибирати в залежності від найменшого очікуваного періоду впливу в межах 0,01...0,05 сек. У деяких випадках величина інтервалу повинна бути зменшена (при великій швидкості руху машини, короткій та крутій нерівності, яскраво вираженій нелінійності).

Якщо сили і моменти, що діють на остов і колесо постійні, то коливання і остову, і колеса описуються рівняннями рівноприскореного руху.

Так, наприклад, при двохмасовій системі з двома ступенями свободи (рис. 1) ці рівняння мають вигляд:

$$\ddot{z}_{n+1} = \frac{\sum P - P_u}{M}; \quad (1)$$

$$\dot{z}_{n+1} = \frac{\sum P - P_u}{M} \Delta t + \dot{z}_n; \quad (2)$$

$$z_{n+1} = \frac{\sum P - P_u}{2M} \Delta t^2 + \dot{z}_n \Delta t + z_n; \quad (3)$$

$$\dot{y}_{n+1} = \frac{\sum P}{m} \Delta t + \dot{y}_n; \quad (4)$$

$$y_{n+1} = \frac{\sum P}{2m} \Delta t^2 + \dot{y}_n \Delta t + y_n, \quad (5)$$

де  $\sum P$  та  $\sum P - P_u$  – відповідно суми сил, що діють на колесо та остов;  $\Delta t$  – інтервал розрахунку;  $\dot{z}_n$ ,  $z_n$ ,  $\dot{y}_n$  та  $y_n$  – швидкість та переміщення в початку кожного інтервалу остова та колеса, відповідно.



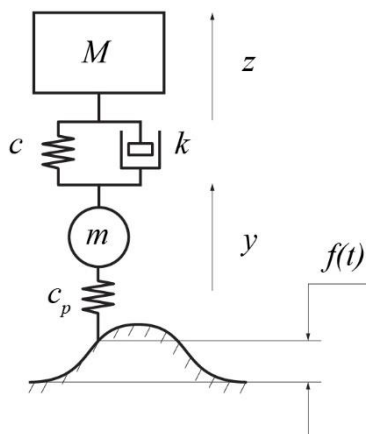


Рисунок 1. Схема сил і моментів, які діють на остов та колесо

Для розрахунку формулами (1) – (5) слід скористатися в наступному порядку:

1. Задаємося початковими умовами, вважаючи, що протягом першого інтервалу розрахунку остов не переміщується, а додаткові по відношенню до статичних деформації шини та ресори в кінці першого інтервалу розрахунку однакові і дорівнюють половині вертикального переміщення точки контакту колеса і нерівності. Вважаємо також, що швидкість колеса в той же момент часу дорівнює половині вертикальної швидкості зазначеної точки контакту. Швидкість вертикального переміщення точки контакту визначається диференціюванням функції, яка задає висоту нерівності. Як показала практика проведених розрахунків, можлива невідповідність заданих початкових умов дійсності не позначається на кінцевих результатах розрахунку через малість інтервалу.

2. По величинам додаткових деформацій та характеристикам ресори і шини визначаємо додаткові, по відношенню до статичних, сили, що діють на колесо з боку ресори  $P$  та шини  $P_{ш}$  протягом другого інтервалу розрахунку. Зусилля, що діють на колесо (остов) вгору, вважаємо додатними.

3. За величиною швидкості колеса і характеристикою амортизатора визначаємо зусилля  $P_a$ , яке діє на колесо з боку амортизатора протягом другого інтервалу розрахунку.

4. За формулами (1) – (5) обчислюємо прискорення, швидкість і переміщення остову, швидкість і переміщення колеса в кінці другого інтервалу розрахунку.

5. Визначаємо додаткові деформації шини і ресори, швидкість плунжера амортизатора відносно його корпусу за формулами:

$$\delta = f(t) - y_n, \quad (6)$$

$$\Delta = z_n - y_n, \quad (7)$$

$$v = \dot{z}_n - \dot{y}_n, \quad (8)$$

де  $f(t)$  – функція, що визначає висоту нерівності.

Розглянутий метод розрахунку розроблявся в основному з огляду на рух тягово-транспортного засобу по дорозі з правильною хвилястою нерівністю. Трудомісткість роботи абсолютно не зміниться, якщо ця функція буде задана чисельно, в точках, що відповідають початку і кінцю інтервалу розрахунку. Таким чином, можна задати будь-яку ділянку дороги випадкового мікропрофілю або «стандартний» набір випадкових нерівностей. Використовувати такого роду нерівності в звичайних методах розрахунку досить важко.

6. За величиною і знаком додаткових деформацій шини і ресори, швидкості переміщення колеса відносно остова і характеристикам шини, ресори і амортизатора визначаємо величину та знак додаткових сил, що діють на колесо з боку шини і ресори, величину і знак зусилля амортизатора і т.д.

Як впливає з вищевикладеного, розрахунок коливань тягово-транспортного засобу чисельним методом вельми простий і не вимагає майже ніякої спеціальної підготовки.

Основний недолік чисельного методу – його трудомісткість. Тому найбільш доцільно використовувати такий метод для виконання обчислень на ПК.

Розглянутий чисельний метод не єдиний з існуючих. Для вирішення диференціальних рівнянь на ПК зазвичай використовується метод Рунге-Кутта. У разі використання цього методу два диференціальних рівняння руху остова і колеса (див. рис. 1) мають бути подані у вигляді:

$$\dot{x} = \frac{k}{M}(p-x) + \frac{c}{M}(y-z) = f(x, y, P, z); \quad (9)$$

$$\dot{z} = x; \quad (10)$$

$$p = -\frac{k}{m}(p-x) - \frac{c}{m}(y-z) + \frac{c_p}{m}(f(t) - y) = g(t, x, y, z, p); \quad (11)$$

$$\dot{y} = p. \quad (12)$$

Якщо використовувати метод Рунге-Кутта другого порядку, то розв'язок рівнянь (9) – (12) необхідно шукати у вигляді:

$$x_{n+1} = x_n + \frac{1}{2}(k_1 + k_2); \quad (13)$$

$$z_{n+1} = z_n + \frac{1}{2}(m_1 + m_2); \quad (14)$$

$$p_{n+1} = p_n + \frac{1}{2}(l_1 + l_2); \quad (15)$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{2}(r_1 + r_2). \quad (16)$$

Величини  $k_1, k_2, \dots, r_2$  визначаються з залежностей виду:

$$k_1 = \Delta t f(x_n, y_n, p_n, z_n); \quad (17)$$

$$m_1 = \Delta t x_n; \quad (18)$$

$$l_1 = \Delta t g(t_n, x_n, y_n, p_n, z_n); \quad (19)$$

$$r_1 = \Delta t p_n; \quad (20)$$

$$k_2 = \Delta t f(x_n + k_1, y_n + r_1, z_n + m_1, p_n + l_1); \quad (21)$$

$$m_2 = \Delta t(x_n + k_1); \quad (22)$$

$$l_2 = \Delta t(t_n + \Delta t, x_n + k_1, y_n + r_1, p_n + l_1); \quad (23)$$

$$r_2 = \Delta t(p_n + l_1). \quad (24)$$

Формули (13) – (24) нескладні за структурою, але вимагають двократної підстановки в диференціальні рівняння і вельми громіздких обчислень. У разі застосування ПК такий метод навіть при розгляді коливань двохмасової системи з двома ступенями вільності вимагає великої за обсягом роботи.

Якщо використовувати метод Рунге-Кутта четвертого порядку, розрахункові формули ще більш розростаються і для розрахунку потрібно вже не дворазова, а чотириразова підстановка в диференціальні рівняння. Точність обчислень за методом Рунге-Кутта другого порядку і даного методу практично однакова (рис. 2), тому для розрахунку підвісок тягово-транспортних засобів слід рекомендувати останній.

Розрахунок підвіски тягово-транспортного засобу чисельним методом слід вести за формулами:

$$\ddot{\varphi}_{n+1} = \frac{\sum M_i}{J}; \quad (25)$$

$$\dot{\varphi}_{n+1} = \frac{\sum M_i}{J} \Delta t + \dot{\varphi}_n; \quad (26)$$

$$\varphi_{n+1} = \frac{\sum M_i}{2J} \Delta t^2 + \dot{\varphi}_n \Delta t + \varphi_n; \quad (27)$$

$$\ddot{z}_{n+1} = \frac{(\sum P_i)_\Sigma}{M}; \quad (28)$$

$$\dot{z}_{n+1} = \frac{(\sum P_i)_\Sigma}{M} \Delta t + \dot{z}_n; \quad (29)$$

$$z_{n+1} = \frac{(\sum P_i)_\Sigma}{2M} \Delta t^2 + \dot{z}_n \Delta t + z_n; \quad (30)$$

$$\dot{y}_{(n+1)_i} = \frac{\sum P_i}{m} \Delta t + \dot{y}_{n_i}; \quad (31)$$

$$y_{(n+1)_i} = \frac{\sum P_i}{2m} \Delta t^2 + \dot{y}_n \Delta t + y_n. \quad (32)$$

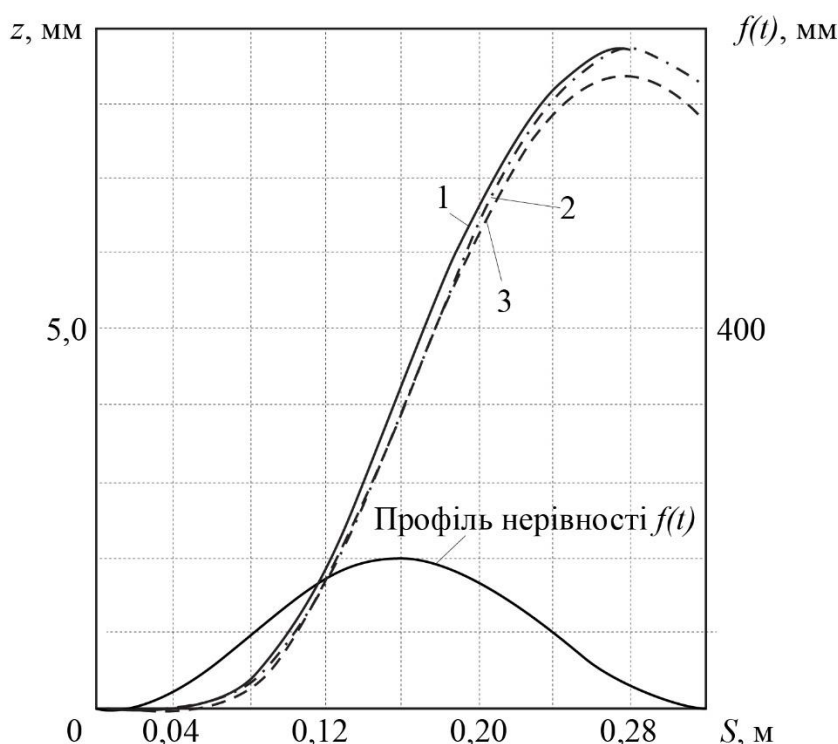


Рисунок 2. Результати чисельного розрахунку за методами:  
1 – Рунге-Кутта ( $\Delta t = 0,01$  сек); 2 та 3 – Ейлера ( $\Delta t = 0,01$  сек та  $\Delta t = 0,005$  сек)

где  $\sum M_i$  – сума моментів, які діють на остов протягом даного інтервалу;  $\varphi_{n+1}$ ,  $\dot{\varphi}_{n+1}$ ,  $\ddot{\varphi}_{n+1}$  – кутове переміщення, швидкість і прискорення в кінці даного інтервалу;  $\varphi_n$ ,  $\dot{\varphi}_n$ ,  $\ddot{\varphi}_n$  – відповідно кутове переміщення, швидкість і прискорення на початку даного періоду;  $J$  – момент інерції підресорених частин відносно центра ваги;  $z_{n+1}$ ,  $\dot{z}_{n+1}$ ,  $\ddot{z}_{n+1}$  – відповідно лінійне переміщення, швидкість і прискорення центра ваги в кінці даного інтервалу розрахунку;  $z_n$ ,  $\dot{z}_n$ ,  $\ddot{z}_n$  – відповідно лінійне переміщення, швидкість і прискорення центра ваги на початку даного інтервалу;  $(\sum P_i)_\Sigma$  – сума сил, що діють на остов протягом даного інтервалу розрахунку.

Рівняння (31) – (32) слід складати для кожного з коліс одного борту засобу. Порядок розв’язання рівнянь (25) – (32) аналогічний порядку розв’язання рівнянь (1) – (5), але

додаткові деформації шини і ресори, швидкість переміщення колеса відносно кузова слід визначати за формулами:

$$\delta_i = f(t_i) - y_{n_i}; \quad (33)$$

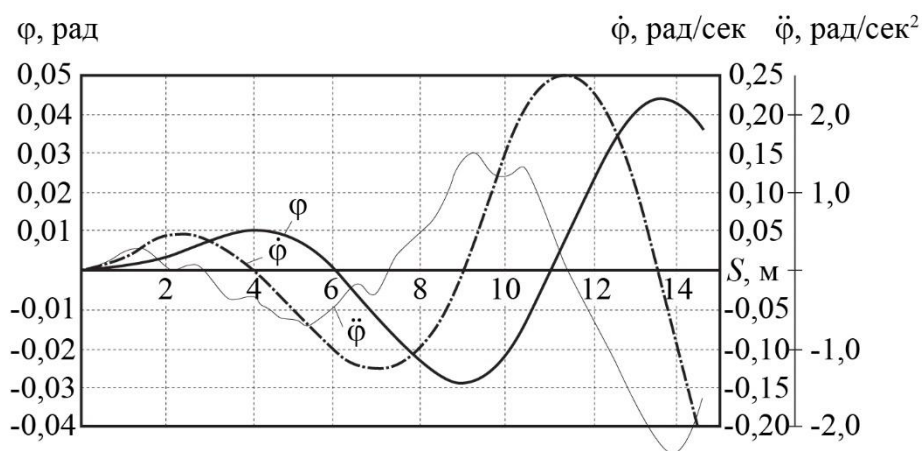
$$\Delta_i = z_{n_i} + \varphi_{n_i} l_i - y_{n_i}; \quad (34)$$

$$v_i = \dot{z}_{n_i} + \dot{\varphi}_{n_i} l_i - \dot{y}_{n_i}. \quad (35)$$

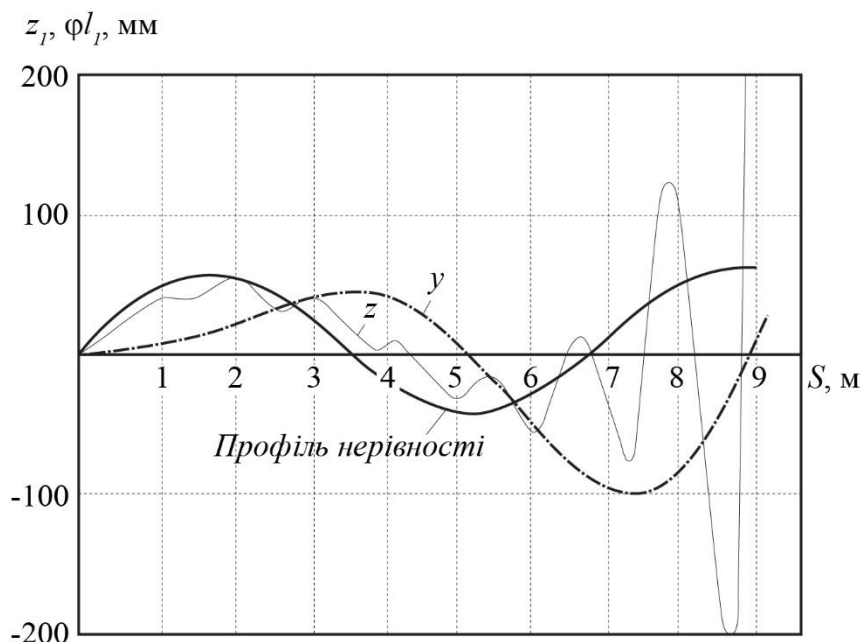
Чисельний метод розрахунку розроблявся в основному відносно розрахунку тягово-транспортних засобів, для яких визначальними є кутові коливання. У цьому випадку визначення параметрів кутових коливань можна вести за формулами (25) – (27) і (31) – (32).

Якщо вважати, що підвіска симетрична, то для визначення додаткових деформацій шини і ресори, швидкості переміщення колеса відносно остова можна з певним припущенням використовувати формули (6) – (8).

**Висновки.** Результати обчислень чисельним методом параметрів кутових коливань для тягово-транспортного засобу, що рухається по дорозі з правильною хвилястою поверхнею, наведені на рис. 3, а та б.



а



б

Рисунок 3. Результати розрахунку чисельним методом параметрів кутових коливань для тягово-транспортного засобу, що рухається по дорозі з правильною хвилястою поверхнею

Як вже зазначалося, найсуттєвіший недолік чисельного методу розрахунку – його велика трудомісткість, що збільшується з огляду на те, що він не дає, без великої кількості обчислень, відповіді про якісний вплив того чи іншого фактору.

Найбільш доцільне використання чисельного методу для розрахунку на ПК. При цьому, чисельний метод розрахунку дозволяє визначити не тільки параметри коливань остова та колеса, але й будь-яких інших коливань (наприклад, коливань вантажу, встановленого на вторинній системі підвіски).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Калінін Є.І. Формування умови стійкості лінійної системи при випадкових збуреннях її параметрів / Є.І. Калінін, В.М. Романченко, Г.П. Юр'єва // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів – 2017. – № 7. – С. 100 – 108.
2. Шуляк М.Л. Оцінка функціонування сільськогосподарського агрегату за динамічними критеріями / М.Л. Шуляк, А.Т. Лебедев, М.П. Артёмов, Є.І. Калінін // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів – 2016. – № 4. – С. 218 – 226.
3. Калінін Є.І. Частотно-динамічна математична модель тракторного агрегату з передачею крутного моменту до рушіїв сільськогосподарської машини / Є.І. Калінін // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – 2015. – Вип. 156. – С. 327-334.
4. Калінін Є. І. Моделювання коливань кузову транспортного засобу на гусеничному ході з врахуванням гнучкості кузову / Є. І. Калінін, В. М. Романченко, Г. П. Юр'єва // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2016. – № 6. – С. 232-238.
5. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / Ротенберг Р. В. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.

## **МОДЕРНИЗАЦІЯ ГАЗОВИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ГД100**

Литвин С.Н.

ООО «Мотортех», г.Первомайск Николаевской обл. (Украина)

Завод имени Малышева, длительное время выпускавший в больших количествах тепловозные двигатели различных модификаций на основе двигателя Д100, выпускал и значительное количество двигателей для нужд стационарной энергетики, в том числе и газовых. Данные газовые двигатели, выпущенные в 60-х ... 80-х годах прошлого века, несмотря на уже внушительный возраст и сегодня, как правило, находятся в хорошем техническом состоянии или могут быть восстановлены до нормального состояния путем ремонта.

Газовая модификация двигатель-генератора завода имени Малышева получила заводское обозначение 11ГД100 и имеет мощность 1000 кВт при 750 об/мин. Диаметр цилиндра - 207 мм и ход поршня – 254 мм, как у базового двигателя. Серийное производство данной модификации начато в 1964 году. Опыт эксплуатации двигатель-генераторов 11ГД100 на магистральных газопроводах показал, что в сравнении со стационарными дизель-генераторами показал, что они имеют значительные преимущества по стоимости вырабатываемой электроэнергии, расходу масла, сроку службы (ресурсу), надежности, износостойкости и другим показателям.

Основными конструктивными особенностями газового двигателя, как и базового дизеля Д100 являются: стальной сварной блок «этажерочного» типа, литые чугунные коленчатые валы, литые чугунные гильзы цилиндров с напрессованными на них в центральной части стальными рубашками, движущиеся навстречу друг другу чугунные поршни и др. Основное отличие от дизельного варианта было в системах топливоподачи и поджигания рабочей смеси: это поджигание газозвушной смеси в форкамере искрой от свечей зажигания, установка двух свечей на цилиндр и ряд других особенностей систем зажигания и топливоподачи. Необходимость установки двух свечей зажигания на один цилиндр была вызвана их низкой надежностью и недостаточным ресурсом работы. Низкая энергия разряда на электродах свечи зажигания, также, не способствовала надежности поджигания газозвушной смеси.

Учитывая год создания и период выпуска двигатель-генераторов 11ГД100 необходимо отметить не только физический износ многих элементов систем зажигания и топливоподачи, но и то, что данные системы морально очень устарели и не соответствуют современным требованиям по надежности, ресурсным показателям, функциональным возможностям, а также и массогабаритным показателям. Широкое применение микропроцессорной техники и цифровых технологий внесли ряд корректив в конструкцию данных систем.

Экономические показатели 11ГД100, как и любого газового двигателя, существенно зависели и зависят от соотношения цен на энергоресурсы и стоимости расходных запасных частей: дизельное топливо, природный или другой топливный газ, электрическую и тепловую энергию, свечи зажигания, высоковольтные части и т.д.

В соответствии с выше изложенными фактами в настоящее время двигатель-генераторы 11ГД100, как правило, требуют, независимо от их технического состояния, проведения модернизации систем топливоподачи и зажигания.

Остановимся на вопросе модернизации системы зажигания и задачами, связанными с этим:

1. Управление системой зажигания должно быть с применением микропроцессорной техники и цифровых технологий.

2. Для повышения надежности поджигания газозвушной смеси энергия разряда на свечах зажигания должна быть не менее 150...200 мили Джоулей и регулироваться в зависимости от вида топливного газа.

3. Использование современных свечей зажигания высокой надежности позволяет ограничиться одной свечой зажигания на цилиндр.

4. Форкамера дорабатывается с учетом установки только одной свечи зажигания.

5. Используются удлинители свечей исключаяющие «пробой на корпус» при повышенных напряжениях.

6. Дорабатывается маховик двигателя и кронштейны датчиков системы зажигания с целью обеспечения получения необходимых сигналов о положении коленчатого вала и скорости его вращения.

7. Одновременно с модернизацией системы зажигания рекомендуется выполнить замену гидромеханического регулятора скорости на электронный.

Проведенные испытания с одной и двумя свечами зажигания показали существенное повышение стабильности рабочего процесса при использовании со старой системой зажигания двух свечей зажигания типа СД48, СД64 или аналогичных и полное отсутствие разницы при использовании цифровых систем зажигания и современных свечей зажигания с высокой энергией разряда. При установке, при модернизации, вместо одной из свечей специальной катализаторной вставки качество рабочего процесса повышалось. Установить вместо какой из свечей, предпочтительнее устанавливать катализаторную вставку не представилось возможным, также не отмечено влияния, от переустановки свечей в форкамере, на угол опережения зажигания. Отмечена зависимость угла опережения зажигания от вида применяемых свечей. Определена нецелесообразность использования дорогих форкамерных свечей типа МРС1800, МРС1900 или аналогичных.

Выводы.

Для модернизации двигатель-генераторов 1ГД100 необходимо:

1. Выполнить замену штатной системы зажигания на современную с энергией разряда на свечах зажигания не менее 150 ... 200 мили Джоулей и с регулированием энергии разряда и угла опережения зажигания в зависимости от режима работы двигателя и вида топливного газа.

2. Доработать форкамеру с учетом установки взамен одной из свечей зажигания специальной катализаторной вставки. Использовать одну свечу зажигания на цилиндр

3. Дорабатывается маховик двигателя и кронштейны датчиков системы зажигания с целью обеспечения получения необходимых сигналов о положении коленчатого вала и скорости его вращения.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ПАРЫ «КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ-ВКЛАДЫШ»

Марченко А.П., Кравченко С.А., Ткачук Н.А. Линьков О.Ю.  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (Украина)

Создание новых технологий упрочнения, которые не оказывают вредного воздействия на окружающую среду, повышают износостойкость трущихся поверхностей, значительно увеличивая долговечность узлов трения. Это позволит увеличить ресурс двигателей внутреннего сгорания и существенно повысить их конкурентоспособность на мировом рынке.

Для достижения этой цели предложена пара трения, изготовленная с комбинированным использованием технологий дискретного упрочнения и микродугового оксидирования, а также разработан метод расчетно-экспериментального обоснования параметров зон гальвано-плазменного преобразования алюминиевой поверхности сталеалюминиевых вкладышей и зон дискретного упрочнения высоконагруженных поверхностей коренных и шатунных шеек стальных и чугунных коленчатых валов на основе результатов лабораторных исследований микроструктуры металла, микротвердости, жесткости, триботехнических параметров и усталостной прочности.

Взаимодействие двух упрочнённых поверхностей, одна из которых упрочнена дискретно-континуально, а другая - континуально при их взаимном контакте возникают совсем другие процессы приработки и износа, которые требуют дополнительного анализа зависимостей критериальных величин от варьируемых конструкторско-технологических процессов упрочнения. Кроме влияния на твёрдость приповерхностного слоя, при дискретном упрочнении изменяются также и трибомеханические характеристики взаимодействия поверхностей в зоне контакта. Это вызвано тем, что на поверхности контакта в разных зонах возникает разное контактное давление.

На рис. 1 представлена схема взаимодействия рабочих поверхностей шейки коленчатого вала и сталеалюминиевого вкладыша.

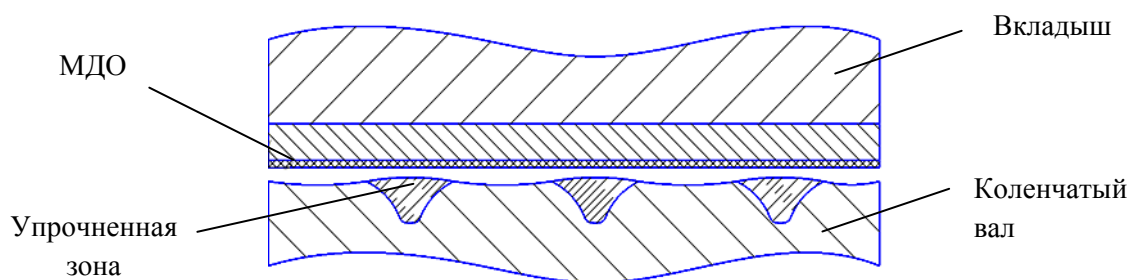


Рисунок 1. Схема взаимодействия рабочих поверхностей шейки коленчатого вала и сталеалюминиевого вкладыша

В результате исследований была получена количественная оценка изменения величины контактного давления вдоль диаметра упрочнённой зоны и кривые, которые описывают изменение коэффициента трения в зависимости от изменения контактного давления, представленные на рис. 2 и рис. 3. [1]



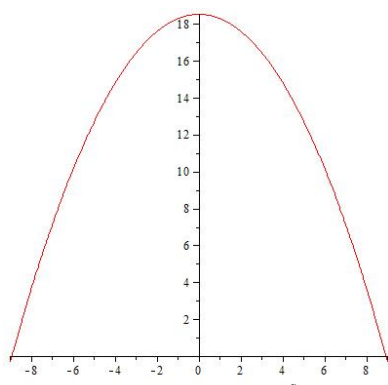


Рисунок 2. Распределение контактного давления (МПа) вдоль диаметра точки контакта (мм)

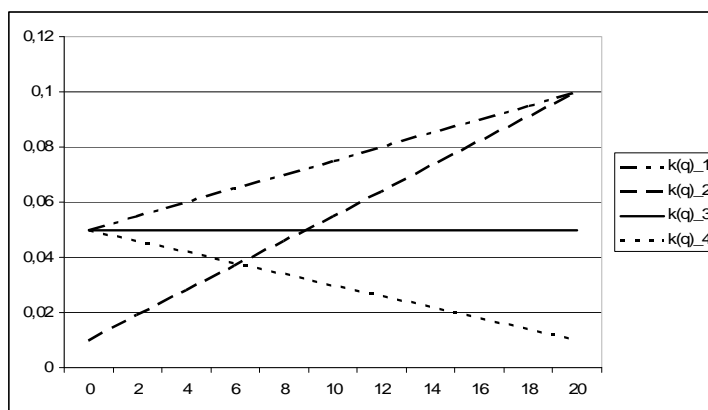


Рисунок 3. Пробные кривые, которые описывают изменение коэффициента трения в зависимости от действующего контактного давления, МПа

Из анализа полученных в ходе исследования результатов видно, что в зонах дискретного упрочнения наблюдается больший уровень контактного давления, чем в области контакта с основным металлом детали. Это связано с тем, что в паре «корундовый слой - упрочнённая зона» коэффициент трения ниже, чем в паре «корундовый слой - основной металл детали». При их взаимном контакте возникает два эффекта. Первый связан с уменьшением суммарной величины трения в сопряжении двух поверхностей (приблизительно в 1,2-1,8 раза). Второй определяет снижение износа всей поверхности детали, что объясняется более высокой маслоёмкостью упрочнённой поверхности и низкой интенсивностью износа упрочнённых зон из высоколегированной стали относительно основного металла детали.

Эти исследования проводились в металлографической лаборатории ДП «Завод им. В.А. Малышева» с использованием машин трения 2070 СМТ-1 по схеме представленной на рис. 4.

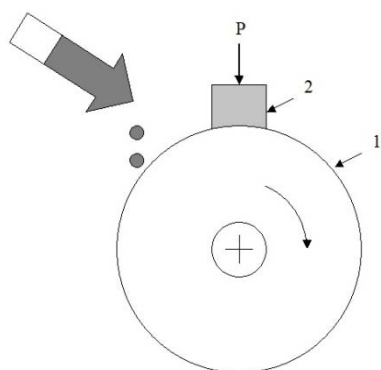


Рисунок 4. Схема испытаний на машинетрения 2070 СМТ-1:

- 1 – движущийся образец "диск",
- 2 – неподвижный образец "колодка"

В первом случае испытывалась пара – «дискретно упрочнённый диск - колодка с рабочим антифрикционным сплавом АМО1-20», а во втором – пара «дискретно упрочнённый диск - колодка с рабочим антифрикционным сплавом АМО1-20, преобразованным микродуговым способом на глубину 20-50 мкм.

Результаты испытаний по определению величины и скорости износа рабочих поверхностей приведены в таблице 1, иллюстрации на рис. 5 и рис. 6.

Таблица 1. Результаты испытаний по определению весового износа в паре трения «диск - колодка»

Рабочая поверхность колодки	Износ «колодки», см $\times 10^{-4}$	Износ «диска», см $\times 10^{-4}$
АМО1-20	7,5 (2,5 мкм/час)	0,07 (0,023 мкм/час)
АМО1-20 + МДО	3,4 (1,1 мкм/час)	0,20 (0,07 мкм/час)

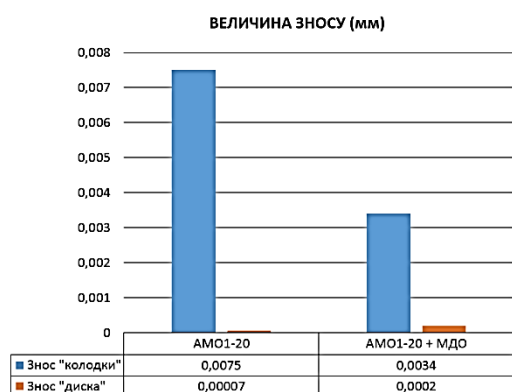


Рисунок 5. Величина износа колодки и диска (мм)

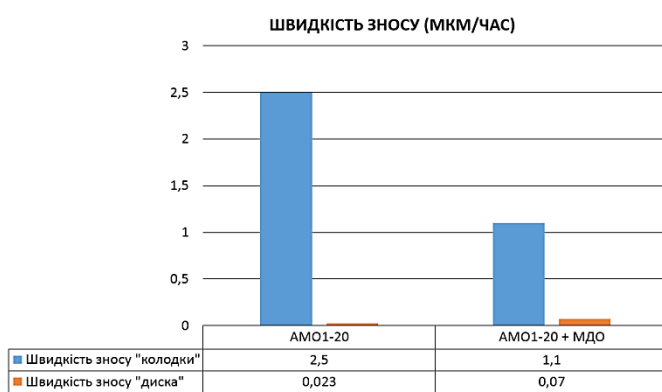


Рисунок 6. Скорость износа колодки и диска (мкм/час)

Как видно из анализа результатов исследования, в паре трения «диск-колодка» изменился характер процессов приработки в результате существенного изменения свойств приповерхностных рабочих слоёв упрочнённых поверхностей. Как известно, в традиционной паре упрочнённая шейка коленчатого вала - сталеалюминиевый вкладыш, их приработка осуществляется путём перенесения мягкой структуры антифрикционного слоя АМО1-20 (олова) на контактную поверхность шейки коленчатого вала, что не исправляет его макрогеометрию в процессе приработки.

При получении на поверхности сталеалюминиевого вкладыша твёрдого корундового слоя, преобразованного при микродуговом окислении, в процессе приработки пары шейка коленчатого вала - сталеалюминиевый вкладыш, в первую очередь исправляется макрогеометрия рабочей поверхности шейки коленчатого вала. При этом также происходит полировка и процессы микроприработки с образованием аморфизованных приповерхностных рабочих слоёв, которые обеспечивают высокие антифрикционные свойства рабочей поверхности. Наличие тонкого оксидно-корундового слоя на антифрикционной поверхности сталеалюминиевого вкладыша в процессе приработки за счёт повышенной маслоёмкости и низкой теплопроводности корундового слоя даст возможность уменьшить относительно большие зазоры на масло в узле трения между шейкой коленчатого вала и сталеалюминиевым вкладышем, принятые при монтаже [2, 3]. Уменьшение величины гарантированного зазора даст возможности увеличить давление в масляной системе двигателя, снизить потери на трение, снизить температуру головки поршня, шум при работе двигателя, что способствует увеличению ресурса пары коленчатый вал - вкладыш до капитального ремонта.

#### Выводы

В ходе сравнения энергетических затрат на упрочнение шеек коленчатого вала дизель-генератора 1Д80Б установлено, что технология дискретного упрочнения более энергоэффективна по сравнению с традиционными технологиями упрочнения. Снижение затрат электроэнергии при изготовлении коленчатого вала по сравнению с упрочнением ТВЧ составляет около 50%, а на этапе эксплуатации - около 10%.

Выполнен анализ процессов в зоне контактного взаимодействия двух упрочнённых поверхностей при комбинированном применении предложенных методов дискретно-континуального и континуального упрочнения.

Высказано предположение, что при приработке упрочнённых поверхностей в предложенном узле трения в зоне контакта образуется аморфный слой, который способствует снижению коэффициента трения износа, что в конечном итоге повышает ресурс работы двигателя внутреннего сгорания.

При проведении дальнейших исследований необходимо выполнять микродуговое окисление при больших плотностях тока, а температура в канале пробоя должна достигать около 2500-3000 °К. При таком режиме образуется  $\alpha$ - $Al_2O_3$  структура с повышенной твёрдостью, износостойкостью и теплопроводностью [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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. – Х. : «Щедра садиба плюс», 2015. – 259 с. Підп. до друку 10.03.2015 р. Ум.др.арк. 23,33.
2. Мирошников Л.В., Болдин А.П., Пал В.И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. / Л.В. Мирошников, А.П. Болдин, В.И. Пал – М.: Транспорт, 1977. – 264 с.
3. Сосновский Л.А. Анализ некоторых закономерностей износостойкого повреждения / Л.А. Сосновский // Проблемы прочности. – 1995. – № 11. – с. 43– 46.
4. Шпаковский В.В. Науково – технічні основи поліпшення показників ДВЗ застосуванням поршнів з корундовим шаром. / дис...доктора техн. наук: 05.05.03 / Володимир Васильович Шпаковський. Харків: НТУ «ХПІ». 2009. – 425 с.

## **УЛЬТРАЗВУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ СИСТЕМИ ПЕНТАПЛАСТ – ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ**

Рокицький М.О., Шут М.І., Рокицька Г.В., Шут А.М.

Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова (Україна)

Розвиток науки і техніки, зокрема, транспорту, потребує неперервного вдосконалення використовуваного обладнання. У зв'язку з цим виникає потреба у вивченні і використанні нових конструкційних матеріалів із абсолютно новими властивостями. Яскравими представниками таких матеріалів, які інтенсивно досліджуються та набули широкого поширення, є композиційні матеріали на основі вуглецевих нанотрубок, які характеризуються високими показниками міцності на надійності.

При всьому комплексі позитивних характеристик, притаманних вуглецевим нанотрубкам, собівартість виробів з них досить висока. У зв'язку із цим актуальною є розробка нових композиційних матеріалів, які б характеризувались властивостями порівняними з властивостями чистих нанотрубок при відносно низькій собівартості. Такими матеріалами є полімерні композиційні матеріали, в яких у якості дисперсного наповнювача використовуються вуглецеві нанотрубки, а в якості полімерної матриці хімічно стійкі полімери.

В якості полімерної матриці для вивчення та створення таких систем, пропонується використання полімерів, які здатні до кристалізації і мають у своєму складі полярні групи. Яскравим представником таких полімерів є пентапласт.

У даному дослідженні було використано порошкоподібний пентапласт промислового виробництва марки БП. Вихідний порошок диспергували механічним способом із наступним фракціонуванням з використанням лабораторних сит марки УКС-СЛ-200 з діаметром комірок 50 та 40 мкм. Перед пресуванням порошок пентапласту було витримано протягом 24 год при температурі 323 К для видалення легких низькомолекулярних домішок.

В якості наповнювача було використано кислотно очищені від мінеральних домішок багат шарові вуглецеві нанотрубки (ВНТ) із зовнішнім діаметром  $10 \div 40$  нм, питомою поверхнею  $200 \div 400$  м<sup>2</sup>/г та питомим електричним опором  $0,05 \div 0,1$  Ом·см.

Зразки системи пентапласт - ВНТ готували у наступному термо-баро-часовому (*T-p-t*) режимі: нагрівання зі швидкістю 3,5 К/хв, витримка при 483 К протягом 15 хв під тиском 20 МПа, охолодження з розплаву з швидкістю 0,5 К/хв, що відповідає найкращим технологічним умовам переробки композиту з урахуванням властивостей як наповнювача, так і полімерної матриці.

Дослідження фізико-механічних властивостей ПКМ проводили імпульсним фазовим методом при кімнатній температурі. Для реалізації імпульсного фазового методу використовували вимірювач швидкості та поглинання ультразвуку "УС-12-ИМ", ультразвукові випромінювач та приймач із буферними стержнями. За показами значень швидкості поширення та коефіцієнту поглинання ультразвуку обчислювали хвильовий опір ( $\chi$ ), модуль пружності ( $E'$ ) та тангенс кута механічних втрат ( $tg\delta$ ).

Аналіз досліджених концентраційних залежностей характеристик на частотах 5, 7,5 та 10 МГц свідчить про сильний характер взаємодії компонентів системи пентапласт - вуглецеві нанотрубки, що проявляється у зміні властивостей та структури складових компонентів.

Характерно, що коефіцієнт поглинання композитів перевищує показники їх складових компонентів, що очевидно пов'язано з розсіюванням ультразвукових хвиль на структурних неоднорідностях системи.

## **АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА В АВТОМОБІЛЬНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Рудь М.П., Солтус А.П.

Черкаський державний технологічний університет (Україна)

### **Вступ**

Робота присвячена дослідженню задачі підвищення ефективності автомобільної індустрії шляхом комплексного впровадження технологій адитивного виробництва (3D-друку) в життєвий цикл автомобіля.

На сьогодні можна виділити три етапи впровадження технологій 3D-друку. На першому етапі від своєї появи на ринку у 80-х роках 20 століття технології 3D-друку або адитивні технології мали переважне застосування для виготовлення масштабних моделей або прототипів виробів, функціональних моделей та різноманітних демонстраційних об'єктів (звідси назва – технології швидкого прототипування). На другому етапі разом з вдосконаленням обладнання та матеріалів адитивні технології починають використовуватись для створення готових виробів. Якщо у 2003 році лише 3,9% виробів виготовлених технологіями 3D-друку мали функціональне призначення, то у 2014 році таких виробів стало 42,6% [1]. На третьому етапі машини для адитивного виробництва (3D-принтери) стають доступними для малих підприємств та індивідуальних споживачів. Даний етап почався в 10-ті роки в наслідок поступового завершення дії ключових патентів 3D-друку та суттєвого зниження цін на 3D-принтери, які працюють методом наплавлення.

### **Актуальність досліджень**

Аналіз можливостей існуючих та перспективних технологій адитивного виробництва та номенклатури доступних та перспективних матеріалів дозволяє зробити висновок про доцільність використання адитивних технологій на всіх етапах життєвого циклу автомобіля: науково-дослідні роботи, конструювання, виробництво, експлуатація, ремонт та утилізація автомобіля.

В автомобільній промисловості на етапах науково-дослідних робіт та конструювання технології адитивного виробництва вже тривалий час знаходять застосування при виготовленні окремих вузлів та процесів та створенні моделей та прототипів автомобілів. На сьогодні автовиробниками адитивні технології використовуються як для виготовлення масштабних моделей перспективних автомобілів так і повнорозмірних концепт-карів.

На етапі виробництва різні адитивні технології почали застосовуватись при виробництві дрібносерійних автомобілів, або таких, які виготовляються в єдиному екземплярі. Для крупносерійного виробництва адитивні технології дозволяють значно підвищити кастомізацію збирання нових автомобілів. Адитивні технології мають значну перспективу для виробництва гібридних та електромобілів, оскільки конструктори мають можливість враховувати особливості таких технологій ще на етапі конструювання автомобіля.

Розширення застосування технологій адитивного виробництва в автомобільній промисловості можливе за рахунок вдосконалення існуючих технологій в напрямку підвищення якості виробів та зменшення їх вартості, розширення номенклатури матеріалів для 3D-друку. Значний потенціал технологій адитивного виробництва лежить у конструюванні концептів нових автомобілів з заздалегідь закладеною можливістю виготовлення більшості деталей методом 3D-друку. На підтвердження цього відмічена тенденція, коли провідні виробники CAD/CAM/CAE програмного забезпечення (PTC Creo parametric, Siemens NX, Dassault Systèmes CATIA, Autodesk Fusion 360) включають в нові версії своїх програм модулі проектування процесів адитивного виробництва [2-4].

### **Постановка задачі**

Для впровадження технологій адитивного виробництва на окремих етапах життєвого циклу автомобіля (проектування, виробництва, експлуатації, ремонту) пропонується розробка класифікації деталей автомобілів за критеріями придатності їх виготовлення адитивними методами (або з залученням адитивних методів). Призначення класифікації є порівняння переваг та недоліків адитивних технологій порівняно з традиційними методами виробництва конкретної деталі. Дана класифікація дозволить систематизувати адитивні технології в автомобільному виробництві та спростить процес вибору технології виробництва деталей автомобілів. Класифікація передбачає гнучкість необхідну в умовах швидкого розвитку адитивних технологій та матеріалів для них. Це дозволить постійно коригувати класифікаційну модель з метою підтримки її актуальності. Враховуючи зростаючий рівень конкуренції в автомобільній промисловості адитивні технології дозволяють зменшити вартість та час виведення на ринок нового автомобіля та зменшити собівартість виробництва автомобілів, що вже виробляються.

### **Результати досліджень**

Розроблена класифікація передбачає розділення критеріїв на три групи, а саме

1. Критерії технологічності;
2. Критерії експлуатаційних показників;
3. Критерії конструктивних показників.

Критерії технологічності включають в себе наступні складові пов'язані з технологічними особливостями 3D-друку:

- План виробництва (шт.) дрібносерійне, серійне, крупносерійне масове. Доцільність використання 3D-друку зменшується чим більше план виробництва, що пов'язано з порівняно невеликою продуктивністю технологій 3d друку.

- Коефіцієнт використання матеріалу. Традиційні технології, такі як різання або литво можуть передбачати значні відходи матеріалу.

- Доступність технологічного обладнання адитивного виробництва для підприємства.

Критерії експлуатаційних показників визначаються насамперед властивостями матеріалу, який використовується. Слід враховувати особливості матеріалів для 3D-друку, які часто включають в себе модифікатори, які змінюють властивості готового виробу.

Експлуатаційні показники включають:

- Вимоги до механічних характеристик деталі;
- Вимоги до температури експлуатації;
- Вимоги до стійкості в агресивних середовищах та під дією випромінювання.

Критерії конструктивних показників визначаються наступними факторами:

- Складність форми деталі. Враховує геометричну форму деталі. Наявність плоских чи кривих поверхонь, внутрішніх порожнин та каналів, тонкостінних елементів;

- Вимоги до точності виготовлення елементів деталі;

- Наявність розбірних та нерозбірних, рухомих та нерухомих з'єднань.

При визначенні придатності виготовлення деталі адитивними методами слід враховувати, що технології адитивного виробництва постійно вдосконалюються та з'являються нові перспективні розробки. Можна виділити 4 основні групи технологій, які на теперішній час можуть бути використані в автомобільній індустрії:

1. Методи наплавлення матеріалу (FFF - fused filament fabrication, FDM - Fused deposition modeling). Приклади використання: деталі кузова автомобіля, деталі допоміжних механізмів, зубчасті колеса з пластику та композитних матеріалів (вуглепластик)

2. Спінання порошкових матеріалів лазерним або електронним променем (SLS - selective laser sintering, DMLS - direct metal laser sintering, EBM - electron-beam melting). Застосовуються наприклад для деталей повітроводів системи вентиляції, термостійких

деталі підкапотного простору з пластику та композитних матеріалів, деталей підвіски, деталей двигуна, зубчастих коліс з металу (неіржавіючої сталі, титанових сплавів).

3. Розпилення матеріалу з рідкої фази (MJM - Multi Jet Modeling, 3DP - Three Dimensional Printing and Gluing). Застосовуються для виготовлення майстер-моделей для лиття в силікон та випалюваних майстер-моделей.

4. Стереолітографія (SLA и STL Stereolithography) затвердіння матеріалу з рідкої фази під дією світла. Застосовується для виготовлення майстер-моделей для лиття.

Також перспективними є гібридні технології, які поєднують традиційні (субтрактивні та формативні) та адитивні процеси. Вони дозволяють поєднати дешевизну та швидкість виготовлення, якість поверхні традиційних технологій з якістю та складністю виробів отриманих адитивними методами

Враховуючи значну конкуренцію в автомобільній індустрії рішення про виправданість застосування технологій адитивного виробництва при виготовленні виробу із застосуванням запропонованої класифікації має прийматись виходячи з економічного показника. Тобто при порівнянні за запропонованими критеріями виготовлення виробу традиційним та адитивним способом перевага надається більш економічному варіанту.

Висновки:

З метою стимулювання впровадження технологій адитивного виробництва в автомобільну галузь на різних етапах життєвого циклу автомобіля та максимального використання переваг цих технологій розроблено систему критеріїв класифікації деталей автомобілів з точки зору їх виготовлення методам адитивного виробництва.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Phil Reeves The Current Status and Impact of 3D Printing Within the Industrial Sector: An Analysis of Six Case Studies / Phil Reeves, Dinusha Mendis // Published by The Intellectual Property Office March 2015. 86 p.

2. Additive Manufacturing. Creo and 3D Printing: What you see is what you print [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал] – Режим доступа: <https://www.ptc.com/en/products/cad/3d-design/design-for-additive-manufacturing> – Назва з екрана.

3. Produce quality parts with industrial additive manufacturing software [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал] – Режим доступа: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/additive-manufacturing.html> – Назва з екрана.

4. 3D Printing Spotlight On: Rani Richardson, Director of CATIA Technical Sales, Dassault Systèmes [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал] – Режим доступа: <https://3dprint.com/207800/rani-richardson-catia/> – Назва з екрана.

5. Fusion 360 for 3D Printing FDM Technology Workflow [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал] – Режим доступа <http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/classes/year-2017/fusion-360/cp122990#chapter=0> – Назва з екрана.

## **КОМБИНИРОВАННЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

<sup>1</sup>Савчук В.П., <sup>1</sup>Белоусов Е.В., <sup>2</sup>Кухтов В.Г., <sup>1</sup>Симагин А.Ф.

<sup>1</sup>Херсонская государственная морская академия (Украина)

<sup>2</sup>Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка (Украина)

**Введение.** Современные разработки силовых элементов судовых энергетических установок требуют применения компактных и надёжных подшипниковых узлов. Таким требованиям наиболее соответствуют подшипники скольжения, имеющие ряд преимуществ перед опорами качения. Обеспечение оптимальных режимов работы подшипников скольжения требует изучения влияния конструктивных особенностей узлов, свойств смазочного материала, условий эксплуатации на условия их нагружения. В мировой практике наибольший интерес представляет исследования указанных факторов на распределение давлений и толщины смазочной плёнки в подшипниках скольжения.

**Анализ литературных источников и постановка задачи.** Впервые давление в смазочном слое подшипника скольжения было измерено английским механиком Б. Тауэром (1883г.) при помощи манометра. В дальнейшем этот метод с различными усовершенствованиями, заключающимися в сверлении отверстий как по окружности втулки, так и по длине, использовании одного манометра с распределителем или нескольких, установке различных датчиков во втулке применялся Лаше (1893 г.), Бредфордом и Грюндером (1930 г.), Нюккером (1932 г.), Тихвинским (1936 г.), Румпфом (1938 г.), Буске (1951 г.) и рядом других исследователей. Способ позволил определить наличие зон давления и порядок величин давлений как по окружности, так и по длине подшипника. Качественно и количественно новые результаты были получены в работах Ф. Снеговского [1], который разработал и широко внедрил в исследовательскую практику способ замера гидродинамических давлений, развивающихся в трущихся поверхностях. Этот способ заключается в заделывании датчика любой конструкции заподлицо с движущейся опорой скольжения и соединении его с через токосъёмник с регистрирующей аппаратурой. Способ позволяет непрерывно измерять и записывать изменение гидродинамических давлений по окружности подшипника, а также по длине и любой его образующей. В качестве датчиков использовались мездоза с проволочными датчиками, а также пустотелый цилиндр с наклеенными снаружи тензодатчиками, внутренняя полость которого заполнена смазкой и соединяется через трубку малого диаметра со смазочным слоем подшипника скольжения. В настоящее время все исследователи применяют этот способ, применяя те или иные конструкции датчиков. В работе [2] успешно была решена проблема создания датчика с высокой разрешающей способностью (по углу) и чувствительностью как к малым (0,05...0,1 МПа) так и к большим (20...30 МПа) величинам давлений. В основу работы такого датчика положено явление изменения магнитной проницаемости ферромагнитных тел в зависимости от возникающих в них механических напряжений. Такая конструкция отличается отсутствием промежуточного органа, что позволяет измерять давление, непосредственно развиваемое в смазочном слое, а не деформацию промежуточных деталей. Так же конструкция датчика позволяет совмещать в себе датчик давления и зазора, при условии его изоляции.

Для исследования распределения давлений по периметру подшипника скольжения (условно обратная пара трения), мы использовали способ измерения, предложенный Н. Буловским [3]. Этот способ так же позволяет исключить погрешности измерения в результате деформации интегрирующего органа (мембраны). Суть его заключается в «подпорке» мембраны чувствительным элементом. Данные результатов измерения такими датчиками приведены на рис. 1.



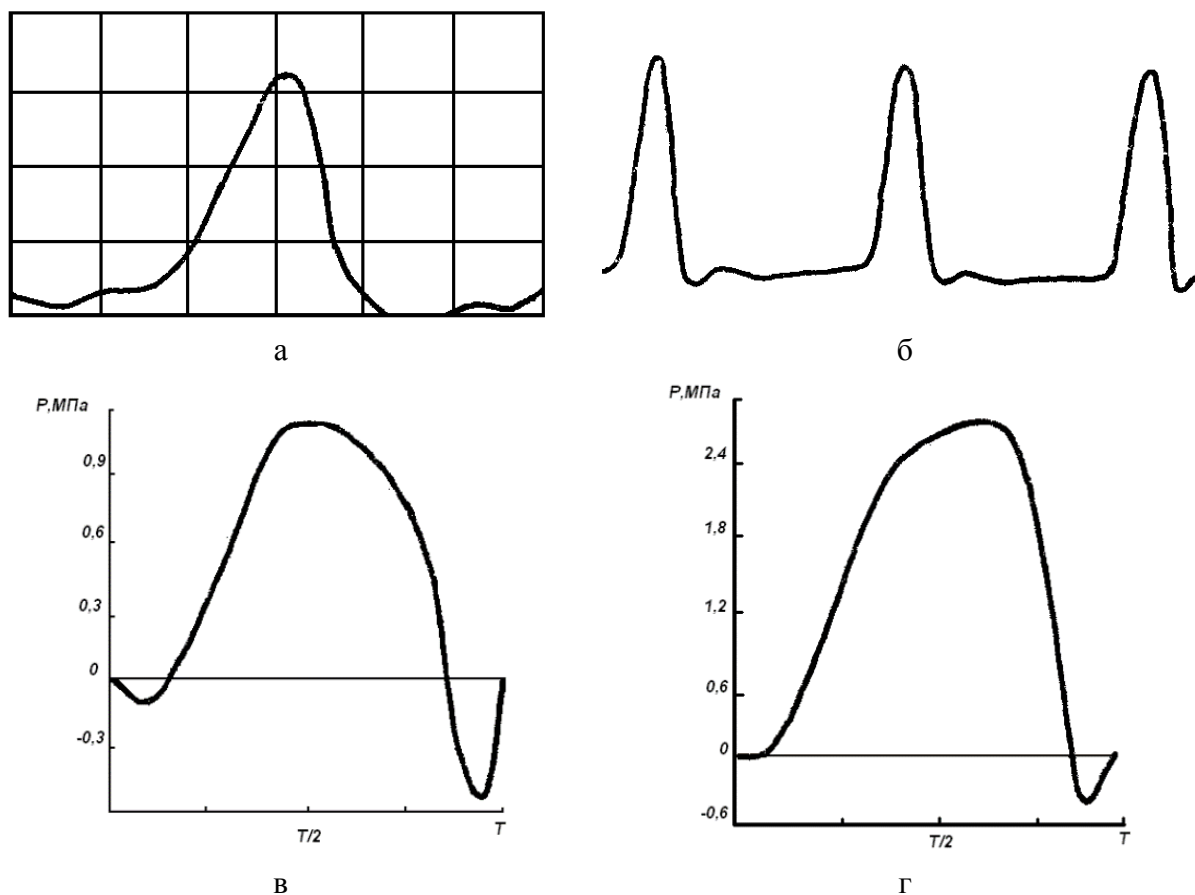


Рисунок 1. Распределение гидродинамических давлений по периметру подшипников жидкостного трения:

а – полученное Н. Буловским с помощью мембранного датчика с пьезоэлектрическим чувствительным элементом; б – полученное К. Спиесом с помощью пьезоэлектрического датчика; в и г – полученное Д. Дайером с помощью индуктивного датчика высокой жёсткости.

Как видно из полученных осциллограмм, датчики такой конструкции способны реагировать не только на сжимающие напряжения, но и на растягивающие, которые возникают в подшипниках скольжения. Учитывая то, что датчик должен быть быстродействующим, не вносить погрешности в смазочный слой и по возможности быть устойчивым к изменению температурного режима работы, нами принято решение использовать в качестве чувствительного элемента пьезоэлемент. Правильность принятого решения подтверждается результатами измерения гидродинамических давлений в подшипниках скольжения с использованием кварцевого пьезоэлемента, заделанного в подшипник с преднатягом [4]. Типовая осциллограмма распределения гидродинамических давлений представлена на рис. 2. На представленной осциллограмме видны зоны растягивающих напряжений в материале подшипника.

**Разработка конструкции комбинированного датчика.** Для осуществления возможности измерения датчиком динамических давлений и заделки электрода ёмкостного датчика был выбран вариант использования симметричного биморфного пьезоэлемента. В качестве пьезоэлементов используются кольцевые элементы (рис. 3), изготовленные из цирконата-титаната свинца PZT-8 с размерами 10x5x2 мм. Свойства материала PZT-8 приведены в [5].

Преобразователи такого типа изготавливают из пластин одинакового размера и, что очень важно, одинаковой толщины. Это обеспечивает максимальную чувствительность. При одинаковых размерах пьезоэлементов чувствительность преобразователя по параллельной схеме (рис. 4) и его собственное сопротивление в

четыре раза меньше соответствующих характеристик преобразователя по последовательной схеме [6].

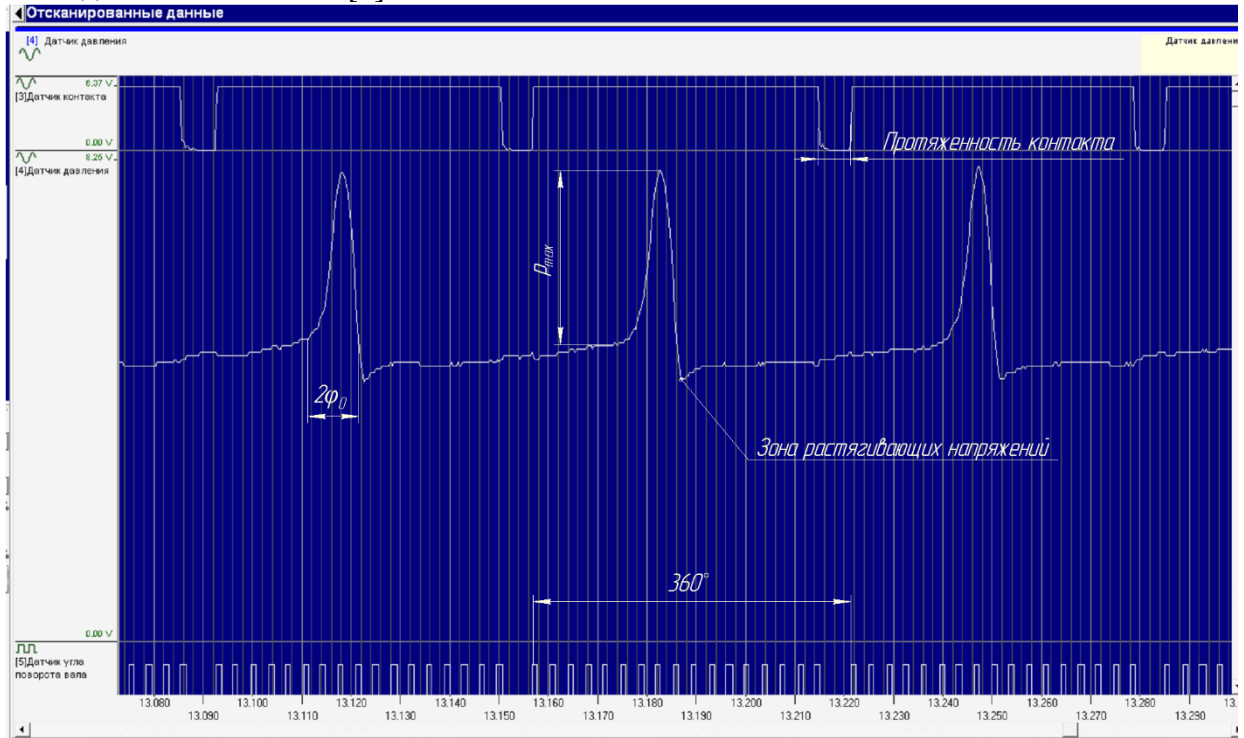


Рисунок 2. Снимок экрана с результатами обработки сигнала датчика гидродинамических давлений



Рисунок 3. Пьезоэлектрические элементы кольцевого типа

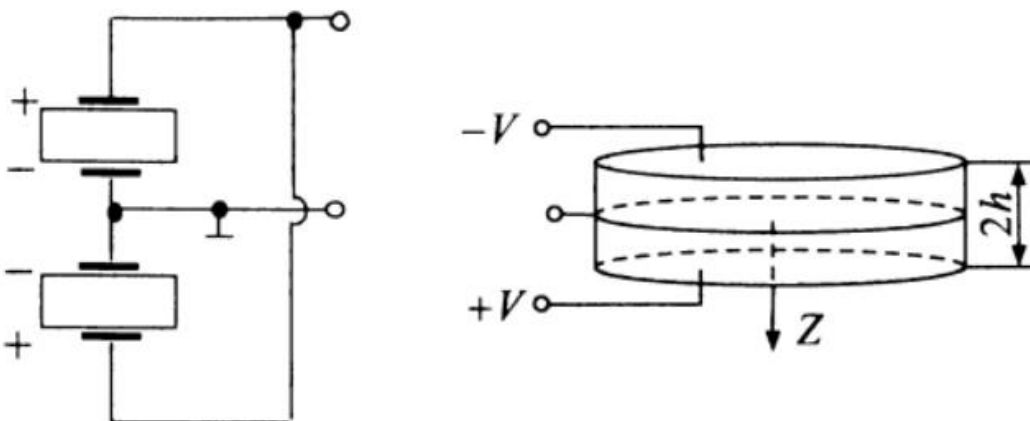


Рисунок 4. Подключение пьезоэлементов по параллельной схеме

Поскольку целью проектирования комбинированного датчика есть размещения в одном корпусе комбинированного датчика давления и толщины смазочной плёнки, то в качестве датчика толщины принято использовать ёмкостной способ измерения. Аналогичный способ измерения указанных параметров был использован в работе [7], который и был выбран в качестве прототипа. Недостатком предложенной конструкции есть отсутствие подпорки чувствительного элемента, изготовленного из никелевого стержня. Поэтому качественное измерение растягивающих напряжений или регистрация участков смазочного слоя с пониженным гидродинамическим давлением не является возможным.

В комбинированном датчике (рис. 5) электрод 2 выполняет двойную функцию: измерительного электрода ёмкостного датчика и силового элемента, передающего усилия на пьезоэлементы 3.

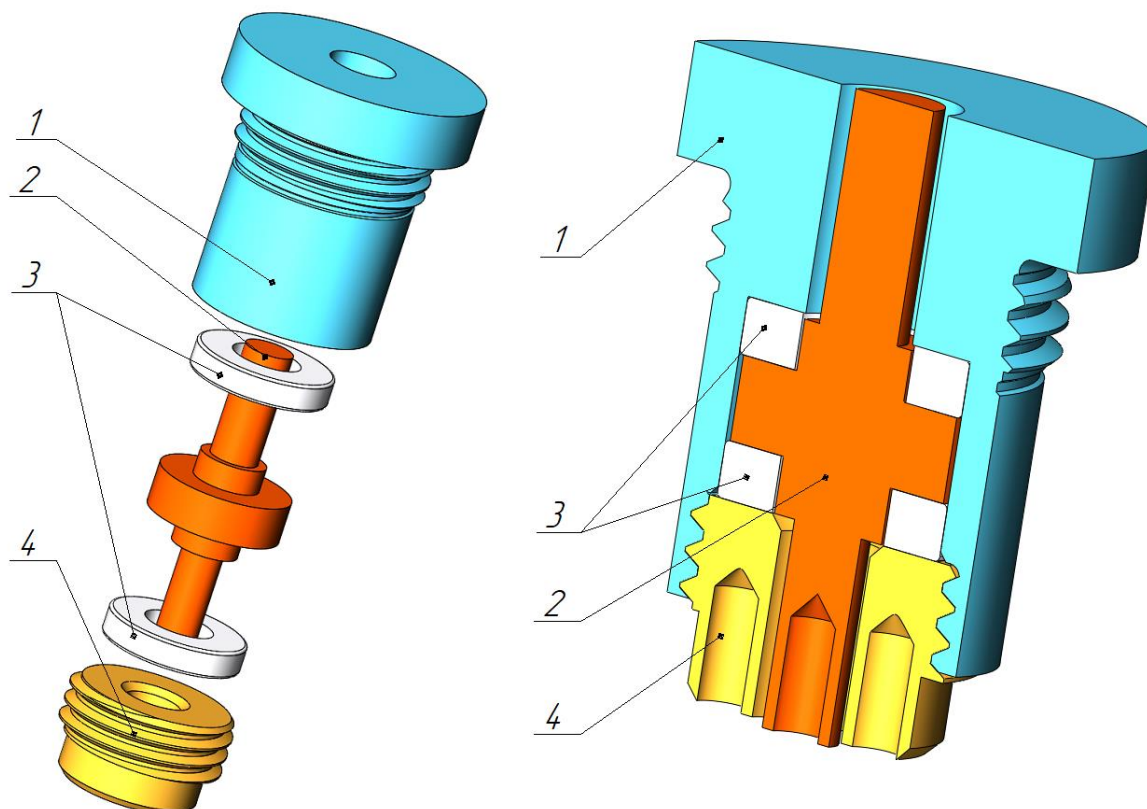


Рисунок 5. Конструкция комбинированного датчика измерения гидродинамического давления и толщины смазочной плёнки подшипников жидкостного трения:

1 – корпус; 2 – электрод; 3 – пьезоэлементы кольцевого типа; 4 – гайка поджимная

Регистрируемая ёмкость датчика определяется по известному выражению:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S}{h},$$

где  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость моторных масел,  $\epsilon \approx 2,35$ ;  
 $\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  
 $S$  – площадь рабочей поверхности датчика. При диаметре датчика 3,5 мм, площадь торцевой поверхности электрода составляет:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,1415 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3}}{4} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$h$  – измеряемый зазор. Предполагается  $h = 3 \dots 500$  мкм.

Тогда,

$$C_3 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{h} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2,35 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-6}} = 18,7 \cdot 10^{-9} \text{ Ф.}$$
$$C_{500} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{h} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2,35 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3}}{500 \cdot 10^{-6}} = 112,3 \cdot 10^{-12} \text{ Ф.}$$

Таким образом, предполагаемый диапазон измерения составит от 120 пФ до 18 нФ. В расчётах не учтена паразитная ёмкость самого датчика (устанавливается с зазором в вал) и соединяемых проводов.

Способ установки пьезоэлементов обеспечивает надёжную изоляцию электрода от стенок корпуса 1 и поджимной гайки 4, которая обеспечивает предварительное сжатие чувствительных элементов. Гребень электрода зажат между пьезоэлементами, которые сориентированы таким образом, что их положительные электроды обращены друг к другу. Отрицательные электроды пьезоэлемента, следовательно, имеют контакт со стенками корпуса 1 и гайки 4. Во время сборки датчика зазор между электродом и корпусом должен быть заполнен эпоксидным составом.

Датчик в собранном виде устанавливается в подготовленное радиальное отверстие вала и фиксируется при помощи резьбы М12х1,25. Выступающая часть датчика в собранном виде с валом обрабатывается до требуемого размера и степени чистоты поверхности шлифованием на круглошлифовальном станке.

**Выводы.** Предложенная конструкция комбинированного датчика для измерения гидродинамических давлений и толщины смазочной плёнки в подшипниках жидкостного трения обладает простотой конструкции, обеспечивает измерение давлений в смазочной плёнке подшипников различной природы происхождения, а также, за счёт объединения ёмкостного датчика, обеспечивает возможность одновременной регистрации толщины смазочной плёнки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Машины и стенды для испытания деталей / под ред. Д.Н. Решетова. М.: Машиностроение, 1979. 343 с.
2. А.с. СССР №830173, кл. G 01 M 13/04. Устройство для измерения зазора и давления несущего слоя смазки в подшипниках скольжения / Ф.П. Снеговский, В.И. Рой. – Оpubл. 15.05.81, бюл. №18.
3. Буловский Н.Н., Лев В.С., Коган Г.М., Новые конструкции датчиков для измерения давления в масляном слое подшипников жидкостного трения. – Вестник машиностроения, 1961, №12, с.22-26.
4. Кухтов В.Г., Савчук В.П. Испытания на надёжность опор скольжения мобильных машин. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Сер. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. 2008 р. Вип. 69. С. 57-64.
5. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В.М. Шарапова. – М: Техносфера, 2006. 632с.
6. Снеговский Ф.П. Опоры скольжения тяжёлых машин. М: Машиностроение, 1969. 220 с.
7. Рой В.И. Исследование новыми способами и устройствами рабочих параметров смазочного слоя подшипников жидкостного трения: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Херсонский индустриальный институт. Херсон, 1983. 203 с.

## **ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ МАСЛЯНОГО ШАРУ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**

Савчук В.П., Грицук І.В., Сімагін А.Ф., Зінченко Д.О.  
Херсонська державна морська академія (Україна)

**Вступ.** Математичні труднощі, що виникають при розрахунках, заснованих на теорії підшипників кінцевої довжини, змушують вводити ряд обмежень, правомірність чи неприпустимість яких може бути визначена виключно на підставі експериментальних даних. Такий стан пояснюється великою кількістю визначальних чинників, як конструктивних, так і режимних. Хоча гідродинамічний розрахунок виходить в цьому випадку наближеним, отримані результати можуть мати для практичного застосування достатню точність. Слід підкреслити, що точність гідродинамічного розрахунку достатня для практичних цілей тільки в тому випадку, якщо геометричні та фізичні параметри, взяті за основу при розрахунку, не відрізняються істотно від тих, які будуть мати місце при роботі підшипника. У зв'язку з цим експериментальне визначення таких параметрів мастильного шару як товщина і форма шару, тиск в ньому має важливе значення для вивчення впливу експлуатаційних та конструктивних чинників на надійність підшипників ковзання. Особливо важливе рішення теплової задачі і експериментальне визначення температур, що розвиваються в змащувальному шарі, оскільки температура мастила є тим параметром підшипника, який визначає його несучу здатність. У роботах О. Рейнольдса, Л. Гюмбеля, І. Релея розглядається ізотермічне протікання нестисливої рідини між похилими площинами. Більшість дослідників більш пізнього часу, аж до наших днів, також приймають ізотермічне протікання мастила в зазорі підшипника. Але припущення про однаковість температури по колу підшипника не відповідає фізичній сутності процесів в підшипнику ковзання. А теплові розрахунки, засновані на такому припущенні, не збільшують запас надійності підшипника, а, навпаки, зменшують.

Досліди Ф. Сніговського [1] показали, що з торців навантаженої зони тяжконавантажених підшипників ковзання масло практично не витікає, а зоною, через яку прокачується основна частина масла, є ненавантажена зона. Там же дослідним шляхом доведено, що в широкому діапазоні навантажень і швидкостей середня температура мастильного шару по колу підшипника непостійна і середня температура мастила в навантаженій зоні завжди вище середньої температури мастила в ненавантаженій зоні. Причому ця різниця може доходити до 50 °С і більше.

Вимірювання розподілу температур в змащувальному шарі підшипників ковзання пов'язано із рядом труднощів, зумовлених як характером руху масла, так і високими змінними тисками, що розвиваються в малих об'ємах масла.

**Метод дослідження розподілу температур** повинен забезпечити можливість вимірювання температури мастильного шару по всьому колу підшипника, дати теплову картину мастильного шару в процесі роботи для широкого діапазону навантажень і швидкостей, забезпечити відсутність порушень теплового поля, особливо при вимірах температур мастильних шарів товщиною  $1 \dots 100 \cdot 10^{-6}$  м. Виконання цієї вимоги є дуже важливим, так як основне тепловиділення в підшипниках рідинного мащення відбувається в навантаженої зоні, що має товщини мастильного шару якраз в цьому діапазоні.

Вимірювання температури як міри інтенсивності теплового руху молекул тіла вимагає високого роду перетворювачів, так як інтенсивні властивості матерії не діляться при розподілі на частини і тому неможливо їх безпосереднє порівняння. Відповідно до цього для вимірювання температури необхідно температуру перетворювати в будь-яку екстенсивну фізичну величину, використовуючи при цьому ті чи інші термометричні властивості речовини – зміна або опору металів і напівпровідників, об'єму чи довжини тіла і т.д. при змінах температури. Роль перетворювачів температури в екстенсивні параметри виконують термодатчики.

Інфрачервоний (ІЧ) метод вимірювання температури базується на аналізі інтенсивності ІЧ випромінювання від об'єкта, яким в даному випадку є масляне середовище в зазорі підшипника. Молекули середовища знаходяться в стані теплового руху, інтенсивність якого зростає з підвищенням температури. При цьому випромінюється електромагнітна енергія і частотно-амплітудний характер випромінювання залежить від характеру теплового руху. Частина спектра електромагнітної енергії припадає на діапазон ІЧ випромінювання і знаходиться в межах від  $0,76$  до  $1100 \cdot 10^{-6}$  м, що відповідає температурним межах від  $3850$  К до  $1$  К.

Основні труднощі ІЧ термометрії пов'язані з відсутністю однозначності між енергетичною яскравістю об'єкта і його температурою в зв'язку з тим, що реальні тіла не мають випромінювальної характеристики абсолютно чорного тіла, тобто тіла, яке поглинає все випромінювання. При різній випромінювальній здатності тіл, енергетична температура може значно відрізнятись від справжньої, що викликає помилки при вимірах. Чим нижче випромінювальна здатність тіла, тим більше помилка при визначенні істинної температури. У літературі немає даних про випромінюючої здатності змащувальних рідин, наприклад, різних масел, проте, якщо врахувати що власні частоти коливань молекул, заснованих на хімічних складових сполук вуглецю з воднем типу СН, з яких складаються основні змащувальні рідини, розташовані в області, що відповідає спектральному діапазону від  $3 \cdot 10^{-6}$  м до  $15 \cdot 10^{-6}$  м, а останні в чистому вигляді сильно поглинають, а, отже, і сильно випромінюють ІЧ випромінювання. Тому не буде великої помилки при вимірах вважати випромінювальну здатність змащувальних масел в підшипниках ковзання близькою до одиниці.

**Конструкція датчика MLX90614.** Датчик MLX90614 складається із 2 чіпів, розроблених та виготовлених фірмою Melexis: інфрачервоного (ІЧ) термодатчика MLX81101 та інтегральної схеми з програмованою користувачем структурою ASSP MLX90302, спеціально розроблений для обробки вихідних сигналів ІЧ датчика (рис. 1). Пристрій доступний у промисловому стандарті TO-39 [3].

Завдяки низькошумному підсилювачу, високоякісному 17-бітному аналогово-цифровому перетворювачу (АЦП) та потужному блоку цифрової обробки сигналу (DSP), блок MLX90302 має високу точність та роздільну здатність термометра. Температури об'єкта вимірювання і навколишнього середовища зберігаються в оперативній пам'яті блоку MLX90302 з роздільною здатністю  $0,01$  °С. Вони доступні за допомогою 2-провідного серійного протоколу SMBus (роздільна здатність  $0,02$  °С) або через 10-бітний вихідний сигнал пристрою із широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ).

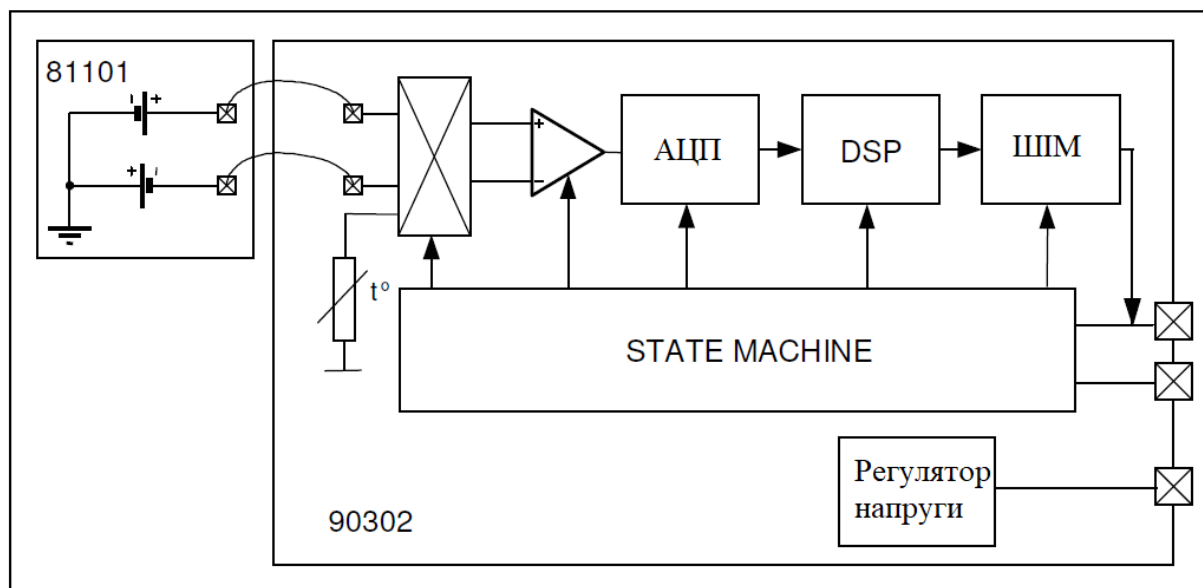


Рисунок 1. Блок-схема датчика MLX90614

Датчик MLX90614 відкалібровано у заводських умовах у широких діапазонах температур: від -40 до 125 °С при температурі навколишнього середовища та від -70 до 382,2 °С для температури об'єкта. 10-розрядний ШІМ є стандартом, налаштованим на постійне передавання вимірюваної температури об'єкта для діапазону температур об'єкта від -20 до 120 °С з вихідною роздільною здатністю 0,14 °С. Параметри точності вимірювання датчика MLX90614 в залежності від температури вимірюваного об'єкту  $T_o$  та температури датчика  $T_a$  приведено на рис. 2.

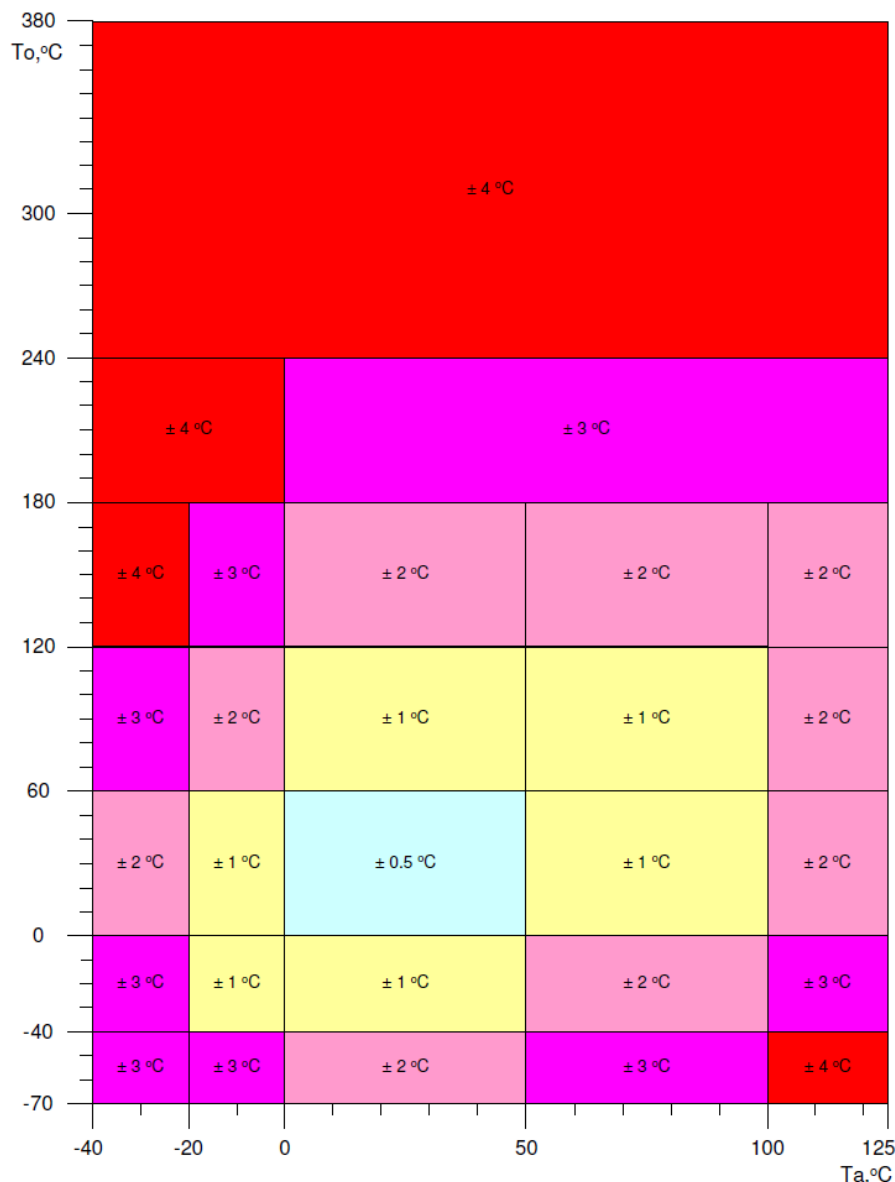


Рисунок 2. Точність вимірювання датчика MLX90614 в залежності від температури вимірюваного об'єкту  $T_o$  та температури датчика  $T_a$

Датчик MLX90614 калібрується для коефіцієнту випромінювання об'єкта 1. Його можна легко налаштувати для будь-якого іншого випромінювання в діапазоні 0,1...1,0 без необхідності повторного калібрування з чорним тілом.

Оптичний фільтр відрізає видимий і ближній інфрачервоний випромінюючий потік. Його інтегровано в корпус для забезпечення засвічування датчика видимим сонячним світлом.

Загальний вид датчика MLX90614ESF-DCI-000 представлено на рис. 3.

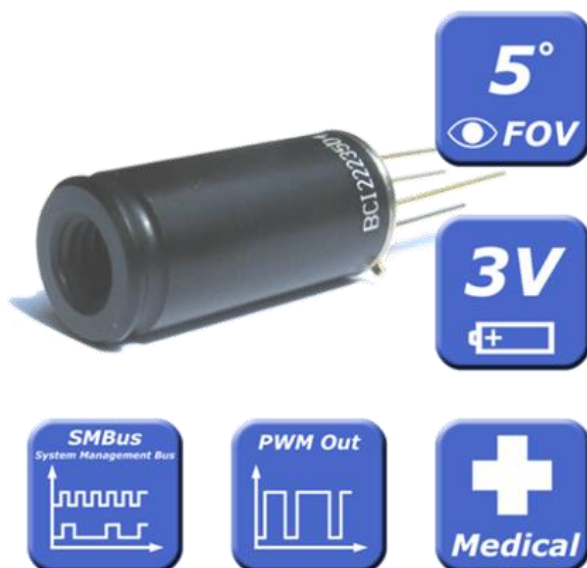


Рисунок 3. Датчик MLX90614ESF-DCI-000

**Принцип обробки сигналу.** Робота датчика MLX90614 контролюється внутрішнім паттерном State Machine, яка контролює вимірювання та обчислення температури об'єкта та навколишнього середовища, і після обробки температур, здійснює виведення їх через вихідний ШІМ або сумісний з SMBus інтерфейс.

Інтегральна схема ASSP підтримує 2 інфрачервоних датчика. Вихідний сигнал ІЧ-датчиків посилюється низькошумним низькочастотним підсилювачем з програмованим підсиленням, який перетворюється сигма-дельта модулятором на однібітовий потік і подає на потужний АЦП для подальшої обробки. Сигнал обробляється програмуємим ПЗУ (постійний запам'ятовувальний пристрій) EEPROM, фільтрами низьких частот FIR та IIR для подальшого зменшення ширини смуги вхідного сигналу для досягнення бажаної ефективності шуму та швидкості оновлення. Вихідний фільтр IIR є результатом вимірювання і доступний у внутрішній пам'яті. Доступні 3 різних клітинки: одна для бортового датчика температури (на чіпі RTAT або PTC) та 2 для датчиків ІЧ-сигналу. На підставі результатів вищезазначених вимірювань розраховується відповідна температура навколишнього середовища  $T_a$  та температура об'єкта  $T_o$ . Обидва значення розрахункової температури мають роздільну здатність 0,01 °C. Дані для  $T_a$  і  $T_o$  можна читати двома способами: читання пам'яті оперативної пам'яті, призначеної для цієї мети через 2-провідний інтерфейс (роздільна здатність 0,02 °C, фіксовані діапазони) або через цифровий вихід ШІМ (роздільна здатність 10 біт, настроюваний діапазон).

На останньому етапі циклу вимірювання значення  $T_a$  і  $T_o$  змінюються до потрібної вихідної роздільної здатності ШІМ), і перераховані дані завантажуються в регістри ШІМ паттерну State Machine, що створює постійну частоту з робочим циклом, що представляє вимірювані дані.

**Спосіб вимірювання температури змащувального шару.** Нами за прототип прийнято спосіб вимірювання температур, що приведено у роботі [2]. Для забезпечення можливості безперервного вимірювання температур масла датчик 3, що встановлено на платі, монтується на штанзі 2 (рис. 3). Дана конструкція встановлена в осьовий отвір дослідного валу 1 та має можливість осьового переміщення. Для забезпечення можливості проходження ІЧ променів від нагрітого шару масла слугує радіальний канал 4 Ø5 мм, що для зменшення втрат може бути відполірований. Для герметизації отвору слугує оптичне вікно 5, що виготовлено із високоомного оптичного кремнію розмірами Ø10x3 мм. Кремній має високі механічні та температурні властивості. Оптичні характеристики високоомного кремнію приведено на рис. 4. Він зберігає полосу пропускання 50...54 % оптичних хвиль



довжиною 2...1000 мкм [ ]. Оптичне вікно 5 встановлюється у виготовлений отвір у валу 1 із зазором 0,5 мм та фіксується в ньому за допомогою епоксидного клею. Після монтажу вікна 5 вал шліфується до необхідного розміру, що забезпечує однорідність форми робочої поверхні. Живлення плати датчика та передача вихідного сигналу на реєструючий пристрій здійснюється за допомогою струмознімача.

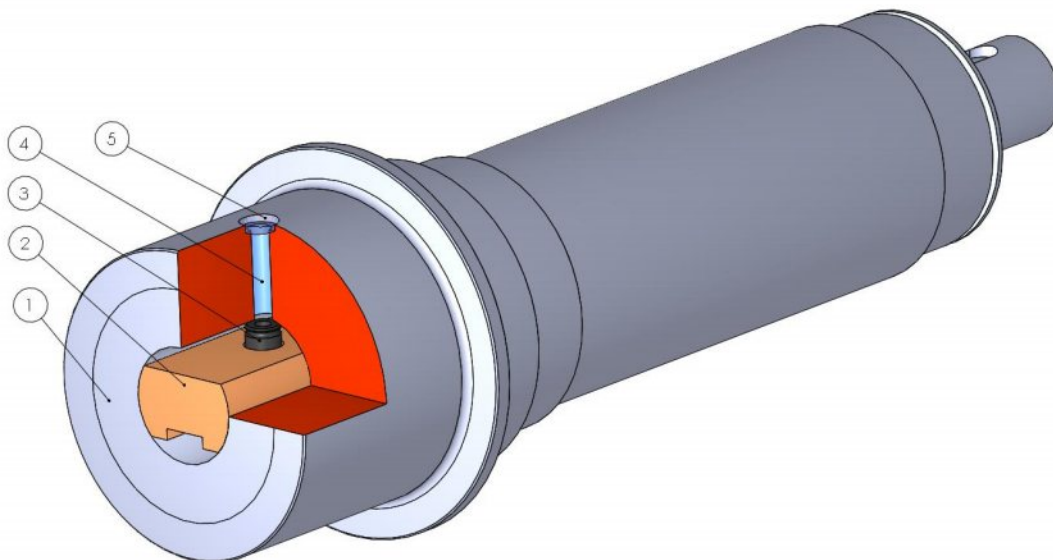


Рисунок 3. Спосіб установки датчика у дослідний вал: 1 – вал; 2 – штанга; 3 – датчик MLX90614; 4 – радіальний отвір; 5 – вікно із оптичного кремнію

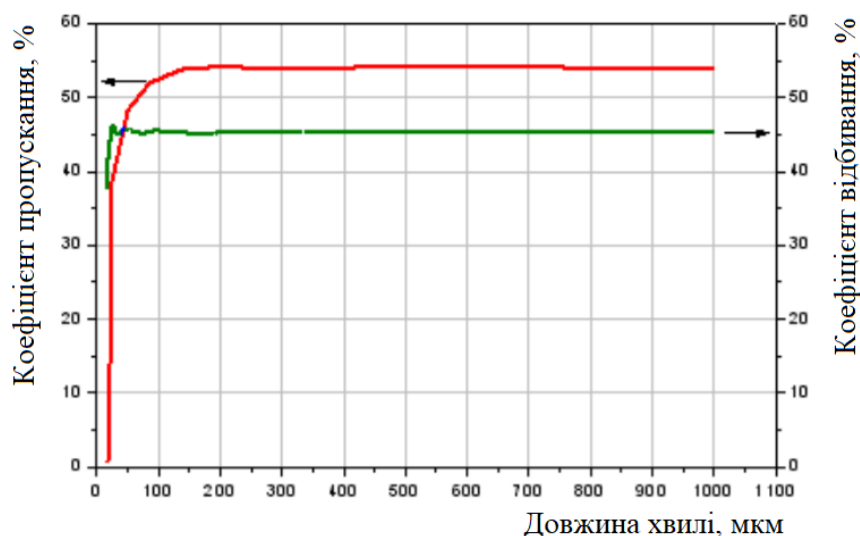


Рисунок 4. Оптичні характеристики високоомного кремнію

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Снеговский Ф.П. Опоры скольжения тяжёлых машин. М: Машиностроение, 1969. 220 с.
2. Рой В.И. Исследование новыми способами и устройствами рабочих параметров смазочного слоя подшипников жидкостного трения: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Херсонский индустриальный институт. Херсон, 1983. 203 с.
3. MLX90614 family. Single and Dual Zone Infra Red thermometer in TO-39: Data Sheet, June 29, 2015. p. 52

## **ЗМЕНШЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ КРЕЙЦКОПФНОГО ДВИГУНА**

Самарін О. Є., Білоусов Є.В., Савчук В.П.  
Херсонська державна морська академія (Україна)

**Вступ.** При роботі двигуна частина корисної індикаторної роботи витрачається всередині самого двигуна, тому споживачеві передається менше енергії. Цю роботу називають роботою механічних втрат/

До механічних відносяться втрати на тертя між рухомими деталями, на привід навішаних допоміжних механізмів, вентиляційні втрати між рухомими деталями і повітрям і насосні втрати (втрати насосних ходів у чотиритактних дизелях) [1].

Втрати тертя складають більшу частину механічних втрат. Вони викликаються тертям у всіх пов'язаних рухомих відносно один одного парах. Найбільша витрата енергії на тертя відбувається в циліндрах при терті поршневих кілець і циліндрової втулки (до 70% від всієї роботи тертя в двигуні) [2].

Це обумовлено високим питомим тиском кілець на втулку і незадовільними умовами мащення внаслідок високих температур тертьових деталей. У підшипниках ковзання і приводах мащення забезпечується циркуляційною системою під тиском, тому втрати на тертя тут значно менше.

При терті робота перетворюється в тепло і відводиться частково в охолоджуючу воду, частково з циркуляційним маслом. В кінцевому підсумку в теплообмінниках ця частина енергії відводиться в охолоджувальну забортну воду.

### **Актуальність досліджень**

Відомо циліндро-поршневу групу тронкового двигуна, що складається з циліндрової втулки, у яку встановлено поршень з компресійними і маслоснімальним кільцями.

Недоліком вказаної циліндро-поршневої 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 циліндро-поршневу групу крейцкопфного двигуна, що складається з циліндрової втулки, у яку з мінімально допустимим гарантованим зазором встановлено поршень з компресійними кільцями і напрямним штоком (рис. 1).

Недоліком циліндро-поршневої групи крейцкопфного двигуна 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.

### **Мета та задачі проведення досліджень**

Розробити таку циліндро-поршневу групу крейцкопфного двигуна, у якій герметизація зазору між поршнем і циліндровою втулкою забезпечується мінімальною кількістю компресійних кілець.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати конструкції, умови роботи, переваги та недоліки існуючих конструкцій циліндро-поршневих груп.

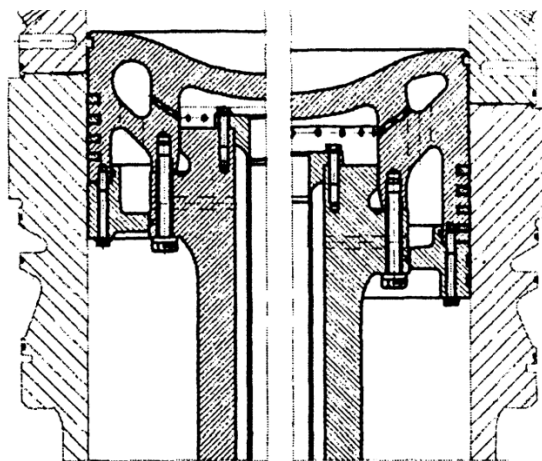


Рисунок 1. Циліндро-поршнева група крейцкопфного двигуна

### Рішення поставленої задачі

Пропонується на поршні над компресійними кільцями, кількість яких не перевищує двох, виконати групу поршневих кругових проточок, нижні поверхні яких утворюють гостру кромку з поршнем і паралельні верхнім поверхням, а торцеві поверхні мають заокруглену форму.

На циліндровій втулці навпроти групи поршневих кругових проточок зеркально виконати групу циліндрових кругових проточок (рис. 2).

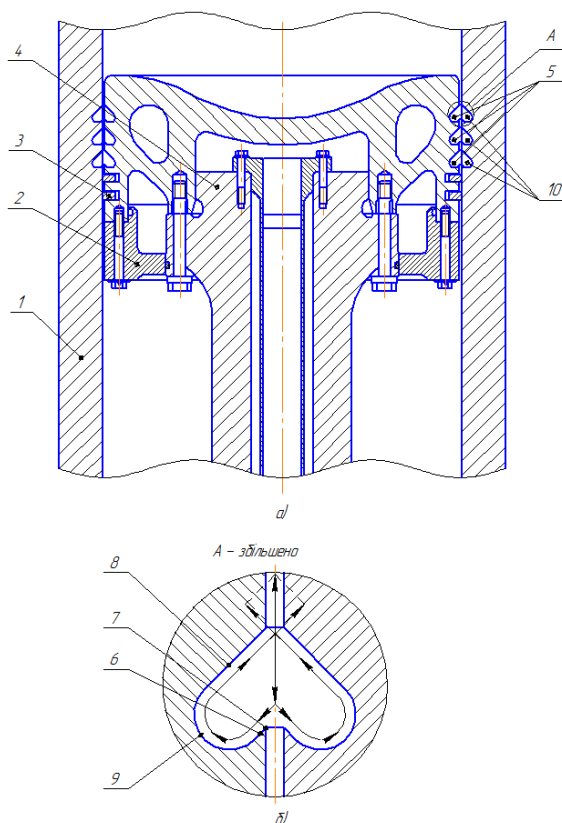


Рисунок 2. Циліндро-поршнева група крейцкопфного двигуна: а - циліндро-поршнева група крейцкопфного двигуна; б - поршнева і циліндрова кругова проточка у збільшеному масштабі з позначенням векторів дії сил газів 1 - циліндрова втулка; 2 - поршень; 3 - компресійні кільця; 4 - напрямний шток; 5 - поршневі кругові проточки; 6 - нижня поверхня; 7 - гостра кромка; 8 - верхня поверхня; 9 - торцеві поверхні; 10 - циліндрові кругові проточки

Встановлення на поршні не більше двох компресійних кілець значно зменшує тертя між компресійними кільцями і циліндровою втулкою.

Виконання на поршні над компресійними кільцями групи поршневих кругових проточок забезпечує у цьому місці збільшення об'єму між поршнем і втулкою, у якому кінетична енергія газів частково перетворюється у теплову, що призводить до втрати імпульсу, тиску і швидкості газів у зазорі.

Виконання поршневих кругових проточок, нижні поверхні яких утворюють гостру кромку з поршнем, забезпечує захоплення газів гострими кромками і направлення їх на нижню поверхню.

Виконання поршневих кругових проточок, торцеві поверхні яких мають заокруглену форму, забезпечує розвертання газів у зворотному напрямку і направлення їх на верхню кромку.

Виконання верхньої кромки паралельно до нижньої дозволяє направити гази з поршневих кругових проточок на зустріч газам, що поступають у зазор між поршнем і втулкою, і зменшити їх імпульс, тиск і швидкість.

Виконання зеркально на циліндровій втулці групи циліндрових кругових проточок навпроти групи поршневих кругових проточок забезпечує збільшення у два рази ефекту зупинки газів, що потрапляють у зазор між поршнем і циліндровою втулкою.

Циліндро-поршнева група крейцкопфного двигуна складається з циліндрової втулки 1, у яку з мінімально допустимим гарантованим зазором встановлено поршень 2 з компресійними кільцями 3 і напрямним штоком 4, Над компресійними кільцями 3, кількість яких не перевищує двох, виконано групу поршневих кругових проточок 5, нижні поверхні 6 яких утворюють гостру кромку 7 з поршнем 2 і паралельні верхнім поверхням 8, а торцеві поверхні 9 мають заокруглену форму.

На циліндровій втулці 1 навпроти групи поршневих кругових проточок 5 дзеркально виконано групу циліндрових кругових проточок 10.

Циліндро-поршнева група крейцкопфного двигуна працює наступним чином. При згорянні палива у циліндровій втулці 1 утворюються гази, які під тиском діють на поршень 2. Частина газів проникає у зазор між циліндровою втулкою 1 і поршнем 2. При досягненні групи поршневих 5 і циліндрових 10 кругових проточок газ розділяється гострими кромками 7 і направляється по нижнім 6, торцевим 9 і верхнім 8 поверхням до виходу з проточок 5 і 10, де сила їх дії складається і протидіє газам, що поступають з циліндра.

Тиск газів, що проходить у зазорі між циліндровою втулкою 1 і поршнем 2, під час руху вздовж групи поршневих 5 і циліндрових 10 кругових проточок поступово зменшується і гарантовано компенсується компресійними кільцями 3. При стисканні у циліндрі свіжого заряду повітря протікає аналогічний процес. Напрямний шток 4 у процесі роботи утримує поршень 2 у вертикальному положенні в не допускає його торкання до циліндрової втулки 1.

#### **Висновки та рекомендації**

Застосування винаходу зменшує тертя між циліндровою втулкою і поршнем, що дозволяє зменшити витрати палива і лубрикаторного масла та збільшити потужність і довговічність двигуна.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Самсонов В.И., Худов Н.И. Двигатели внутреннего сгорания морских судов. Учебник для высш. Учеб. Заведений.- 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1990.-368 с.
2. Возницкий И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания, том.1: М. Моркнига, 2008.-283с.
3. Возницкий И.В. MAN B&W Двигатели модельного ряда МС 50-98. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание. Моркнига, 2008, – 263с.
4. Возницкий И.В. Современные малооборотные двухтактные двигатели: Учебное пособие по специальности 180403. Издание 2 – ООО «Моркнига», 2007 – 121с.

## **ЗБІЛЬШЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ ПОРШНЯ КРЕЙЦКОПФНОГО ДИЗЕЛЯ**

Самарін О. Є., Білоусов Є.В., Савчук В.П.  
Херсонська державна морська академія (Україна)

**Вступ.** У склад циліндро-поршневої групи (ЦПГ) крейцкопфного дизеля входить поршень з компресійними кільцями і циліндр з циліндровою втулкою. Кільця встановлені в спеціальні кепи на поршні. Саме компресійні кільця вступають в контакт з робочою поверхнею втулки циліндра [1].

В процесі роботи двигуна поршень з встановленими кільцями здійснює зворотно-поступальні рухи всередині втулки, в результаті чого робоча поверхня втулки (дзеркало циліндра) піддається поступовому зносу. Також зносу піддаються кепи і компресійні кільця.

Від стану циліндро-поршневої групи безпосередньо залежать найважливіші показники, необхідні для стабільної роботи двигуна внутрішнього згорання. Стан ЦПГ впливає на показник компресії (тиску) в циліндрах двигуна. Необхідна компресія дизельного двигуна забезпечує його впевнений запуск, потужність, екологічність та інші експлуатаційні показники.

Від справності і стану ЦПГ також залежить витрата палива і моторного масла, а також тривалість терміну служби двигуна до його капітального ремонту. Ремонт циліндро-поршневої групи двигуна передбачає компресійних кілець, розточення циліндрової втулки і установку нових поршнів.

### **Актуальність досліджень**

Відомо циліндро-поршкову групу тронкового дизеля, що складається з циліндрової втулки і поршня з компресійними кільцями, встановленими в кепи [1].

Недоліком вказаної циліндро-поршневої групи є те, що при роботі двигуна виникає нормальна сила, яка притискає поршень до циліндрової втулки і викликає прискорений та нерівномірний знос поршня, компресійних кілець і циліндрової втулки, що вимагає періодичної заміни всієї циліндро-поршневої групи або ремонту в спеціалізованих умовах.

Також відомо циліндро-поршкову групу крейцкопфного дизеля, що складається з циліндрової втулки з лубрикаторними розпилювачами і поршня з компресійними кільцями, встановленими в кепи [1].

Недоліком циліндро-поршневої групи крейцкопфного дизеля є те, що у процесі роботи поршневі кільця виконують радіальний, осьовий та обертовий рух, що призводить до зношення як самих кілець, так і кепів, у яких вони розташовуються.

Особливо небезпечним є абразивний знос кілець і кепів, коли між ними потрапляють тверді частинки продуктів згорання та алюмосилікати. Це призводить до посиленого зношування вказаних елементів (рис. 1).

Заміна кілець вимагає зупинки двигуна та виймання поршня.

Ремонт самого поршня можливий лише в умовах спеціалізованої майстерні.

Все це призводить до додаткових трудових і матеріальних витрат.

Враховуючи масове використання крейцкопфних двигунів, проблема збільшення строку служби поршнів лишається актуальною.

### **Мета та задачі проведення досліджень**

Метою дослідження є створити таку циліндро-поршкову групу крейцкопфного дизеля, поршень якої має підвищений строк експлуатації і не вимагає ремонту кепів у спеціалізованій майстерні.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати конструкції, умови роботи, переваги та недоліки існуючих конструкцій циліндро-поршневих груп.

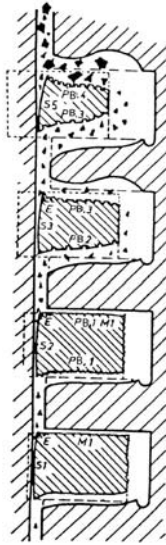


Рисунок 1. Зношені та еродовані поршневі кільця №1...4 в зношених канавках: «Р» - робоча поверхня з рисками; «В» - віспини; «Е» - ерозія. Зовнішня крайка піскоструїться; «М» - механічна обробка. Числа від 1 до 5 позначають ступінь пошкодження (дефекту), причому 5 - найбільший

#### **Рішення поставленої задачі**

Пропонується під компресійними кільцями виконати додаткові кепи у кількості, що дорівнює кількості компресійних кілець.

У додаткові кепи встановити захисні кільця, розміри яких у встановленому вигляді максимально наближені до розмірів додаткових кепів.

Під лубрикаторними розпилювачами встановити додаткові лубрикаторні розпилювачі (рис. 2, а, б).

Виконання додаткових кепів під компресійними кільцями у кількості, що дорівнює кількості компресійних кілець зменшує на них термічні навантаження і дає можливість застосувати додаткові кепи для всієї групи компресійних кілець.

Встановлення захисних кілець у додаткові кепи, розміри яких у встановленому вигляді максимально наближені до розмірів додаткових кепів, захищає додаткові кепи від потрапляння циліндрового масла і продуктів згоряння.

Встановлення додаткових лубрикаторних розпилювачів під лубрикаторними розпилювачами забезпечує мащення компресійних кілець після їх встановлення у додаткові кепи.

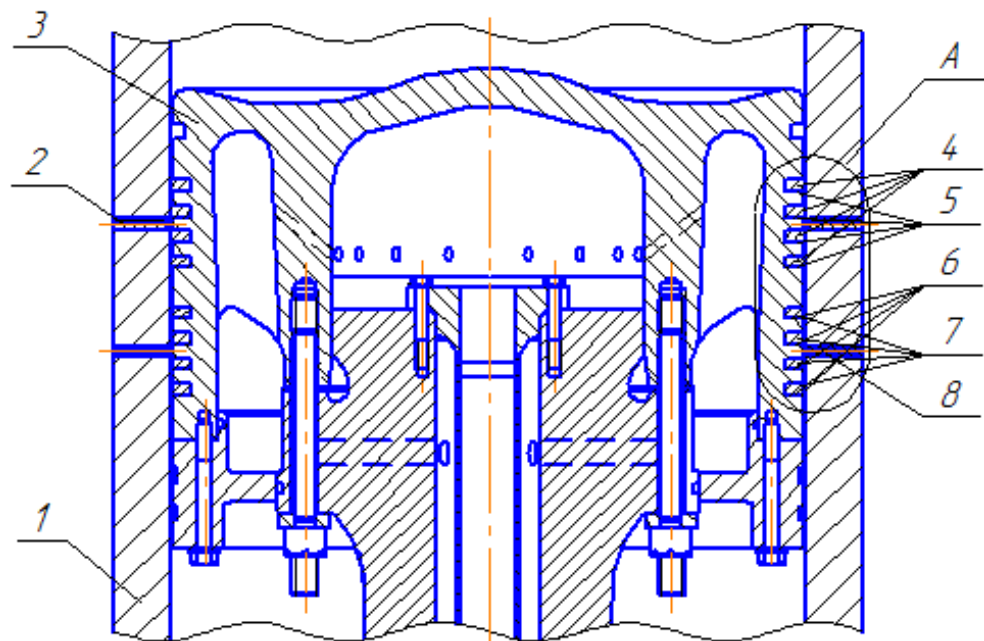
Циліндро-поршнева група крейцкопфного дизеля складається з циліндрової втулки 1 з лубрикаторними розпилювачами 2 і поршня 3 з компресійними кільцями 4, встановленими у кепи 5.

Під компресійними кільцями 4 виконано додаткові кепи 6 у кількості, що дорівнює кількості компресійних кілець 4.

У додаткові кепи 6 встановлено захисні кільця 7, розміри яких у встановленому вигляді максимально наближені до розмірів додаткових кепів 6.

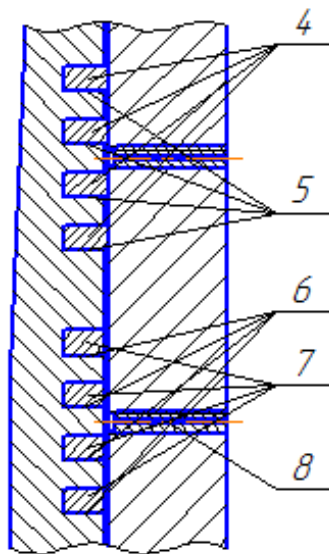
Під лубрикаторними розпилювачами 2 встановлено додаткові лубрикаторні розпилювачі 8.

Циліндро-поршнева група крейцкопфного дизеля працює наступним чином.

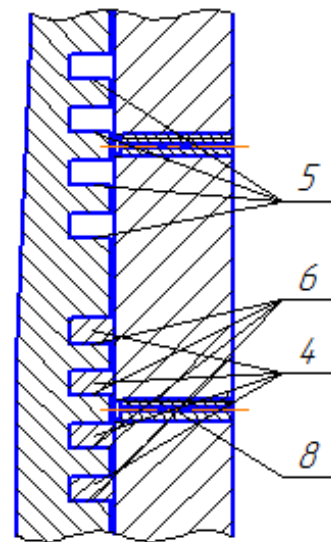


a/

A (збільшено)



б/



в/

Рисунок 2. Циліндро-поршнева група крейцкопфного дизеля: а - циліндро-поршнева група нового крейцкопфного дизеля; б - розташування компресійних кілець у кепах та захисних кілець у додаткових кепах у збільшеному масштабі; в - розташування компресійних кілець у додаткових кепах у збільшеному масштабі; 1 - циліндрова втулка; 2 - лубрикаторний розпилювач; 3 – поршень; 4 - компресійні кільця; 5 – кепи; 6 - додаткові кепи; 7 - захисні кільця; 8 - додаткові лубрикаторні розпилювачі

При згорянні палива у циліндрі нового дизеля виникає підвищений тиск і температура, які діють на циліндрову втулку 1 і поршень 3 з компресійними кільцями 4, встановленими у кепах 5.

Під дією тиску компресійні кільця 4 переміщуються вертикально і горизонтально і притискаються до кепів 5 та до циліндрової втулки 1.

З часом тертя компресійних кілець 4 по кепах 5 призводить до їх природного зношування.

Крім того, у процесі роботи двигуна у циліндрі утворюються тверді частинки у вигляді залишків продуктів згоряння та алюмосилікатів, які потрапляють на компресійні кільця 4 і кепа 5.

Тертя компресійних кілець 4 по кепах 5 в умовах забруднення твердими частинками продуктів згоряння та алюмосилікатами призводить до прискореного абразивного зношування цих елементів.

При цьому додаткові кепа 6 з встановленими у них захисними кільцями 7, які виконано під компресійними кільцями 4, захищені від надмірного термічного впливу та потрапляння на них твердих частинок у вигляді залишків продуктів згоряння, алюмосилікатів і залишків циліндрового масла, яке вприскується на компресійні кільця 4 лубрикаторними розпилювачами 2 при зворотному русі поршня.

Після зношування компресійних кілець 4 і кепів 5 поршень 3 виймають з двигуна.

З додаткових кепів 6 виймають захисні кільця 7, а на їх місце встановлюють нові компресійні кільця у необхідній кількості і поршень повертають у двигун (рис. 2, в). При цьому блокують подачу циліндрового масла на лубрикаторні розпилювачі 2 і подають його на додаткові лубрикаторні розпилювачі 8.

При згорянні палива у циліндрі відремонтованого двигуна виникає підвищений тиск і температура, які діють на циліндрову втулку 1 і поршень 3 з компресійними кільцями, встановленими у додаткові кепа 6.

При зворотному русі поршня лубрикаторні розпилювачі 8 подають циліндрове масло на компресійні кільця, розташовані у додаткових кепах 6.

Застосування винаходу збільшує строк експлуатації поршня і не вимагає ремонту кепів у спеціалізованій майстерні.

### **Висновки та рекомендації**

Встановлення нових кілець у додаткові кепа рекомендується проводити тільки після вимірювання кепів і виявлення їх граничного зносу.

Застосування винаходу збільшує строк експлуатації поршня теоретично у два і не вимагає ремонту кепів у спеціалізованій майстерні.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. [www.krutimotor.ru/cilindro-porshnevaya-gruppa/](http://www.krutimotor.ru/cilindro-porshnevaya-gruppa/).
2. Возницький І.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания, том.1: М. Моркнига, 2008.-283с.
3. Возницький І.В. MAN B&W Двигатели модельного ряда МС 50-98. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание. Моркнига, 2008, – 263с.
4. Возницький І.В. Современные малооборотные двухтактные двигатели: Учебное пособие по специальности 180403. Издание 2 – ООО «Моркнига», 2007 – 121с.



## **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТРОБУСІВ В УКРАЇНІ**

Сахно В.П., Поляков В.М., Омельницький О.Є.  
Національний транспортний університет (Україна)

**Вступ.** Метробус або нова система автобусного руху "Швидкісний автобусний транспорт" (Bus Rapid Transport, BRT) є результатом розвитку мережі автобусного суспільного транспорту. В порівнянні з метро цей проект володіє явними перевагами: менша вартість створення мережі, менша вартість рухомого складу, мобільність та ін. [1].

Система BRT має ряд незаперечних переваг [2]

- висока пасажиромісткість і ефективні платіжні системи забезпечують недорогий проїзд;

- висока швидкість пересування дозволяє метробусу перевозити вагому частку пасажиропотоку, що сприяє зменшенню кількості автомобілів на дорогах міста і, відповідно, зменшенню викидів відпрацьованих газів;

- розширена інформаційна система інформує пасажирів про розклад маршрутів.

Зручність, безпека і покращена організація дорожнього руху – це далеко не все, що зможе дати пасажиром система швидкісного автобусного транспорту. У цій системі пасажирські швидкісні автобуси пересуваються по спеціально виділених смугах. Вони відокремлені від проїжджої частини і обладнані закритими пасажирськими станціями з платформами на одному рівні і підземними переходами.

Рухомий склад, що використовується в системі BRT, двох видів: перший - класичний, дволанковий метробус з двигуном, що працює як на дизельному, так і на газовому паливі; другий варіант- метробус нового покоління з гібридним електро-газовим двигуном. Ці два варіанти притаманні зчленованим автобусам, 18-ти і 24-х метрової довжини [3].

За останнє десятиліття в США, країнах Південної Америки, Туреччині, Росії та в деяких країнах Європи інтенсивно розвиваються Bus Rapid Transit – швидкісні автобусні перевезення. Цей вид пасажирського транспорту потребує при менших капіталовкладеннях налагодити пасажирські перевезення на маршрутах найбільших пасажиропотоків.

**Актуальність дослідження.** На-сьогодні, у великих містах, у тому числі і Києві існує проблема забезпечення попиту пасажирів на перевезення. Наприклад, у Києві це перевезення пасажирів з лівого берега Дніпра на правий як у прямому, так і зворотному напрямку. Існуючі можливості громадського транспорту обмежені, і одним із головних напрямків вирішення цієї проблеми є застосування транспортних засобів великої пасажиромісткості, зокрема метробусів. Дослідженнями, проведеними вітчизняними і закордонними вченими, встановлено, що в основу створення сучасного автотранспортного засобу (АТЗ) з покращеними показниками енергоефективності, може бути покладена гібридна силова установка. Одним із невирішених питань при створенні такої установки є раціональний розподіл потужності між ДВЗ і електродвигунами коліс причіпної ланки, які використовують для покращення експлуатаційних властивостей метробусів. Перспективним є використання гібридної системи повороту метробуса, за якої використовується одночасно кінематичний та силовий способи повороту. Вочевидь нові АТЗ мають свої особливості, що викликає необхідність їхнього дослідження з метою вибору раціональних параметрів. Такий підхід дозволяє одержати високі показники експлуатаційних властивостей АТЗ. Так, із закордонного досвіду відомо, що подібний транспорт здатен перевозити до 140 тис. пасажирів за добу, що забезпечить попит пасажирів на перевезення з лівого берега Дніпра на правий. При цьому вартість однієї лінії BRT з Троєщини на Севастопольську площу оцінюється близько 3 млрд. гривень. У той же час, будівництво лінії метрополітену на Троєщину буде коштувати 45 млрд.

гривен. При цьому при існуючій інфраструктурі підвозки до метро вона зможе перевозити тільки 110 тис. пасажирів за добу.

У Києві ще у минулому році КМДА оголосила тендер на ТЕО для метробуса від Троєщини до Севастопольської площі. Планується розробка метробусної лінії від Дарницької площі до Лісового масиву. Наразі, BRT-транспорт функціонує у понад 200 містах світу. Тому варто вивчити переваги цієї системи міського транспорту.

На лінії метробусів, як правило, курсують автобуси особливо великої місткості (18 чи 22, 24, 25 м), проте головною відмінністю від звичайних міських маршрутів є те, що метробуси їздять по окремій (виділеній) полосі з меншими інтервалами. Також важливою складовою BRT-системи є зупинки. Посадка пасажирів до метробусів відбувається не на звичайних зупинках, а на спеціальних терміналах (станціях), які обладнані турнікетами, де відбувається сплата за проїзд. Таким чином, посадка та висадка пасажирів відбувається швидко, зникає необхідність у кондукторах, а окрема (огорожена) полоса для руху дозволяє розвивати досить велику швидкість метробусу та не залежати від транспортних заторів.

Фактично, метробус поєднує переваги метрополітену у сучасному місті з відносно невеликою вартістю будівництва таких ліній. Причому, за допомогою інтенсивності руху можливо коригувати пасажиропотік. Загалом, метробусні лінії доцільні на ділянках, які потребують перевезення 15000-18000 пасажирів на годину. Проте відомо багато прикладів, коли вони взагалі замінили метрополітен у великих мегаполісах. Наприклад, у Стамбулі, чи китайському Шанхаї.

Ще одною перевагою BRT-систем є швидкість будівництва таких ліній, які можуть використовувати вже існуючі магістралі у містах. Зазвичай, така лінія будується за 1-2 роки, тоді як будівництво метрополітену, трамвайних ліній може тривати 3-10 років.

Особливий розвиток метробуси отримали з появою трьохланкових автобусів, які здатні перевозити до 300 пасажирів проти 180 у дволанкових автобусах. Таким чином, маючи 3-ланкові автобуси, які рухаються з невеликим інтервалом (до 1 хвилини) лінія метробусу може вирішити транспортні проблеми багатьох українських міст, і зокрема повністю зняти питання транспортного сполучення віддалених масивів, зокрема у Києві.

**Аналіз літературних джерел.** Конструкції метробусів, які використовуються на лініях BRT у світі, можна класифікувати за такими ознаками [4]:

- за довжиною: як правило, це 18, 23, 24 чи 25 метрові автобуси;
- за кількістю ланок: 18-метрові, це 2-ланкові автобуси, а 23, 24 та 25-метрові мають 3 ланки;
- за кількістю осей: 3-, 4, або 5-осей;
- за висотою підлоги: низько підлогові, частково низько підлогові та з високою підлогою;
- за типом двигуна: дизельні, з двигуном на природному газі NPG, гібридні (з дизельним та електричним двигунами), цілком електричні з автономним ходом, або електричні з зовнішнім джерелом струму (тролейбуси), або електричні з комбінованим живленням (автономний хід та зовнішнє живлення).

З представленої класифікації метробусів для задоволення попиту пасажирів на перевезення у м. Києві (обсяг перевезень біля 15000 пасажирів на годину) можна обрати триланковий низькопідлоговий метробус з гібридною силовою установкою.

Гібридні технології відомі більше 40 років. В силових установках легкових автомобілів використовують різні технології – електричні, гібридні, паливні елементи [5]. Перші спроби застосування гібридних силових установок на вантажних автомобілях починаються у 80-х роках ХХ століття. Компанія HinoMotors, Ltd., починаючи з 1981 року проводила дослідження дизель-електричних гібридних систем, в результаті чого у 1991 році почалися комерційні продажі та експлуатація гібридного дизельного автобуса великого класу [6].

Нові розробки в галузі створення багатоланкових АТЗ і методик оптимізації їх конструкцій орієнтовані на мінімізацію витрат палива, енергії, поліпшення показників маневреності та керованості. Багато теоретичних даних з питань оптимізації складних механічних систем і мультиоб'єктивних методів оптимізації наведено в [7]. У роботі [8] розглянуто схемні рішення та особливості побудови автотранспортних засобів з гібридною силовою установкою, електричні системи та комплекси гібридного автомобіля. Аналіз конструкцій та класифікація багатовісних автомобілів традиційної конструкції, загальні закономірності їх руху розглянуто в роботі [9].

Недостатня вивченість особливостей динамічного поведіння метробусів з гібридною силовою установкою утруднює їхнє конструювання, стримує досягнення оптимальних енергетичних показників і показників маневреності та керованості. Вирішення цього питання є однією із задач даного дослідження.

Надійність теоретичних рекомендацій з удосконалення конструкції метробусів з гібридною силовою установкою визначається максимально адекватним відстеженням основних зв'язків між його елементами, фізичною несуперечністю вихідних припущень у постановці задачі та коректністю математичної моделі, прийнятої для визначення енергетичних показників і показників маневреності та керованості. Також слід визначити критерії, за якими причіпна ланка (причіп або напівпричіп) метробуса повинна бути обладнана кінематичною чи силовою схемою управління поворотом. Це пов'язано, перш за все, з прокладенням траси. Визначити радіуси заокруглень такої траси є актуальною задачею.

**Метою роботи** є визначення основних конструктивних і компоувальних параметрів, що обумовлюють маневреність триланкових метробусів.

**Результати дослідження.** У роботах [10-13 та ін.] доведено, що маневреність транспортних засобів на попередньому етапі можна визначити на жорстких у бічному напрямку колесах. При цьому похибка розрахунків габаритної смуги руху (ГСР) не перевищить 10...12%.

Методика розрахунку ГСР базується на визначенні кутів складання ланок автопоїзда і зміщення траєкторій ведених ланок щодо траєкторії автомобіля-тягача. Ця методика може бути застосована і для визначення ГСР метробуса.

Траєкторія кожної ланки метробуса визначається траєкторією її головної точки, тобто при розгляді питань кінематики повороту триланкового причіпного автопоїзда його можна звести до двовісного автомобіля-тягача і двох одновісних причепів, рис.1.

У такому випадку триланковий метробус можна розділити на дві пари кінематичних ланок – автобус + перший причіп з некерованими колесами (осями) і перший причіп + другий причіп з керованою задньою віссю. Дволанковий метробус можна отримати із триланкового, якщо знехтувати першим причепом.

Згідно теореми про складання обертання фігури навколо паралельних осей, складний криволінійний рух твердого тіла складається з абсолютного руху в нерухомій (абсолютній) системі координат, відносного руху по відношенню до спряженого з ним ведучого твердого тіла і переносного руху останнього [10].

Розглянемо ці загальнотеоретичні положення по відношенню до першої пари ланок метробуса. При цьому для спрощення викладок приймаємо, що точка зчипки автобуса з причепом збігається з головною точкою автобуса.

Рух ланок метробуса по відношенню до опорної поверхні (площині  $XOY$ ) є абсолютним і в кожний даний момент обертання кожна його ланка має свій миттєвий центр обертання: автобус – т.  $O_0$  і перший причіп – т.  $O_1$ . Ведена ланка (причіп), здійснюючи абсолютний рух навколо центра  $O_1$ , одночасно переміщується відносно ведучої ланки (автобуса) з миттєвим центром швидкостей  $O'_0$  обертання в точці зчеплення, рис. 1.

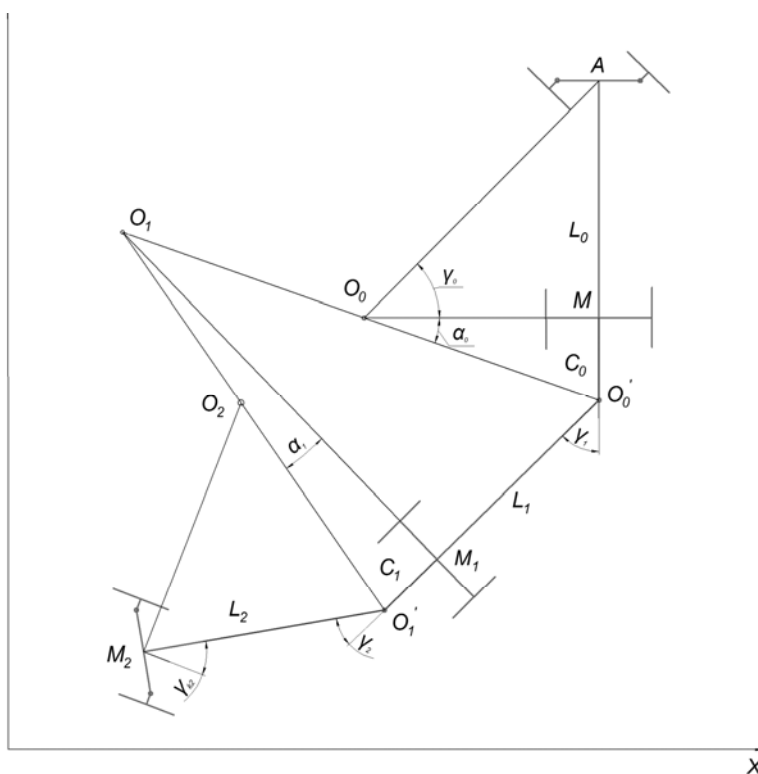


Рисунок 1. Схема повороту триланкового метробуса з керованим другим причепом

При цьому між поздовжніми осями ланок виникає кут складання  $\gamma_1$ . Рух же автобуса є для причепа переносним з миттєвим центром швидкостей у точці  $O_0$ . Таким чином, ведена ланка – причіп здійснює складний рух: переносний з автобусом з кутовою швидкістю  $\omega_0$ , відносний – з кутовою швидкістю  $\omega$  і абсолютний – з кутовою швидкістю  $\omega_1$  і з відповідними центрами обертання  $O_0, O'_0, O_1$ .

При односторонньому криволінійному русі автопоїзд проходить декілька стадій [4], а саме стадія початкового прямолінійного руху (перед поворотом), стадія входження в поворот, стадія кругового повороту, стадія виходу з повороту, вихід автобуса на прямолінійну траєкторію.

Аналіз залежностей криволінійного руху метробуса дає чітку картину процесу повороту. Для визначення положення його причіпних ланок на повороті необхідно знайти величини кутів складання, які визначають положення ведених причіпних ланок автопоїзда на повороті.

Диференціальні рівняння кутів складання записані у вигляді [10]:

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = \frac{d\psi_0}{dt} - \frac{d\psi_1}{dt} = \omega_0 - \omega_1.$$

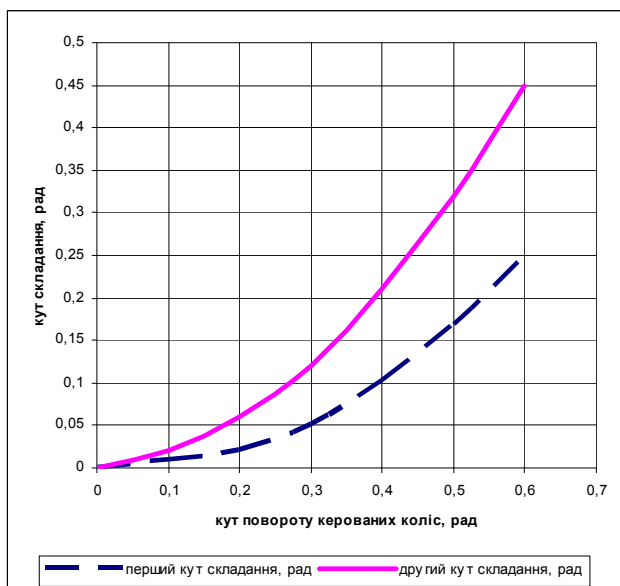
$$\frac{d\gamma_2}{dt} = \omega_1 - \omega_2 \quad (1)$$

де  $\gamma_1, \gamma_2$  – перший і другий кути складання метробуса;

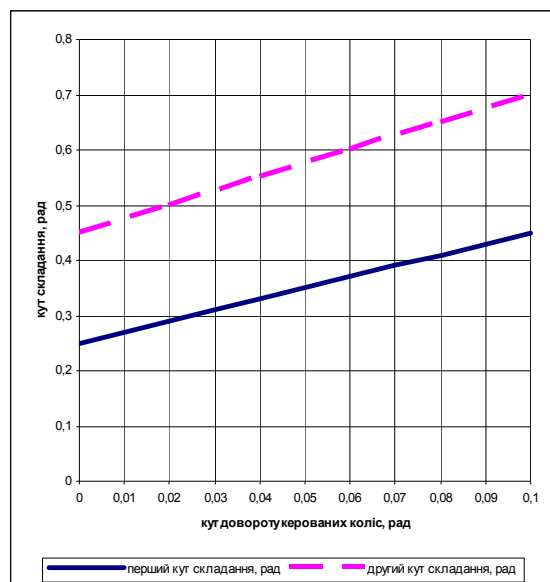
$\omega_0, \omega_1$  і  $\omega_2$  – абсолютні кутові швидкості повороту автобуса, першого і другого причепа.

Після розкриття системи рівнянь для кожної стадії повороту були визначені кути складання метробуса, за якими побудована габаритна смуга руху метробуса.

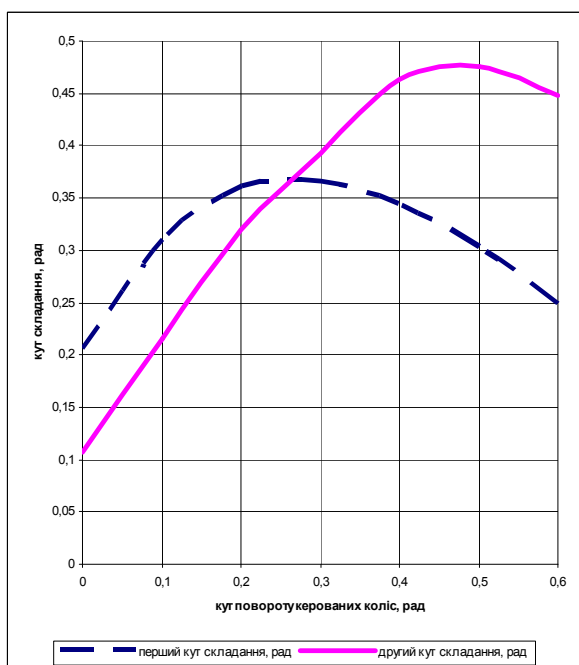
На рис. 2 наведені результати розрахунку кутів складання триланкового метробуса із задньою керованою віссю другого причепа за прямого приводу на цю вісь і передаточного відношення приводу управління 0,5. За знайденими кутами складання були визначені зміщення траєкторій ланок триланкового метробуса і габаритна смуга руху, необхідна для повороту метробуса на  $90^0$ ,  $180^0$  і за колового руху, табл. 1. У цій же табл.1 наведені значення зміщення траєкторії ланок метробуса і його ГСР за некерованих причепів.



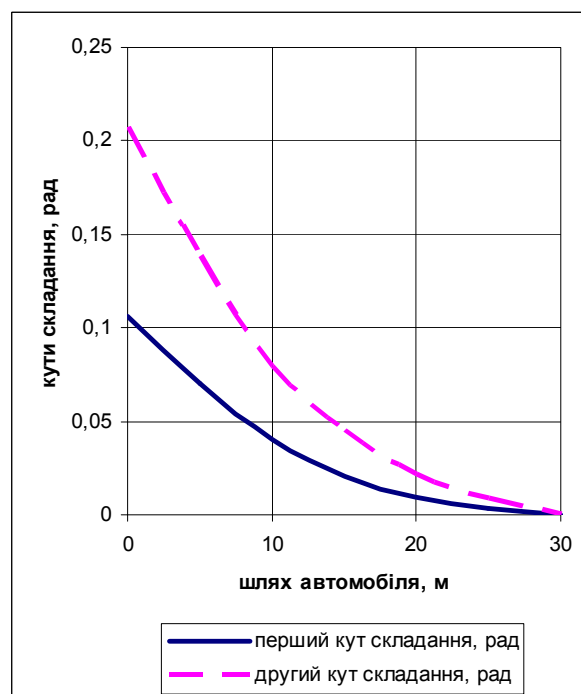
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2. Залежність кутів складання ланок метробуса від кута повороту керованих коліс автобуса: а) вхід в поворот; б) коловий рух; в) вихід із повороту; г) прямолінійний рух автобуса

Таблиця 1. Габаритна смуга руху триланкового метробуса

Габаритна смуга руху триланкового метробуса, м					
Поворот 90 <sup>0</sup>		Поворот 180 <sup>0</sup>		Коловий рух	
некерований	керований	некерований	керований	некерований	керований
6,8	6,1	7,2	6,9	7,9	7,5

**Висновки.** Визначені показники маневреності триланкового метробуса. Встановлено, що нормоване значення габаритної смуги руху за реальних конструктивних параметрів триланкового метробуса з урахування усіх його можливих обмежень (бази автобуса, розташування точок зчеплення, бази причепа тощо) може забезпечити триланковий метробус, що розглядається.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. [Електронний ресурс]–Ресурс доступу <https://bus10.kz/index.php/menu2-brt>.
2. [Електронний ресурс]–Ресурс доступу <https://griphon.livejournal.com/222403>.
3. [Електронний ресурс] – Ресурс доступу <https://gre4ark.livejournal.com/52087>.
4. Омельницький О.Є. Аналіз конструкції метробусів /О.Є.Омельницький // Автошляховик України. – 2018, №3, С.2-6.
5. Giancarlo Genta, Lorenzo Morello, Francesco Cavallino, Luigi Filtri. The Motor Car: Past, Present and Future — Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2014. XXIV, 662 p. 418 illus. — ISBN 978-94-007-8551-9, ISBN 978-94-007-8552-6 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-8552-6.
6. Ehsani M., Gao Y., Emadi A. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design / Second Edition. CRC Press, 2010. 557p. International Standard Book Number (ISBN):978-1-4200-5398-2.
7. Mastinu G., Gobbi M., Miano C. Optimal Design of Complex Mechanical Systems: With Applications to Vehicle Engineering Springer, 2006. 403 p. ISBN:3540343547.
8. Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Гнатов А.В., Колесніков А.В. Гібридні автомобілі. – Харків, ХНАДУ, 2008. – 327 с. ISBN: 966-652-160-5.
9. Высоцкий, М. С. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М. С. Высоцкий, С. И. Кочетов, С. В. Харитончик. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 392 с. ISBN 978-985-08-1268-1.
10. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда. - М.: Транспорт, 1986. - 137 с.
11. Трехзвенные автопоезда /Я.Е.Фаробин, А.М.Якобашвили, А.М.Иванов и др. Под общ. ред. Я.Е.Фаробина – Машиностроение, 1993. – 224 с.: ил.
12. Сахно В.П. До визначення показників маневреності трьохланкових автопоїздів /В.П.Сахно, І.Ф.Вороніна, В.В.Стельмашук// Вісник Східноукраїнського національного університету імені В.Даля. - 2003. №11 (57). –с.213-218
13. Сахно В.П. До визначення габаритної смуги руху трьохланкових автопоїздів /В.П.Сахно, І.Ф.Вороніна, С.С.Углярниця, В.В.Стельмашук // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В.Даля. – 2004. – №7 (77) (Частина 1). –с.30-36.

## **ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ВИБРАЦИЙ НА ПРЕДКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫЕ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$**

Соболь О.В.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (Украина)

**Вступление.** Пентагидрат тиосульфата натрия  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  (ТСН-5) является одним из распространенных материалов, аккумулирующих теплоту (ТАМ) на основе фазовых превращений плавление – кристаллизация [1-5] в интервале температур от  $-12,0$  до  $+48,5^{\circ}C$ . Для эффективного использования ТСН-5 в качестве ТАМ необходима всеобъемлющая информация о влиянии различных факторов на параметры кристаллизации. Одним из нежелательных параметров для ТАМ является наличие значительных переохлаждений  $\Delta T^-$  относительно температуры плавления  $T_L$  при кристаллизации. Из литературы [6-10] известно, что под воздействием вибраций, ультразвука и др. можно снижать величину  $\Delta T^-$  и управлять структурой и свойствами твердой фазы.

Целью данной работы являлось исследование влияния режима механического вибрационного воздействия на предкристаллизационные переохлаждения при кристаллизации тиосульфата натрия пятиводного.

### **Методика эксперимента.**

В корпусе электродинамического возбудителя колебаний ЭВК (3) размещена магнитная система, включающая катушку подмагничивания постоянного тока и подвижную катушку переменного тока, жестко связанную с рабочим столом и размещенную концентрично с включающей катушкой и с зазором по высоте (рис. 1). Имеется скобообразная балка-держатель (2), к центру основания которой прикреплена подвижная катушка.

Возбуждение колебаний осуществляется через подачу напряжения на катушку подмагничивания постоянного тока и на подвижную катушку переменного тока. Частота колебаний зависит от частоты питающего напряжения катушки переменного тока и равна 50 Гц. Катушка переменного тока приходит в движение, и так как она жестко прикреплена к скобообразной балке, то колебание передается через балку к пробирке (1) с образцом  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  массой 0,5 грамма.

Общее время цикла нагревание-охлаждение составляло 50 мин. Нагрев и охлаждение образца проводили с помощью печи сопротивления (4) в интервале температур от  $-23^{\circ}C$  до  $+75^{\circ}C$  в морозильной камере ВЕКО FSE 1010 (5), работающей при температуре  $-23^{\circ}C$ . Скорость нагревания и охлаждения была равна 0,04 – 0,06 град/с. Запись кривых ЦТА, а также управление процессами нагрева-охлаждения производилось при помощи измерителя-регулятора THERMOMETR UNIT-325 с ХА-термопарами и выходом на ПК. Погрешность измерения температуры составляла 0,5 градуса.

Изучено три образца, на каждом из которых проведено до 50 последовательных термоциклов нагревания и охлаждения. Надежность и достоверность полученных результатов основывались на совпадении реперных точек (температур плавления ТСН-5) со справочными данными и воспроизводимостью соответствующих экзо – и эндотермических эффектов при непрерывном термоциклировании.

### **Результаты экспериментальных исследований.**

На первом этапе в работе [11] методом циклического термического анализа (ЦТА) были определены условия изменения характера кристаллизации пентагидрата тиосульфата натрия пятиводного от квазиравновесной (КРК) к неравновесно-взрывной (НРВК). Поэтому, в контексте данной работы рассмотрим только неравновесно-взрывную кристаллизацию, сопровождающуюся значительными переохлаждениями.

Область температур от +70 до +74 °С со средней температурой  $\approx +72$  °С (рис. 2, а) является «критической» для жидкого гидрата в том плане, что при перегреве выше и последующем охлаждении резко меняется характер кристаллизации от монотонной к взрывной.

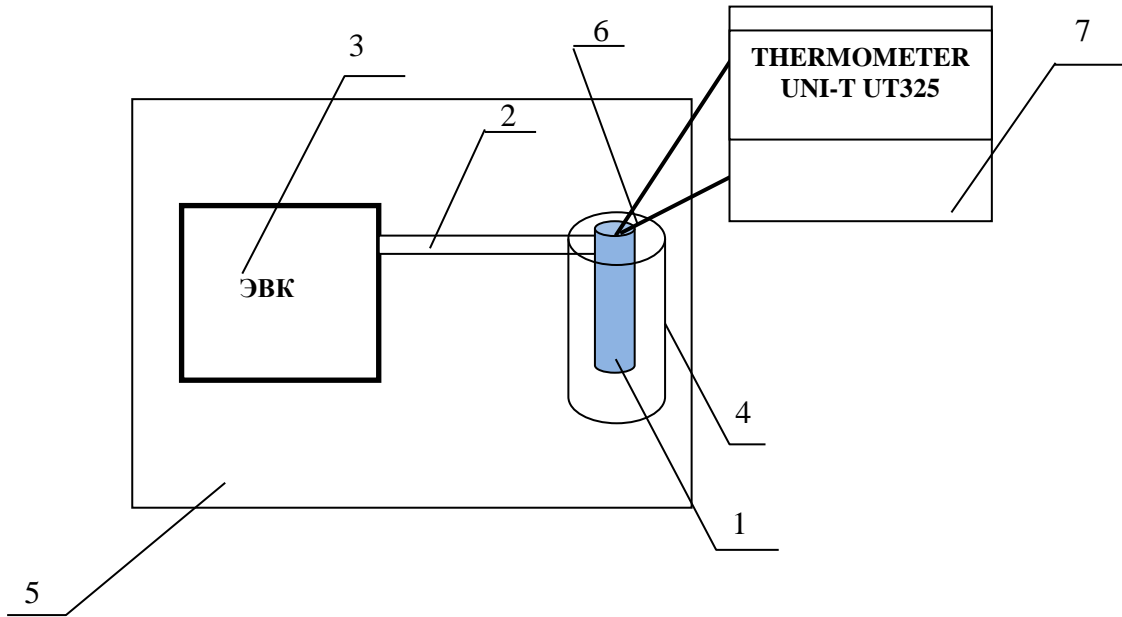


Рисунок 1. Блок-схема установки

При перегревах  $\Delta T_{кр}^+$  относительно  $T_L \approx 48,5^\circ \text{C}$  на 25 градусов и последующем охлаждении регистрировались три вида переохлаждения:  $\Delta T_{LS}^- = T_L - T_S$ , физическое  $\Delta T_{\phi}^- = T_L - T_{\min}$  и видимое  $\Delta T_{\epsilon}^- = T_S - T_{\min}$ , при этом  $\Delta T_{\phi}^- = \Delta T_{LS}^- + \Delta T_{\epsilon}^-$ , где  $T_{\min}$  – минимальная температура в области переохлаждения перед началом кристаллизации. В этом случае при температуре  $T_{\min}$  начинался процесс самопроизвольной кристаллизации, а затвердевание в целом носило монотонный характер и завершалось при температуре  $T_S \approx 23^\circ \text{C}$ . Для  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  переохлаждения составили  $\Delta T_{\phi}^- \approx 44^\circ$ ,  $\Delta T_{\epsilon}^- \approx 23^\circ$  соответственно.

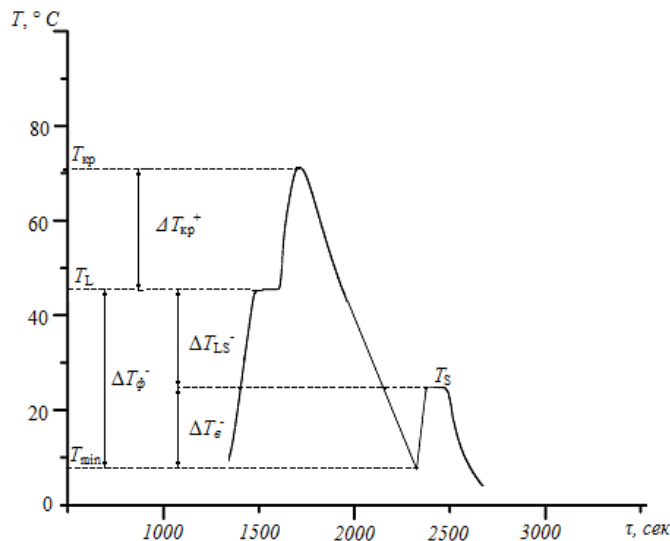
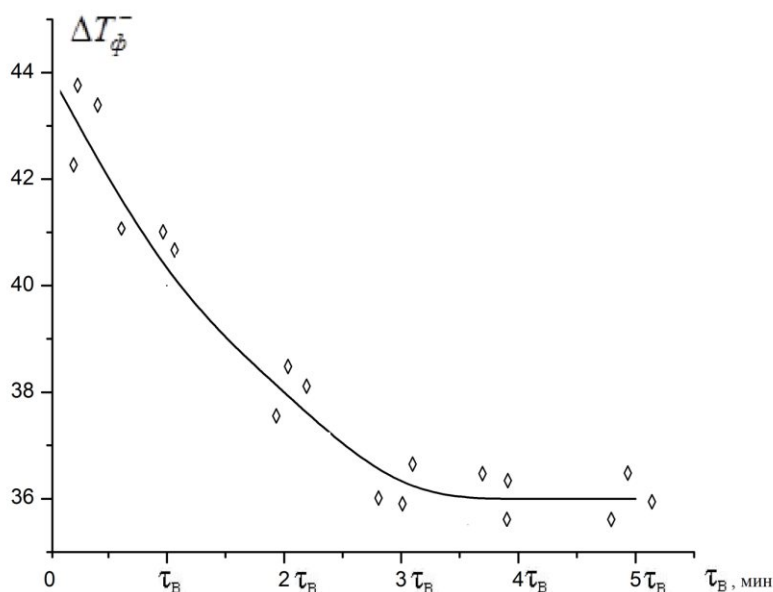


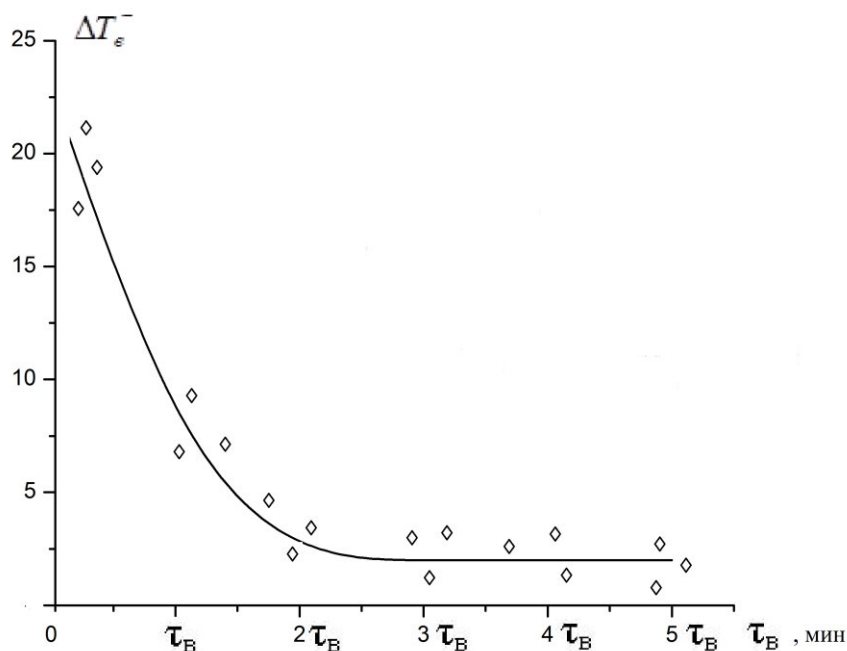
Рисунок 2. Схематические термограммы нагрева и охлаждения натрия тиосульфата пятиводного, характеризующие неравновесно-взрывную (НРВК) кристаллизацию



На втором этапе было изучено влияние механической вибрации с частотой 50 Гц на процессы кристаллизации  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ . Образцы нагревали выше «критической» температуры  $T_{кр} = +72^\circ C$ , чтобы последующее затвердевание носило неравновесно-взрывной характер. Как было указано, общее время цикла нагревание-охлаждение составляло  $\approx 50$  мин. Виброустановку включали в начале цикла, т.е. время вибрации составляло  $\tau_B = 50$  мин. На рис. 3 (а, б) показаны зависимости переохлаждений  $\Delta T_\phi^-$  и  $\Delta T_\epsilon^-$  от  $\tau_B$ .



а)



б)

Рисунок 3. Зависимости переохлаждений  $\Delta T_\phi^-$  (а) и  $\Delta T_\epsilon^-$  (б) от  $\tau_B$ .

Из графиков видно, что без воздействия вибрации переохлаждения были  $\Delta T_{\phi}^{-}=44^{\circ}$  и  $\Delta T_{e}^{-}=23^{\circ}$  соответственно. При увеличении времени воздействия вибрацией на образец переохлаждения уменьшались.

После третьего цикла нагревание-охлаждение с работающей виброустановкой, переохлаждения уменьшились до  $\Delta T_{\phi}^{-}=36^{\circ}$  и  $\Delta T_{e}^{-}=2^{\circ}$  соответственно (рис. 3). Причем характер кристаллизации изменился с неравновесно-взрывной на квазиравновесную. При дальнейшем воздействии вибрации на образец переохлаждения и вид кристаллизации не изменялись.

Следует отметить, что при выдержке образца при температуре  $-25^{\circ}\text{C}$  в течение суток, при последующем цикле нагревания-охлаждения плавление образца проходило при температуре  $T_{L}=48^{\circ}\text{C}$ , что соответствует справочной температуре, а кристаллизация носила квазиравновесный характер с переохлаждениями  $\Delta T_{e}^{-}=2^{\circ}$  и  $\Delta T_{\phi}^{-}=36^{\circ}$ . Визуальные наблюдения показали, что закристаллизовавшийся образец имеет однородную, хорошо перемешанную, мелкозернистую структуру.

**Трактовка результатов.** Согласно кластерно-коагуляционной модели [12-18] в переохлажденной жидкости за инкубационный период идет накопление структурных элементов будущей твердой фазы. По мере охлаждения уменьшается кинетическая энергия ионов и молекул, происходит формирование устойчивых молекул (для ТСН это  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) и кластеров с кристаллоподобными каркасами, по-видимому, в первую очередь безводной соли за счет ионных и молекулярных сил притяжения. Накопление в некоторой области переохлажденного и пересыщенного раствора подобных структурных единиц в достаточном количестве при  $T_{\text{min}}$  приводит к их коагуляции и формированию начального кристаллического остова. В дальнейшем при температуре  $T_S$  эта соль поглощает кристаллизационную воду с образованием кристаллогидрата тиосульфата натрия.

Вибрирование образца во время кристаллизации приводит к образованию мелкозернистой структуры, так как вибрация вызывает увеличение числа центров кристаллизации за счет разламывания растущих кристаллов или повышения каталитической способности имеющихся в растворе частиц, что приводит к уменьшению предкристаллизационных переохлаждений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А.* Аккумулирование тепла. – Киев: Техника, 1991 – 112 с.
2. *Дибиров М.А., Мозговой А.Г.* Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. // Журнал прикладной химии. – 1993. – Т. 66. В. 6. – С. 1210-1216.
3. *Levitskyu E.A., Ariston Yu.I., Tokarev M.M., Parmon V.N.* “Chemical Heat Accumulators” – a new approach to accumulating low potential heat // Solar Energy Materials Solar Cells. – 1996. – V.44, № 3. – P. 219-235.
4. *Kimura Hiroshi.* Nucleation of molten  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  and some other similar hydrates. A thermodynamic observation // Ind. and Eng. Chem. Fundam. – 1980. – V.19, № 3. – P. 251-253.
5. *Kolarov N., Maneva M., Petrov Chr.* Экспериментальное определение зародышей кристаллов в пересыщенных растворах тиосульфата натрия // Monatsh. Chem. – 1967. – V. 68, № 4. – P. 1446-1450.
6. *Александров В.Д.* Исследование влияния магнитного поля на кристаллизацию капель воды. / В.Д. Александров, А.А. Баранников, Н.В. Добрица // Неорганические материалы. 2000. – Т. 36. – №8. – С. 1-4.

7. *Куценко А.И.* Влияние вибрации формы на тепловые процессы охлаждения отливки. / А.И. Куценко, И.Ф. Селянин, Р.М. Хамитов, С.В. Морин // Ползуновский вестник. – 2005. № 2(2) – С. 167-171.
8. *Коверда В.П.* Взрывная кристаллизация аморфных слоев воды под воздействием локального нагрева. / В.П. Коверда, Н.М. Богданов, В.Л. Скрипов // Журн. физ. химии. – 1983. – В. 57. – № 11. – С. 2798-2801.
9. *Любимов Д.В.* Влияние высокочастотных вибраций на направленную кристаллизацию бинарных сплавов / Д. В. Любимов [и др. ] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2009. – N 2. – С. 43-48.
10. *Бабушкин, И. А.* Вибрационная конвекция бинарной смеси в связанных каналах / И. А. Бабушкин, А. Ф. Глухов, В. А. Демин // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2009. – N 2. – С. 78-83
11. *Александров В.Д.* Экспериментальное исследование влияния перегрева  $\Delta T^+$  жидкой фазы относительно температуры плавления  $T_L$  на процесс кристаллизации натрия тиосульфата пятиводного. / В.Д. Александров, О.В. Соболев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Хімія і хімічна технологія. – 2005. № 108(8) – С. 65-71.
12. *Александров В.Д.* Исследование кинетики реального зародышеобразования при кристаллизации переохлажденного расплава и аморфной среды: дисс. доктора хим. наук: 12. 03. 92 // Александров Валерий Дмитриевич. – Донецк, 1992. – 1 том – 299 с, 2 том – 54 с.
13. *Александров В.Д.* Зарождение кристаллогидратов из водных растворов. Анализ изменения энергии Гиббса. / В.Д. Александров, О.В. Соболев, С.В. Горбань // Известия ВУЗов. Серия: Материалы электронной техники. – Москва, 2006. – № 3. – С. 65-67.
14. *Стрикленд-Констебл Р.Ф.* Кинетика и механизм кристаллизации [Текст] / Р.Ф. Стрикленд-Констебл [пер. с англ.]. – Л.: Недра, 1971. – 311 с.
15. *Уббелоде А.Р.* Расплавленное состояние вещества [Текст] / А.Р. Уббелоде [пер. с англ.]. – М: Металлургия, 1982. – 376 с.
16. *Кольцова Э.М.* Кластерная модель кристаллизации, предсказывающая порядок и хаос [Текст] / Э.М. Кольцова, А.В. Аганина, Л.С. Гордеев // Журнал физ. химии. – 2000. – Т.74, №5. – С. 888-895.
17. *Линников О.Д.* Механизм срастания кристаллов при массовой кристаллизации из водных растворов. / О.Д. Линников // IV международная научная конференция «Кинетика и механизм кристаллизации», Иваново 24-28 сен. 2006 г.: тезисы докладов – 2006. – С. 91.
18. *Кидяров Б.И.* Структурно-физические закономерности образования и роста кристаллов из растворов. / Б.И. Кидяров // X национ. конференция по росту кристаллов, Москва 23-27 окт. 2006 г.: тезисы докладов. – 2006. – С. 20.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБАСТНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМ

Хлопенко И.Н., Рожков С.А.

Херсонская государственная морская академия (Украина)

**Введение.** Автоматизированный электропривод представляет собой сложную электромеханическую систему [1, 2]. Его структурная схема представлена на рисунке 1.

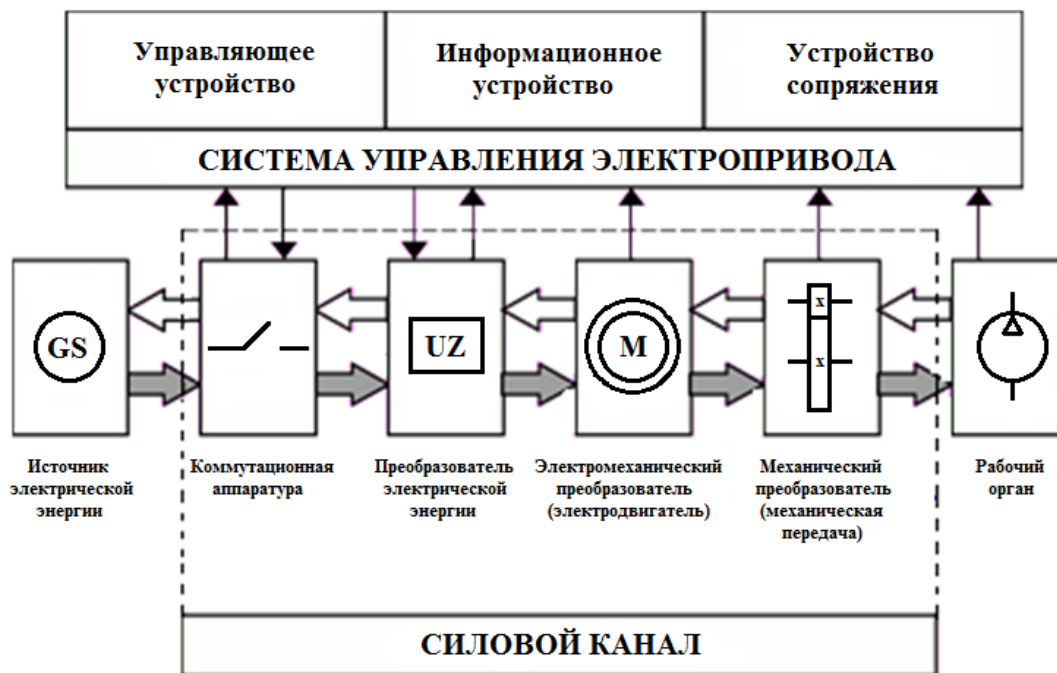


Рисунок 1. Структурная схема автоматизированного электропривода

Как видно из рисунка 1, электромеханическая система содержит электрическую и механическую части. Электрическая часть состоит из электрического и электромеханического преобразователей и системы управления.

В качестве электромеханического преобразователя обычно используется электродвигатель переменного или постоянного тока.

Механическая часть состоит из механического преобразователя энергии (механической передачи) и рабочего органа.

Система управления электропривода содержит управляющее, информационное устройства и устройство сопряжения.

Одним из основных требований к системе управления является обеспечение заданной точности и быстродействия процесса оптимального регулирования рабочих параметров при наладке, износе, ремонте либо замене электрооборудования системы. Такие требования на практике обычно не соблюдаются из-за сложности проектирования робастной системы управления. Вместе с тем, как показано в работах [3, 4], существует реальная возможность создания такой системы управления электроприводом. Поэтому создание научных основ проектирования робастных регуляторов для систем управления электроприводов является одной из актуальных задач.

Целью работы является разработка методики проектирования робастных регуляторов для систем управления электроприводов.

**Основная часть.** Проектирование регулятора осуществляется в два этапа. На первом этапе выполняется синтез и построение структурной схемы робастного регулятора электропривода [3-5]. На втором этапе создается электрическая схема регулятора.

Процедура проектирования робастного регулятора автоматизированного электропривода состоит из следующей последовательности действий:

1. Составляется математическая модель объекта в пространстве состояний.
2. Формируется структурная схема объекта в пространстве состояний.
3. Задаются неопределенные параметры объекта в заданных границах и формируются их структурные схемы в соответствии с [3].
4. Формируется структурная схема объекта с неопределенными параметрами в пространстве состояний.
5. Составляются по структурной схеме дифференциальные уравнения состояния объекта с неопределенностью.
6. Рассчитывается передаточная функция регулятора для номинального объекта.
7. Выполняется разложение найденной передаточной функции в цепную дробь.
8. Формируется структурная схема регулятора в буквенных обозначениях постоянных времени и коэффициентов усиления, соответствующая цепной дроби, и рассчитываются номинальные значения ее неопределенных параметров [4].
9. Определяется программно передаточная функция объекта.
10. Формируется командой система управления из последовательно соединенных передаточных функций регулятора и объекта, охваченных единичной обратной связью.
11. Рассчитываются кривые переходных процессов и диаграмма Боде для разомкнутой системы при случайных вариациях параметров объекта и регулятора в заданных границах.
12. Определяются по размахам кривых переходных процессов точность стабилизации потокосцепления, а по диаграмме Боде – запасы устойчивости по амплитуде и фазе.
13. Наконец, создается на ПК электрическая схема робастного регулятора с использованием пакета Multisim.

Таким образом, предложена методика проектирования робастных регуляторов для различных систем управления электроприводов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев К.Б., Палагута К.А. Микроконтроллерное управление электроприводом: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2008. – 298 с.
2. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. - М.: Академия, 2007. – 576 с.
3. Хлопенко Н.Я., Хлопенко И.Н. Структурный синтез стабилизирующего робастного регулятора потокосцепления ротора // Електротехніка і електромеханіка. – 2017. – № 1 – С.21-25. doi: 10.20998/2074-272X.2017.1.04.
4. Хлопенко И.Н., Рожков С.А., Хлопенко Н.Я. Устойчивость и точность робастной системы стабилизации потокосцепления ротора асинхронного электропривода при случайных вариациях неопределенных параметров в заданных границах // Електротехніка і електромеханіка. – 2018. – № 4 – С.35-39. doi: 10.20998/2074-272X.2018.4.06.
5. Richard Y., Chiang R., Michael G., Safonov M. MATLAB: Robust Control Toolbox. User's Guide. Version 2, 1998. – 230 p. Режим доступа: <http://www.mathworks.com>.

**Секція 5**

**ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ ДЛЯ  
ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ**

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ГАЛЬОРКІНА ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

Білоусова Т.П., Тітаренко Ю.В., Тулученко Г.Я.  
Херсонський національний технічний університет (Україна)

Одним із найбільш наочних є застосування методу Б.Г. Гальоркіна до розв'язання граничних задач виду:

$$L(u) = f(x; y), \quad (1)$$

де  $L$  – лінійний диференціальний оператор;  $f(x; y)$  – відома функція;  $u(x; y)$  – шукана функція, –

в області  $\Omega$  із границею  $G$ , на якій задані граничні умови:

$$F(u) \Big|_G = 0, \quad (2)$$

Шукана функція  $u(x; y)$  подається у вигляді частинної суми ряду виду:

$$\tilde{u}(x; y) \approx u_0(x; y) + \sum_{i=1}^Q a_i \varphi_i(x; y), \quad (3)$$

де  $\varphi_i(x; y)$  – відомі аналітичні функції (які називають пробними);  $u_0(x; y)$  – відома аналітична функція, яка задовольняє граничним умовам;  $a_i$  – шукані коефіцієнти.

Функція  $\tilde{u}(x; y)$  в загальному випадку наближено задовольняє рівнянню (1), тому після підстановки виразу (3) в рівняння (1) утворюється нев'язка:

$$N(\tilde{u}) = L(\tilde{u}) - f(x; y). \quad (4)$$

В теорії методу Гальоркіна доводиться, що мінімізація нев'язки (4) відбувається, коли нев'язка є ортогональною до пробних функцій [1]. За скалярний добуток традиційно приймають вираз подвійного інтеграла по області  $\Omega$ :

$$\iint_{\Omega} \varphi_i(x; y) \cdot N(\tilde{u}) dx dy = 0. \quad (5)$$

Існує три традиційні вимоги до пробних функцій в методі Гальоркіна.

1. Пробні функції повинні бути лінійно незалежні.
2. Пробні функції повинні складати  $N$  перших елементів повної системи функцій. Ця вимога є необхідною вимогою збіжності розв'язку (3) до точного розв'язку, коли  $Q \rightarrow \infty$ .
3. Пробні функції повинні точно задовольняти граничним (2) та початковим (за наявності) вимогам.

Виконання першої вимоги забезпечує утворення визначеної системи лінійних рівнянь для знаходження невідомих коефіцієнтів  $a_i$ , а отже, вона має бути виконана обов'язково.

Порушення другої та третьої вимоги може приводити до зниження ефективності алгоритму реалізації методу Гальоркіна. Вдалих вибір перших  $Q$  пробних функцій  $\varphi_i(x; y)$  може навпаки привести до зростання точності отриманого розв'язку.

Таким чином, вибір перших  $Q$  пробних функцій містить елементи наукового пошуку, який може бути реалізований в студентських наукових дослідженнях. Наприклад, при здійсненні вибору рекомендується враховувати інформацію про точний розв'язок задачі, яка є близькою до досліджуваної, у разі наявності такого розв'язку [1].

Крім того, творчого підходу вимагає подолання труднощів при реалізації методу Гальоркіна, коли область  $\Omega$  має складну геометричну форму, коли мають місце громіздкі

граничні умови, або коли складним є сам диференціальний оператор. Також шуканий розв'язок може характеризуватися великими градієнтами в незначній частині області  $\Omega$  і малими градієнтами в інших її частинах.

Цікавою для студентської наукової роботи є задача побудови кубатурної формули підвищеної точності для обчислення інтегралів з виразу (5) за конкретною областю  $\Omega$ .

Розглянемо задачі, які припускають творчі підходи до свого розв'язання в межах математичної підготовки, що надається студентам інженерних спеціальностей.

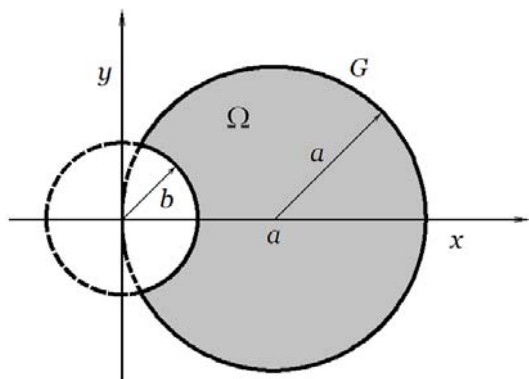


Рисунок 1. Переріз циліндричного стержня із круговою виточкою

Із літератури відомі приклади точного розв'язку рівняння Пуассона:

$$\Delta U = -2$$

із нульовими граничними умовами для областей у формі:

еліпса з півосями  $a$  і  $b$ :

$$U(x; y) = \frac{a^2 b^2}{a^2 + b^2} \cdot \left( 1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} \right);$$

луночки (задача Вебера, рис. 1):

$$U(x; y) = a \cdot \left( x - b^2 \cdot \frac{x}{x^2 + y^2} \right) + \frac{b^2}{2} - \frac{1}{2} \cdot (x^2 + y^2)$$

Також відомо, що наближений розв'язок рівняння Пуассона із нульовими граничними умовами для області у формі прямокутника має високу точність вже при обмеженні першими двома доданками ряду:

$$U(x; y) = \sum_{i=1}^Q c_i (x^2 - a^2)^i \cdot (y^2 - b^2)^i,$$

де  $a$  і  $b$  – сторони прямокутника.

Ці приклади об'єднує те, що до виразу розв'язку входить неявне рівняння границі області. Отже, графік такого розв'язку має лінії рівня, які за геометричною формою подібні до границі області. Цю особливість доцільно використовувати при формуванні виразів наближених розв'язків для областей іншої геометричної форми, зокрема такої, що припускає опис своєї границі рівнянням багатофокусної лемніскати прийнятної складності. Приклади графіків розв'язків рівняння Пуассона для лемніскат з фокусами у вершинах правильних багатокутників наведені на рис. 2. Пошук компромісу між складністю формування виразу наближеного розв'язку і швидкістю його збіжності до точного розв'язку також є цікавою задачею для студентського наукового дослідження.

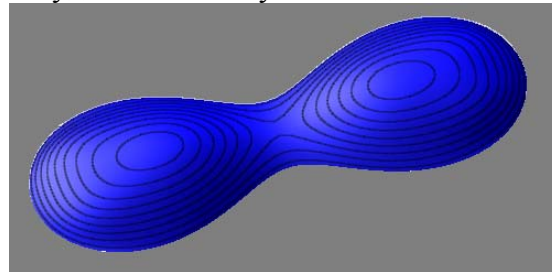
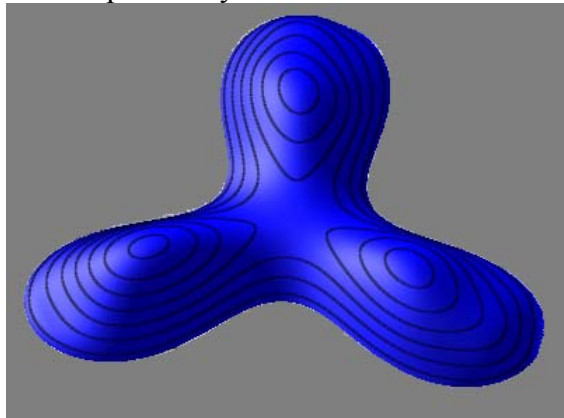


Рисунок 2. Приклади графіків наближених розв'язків рівняння Пуассона із нульовими граничними умовами

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина / К. Флетчер. – М.: Мир, 1980. – 352 с.



## **ВИЗНАЧЕННЯ ГВИНТОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВОГО ГОЛОВНОГО МАЛООБЕРТОВОГО ДИЗЕЛЯ НА ТРЕНАЖЕРІ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ TRANSAS ERS 5000 TECHSIM**

Богдан Ю.О., Манжелей В.С., Сатулов А.І., Худяков І.В.  
Херсонська державна морська академія (Україна)

Судновласники і оператори суден торгового флоту зацікавлені у зниженні своїх експлуатаційних витрат: палива, що споживається двигуном під час руху судна, часу необхідного на перехід до місця призначення, часу простою із-за некоректної експлуатації енергетичної установки та ін. Це ставить задачі оптимального вибору робочих параметрів пропульсивної установки. В залежності від різноманітних умов навігації і технічної експлуатації прийняття рішення досить ускладнено, особливо це пов'язано з невизначеністю метеорологічних умов у районі плавання судна. У зв'язку з цією і іншими експлуатаційними причинами судовому механіку слід мати повну інформацію про роботу пропульсивної установки у реальних умовах.

Для того, щоб судовий механік мав повну інформацію про роботу пропульсивної установки, вмів технічно грамотно обґрунтовувати вибір режиму роботи двигуна в конкретних умовах плавання, технічного стану судна і двигуна, необхідно володіти знаннями з побудови і аналізу гвинтових характеристик працюючого дизеля. Ці вимоги регламентуються Міжнародною Конвенцією і Кодексом з підготовки, дипломування і несення вахти, з поправками (табл. АІІ/2) і типовими модельними курсами Міжнародної морської організації (IMO Model Courses 2.07, 7.02) [1-4].

З метою коректного навчання, формування і визначення компетентності судового механіка найбільш раціонально використовувати тренажер машинного відділення (МВ) фірми TRANSAS ERS 5000 TechSim [5], модель танкера LCC (типа Aframax) з дизельною енергетичною установкою і прямою передачею потужності на гвинт фіксованого кроку [6]. Суднова пропульсивна установка з малообертовим дизельним двигуном, з прямою безпосередньою передачею потужності на гребний гвинт фіксованого кроку являється найбільш поширеною на торгових судах світового флоту. В склад пропульсивної установки моделі танкера LCC (типа Aframax) входить двотактний, малообертовий, реверсивний, дизельний двигун з турбонадувом MAN B&W 6S60MC-C з максимальною тривалою потужністю (MCR) 13736 кВт при частоті обертання колінчатого вала  $105 \text{ хв}^{-1}$  і номінальною тривалою потужністю (NCR, 85% MCR) 12364 кВт при  $101,4 \text{ хв}^{-1}$ , валопровід і гвинт фіксованого кроку діаметром 6 м і кроком  $H = 5,6 \text{ м}$ .

Характеристики двигуна представляють собою аналітичні або графічні залежності різних показників від одного з параметрів дизеля, що приймається за незалежну змінну величину [7, 8]. Основними експлуатаційними характеристиками являються навантажувальні і швидкісні [8]. Вони вказують, як на зміну енерго-економічних показників, так і на стан регулювання двигуна і систем, що його обслуговують. Однією з основних швидкісних характеристик роботи судового двигуна, що працює безпосередньо на гребний гвинт, являється гвинтова характеристика, що представляє залежність потужності і крутного моменту, а також інших показників працюючого двигуна від частоти обертання його колінчатого валу при змінній цикловій подачі палива  $N_e = f(n)$ ;  $M_e = f(n)$ . При безпосередній передачі потужності (пряма передача) навантаження двигуна за потужністю і моментом однозначно визначається частотою обертання його колінчатого валу  $n$  або швидкістю судна  $v_c$ , оскільки при незмінних умовах плавання  $v_{c1} / v_{c2} = n_1 / n_2$ . Звідси якщо необхідно збільшити швидкість судна в  $x$  разів, у стільки ж разів повинна бути підвищена частота обертання гребного гвинта і

двигуна. При цьому потрібно мати на увазі, що збільшення частоти обертання колінчастого валу двигуна вимагає збільшення в  $x^2$  разів крутного моменту і в  $x^3$  разів його потужності.

Гвинтова характеристика формується у результаті поєднання характеристик гвинта, корпусу, головної суднової передачі і валопроводу і визначає режими роботи головного двигуна при забезпеченні різних швидкостей судна.

Гребний гвинт обертається і одночасно переміщується разом з судном вздовж вісі обертання. Якщо б гвинт обертався у твердому середовищі, за один оберт він би перемістився на відстань рівну його кроку. Працюючи у рідкому середовищі, гвинт проходить шлях менший, чим його крок, оскільки під час свого вивільняє об'єм витісненої їм води, заповнення якого утворює супутній потік. Крім цього, в результаті тертя води о корпус судна має місце рух рідини в межах пограничного шару. Таким чином, гвинт переміщується у супутньому потоці. Поступальна швидкість гвинта  $v_p$ , м/с відносно води менше швидкості судна і визначається з виразу:

$$v_p = v_c (1 - \psi), \quad (1)$$

де  $v_c$  – швидкість судна, м/с;

$\psi$  – коефіцієнт супутнього потоку.

За формулою Тейлора для одногвинтового судна  $\psi = 0,5\delta - 0,1$  і залежить від коефіцієнта повноти водотоннажності:

$$\delta = \frac{V}{L \cdot B \cdot Dr}, \quad (2)$$

де  $V$  – об'ємна водотоннажність, м<sup>3</sup>;

$L$  – довжина судна між перпендикулярами, м;

$B$  – ширина судна у районі мідель шпангоуту, м;

$Dr$  – осадка судна, м.

Переміщення гвинта характеризується його ходом і виражається відношенням поступальної швидкості до частоти його обертання:

$$\Lambda_p = \frac{v_p}{n_s} \quad (3)$$

Відношення ходи гвинта до його діаметру називається відносною ходом:

$$\lambda_p = \frac{v_p}{n_s \cdot D}, \quad (4)$$

де  $D$  – діаметр гвинта, м.

Різниця між геометричним кроком (відстанню, що проходить гвинт за один оберт у твердому середовищі) і ходом (відстанню, що проходить гвинт у рідкому середовищі) називається ковзанням гвинта  $S$ , яке визначається з виразу:

$$S = H - v_p / n_s, \quad (5)$$

де  $H$  – крок гвинта, м.

Відношення ковзання до кроку гвинта називається відносним ковзанням  $s$ :

$$s = 1 - v_p / (n_s \cdot H). \quad (6)$$

Відношення відносного ковзання до діаметру можна виразити формулою:

$$\lambda_p = \frac{H}{D} (1 - s). \quad (7)$$

При відносній ході рівній нулю (судно не рухається), ковзання тоді максимальне (одиниця). Це режим швартовних випробувань.

Максимального значення  $\lambda_p$  можна було б досягнути тільки при умові, що  $s$  рівне нулю, але це неможливо, так як  $v_p$  завжди менше  $v_c$ .

Практично на судні ковзання гвинта розраховується наступним чином. Замірюються покази лічильника сумарної кількості обертів колінчатого валу двигуна, початкове і через 24 години роботи (найбільш оптимальний час, але можливий і експрес розрахунок). Отримавши покази лічильника і знаючи крок гвинта (дані судна) розраховується теоретична відстань, яку пройшло судно, в милях, за формулою:

$$D_t = (n \cdot H \cdot 60) T / 1852, \quad (8)$$

де  $n$  – частота обертання гребного гвинта,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$H$  – крок гвинта, м;

$T$  – інтервал часу заміру показів сумарного лічильника обертів колінчатого валу двигуна, год.

Дійсна відстань (в милях), яку пройшло судно за даними з містка.

Таким чином, процентне ковзання гвинта розраховується як відношення різниці теоретичної і дійсної відстаней до теоретичної відстані, яку пройшло судно і помноженому на 100 %:

$$S = \left( \frac{D_t - D_r}{D_t} \right) \cdot 100, \quad (9)$$

Значення ковзання може мати як додатне, так і від'ємне значення. Підвищене додатне значення свідчить про те що гвинтова характеристика «важкого» гвинта. Від'ємне значення вказує на характеристику «легкого» гвинта.

Реально в процесі експлуатації величина буксирувального опору судна змінюється в залежності від завантаження судна (його посадки), характеристик форватера, метеорологічних умов (вітру, хвилювання), стану поверхні корпусу, що також можливо моделювати на тренажері. Експлуатаційні гвинтові характеристики зазвичай являються дещо «важкими» внаслідок впливу морського хвилювання, обростання корпусу та інших впливів. Розрізняють наступні гвинтові характеристики: теоретичну або номінальну, характеристику «важкого» гвинта і характеристику «легкого» гвинта. Гвинтова характеристика називається теоретичною або номінальною, коли гвинт при номінальній частоті обертання споживає номінальну потужність двигуна.

При зміні відносною ходи гвинта (шлях, що проходить гвинт за один оберт  $\lambda_p$  вираз 4), а це можливо при зміні опору руху судна, гвинтова характеристика змінює своє положення і вигляд, змінюється значення коефіцієнта  $s$  у рівнянні потужності 10. Так, при збільшенні опору внаслідок збільшення осадки судна, посиленні зустрічного вітру або хвилювання, буксирування, обростання корпусу швидкість судна і хода гвинта зменшуються, тому гребний гвинт при тій самій частоті обертання поглинає більший крутний момент. Така характеристика часто називається характеристикою «важкого» гвинта. В умовах експлуатації обтяжування гвинта може бути внаслідок збільшення шорсткості лопатей із-за корозії, обростання, ерозії (кавітаційних каверн). При зменшенні опору руху судна, що можливо при супутньому вітрі або зменшенні осадки (плавання в баласті), швидкість судна і хода гвинта зростають. Тоді така гвинтова характеристика має назву характеристики «легкого» гвинта. При роботі двигуна в умовах «легкої» характеристики завантаження його виявляється значно меншим ніж у попередніх випадках. Зокрема для підтримання номінальної частоти обертання від двигуна потребується значно менша потужність і середній ефективний тиск. У цьому випадку потужність двигуна використовується не повністю, а робота на високих обертах спряжена з надмірним зношуванням деталей.

Зміна параметрів дизеля MAN B&W 6S60MC-C при роботі за гвинтовою характеристикою наведена на рисунку 1.

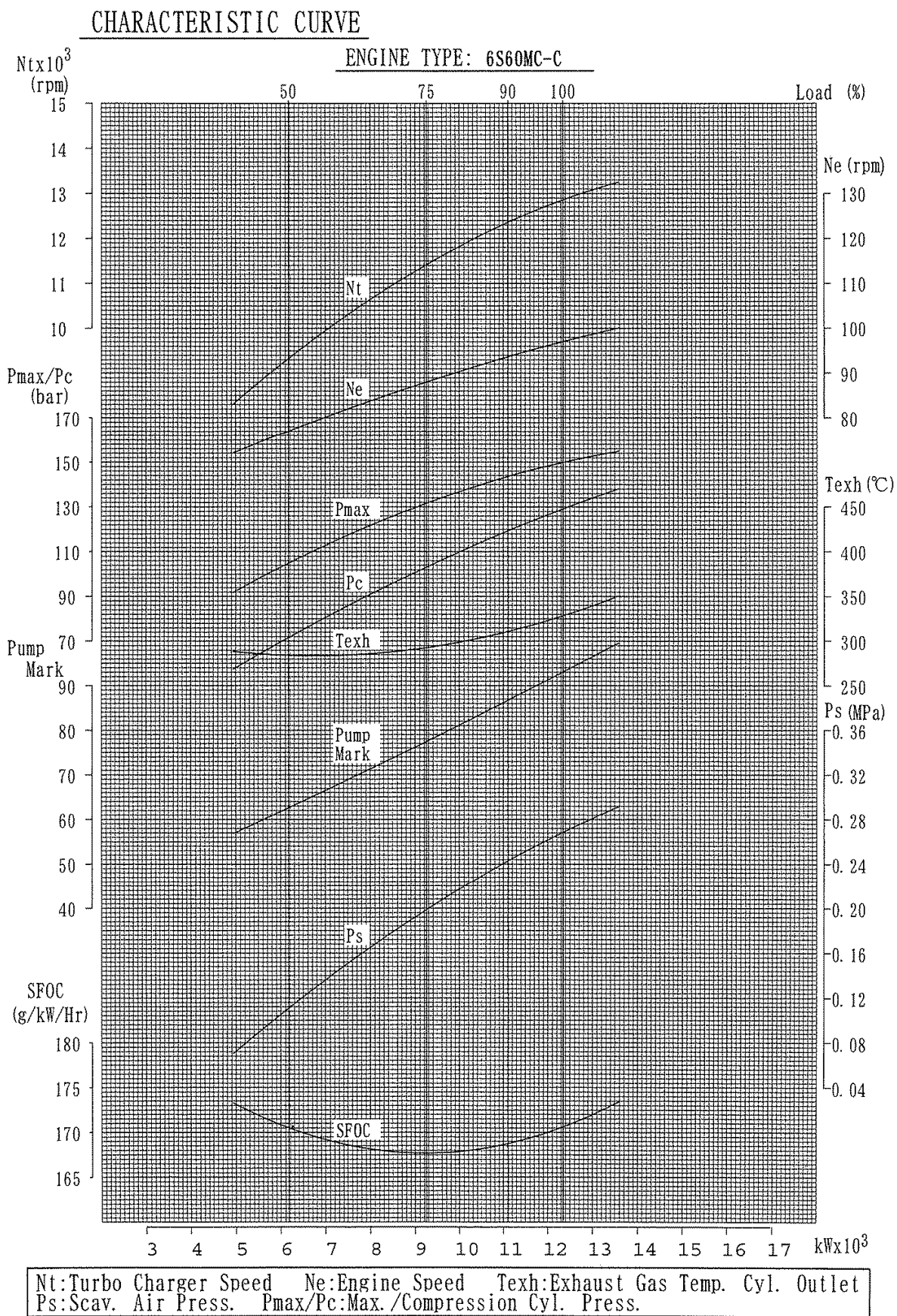


Рисунок 1. Зміна параметрів дизеля MAN B&W 6S60MC-C при роботі за гвинтовою характеристикою [10].

Перехід з режиму повного навантаження до малого здійснюється шляхом скорочення циклової подачі палива. Найбільш економічна робота двигуна забезпечується у області навантаження двигуна 72...85% від MCR. Зменшення навантаження і скорочення витрати палива призводить до падіння температури випускних газів і максимального тиску цикла, тобто зменшуються теплові і механічні навантаження двигуна.

Для моделі танкера типу LCC потужність, що споживається гребним гвинтом, визначається з виразу 10 і підпорядковується закону кубічної параболи, що являється теоретичною гвинтовою характеристикою.

$$N_a = N_e = c \cdot n^3. \quad (10)$$

У ході роботи на тренажері машинного відділення проведені випробування дизеля MAN B&W 6S60MC-C моделі танкера LCC при різних умовах роботи пропульсивного комплексу (мілководдя, супутній вітер, нормальні умови та ін.) та отримані гвинтові характеристики (Рис. 2).

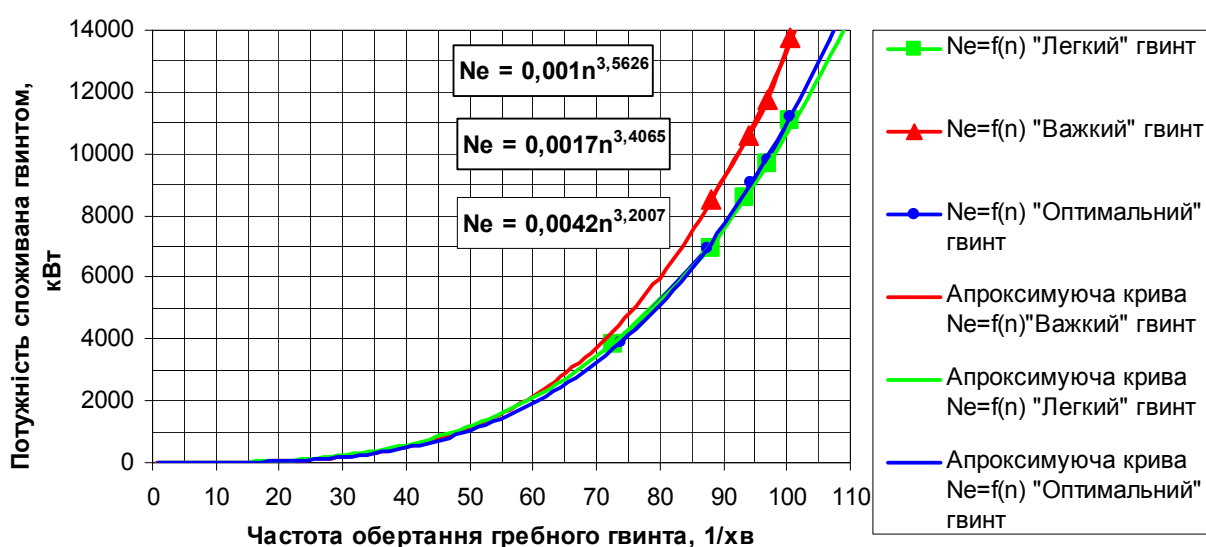


Рисунок 2. Гвинтові характеристики дизеля MAN B&W 6S60MC-C отримані на тренажері машинного відділення TRANSAS ERS 5000 TechSim

З побудови гвинтових характеристик дизеля авторами розроблено практичне заняття під час якого група курсантів (слухачів) збирає параметри (частота обертання, потужність, витрата палива та ін.) роботи пропульсивного комплексу при різних обертах двигуна і власне кожен індивідуально будує гвинтові характеристики.

Оволодіння курсантами (слухачами) навиками з побудови гвинтових характеристик і розрахунку значення ковзання гвинта дозволяє: краще розуміти співвідношення потужності двигуна і витрати палива для різних режимів роботи двигуна/ швидкості судна; отримати можливість прогнозувати потужність двигуна і витрату палива при різних режимах роботи / швидкості судна; розуміти особливості та відмінності гвинтових характеристик та ін.

Таким чином на тренажері побудовані гвинтові характеристики, визначено, що пропульсивна установка найбільш ефективно працює при навантаженні 75 % MCR, підвищення навантаження більше 75 % MCR призводить до зростання питомої ефективної витрати палива, теплових і механічних навантажень деталей дизеля. Робота двигуна за гвинтовою характеристикою зі зменшенням навантаження менше 75 % MCR супроводжується зменшенням теплового і механічного навантаження дизеля. Робота на малих навантаженнях не бажана не тільки з точки зору економічності двигуна, але і з точки зору технічного обслуговування. Малі циклові порції палива і змінний надлишок

повітря зменшують температуру в циліндрі, що викликає утворення нагарів, низькотемпературної корозії у циліндрі і вихлопному тракті.

Застосування тренажера дозволяє закріпити теоретичні знання і здійснити оцінку компетентності судового механіка. Навики отримані при визначенні гвинтових характеристик і розрахунку значення ковзання гвинта на тренажері являються гарним підґрунтям для практичного застосування на реальному судні

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року, (International Seafarers' Training, Certification and Watchkeeping (STCW-78)).
2. Міжнародний Кодекс про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1995 року з Манільськими поправками 2010 (International Seafarers' Training, Certification and Watchkeeping Code (STCW-95) with Manila Amendments 2010).
3. Модельний курс ІМО 2.07 "Тренажер машинного відділення" (Model course 2.07 Engine-Room Simulator).
4. Модельний курс ІМО 7.02 "Старший механік та другий механік" (Model course 7.02 Chief Engineer Officer and Second Engineer Officer).
5. Богдан Ю.А. Тренажер машинного відділення на путі становлення компетентного судового механіка / Ю.А. Богдан, В.С. Манжелей // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. Матеріали 8-ої Міжнародної науково-практичної конференції, 28-29 вересня 2017 року. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2017. – С. 481-483.
6. Тренажер TechSim 5000. ERS 5000 TechSim. MAN B&W 6S60MC-C Diesel Engine – Tanker LCC (Aframax). – 2014, 11. – 279 с.
7. Возницкий И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания: [в 2 т.] / И.В. Возницкий, А.С. Пунда. – М.: МОРКНИГА, 2010. – Т.1. – 260 с.; Т.2. – 382 с.
8. Малиновский М.А. Обеспечение надежности судовых дизельных установок на эксплуатационных и особых режимах работы / Малиновский М.А., Фока А.А., Ролинский В.И., Вахрамеев Ю.З. – Одесса: Фенікс, 2007. – 150 с.
9. Суворов П.С. Рабочие процессы и режимы судовых двигателей внутреннего сгорания / П.С. Суворов. – Одесса: ОНМА, 2007. – 192 с.
10. MITSUBISHI-MAN B&W 6S60MC-C. Instruction book. Operation and Data. Volume 1. – 491 p.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ РЕШЕНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ**

Зайцева Т.В.

Херсонская государственная морская академия (Украина)

**Введение.** Создание энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий является одним из важнейших направлений научно-технического прогресса. Реализация этого направления применительно к судовым энергетическим установкам (СЭУ) напрямую связана с повышением эффективности их технической эксплуатации.

Современное развитие информационных технологий, использующих новые поколения вычислительной техники, компьютерные сети, системы спутниковой связи, новейшие достижения измерительной техники, создают предпосылки для реализации информационных процессов технической эксплуатации СЭУ морских судов на качественно новом уровне.

Современный старший механик должен решать задачу предотвращения внезапного отказа любого механизма на судне, выбирая режим его работы с учетом правил технической эксплуатации, загрузки судна, погодных условий и технического состояния самого механизма.

Развитие методов технической эксплуатации СЭУ на базе информационных технологий требует высокого уровня формализации процедур сбора, обработки и анализа исходной информации и ее эволюции вплоть до получения нужного решения, то есть качественно иного уровня организации информационной среды.

**Постановка задачи и ее актуальность.** Компетентностный подход фиксирует и устанавливает подчиненность знаний умениям. Важную роль в этом процессе занимает информатика как наука и учебный предмет, так как компетентности, которые формируются при изучении предмета можно перенести на изучение других дисциплин для создания целостного информационного пространства знаний курсантов.

Курсанты факультета судовой энергетики изучают две дисциплины Информационные технологии и Информационные технологии в судовой энергетике, последняя имеет ярко выраженный прикладной характер.

Содержание курса Информационные технологии имеет две составляющие:

1. Теоретическая информатика, которая является в настоящее время одной из фундаментальных отраслей научного знания, она формирует у курсантов системно-информационный подход к анализу окружающей среды.

2. Информационные технологии, которые представляют собой методы и средства получения, преобразования, передачи, хранения и использования информации. Эта составляющая имеет крайне важное практическое значение, она выполняет социальный заказ общества на подготовку будущих специалистов морской отрасли.

Главной целью изучения дисциплины Информационные технологии является формирование информационно-коммуникационной компетентности курсантов. Информационно-коммуникационная компетентность можно рассматривать как комплексное умение самостоятельно искать, отбирать нужную информацию, анализировать, организовывать, представлять, передавать ее; моделировать и проектировать объекты и процессы, реализовывать проекты, в том числе в сфере индивидуальной и групповой деятельности. [1]

Если проанализировать содержание дисциплины «Информационные технологии в судовой энергетике», то при выполнении лабораторных работ у курсантов формируются предметные компетенции, связанные с использованием средств обработки данных, использование приемов вычислений, математического и информационного моделирования, деловой графики.

Основная цель дисциплины состоит в формировании у курсантов знаний, умений и навыков сбора данных, их структурирования, автоматической обработки больших объемов информации о режимах функционирования и техническом состоянии оборудования на примере работы с большими массивами данных, а также сохранения и защиты информации. Дисциплина закладывает практическую основу для решения как задач из следующих базовых дисциплин, так и будущих профессиональных задач. При этом данная дисциплина способствует развитию у курсантов логического мышления и формирования основ научного мировоззрения.

**Результаты исследования.** Оценка состояния СЭУ в нештатных режимах для решения задач поиска дефектов, определение работоспособности и прогнозирования требует наличия умений проведения диагностики. Дисциплина «Информационные технологии в судовой энергетике» способствует приобретению навыков решения задач формальными методами, умение формулировать логические гипотезы на основании анализа характера проявления отказов работы оборудования с последующей его проверкой.

Информационное образование - важнейшая составляющая фундаментальной подготовки современных специалистов, работающих на судах. Интенсивное развитие компьютерных универсальных систем, электронavigационных приборов, необходимых в работе судового специалиста, информационное моделирование электрооборудования судна и автоматизация процессов работы судомеханика, организация электронного документооборота - все эти функции основываются на знании современных технологий, понимании и осмыслении сформулированной задачи, и требуют качественной подготовки в этой области.

Данная дисциплина относится к вариативной части математического и естественно-научного цикла, поддерживает, согласно образовательно-профессиональной программе подготовки бакалавра, соответствующие модельные курсы IMO и разделы Конвенции STCW - 78/95, такие направления, как, «Теория и устройство судна и основы судовой энергетике», «Теория автоматического управления», «Судовые компьютеры и компьютерные сети», «Инженерная и компьютерная графика» [2].

Основа для формирования предметных компетенций закладывалась при изучении дисциплины Информационные технологии. Изучение функциональных возможностей табличного процессора (например, Microsoft Excel) направлено, во-первых, на знакомство с возможностью систематизированного представления информации в табличном виде и выполнения расчетных работ любой сложности. При выполнении лабораторного практикума дисциплины «Информационные технологии в судовой энергетике» курсанты при решении вычислительных задач используют математические пакеты MatLab и MathCad.

MathCad (продукт корпорации Parametric Technology Corporation) — система компьютерной алгебры из класса систем проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением, отличается лёгкостью использования и применения для коллективной работы.

MatLab представляет собой основу семейства продуктов MathWorks и является главным инструментом для решения широкого спектра научных и прикладных задач, в таких областях как: моделирование объектов и разработка систем управления, проектирование коммуникационных систем, обработка сигналов и изображений, измерение сигналов и тестирование, моделирование, вычислительные расчеты.

Математическое планирование (программирование) - это раздел математики, занимающийся разработкой методов нахождения значений функции, на аргументы которой наложены ограничения. Методы математического программирования используются в экономических, организационных, военных и др. системах для решения распределительных задач. Распределительные задачи возникают в случае, когда имеющиеся в наличии ресурсы ограничены, и необходимо наилучшим образом



распределить их с целью получения максимальной прибыли либо минимизации потерь в соответствии с выбранным критерием оптимальности (рис.1).

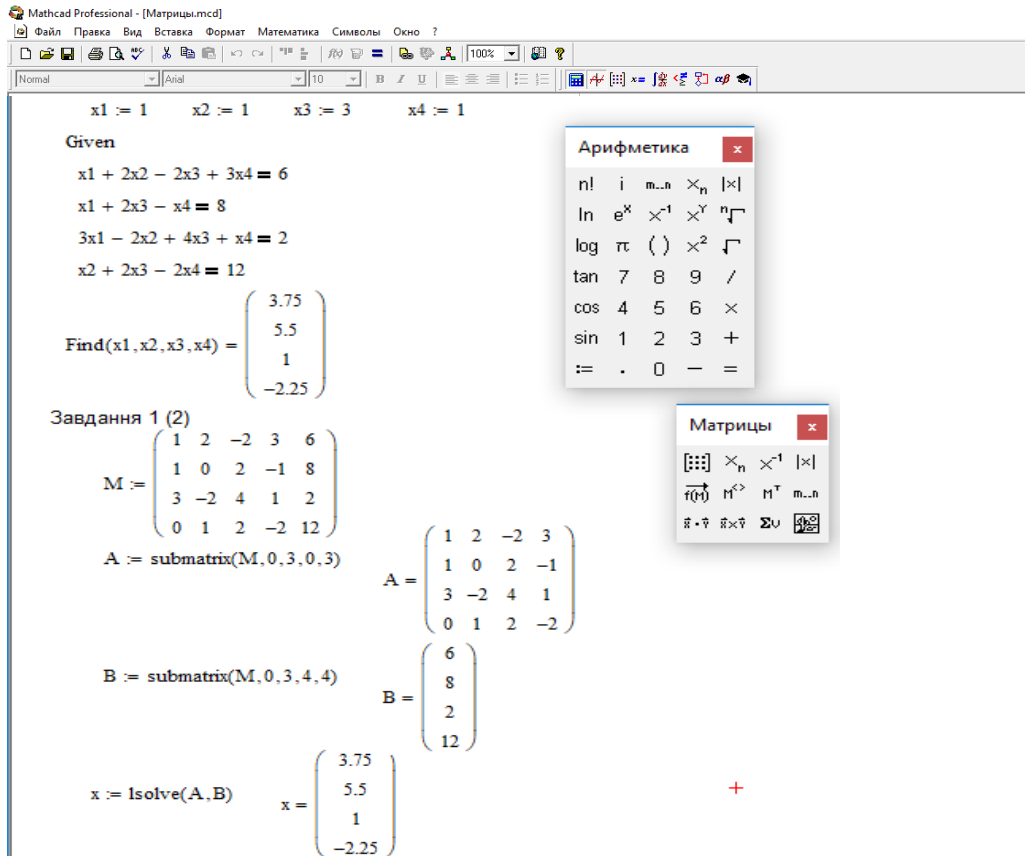


Рисунок 1. Аналитическое решение системы линейных уравнений в системе MathCad

Использованию методов математического программирования предшествует важный этап – построение математической модели, адекватной физическому смыслу задачи. Базовыми в этом смысле являются задачи линейного программирования и традиционные транспортные задачи. Цель некоторых лабораторных заданий – показать, как по физическому содержанию задачи правильно построить адекватную математическую модель и получить решение системы линейных уравнений аналитическим методом (рис. 1) или графическим (рис. 2).

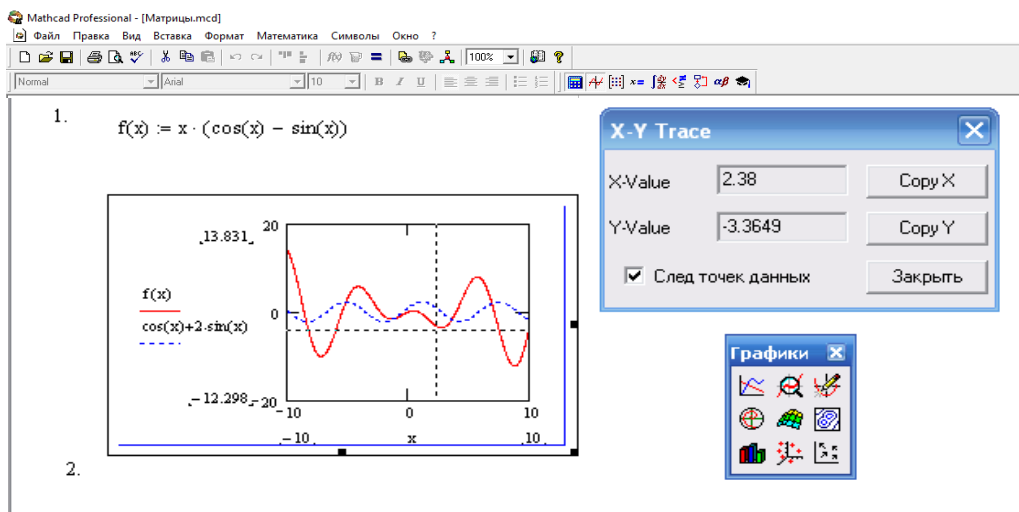


Рисунок 2. Решение системы линейных уравнений графическим методом в системе MathCad

**Выводы.** Одним из направлений дисциплины «Информационные технологии в судовой энергетике» - это изучение метода компьютерного моделирования и применения его в различных предметных областях. Т.е. заложить еще один необходимый кирпич в формирование комплекса компетенций специалиста морской области.

Материал данной дисциплины предусматривает решение курсантами задач, формулируемых в их предметной области и связанных с формализацией и последующим решением с помощью компьютерных технологий. Такие задачи, как правило, требуют значительного времени для решения, системного подхода при разработке, имеют большой объем вычислений. В процессе работы с системами компьютерной алгебры курсанты отрабатывают навыки построения информационных моделей, разработки алгоритмов решения, оценки полученных результатов, ощущают качественно новый социально-значимый уровень компетентности, развивают профессионально определяющие качества личности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Байденко В.И. Компетентностный подход к проектированию государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (методологические и методические вопросы): Методическое пособие. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2005. – 114 с.

2. Зайцева Т. Інтерактивні методи навчання як складова компетентнісного підходу в освіті: Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: Матеріали 7-ої Міжнародної науково-практичної конференції.- 22-23 вересня 2017 р. – Херсон: ХДМА. – С. 483-485.

## **МЕТОД МОДУЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ УПРАЖНЕНИЙ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ АВИАДИСПЕТЧЕРОВ**

Землянский А.В., Сало Н.А.

Летная академия Национального авиационного университета (Украина)

Внедрение индивидуального подхода к обучению, как одного из перспективных методов повышения качества обучения авиационных специалистов, в процессе обучения курсантов факультета ОВД в Летная академия Национального авиационного университета (ЛА НАУ) и на рабочих местах в РСП, поставил перед инструкторско-методическим составом задачи, выполнение которых требует нового подхода к созданию упражнений. Эти задачи вызваны необходимостью быстрого создания большого количества упражнений, содержащих новизну и актуальность реалий современного процесса УВД, которые необходимы для подготовки курсантов и диспетчеров на соответствующих тренажерах. Традиционные подходы, применяемые как в тренажерном центре ЛА НАУ, так и в тренажерных центрах региональных структурных подразделений Укрэрооруха, не позволяют оптимально решить данную задачу.

Согласно методике, применяемой при создании упражнений для подготовки авиадиспетчеров на тренажерах, упражнение формируется в виде полноценного законченного задания требуемой продолжительности и заданного уровня сложности. Сегодня на практике применяется несколько подходов для создания упражнений:

- ручное (с применением специальных инструментов) создание упражнения с «чистого листа», т.е. полностью от начала и до конца;
- создание упражнения на основе существующего с внесением изменений и/или дополнений;
- автоматизированное создание упражнений с применением специальных программных средств;
- автоматическое создание упражнений с применением специальных программных средств.

Все перечисленные подходы подразумевают создание полного, законченного упражнения с заданными параметрами и для конкретных целей.

Первые два способа характерны для тренажерных комплексов, используемых в региональных структурных подразделениях (РСП) Укрэрооруха и реализуются средствами, поставляемыми разработчиками автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД). Два последних подхода к созданию упражнений (автоматическое и автоматизированное создание упражнений) реализуются, например, с помощью программы SkyMaster и успешно применяются в ЛА НАУ. Алгоритм создания упражнений для перечисленных подходов в упрощенном виде представлен на рисунке 1.

В блоке «формализация задания» происходит выработка требований к упражнению: продолжительность, наличие и количество пиков интенсивности, количество ВС, их типы, условия выполнения упражнения и т.д. Затем происходит создание упражнения в соответствии выработанного задания. Следующим этапом идет проверка соответствия созданного упражнения выработанным требованиям и, в случае несоответствия, доработка упражнения. Проверка соответствия, как правило, происходит в виде «прогонки» задания в тренажерной системе.

Наиболее трудоемкими частями являются блоки составления упражнения и проверки соответствия. Причем на начальном этапе создания упражнения больше всего ресурсов идет на блок составления упражнения, а на завершающем этапе больше всего времени занимает «подгонка» упражнения под требования.

С целью сокращения времени на создание упражнений предлагается использовать подход модульного составления упражнений. Основой такого подхода является формирование библиотеки готовых фрагментов (модулей) упражнений с заданными

характеристиками продолжительности и сложности. Далее, при формировании конечного упражнения, необходимо совместить готовые модули в требуемом порядке и проверить соответствие упражнения заданию.

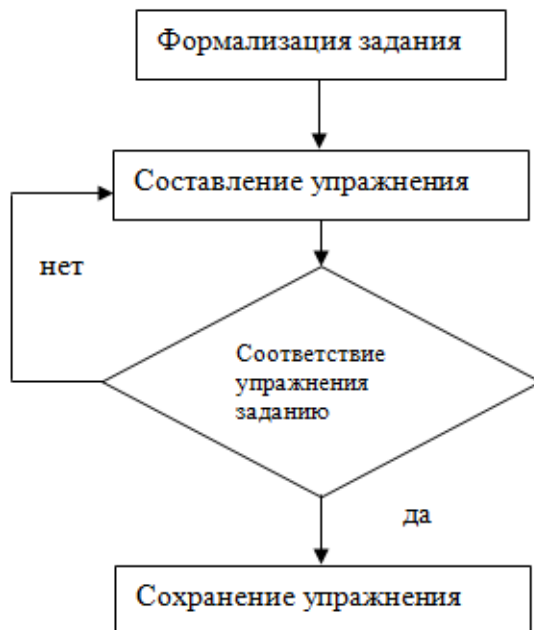


Рисунок1. Алгоритм создания упражнения заданного уровня сложности

Совмещение модулей может происходить тремя способами:

1. Полное перекрытие модулей. Данный способ подразумевает полное перекрытие модулей при наложении, как правило, за счет совмещения стартовых позиций модулей.

2. Частичное перекрытие модулей – неполное перекрытие модулей. Для этого способа необходимо указать точки сопряжения. В разрабатываемой системе формирования упражнений такой точкой является время входа в сектор управления последнего ВС в модуле.

3. Сопряжение модулей без перекрытия. Точкой сопряжения будет являться точка окончания модуля – время выхода последнего ВС из сектора управления.

Кроме того, возможно комбинирование вышеперечисленных способов совмещения модулей при создании упражнения. Визуальное отображение способов совмещения модулей представлено на рисунке 2.

В результате проведенного нами анализа были получены следующие выводы по эффективности и целесообразности применения способов совмещения модулей:

- *Полное наложение модулей является наиболее непредсказуемым способом в плане получения упражнения, которое возможно рекомендовать для выполнения. Недостатком является то, что при использовании такого способа наиболее часто происходят накладки планов полетов, приводящие к возникновению конфликтных и потенциально-конфликтных ситуаций, которые невозможно решить из-за полного отсутствия времени. Спрогнозировать количество потенциально конфликтных ситуаций (ПКС) и качество при использовании такого способа очень сложно. Исходя из перечисленных недостатков, рекомендовать такой способ наложения модульных частей упражнения для формирования невозможно.*

Исходя из перечисленных недостатков, рекомендовать такой способ наложения модульных частей упражнения для формирования можно только при условии предварительной ручной корректировки планов полетов, приводящих к возникновению конфликтных и потенциально-конфликтных ситуаций.



Рисунок 2. Способы совмещения модулей

- *Частичное наложение модулей* дает более прогнозируемые результаты по сравнению с полным наложением модулей. Наиболее уязвимыми фрагментами при использовании такого способа являются те фрагменты, которые участвуют в наложении модулей. В результате обработки результатов эксперимента по формированию упражнений таким способом был подготовлен ряд рекомендаций, которые позволяют избежать негативных последствий наложения. Такими рекомендациями являются:

1. Предусмотреть в составных модулях *формирование буферных участков*, располагающихся в начальной или финальной части модуля, которые позволят избежать непрогнозируемых результатов.

2. Разработать *буферные модули*, содержащие в себе такие планы полетов ВС в зоне, которые *гарантированно не будут пересекаться с стартовыми и финальными фрагментами основных модулей* и позволят совмещать любые модули между собой.

3. Разработать *шаблоны совмещения модулей*, в которых будут предусмотрены *не пересекающиеся друг друга параметры начала и окончания модулей*.

Преимуществом при использовании способа совмещения с частичным наложением модулей является равномерное распределение уровня интенсивности (загруженности авиадиспетчера) и, за исключением указанных выше фрагментов, хорошо прогнозируемые результаты суммарного упражнения.

- *Сопряжение модулей без наложения* дает наиболее прогнозируемые результаты и позволяет составлять упражнения, в которых составные модули могут совмещаться в произвольном порядке. *Недостатком такого способа* совмещения модулей упражнения является «проседание» уровня интенсивности (загруженности авиадиспетчера). Такой способ совмещения хорошо подходит для *формирования упражнений с явно выраженными пиками интенсивности*. Г

Таким образом можно **рекомендовать методы частичного совмещения модулей и сопряжения модулей без наложения** в качестве основных методов модульного построения упражнений.

Одним из ключевых моментов применения модульного метода формирования упражнений является составление электронной библиотеки (базы модулей) составных модулей, в которой необходимо предусмотреть систему определения ключевых признаков, характеризующих как сами модули, так и возможность их совмещения и взаимозаменяемости.

## **ПРОБЛЕМИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ ПРИ ВИВЧЕННІ ЗАГАЛЬНОІНЖЕНЕРНИХ ДИСЦИПЛІН**

Знамеровська Н.П., Васильченко Г.Ю., Татарінцева Ю.Г.  
Херсонська державна морська академія (Україна)

**Актуальність теми.** Розвиток морської освіти в наш час пов'язаний із глибокими змінами в області професійної компетентності, які викликані прийняттям в 1995 році нової редакції Додатка й Кодексу про підготовку й дипломування моряків і несення вахти (Кодекс ПДМНВ).

Професійні (або як їх називають у європейській освітній традиції - предметні) компетенції важливі для опису кваліфікацій (ступенів) і побудови навчальних планів і програм для обох рівнів вищої освіти. Що ж стосується загальних (універсальних) компетенцій, то їхнє призначення насамперед полягає в тому, щоб додати професійним профілям, як би чітко вони не були визначені, можливість до змін і адаптації.

Сучасна концепція модернізації морської освіти висуває необхідність компетентного підходу, який передбачає розвиток ключових компетенцій у студентів, необхідних для успішної професійної діяльності. Такий підхід до підготовки кадрів з вищою освітою **висуває на перше місце не інформованість студента, а вміння застосовувати випускником знання, вміння та навички при вирішенні проблем в конкретній професійній діяльності у судноводінні, судновій енергетиці та детально засвоювати, здобувати.**

**Аналіз останніх публікацій.** Аналіз досвіду освітніх систем багатьох зарубіжних країн засвідчив, що одним зі шляхів оновлення змісту освіти й освітніх технологій, узгодження їх із сучасними потребами, інтеграції до світового освітнього простору є орієнтація фахової підготовки на компетентнісний підхід та створення ефективних механізмів його запровадження. Таким чином, особливу значущість для професійного успіху набувають особистісні якості та компетентність фахівця. Вимоги до результату вищої освіти формуються категоріями «компетенції», «компетентність» [2].

Аналіз досліджень з даної проблеми засвідчив, що поняття професійної компетентності є складним. Так, О. Савченко, характеризуючи компетентнісну освіту, визначає її як особистісно-діяльнісну, результативну освіту, що зміщує акцент на здатності особи до практичної діяльності у певному контексті. Одним з базових понять компетентнісної освіти є компетентнісний підхід. Цей перехід від кваліфікаційної моделі фахівця до компетентнісної, тобто орієнтованої на конкретний результат, що і знайшло своє відображення у державних документах. Так, у листі Міністерства освіти і науки України від 31.07.2008 р. № 1/9 - 484 щодо нормативно-методичного забезпечення розроблення галузевих стандартів вищої школи зазначено, що в основі розробки стандартів нового покоління покладено компетентнісний підхід [1]. Тому, компетентнісний підхід у навчанні стає визначальним для підготовки фахівців, готових до виконання своїх професійних функцій і до праці в команді.

**Виклад основного матеріалу.** Реалізація компетентнісного підходу при викладанні дисциплін кафедри для фахівців морського та річкового транспорту враховує наступні основні умови: забезпечення неперервності формування компетентностей завдяки існуванню вертикальних та горизонтальних зв'язків між дисциплінами та елементами курсів впродовж усього періоду навчання та максимальна приближеність завдань і питань з дисциплін кафедри до практичної сфери компетентності роботи суднового механіка, електромеханіка та судноводія.

Перед Херсонською державною морською академією стоїть задача підготовки компетентних судноводіїв, судових механіків та електромеханіків, розв'язання якої вимагає підвищення рівня підготовки спеціалістів в галузі фундаментальних та професійних знань, зокрема технічних.

Викладачі чітко уявляють роль і місце кожної навчальної дисципліни кафедри у формуванні компетентностей майбутніх фахівців, зокрема, при свідомому засвоєнні спеціальних професійних навчальних дисциплін.

Стосовно засобів реалізації компетентнісного підходу при вивченні навчальних дисциплін кафедри, на нашу думку, доцільним є моделювання виробничих (експлуатаційних) умов роботи машин та механізмів, технічного обслуговування і поточного ремонту суднового обладнання із створенням викладачами необхідного навчально-методичного забезпечення.

Для реалізації цього було зроблено наступне:

- Внесено зміни до навчальних робочих програм з дисциплін відповідно до вимог ІМО model course та принципів компетентнісного навчання у конкретних учбових дисциплінах;

- внесені зміни до навчально-методичних комплексів дисциплін кафедри;

- продовжується робота зі складання завдань для практичних занять прикладного імітаційного характеру за спеціальностями та проводиться апробація вже розроблених ситуаційних задач.

Так, доценти кафедри розробили навчальні посібники з усіх основних розділів дисциплін загальної інженерної підготовки з компетентнісним підходом. Основні відмінності цих посібників від вже існуючих – це, насамперед, орієнтація на задачі професійної спрямованості або такі, що необхідні для засвоєння фахових дисциплін на старших курсах.

Матеріали кожного розділу впорядковані таким чином, що дозволяють враховувати різні форми навчання, що є дуже важливим, враховуючи специфіку даного морського навчального закладу, і, навіть, підготовленість курсантів(студентів). Отже, кожен розділ прикладної механіки опрацьовано та викладено за наступною схемою:

1. Теоретичний матеріал у звичному академічному викладанні, але з використанням прикладів суднових машин і механізмів, що є особливо актуальним для денної форми навчання курсантів та студентів.

2. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт та розв'язання практичних задач з даної теми з використанням прикладів їх застосування у суднових машинах і механізмах (для самостійної роботи, виконання домашніх завдань, підготовки до контрольних робіт всіх форм навчання).

3. Тестові завдання (розраховані на перевірку рівня сформованих компетенцій за фахом чи предметних).

4. Тренувальні вправи (можуть бути використанні на практичних заняттях у вигляді робочих зошитів дисциплін).

5. Індивідуальні розрахункові завдання (варіанти для індивідуальної роботи).

6. Зразки виконання індивідуальних завдань (допомога курсантам та студентам у їх виконанні).

7. Застосування певної теми і прикладів задач у сфері морської практики та спец предметів.

З метою поглиблення вмінь практичного застосування набутих знань було переглянуто перелік лабораторних робіт для курсантів судноводійської спеціальності, які проводяться при вивченні нарисної геометрії та інженерної графіки і розроблено методичні рекомендації до їх проведення з використанням комп'ютерних програм.

На сьогодні продовжується робота зі створення нових лабораторних робіт з прикладної та технічної механіки, які сприятимуть кращому розумінню фундаментальних основ фахової діяльності майбутніх моряків;

Так викладачами створена, обладнана і впроваджена в навчальний процес спеціалізована, компетентнісно спрямована навчальна лабораторія прикладної механіки.

Оснащення лабораторії виконане викладачами за такою структурою:

- лабораторні установки і пристрої для проведення конкретних експериментальних досліджень, що моделюють виробничі сити;
- методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з прикладної механіки.

Враховуючи особливу значущість лабораторних занять при формуванні у курсантів необхідних компетентностей, викладачі приділяють особливу увагу становленню і розвитку матеріально-технічної бази лабораторії, самостійно створюють обладнання, що імітує механічні процеси, що відбуваються на судні при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт, при роботі кранів, швартовно-якірних механізмів і т.п..

Для продовження становлення та удосконалення компетентнісного підходу при вивченні дисциплін кафедри продовжується розробка і виготовлення лабораторного обладнання для виконання лабораторних робіт з усіх напрямків навчальної роботи кафедри.

Ефективна організація самостійної роботи створює умови для підвищення рівнів навчальних досягнень курсантів, розвитку професійно-значимих якостей особистості, творчих здібностей, самостійності та активності, тим самим сприяючи становленню та розвитку професійної компетентності майбутнього морського фахівця.

Чим вище рівень самостійності пізнавальної діяльності курсанта у вузі, тим вища його здатність до подальшого професійного зростання, а відповідно й конкурентна спроможність його на ринку праці.

Впровадження мережевих технологій навчання є одним із способів підвищення результативності управління самостійною роботою курсантів як очної так і заочної форм навчання, що дозволяє оптимізувати процес вивчення фундаментальних дисциплін загалом дисциплін кафедри зокрема, створює сприятливі умови для здійснення всіх етапів пізнавальної діяльності.

Значні можливості дає використання НМКД на базі MOODLE, де викладач у своїй педагогічній діяльності контролює час роботи курсантів над матеріалами курсу. Контролюючи результати роботи курсантів, викладач має змогу стимулювати неактивних учасників курсу, виявити слабкі місця кожного курсанта індивідуально, вчасно надати педагогічну підтримку тощо. Працюючи у системі, курсанти отримують всю необхідну методичну допомогу, мають можливість самостійно розраховувати власні сили та час для підготовки до занять. А викладач у той самий час може контролювати їх зусилля.

Створені словники з курсу «Матеріалознавство» та «Нарисна геометрія та інженерна графіка» допомагають курсантам повсякчас мати під рукою розшифровку всіх основних понять та термінів дисциплін та відповідними до них визначеннями.

До кожної теми курсів є у наявності електронний варіант лекційного матеріалу з розробками практичних і лабораторних занять.

Контроль над результатами самостійної роботи курсантів та рівнем сформованості інженерно-графічних компетенцій здійснюється завдяки розробленим тестовим завданням для курсантів по кожному тематичному блоку. Курсанти проходять тестування у зручний для них час та у зручній обстановці, навіть знаходячись на морській практиці. Тестовий редактор автоматично перевіряє та оцінює результати роботи курсантів. Результати виконання фіксуються.

Як показує досвід, використання дистанційного навчально-методичного комплексу в організації самостійної роботи курсантів під час вивчення дисциплін кафедри дає змогу:

- підвищувати рівень пізнавальної самостійності курсантів;
- формувати мотивацію процесу навчання;
- активізувати творчий потенціал курсантів, залучаючи курсантів до науково-дослідної роботи, яка тісно пов'язана з майбутньою професією;
- створити сучасні системи контролю за процесом формування відповідних компетентностей курсантів;
- упроваджувати інноваційні технології навчання;



- надавати вчасну консультативну допомогу курсантам та викладачам,
- формувати у курсантів та викладачів комунікативні вміння, культуру спілкування, готовності до дискусії, виробляти навички дослідної діяльності;
- навчати пошуку, обробки, збереження та передачі інформації за допомогою сучасних комп'ютерних технологій[4].

Для формування інтересу до занять з дисциплін кафедри нами були розроблені лекції, **які склалися з двох частин, об'єднаних в єдине ціле: з елементів професійних знань та матеріалу, що вивчається на занятті з дисциплін кафедри.** Зосередження уваги курсантів (студентів) на практичному застосуванні набутих знань з предметів кафедри на судні з **одночасною демонстрацією** технічного пристрою, допоміжних механізмів або приладів, що розміщені на судні, відразу включає майже всі компоненти інтересу до знань: мотиваційний, інформаційний, емоційно-вольовий (психологічний), а також такий важливий компонент інтересу, як *професійна самосвідомість і відчуття професійної необхідності.*

Поставлені цілі припускають формування в людини певного набору ключових (наскрізних) компетенцій, які дозволяють йому успішно продовжувати освіту щораз, коли в цьому виникає необхідність, при зіткненні із проблемами, що виникають у професійному й особистому житті. Такі (універсальні) компетенції повинні базуватись на надійних і усвідомлених знаннях з дисциплін загально інженерного циклу, які включають в себе графічну підготовку на сучасному рівні з використанням комп'ютерних технологій та міжнародних стандартів, вміння розуміти і усвідомлювати взаємні залежності, викладенні в формулах, володіти навичками проектної і конструкторської діяльності.

Істотні розходження між традиційною професійною освітою і професійною освітою, заснованою на компетенціях й орієнтованих на результат наведені в таблиці (див. нижче). З неї випливає системний підхід до розробки освітніх стандартів й їхньому відновленню, відповідно до якого:

- першим етапом виступає аналіз потреб в уміннях спеціалістів морського профілю, тобто періодичне відстеження потреб флоту в професійних навичках, уміннях (ширше - компетенціях), що здобувають в установах професійної освіти. Цей етап може базуватись на вимогах сформульованих в кодексі ПДМНВ ІМО;
- другим - розробка освітніх програм з урахуванням інтересів особистості та традицій вищої школи України;
- третім - їхня реалізація (у тому числі й на стадії апробації);
- четвертим - моніторинг й оцінка;
- п'ятим - проведення необхідних корекцій.

Таблиця 1 Розходження між традиційною професійною освітою і професійною освітою, заснованою на компетенціях й орієнтованою на результат:

<b>Характеристика</b>	<b>ПО, заснована на компетенціях</b>	<b>Традиційна ПО</b>
<i>Стандарти (основний зміст)</i>	Орієнтованість на потреби і вимоги сфери праці (ПДМНВ)	Вимоги, які встановленні системою освіти (кількість годин)
<i>Навчальна програма</i>	Модульна, кредитно-модульна. Будується гнучко у вигляді горизонтального й/ або вертикального набору модулів на базі теоретичної підготовки в даній області компетенції або на основі попереднього трудового досвіду відповідно до потреб студента	Цілосна програма за професією/спеціальністю навчання. Будується як набір теоретичних і практичних дисциплін, орієнтована на загальні підходи й методи в професійній діяльності
<i>Методи навчання</i>	Активні (ділова гра, обговорення в групах, імітаційні ситуації, метод	Лекції, демонстрації, пояснення. Викладач є транслятором знань,

Характеристика	ПО, заснована на компетенціях	Традиційна ПО
	рішення проблем, демонстрація досвіду, вивчення конкретних ситуацій із практики, проекти й ін.), орієнтовані на зацікавленість учнів, засновані на самостійній і практичній діяльності, максимальне використання можливостей дистанційного навчання.	що викладає інформацію, запропоновану підручниками.
Оцінка	«Уміє/не вміє робити щось» — оцінка освоєних компетенцій. Використається кредитно-модульна система, бально-рейтингова система оцінювання.	Оцінки, заліки, оцінка відвідуваності занять. Методика не дозволяє повернути студента до додаткової підготовки в області конкретних умінь
Тривалість програми навчання	Гнучкий підхід, заснований на конкретній потребі студента	Чітко встановлена тривалість курсу навчання
Реалізація навчання	Розмаїтість методів і місць освоєння	В основному на базі навчального закладу

Нова міжнародна Конвенція обмежує рівень компетентності випускника морського навчального закладу «рівнем експлуатації», необхідним для заняття посади вахтового помічника капітана й вахтового механіка. Для заняття більше високих посад старшого помічника капітана або другого механіка, старшого механіка або капітана випускник повинен напрацювати певний плавальний ценз у судноплавній компанії й потім повернутися в навчальний заклад для того, щоб «закінчити схвалену освіту й підготовку» з метою підвищення своєї професійної компетентності до «рівня керування» [1].

Очевидно, нормою стане вихід випускників бакалаврського рівня в світ професійної діяльності й повернення їх через два-три роки на магістерський цикл, і це повернення вже буде обміркованим і зваженим з погляду професійного вибору. Ця обставина також висуває даткові вимоги до надійності і усвідомленого засвоєння знань з дисциплін загально інженерного циклу.

#### **Висновки:**

1. Формування змісту компетенцій спеціалістів морського транспорту, відображених в стандартах слід здійснювати на основі вимог роботодавців, як мінімальних з урахуванням можливостей особистості, що навчається, до розвитку та професійного зростання.

2. Робочі програми та методики викладання дисциплін загально інженерного циклу повинні забезпечувати реалізацію всіх дидактичних вимог для формування ґрунтовних базових знань, що дозволять студенту а потім випускнику якісно оволодівати професійними компетенціями та вдосконалювати їх протягом всієї професійної діяльності.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Конвенція ПДМНВ 1978, 2014 р.р.(офіційний переклад)
- 2.Бондар С. Компетентність особистості інтегрований компонент навчальних досягнень учнів // Біологія і хімія в школі. –2003. –№ 2. –с. 8-9.
- 3.Гушлевська І. Поняття компетентності у вітчизняній та зарубіжній педагогіці // Шлях освіти. –2004. –№3. –С.22-24.
- 4.Овчарук О.В. Компетентності як ключ до формування змісту освіти Стратегія реформування освіти України. -Київ.: К.І.С.2003. –295 с.
- 5.Равен Дж. Педагогическое тестирование: Проблемы, заблуждения, перспективы: Пер. с англ., Изд. 2-е, испр. –М.: “Когито-Центр”, 2001. –142 с.

## **ДИНАМІЧНА ГЕНЕРАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ СУДЕН-ЦІЛЕЙ В ТРЕНАЖЕРНИХ КОМПЛЕКСАХ СУДНОВОДІННЯ**

Каштальян П.В., Тернова Т.І., Рожков С.О.  
Херсонська державна морська академія (Україна)

**Вступ.** Тренажерна підготовка займає особливе місце в структурі професійної освіти фахівців флоту, що забезпечують процеси судноводіння. Тренажерні комплекси для забезпечення якісної підготовки фахівців повинні мати, перш за все, потужні програмно-апаратні платформи тренажерів і великий вибір імітаторів реальної обстановки. Велике значення для підвищення якості підготовки фахівців морського і річкового флоту має вдосконалення системи тренажерного навчання і його автоматизація. Розробка, освоєння і впровадження сучасних інформаційних технологій, які базуються на інтелектуальній обробці різних видів інформації, що надходить на всіх етапах процесу, дозволить підвищити якість тренажерного навчання і подальшого тестування. Використання тренажерних комплексів судноводіння при підготовці курсантів морських навчальних закладів підвищує компетентність майбутніх фахівців.

**Актуальність досліджень.** Забезпечення безпеки судноплавства є одним з основних пріоритетів морського і річкового флоту. Зростання інтенсивності судноплавства, постійне посилення вимог до осіб, які забезпечують процес судноводіння, визначають актуальність підвищення якості підготовки фахівців і, в першу чергу, командного складу суден [1-3]. У зв'язку з тим, що безпека судноплавства визначається, в основному, якісним складом судноводіїв, головна увага повинна бути звернена на людину (судноводія, лоцмана, диспетчера), як основної ланки транспортної системи, від якої залежить максимальне скорочення аварійності. Роль «людського фактора» в організації забезпечення безпеки руху, його взаємозв'язку з іншими ланками транспортної системи на сучасному етапі залишається актуальною. Тому тренажерна підготовка, як важлива складова в системі освіти судноводіїв грає важливу роль.

В основі існуючих методів тренажерної підготовки фахівців використовується, як правило, підхід, що включає в себе: суворе визначення моделі предметної області; завдання сценарію тренінгу; багаторазове виконання учнем типових дій, властивих управлінню судном; аналіз результатів [4-6]. Такий підхід не дозволяє врахувати різноманіття факторів, що впливають на прийняття рішення судноводія в реальних умовах. Інструктор при контролі виконання завдання на тренажері стикається з проблемою генерації обурення від суден-цілей. Це часто призводить до неадекватності ситуації і, як наслідок, необ'єктивності оцінки виконання вправи. Таким чином, актуальною проблемою є недостатньо опрацьована методологія тренажерного навчання. З одного боку, це пов'язано з методикою тренінгу фахівців-судноводіїв, що не враховує складної природи взаємозв'язку їх з реальними об'єктами. З іншого боку, з відсутністю адекватних моделей процесів, які враховували б професійні знання, досвід, інтуїцію осіб, які приймають рішення, що не дозволяє підвищити обґрунтованість прийнятих рішень і домогтися нової якості навчання управління судном.

Підвищення ефективності процесів тренажерної підготовки фахівців може бути забезпечено за рахунок використання сучасних інформаційних технологій, що дозволяють моделювати ситуації, максимально наближені до реальних, і за рахунок більш точного оцінювання реакції особи, що забезпечує судноводіння. Використання динамічної генерації сцен і сценарію збурень в тренажерних комплексах забезпечить можливість досягнення необхідної в умовах сучасної обстановки ефективності їх функціонування.

**Постановка задачі.** Метою статті є аналіз можливості підвищення ефективності використання тренажерних комплексів судноводіння за рахунок автоматизації факторів збурення з боку суден-цілей з урахуванням регіональної експлуатації флоту.

**Результати досліджень.** Виконання завдання в тренажерному комплексі передбачає спостереження за об'єктом-судном, яке переміщується, змінює свою орієнтацію в просторі або інші параметри в залежності від керуючого впливу і збурень [2]. Одним з головних збурень для об'єкта-судна тренажерного комплексу судноводіння є судна-цілі. Кількість і параметри суден-цілей доцільно задавати автоматично з урахуванням обмежень і адекватно можливій ситуації при судноводінні, для виключення необ'єктивного впливу інструктора на складання завдання [6]. Об'єкти на різних кадрах, отриманих від камер стеження в різні моменти часу, мають різні координати і параметри.

Це можна зобразити як рух сітки відліків  $\Omega$ , у кожному вузлі  $\bar{j}$  якої знаходяться об'єкти слідкування при нерухомій сцені. Уявимо зміщення  $\bar{j}$  відносно його первинного положення на сітці відліків  $\Omega$  у вигляді вектора  $\bar{h}_{\bar{j}}$ . Множину таких векторів можна записати як векторне випадкове поле  $\mathbf{H} = \left\{ \bar{h}_{\bar{j}} : \bar{j} \in \Omega \right\}$  [7].

Якщо розглядати отриману від системи спостереження послідовність зображень з просторовими переміщеннями, то отримаємо випадкове поле  $\left\{ \bar{h}_{\bar{j}}^k : \bar{j} \in \Omega, k \in T \right\}$ , де  $k$  – номер зняття показань,  $T$  – кількість зображень.

В загальному випадку, вузли зображень простіше представити в вигляді мережі відліків і контролювати зміну положення вузлів сітки відносно попереднього кадру.

У випадку спостереження контрольованої сцени, коли вигляд можливих переміщень об'єктів на обмеженій ділянці відомий і, відповідно, вид міжкадрових просторових змін можна прогнозувати (наприклад, коли помічено зміщення чи поворот і відбувається контроль лише величини виявленої зміни), зміщення кожного вузла можна записати в параметричному вигляді [7]:

$$\bar{h}_{\bar{j}} = f(\bar{j}, \bar{\alpha}) \quad (1)$$

де  $\bar{\alpha}$  – міра зміни по кожному з видів просторових деформацій.

Наступне зображення контрольованої ділянки матиме відміну від попереднього, якщо вид або ступінь переміщення змінився. В випадку коли ці зміни відомі чи можуть бути спрогнозовані, зображення кадру  $\mathbf{x}_{\bar{j}}^{(k)}$  може бути отримане із попереднього  $\mathbf{x}_{\bar{j}}^{(k-1)}$  за допомогою функції:

$$\mathbf{x}_{\bar{j}}^{(k)} = f_k \left( \mathbf{x}_{\bar{j}}^{(k-1)}, \mathbf{a}_k, \mathbf{j} \right), \quad (2)$$

точність котрої задана параметрами  $\mathbf{a}$ .

Параметри просторових переміщень і зміни орієнтації  $\mathbf{a}$  для контрольованого судна розглядаються при оцінюванні як випадкові, для суден-цілей – задаються певними алгоритмами та законами руху.

Для великої послідовності кадрів при реальному спостереженні за фізичними об'єктами формування кадру лише з допомогою функції (2) часто не має сенсу, адже похибка вектора  $\mathbf{a}$  відмінна від нуля и має тенденцію накопичуватися, що, в результаті, призведе до суттєвих розрізень між прогнозованим зображенням та реально отриманим. Але використання функції (2) в якості допоміжного параметра в підсистемі контролю, яка застосовує компенсацію інформаційних потоків [8-11] дає суттєве зростання швидкості розпізнавання і, відповідно, прийняття рішень.

Послідовність кадрів, отриманих з заданим інтервалом часу від камер спостереження можна представити структурною схемою (рис. 1).

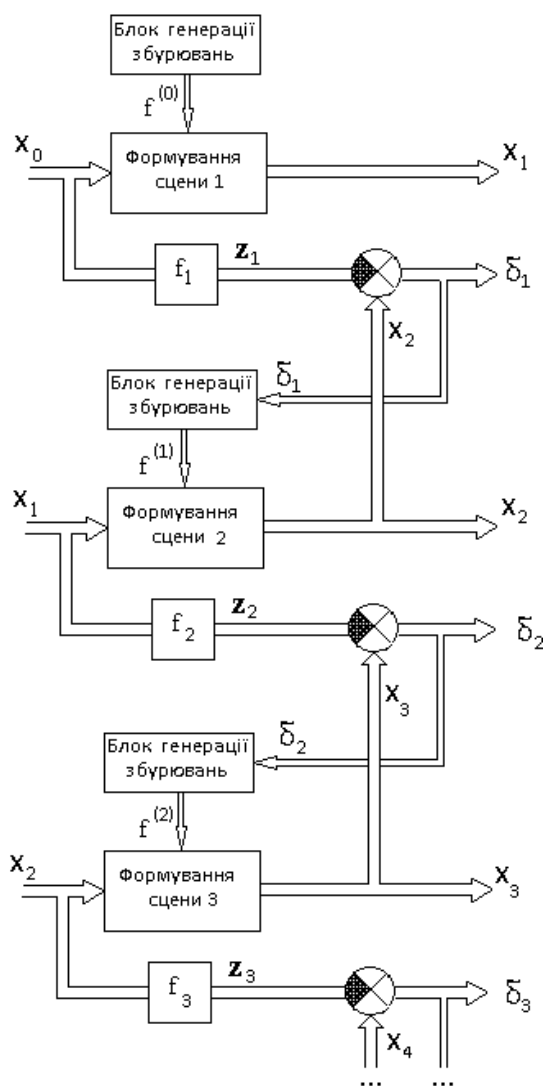


Рисунок 1. Структурна схема отримання послідовності кадрів з використанням блоку генерації збурень

На рис. 1 параметр  $\delta_k$  характеризує точність прогнозу просторових змін у k-тому кадрі та визначається як різниця між отриманим зображенням кадру  $x_{k+1}$  та прогнозованим  $z_k$ :

$$\delta_k = x_{k+1} - z_k \quad (3)$$

Таким чином, формування наступної сцени в тренажерному комплексі судноводіння можна здійснити з врахуванням отриманого параметра  $\delta_k$ :

$$x_j^{(k)} = f_k \left( x_j^{(k-1)}, a_k, j, \delta_k \right) \quad (4)$$

Як видно з рис.1 системі контролю доступні послідовні кадри  $x^1, x^2, \dots, x^k, \dots$  та параметри  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k, \dots$ . Тобто є можливість використовувати параметр  $\delta^k$  для формування наступної прогнозованої сцени зображення  $x_{k+1}$ .

**Висновки.** Застосування блоку формування збурень в системі тренажерного комплексу дозволяє:

- використовувати його для уточнення завдання в процесі виконання, оскільки враховується поведінка судна, яке знаходиться під управлінням курсанта;
- точніше формувати, або повністю автоматизувати поведінку суден-цілей у відповідності до завдання;
- підвищити рівень адекватності завдання та об'єктивності оцінки його виконання.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Акмайкин Д. А. Обзор функциональных возможностей и перспективы современных автоматизированных систем планирования маршрута судна / Д. А. Акмайкин, Д. Б. Хоменко, С.Ф. Ключева // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 2. — С. 237–251. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-237-251.
2. Мироненко А.А. Идентификация траектории движения судна // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. -- М., 2014 С. 3102-3114.
3. Tkach V.A., Kashtalyan P.V., Rozhkov S.A. Monitoring and Control Systems of Modern Intellectual Interfaces // IEEE 4th International Conference Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). October 18-20, 2016 Kyiv. pp.237-240. (in Ukraine). IEEE Catalog Number: CFP1652Y-PRT; ISBN: 978-1-5090-1052-3. INSPEC Accession Number: 16545525 DOI: 10.1109/MSNMC.2016.7783151
4. Таратынов В.П. Судовождение в стесненных районах. М.: Транспорт, 1979. - 127 с.
5. Родионов А. И., Сазонов А. Е. Автоматизация судовождения: Учеб. для вузов. - 3-е изд., перераб и доп. -- М.: Транспорт, 1992. - 192 с..
6. Теоретические аспекты судовождения /А. Д. Пипченко. – Одесса: ОНМА, 2013. - 144 с.
7. Ташлинский А.Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений / А.Г. Ташлинский – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 131с.
8. Тернова Т.І. Оброблення та розпізнавання сигналів сканування поверхні для визначення якісного стану об'єктів / Т.І. Тернова //Праці дев'ятої всеукраїнської міжнародної конференції “Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів” (УкрОБРАЗ’2008). – К., 2008. – С. 115-117.
9. Декларацийний Патент України №30433 А, МПК 6 G 06K 9/00 /–№4707484/SU Пристрій для визначення просторового зміщення зображення об'єкту по відношенню до еталону зображення / Тернова Т.І., Храпливий А.П., Бражник О.М., Тимофеев К.В., Рожков С.О.; Заявл. 07.05.98; Опубл. 15.11.2000, Бюл. №6–II. – 2 с..
10. Терновая Т.И. Использование элементов искусственного интеллекта в автоматических системах распознавания / Т.И. Терновая, А.М. Бражник // Вестник Херсонского национального технического университета. –2006. –№3(26). –С. 166-172.
11. Бражник Д.О. Розпізнавання методом компенсації інформаційних потоків / Д.О. Бражник, Т.І. Тернова, Л.О. Фаніна // Матеріали восьмої всеукраїнської міжнародної конференції з оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів. 28-31 серпня 2006р., м. Київ, Україна: Київ, 2006. – С.43-47.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРАКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ В ХЕРСОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ МОРСКОЙ АКАДЕМИИ**

Кравцова Л.В., Каминская Н.Г.  
Херсонская государственная морская академия (Украина)

**Введение.** Херсонская государственная морская академия пользуется большим авторитетом в системе подготовки специалистов морского профиля на международном уровне. Этому способствуют такие факторы как высокий научно-методический уровень педагогических кадров, занимающихся непосредственно обучением курсантского/студенческого состава, наличие комплексно-методического обеспечения дисциплин, созданного преподавателями академии с учетом специфики учебного заведения и реализации идей компетентностно - коммуникативного подхода в обучении, наличие специализированного тренажерного центра, в котором все без исключения курсанты перед началом плавательной практики проходят тренажерную подготовку, направленную на отработку навыков как по обеспечению безопасности и умению использовать для этой цели спасательные средства, так и применению современного высокотехнологичного оборудования на капитанском мостике и в механическом отделении.

Все эти факторы позволяют академии поддерживать статус высшего учебного заведения, привлекательного не только для украинских абитуриентов, а и для иностранных граждан, желающих стать специалистами в морской отрасли.

**Актуальность темы.** Основной проблемой, возникающей при принятии учебным заведением решения и соответственно получившим разрешение Министерства высшего образования Украины по подготовке иностранных граждан, является то, что группы иностранных студентов состоят из выходцев разных стран мира, с различным менталитетом, наличием внутренних психологических барьеров, различным уровнем предварительной подготовки и так далее. Этим студентов объединяет только то, что они имеют огромное желание получить высококвалифицированное морское образование и говорят на английском языке, хотя и используют различные диалекты.

В связи с этим перед учебным заведением в общем и перед преподавателями в частности возникает большое количество проблем, требующих быстрого и качественного разрешения. Это и проблема подготовки профильных преподавателей, владеющих английским языком, и создание новых методик преподавания дисциплин, и вопросы адаптации иностранных студентов в новых для них условиях. Методам решения некоторых из перечисленных проблем и посвящена данная работа.

**Цель исследования.** Цель данной работы – предложить методику изложения дисциплины с использованием современных инновационных технологий на примере одной из дисциплин кафедры информационных технологий, компьютерных систем и сетей.

**Основная часть.** В 2016 – 2017 учебном году Херсонская государственная морская академия начала работу по внедрению проекта по подготовке иностранных граждан в группах с преподаванием на английском языке. Первая группа иностранных студентов приступила к работе уже в сентябре 2016 года. Одной из дисциплин, преподаваемых на первом курсе, является дисциплина «Информационные технологии». Кафедра информационных технологий, являясь автором проекта «Сайт дистанционного обучения ХГМА», реализованного на платформе MOODLE, предложила свою методику интерактивного обучения и успешно реализовала её для курсантов первого курса, обучающихся на украинском языке. Поэтому кафедрой было принято решение внедрить эту методику с учетом специфики подготовки студентов на английском языке. При этом перед кафедрой были поставлены следующие задачи:

1. Продумати систему мотивації іноземних студентів в вивченні дисциплін кафедри.

2. Розробити структуру викладання дисципліни з урахуванням кращого сприйняття матеріалу іноземними студентами і використання з цією метою інтерактивних методів.

3. Підготувати методичні матеріали по дисципліні на англійській мові з урахуванням правильного розуміння іноземними студентами термінології.

4. Викласти підготовлені матеріали на сайті дистанційного навчання ХГМА для надання можливості студентам працювати не тільки в аудиторний заняття, але і в вільний час. Доступ на сайт дистанційного навчання забезпечується наявністю персонального паролі для кожного користувача.

5. Забезпечити контроль знань іноземних студентів з метою підвищення мотивації до навчання і підтримки зворотного зв'язку.

6. І нарешті, головним в цьому процесі є особистість викладача, який веде заняття в англійськомовних групах. Від нього вимагається не тільки безупрочне знання предмету як такого, вміння вільно викладати його на англійській мові, але і безпосередньо спілкуватися зі студентами, відповідати на їх запитання, незалежно від того стосуються ці запитання до поточної теми чи ні.

На даний момент академія вже третій рік поспіль набирає групи іноземних студентів, популярність навчального закладу зростає. Можливо навести приклади країн, представники яких є студентами академії, і викладання яким ведеться на англійській мові. Це Нігерія, Марокко, Індія, Сирія, Пакистан, Камерун, Ангола і багато інших. Позитивний досвід проведення занять по запропонованій кафедрою методикі дає свої результати.

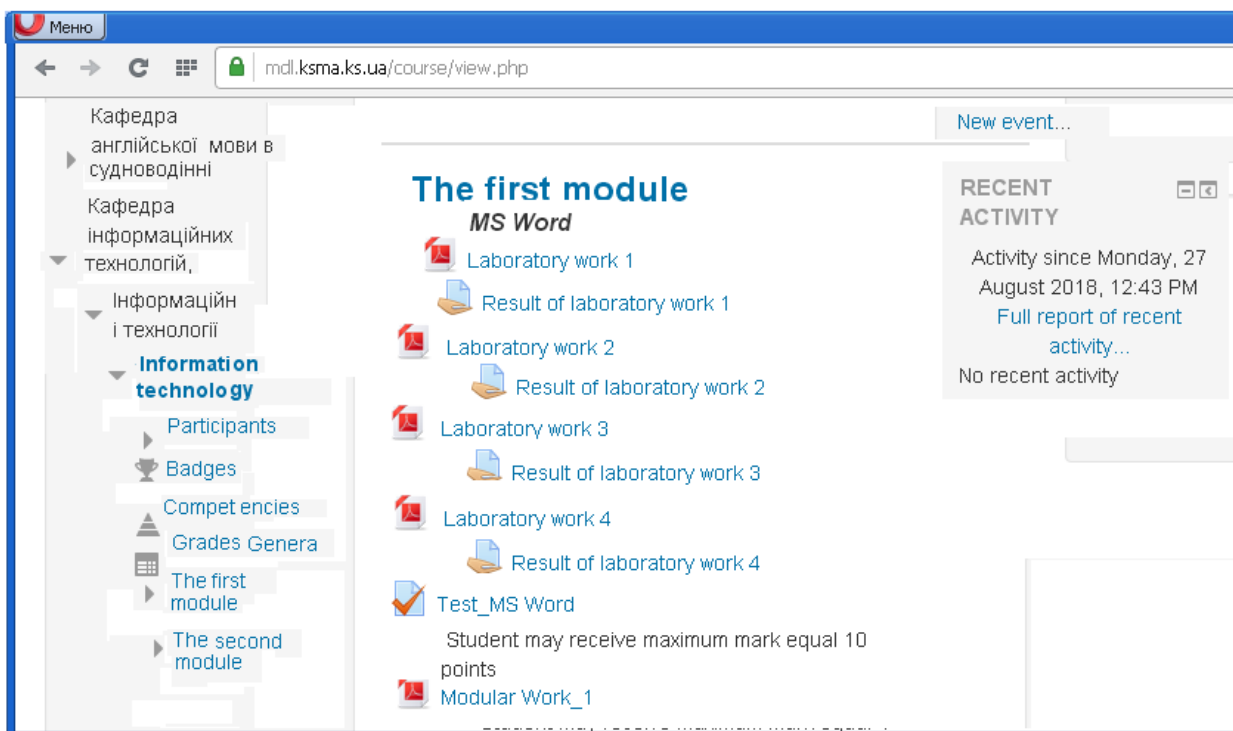


Рисунок 1. Страницка дисципліни «Інформаційні технології» для іноземних студентів на сайті дистанційного навчання ХГМА



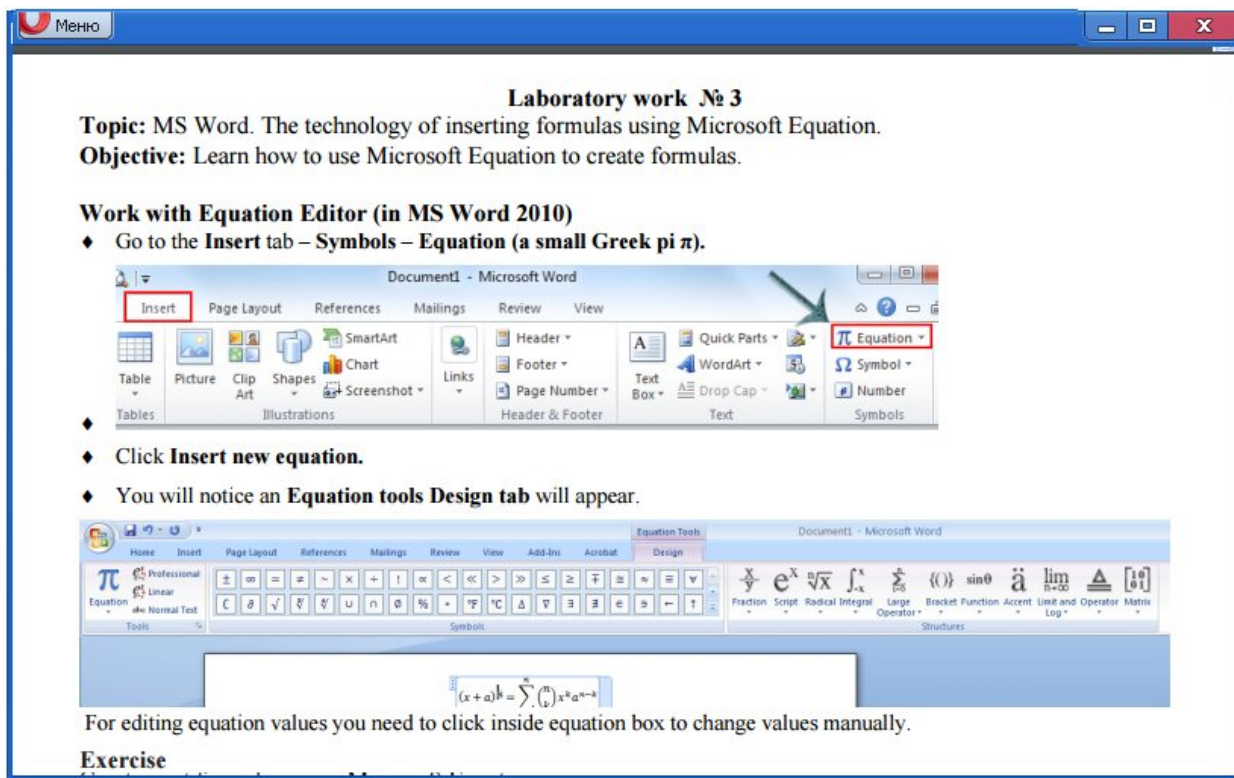


Рисунок 2. Страницка изложения материала дисциплины «Информационные технологии» для иностранных студентов на сайте дистанционного обучения ХГМА

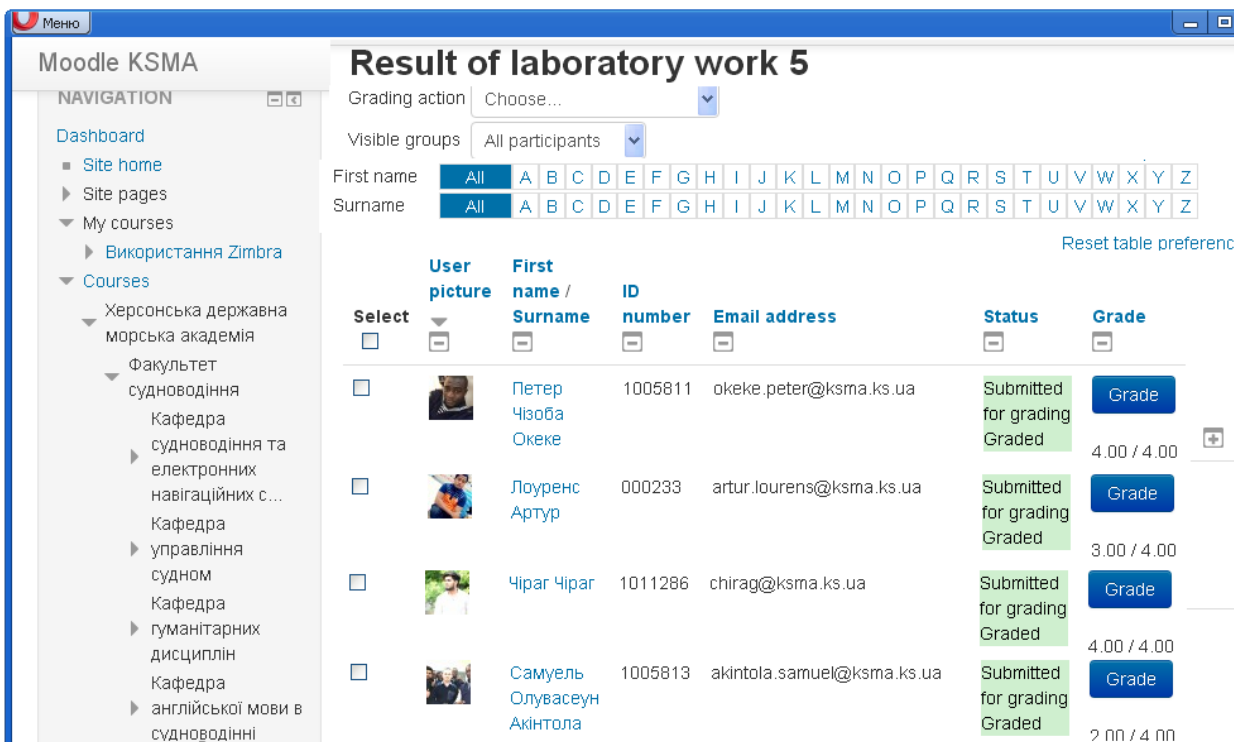


Рисунок 3. Страницка результатов выполнения задания (страница обратной связи) на сайте дистанционного обучения ХГМА

Использование интерактивных форм обучения кафедрой информационных технологий возможно благодаря тому, что все лабораторные занятия проводятся в специализированных компьютерных аудиториях, и каждый студент работает за отдельным, персональным компьютером. На рисунке 2 хорошо видно, что для

иностранных студентов специально установлен Microsoft Office на английском языке. Это даёт возможность студенту чувствовать себя комфортно на занятиях, лучше усваивать материал. При этом поддерживается принцип индивидуализации в организации образовательного процесса, который позволяет студенту выбирать удобный для него темп изучения материала, повторять при необходимости те фрагменты, которые были недостаточно усвоены с первого раза, добиться, чтобы освоение образовательной программы стало значимым, индивидуально мотивированным для конкретного иностранного студента.

**Выводы.** Изложенная выше методика изучения иностранными студентами дисциплины «Информационные технологии» является результативной, поскольку обеспечивает выполнение следующих условий:

- мотивация иностранных студентов к усвоению содержания учебной дисциплины посредством структурированной организации процесса их обучения с использованием возможностей интерактивного обучения;

- предоставление права выбора индивидуальной образовательной траектории;

- реализация технологического подхода к формированию общекультурных и профессионально направленных компетенций;

- целенаправленное управление познавательной деятельностью иностранных студентов на всех этапах подготовки;

- наличие в ХГМА специальной инфраструктуры (банки данных и знаний, аппаратно-программные средства и технологии обеспечения сбора, хранения, обработки и передачи информации, доступ к общесистемным и прикладным программным средствам, электронные учебно-методические комплексы);

- умение и готовность преподавателя работать с группами иностранных студентов.

Достижение результативности в обучении иностранных студентов в Херсонской морской академии представляет собой комплексную задачу, решение которой зависит от особенностей взаимодействия преподавателей и студентов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. The Bologna Process 2020 – The European Higher Education Area in the new decade, Communiqué of the Conference of European Ministers Responsible for Higher Education, Leuven and Louvain-la-Neuve, 28–29 April 2009.

2. Система MOODLE. Режим доступа к сайту: <http://www.moodle.org>.

## **ПРОБЛЕМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ» ДЛЯ ІНОЗЕМНИХ КУРСАНТІВ В ХДМА**

Кравцова Л.В., Пуляєва Г.В.  
Херсонська державна морська академія (Україна)

**Вступ.** Офіцер-механік – це фахівець, який згідно із вимогами Міжнародної конвенції ПДНВ-78/95/10 здатний виконувати свої професійні обов'язки на самому високому сучасному рівні. Це передбачає безумовно наявність знань, вмінь та навичок у розв'язуванні складних технічних завдань, пов'язаних з експлуатацією суднових систем автоматичного керування. Програма навчання суднового механіка охоплює всі необхідні складові, засвоєння яких забезпечує якісну підготовку фахівця з керування використанням сучасного суднового обладнання. Ця програма містить як професійно спрямовані дисципліни, так й дисципліни що забезпечують сприйняття інформації на сучасному технологічному рівні. Однією з таких дисциплін є дисципліна «Інформаційні технології в судновій енергетиці». Вона традиційно щорік викладається курсантам другого курсу та передбачає засвоєння методики проведення різноманітних розрахунків з використанням прикладних програм, що можуть бути встановлені на кожному комп'ютері. Тому ніяких проблем з викладанням цієї дисципліни немає.

Але починаючи з 2016-2017 навчального року Херсонська державна морська академія почала приймати в лави курсантів денної форми навчання іноземних курсантів, викладання для яких ведеться англійською, у в тому числі й дисципліни з циклу інформаційних технологій. Тому терміново вирішувалися задачі підготовки викладачів, здатних не тільки якісно донести необхідні знання до курсантів англійською, а й навчитися спілкуватися з ними, з урахуванням того що в групі навчаються студенти з різних країн з різним менталітетом та різним рівнем підготовки. Також треба було переробити методичні матеріали з дисциплін таким чином, щоб досягнути максимального рівня розуміння з боку іноземних курсантів.

**Актуальність теми** визначена поширенням визнання Херсонської державної морської академії як навчального закладу, здатного підготувати фахівців морського профілю, конкурентоспроможних на міжнародному рівні.

**Мета дослідження** полягає у розробці методики викладання дисципліни «Інформаційні технології в судновій енергетиці» на прикладі однієї з задач що розглядаються у вказаному курсі.

### **Основна частина.**

Сучасні комп'ютерні аудиторії, якими оснащена Академія, та наявність сайту електронного навчання власної розробки дозволяють кафедрі інформаційних технологій ХДМА проводити всі свої заняття в інтерактивному режимі. Тому курсанти англійської групи також задіяні у в цьому процесі. На першому курсі вони вже засвоїли методику опрацювання завдань в інтерактивному режимі. Але особливості викладання дисципліни «Інформаційні технології в судновій енергетиці» полягають саме в тому, що англійськомовний курсант має, по-перше, зрозуміти постановку задачі, тобто які дані є абсолютними, тими що є результатом показників обладнання, а які – розрахунковими, тобто якій результат ми хочемо отримати та як цей результат будемо використовувати у подальшому. По-друге, він повинен зрозуміти, чому для вирішення задачі користуються тими чи іншими розрахунковими формулами. По - третє, він повинен структурувати розрахунки, тобто зрозуміти послідовність дій (алгоритм), що приведе до бажаного результату. Та нарешті, оцінити отриманий результат, чи відповідає він дійсності, та як цей результат впливає на процес керування судновим обладнанням. До того ж, курсанту пропонується декілька різних середовищ у яких він може працювати. Це такі середовища як MS Excel, MathCad, Matlab. У програму курсу «Інформаційні технології в судновій енергетиці» включені

питання засвоєння основних принципів роботи у цих середовищах, тому що вони використовуються на старших курсах при виконанні лабораторних та практичних робіт з професійно спрямованих дисциплін та в професійній діяльності фахівця..

Таким чином, з метою досягнення результату, а саме, максимального засвоєння теми англомовними курсантами, слід поділяти виконання кожної практичної роботи на етапи, на кожному з яких курсант розуміє всі дії що виконуються ним, засвоює не тільки кроки виконання конкретного завдання, а й методику опрацювання даних взагалі, та закріплює понятійний апарат, тобто термінологію за даною конкретною темою.

Розглянемо пропоновану методику на прикладі підсумкової практичної роботи.

**Постановка задачі.** Дано параметри парового двигуна: радіус маховика  $R$ , радіус кола  $r$ , по якому буде обертатися лівий кінець шатуна, довжина шатуна  $L_1$ , довжина штока  $L_2$  і діаметр поршня  $D$ . Накреслити та побудувати в системі MathCad анімацію горизонтальної парової машини.

Виконання розрахунків будемо проводити у середовищі «Система комп'ютерної алгебри MathCad» (*Computer algebra system MathCad*).

Перш за все слід відзначити, що для майбутніх судових механіків важливо вміти користуватися системою комп'ютерної алгебри MathCad, яка дозволяє виконувати та аналізувати важливі інженерні розрахунки. Використання даного програмного забезпечення дозволяє суттєво підвищити продуктивність виконання роботи, візуалізувати результати та уникнути будь-яких технічних помилок.

Дана робота є комплексною і передбачає, що іноземні курсанти на попередніх заняттях засвоїли такі теми, як «Обчислення виразів, розв'язання рівнянь та систем рівнянь в MathCad / Calculating expressions, solving equations, and equation systems using MathCad», «Матриці та дії над ними / Matrix and basic matrix operations», «Побудова графіків в MathCad / Creating graphs in MathCad», «Створення анімації в MathCad / Animation in MathCad». В роботі поставлено задачу побудувати анімацію в системі MathCad, яка буде демонструвати роботу парового двигуна [1]. Хоч робота є підсумковою, вона містить пояснення на всіх етапах виконання.

#### **Етапи виконання роботи.**

**Етап 1. Введення даних.** Курсанти на бланку MathCad вводять назви та числові значення початкових даних, задають кут оберту маховика  $\theta$ , який задається двома параметрами  $\theta := \text{FRAME}$  і  $\theta := 40$  (системний оператор FRAME потрібен для побудови анімації, а числове значення кута – для розрахунків). При цьому вони працюють з такими поняттями як двигун, кут оберту маховика, параметри шатуна та штока, поршень та інше.

**Етап 2. Визначення координат вузлових точок. Курсанту надаються пояснення щодо конструкції парового двигуна.** Дана парова машина має чотири вузлові точки. Нерухому точку позначимо Point0 і її координати  $y_0 := 0m$ ,  $x_0 := 0m$ . Координати наступних трьох точок треба розрахувати в залежності від значення кута  $\theta$ . Друга точка Point1 буде рухатись по колу, тому її координати  $y_1 := r \sin(\theta)$ ,  $x_1 := r \cos(\theta)$ . **Звертаємо увагу на те що при визначенні координат використовуємо полярну систему координат.**

Третя точка Point2 також рухома. Для розрахунку її координат треба застосувати знання з теми «Розв'язання рівнянь та систем рівнянь в системі MathCad». В роботі пропонується використати оператор Solve (розрахунок представлено на Рис.1). Четверта точка Point3 буде мати координати  $y_3 := 0m$ ,  $x_3 := x_2 + L_2$ .

**Таким чином, виконання другого етапу рішення комплексної задачі охоплює такі складові як термінологічну, математичну, алгоритмічну та програмну.**

**Етап 3. Проведення розрахунків для побудови зображення парового циліндру.** Задача полягає у тому, щоб накреслити схему парового циліндру яка є прямокутником. Для цього необхідно побудувати два вектори з координатами вершин прямокутника. Вводиться додаткова змінна  $\Delta$  в якості проміжку, на який циліндр буде більший від

крайніх точок руху поршня, а діаметр циліндру буде більше за діаметр поршня на  $2\Delta$  (Рис. 2).

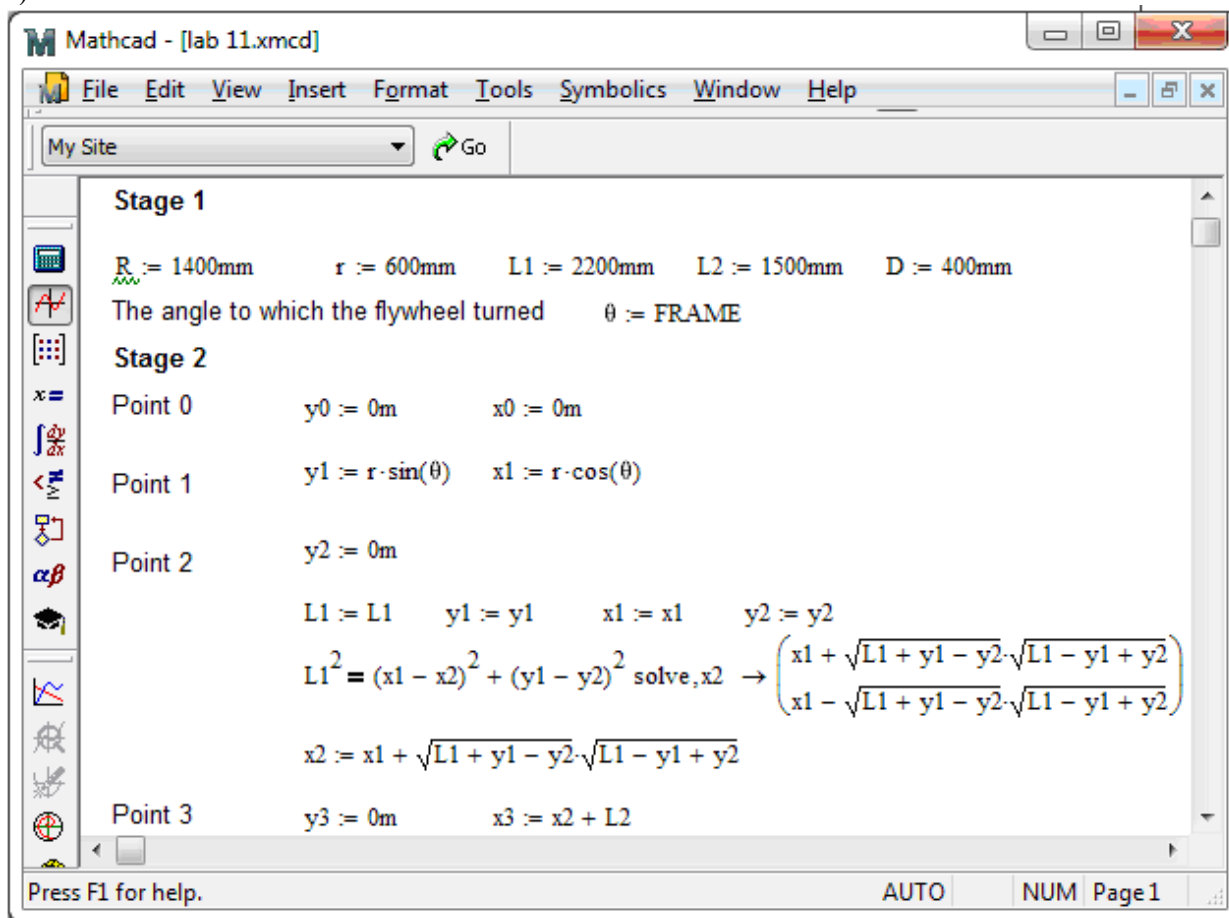


Рис. 1. Бланк системи MathCad: виконання першого та другого етапу роботи.

**Етап 4. Проведення розрахунків для побудови кривих.** На цьому етапі курсантам пропонується ввести нову дискретну змінну  $\theta=0,1..360$  (кут оберту) для побудови кривих ліній (окружність маховика Curve1 та окружність руху точки кріплення шатуна на маховику Curve2), прямих ліній (спиць маховика парової машини Curve3-Curve4 та Curve5-Curve6, які потрібні для закріплення шатуна на маховику та демонстрації руху маховика під час анімації) та безпосередньо парового циліндру Curve7. Всі необхідні формули представлено на рисунку 2. **Звертаємо увагу на те що курсант розуміє як за формулою отримати результат, користуючись вбудованими можливостями середовища «Система комп'ютерної алгебри MathCad».** Тобто, якщо курсант вміє користуватися заданими формулами, то він зможе виконати будь-які розрахунки за будь-якою формулою що аналітично описує технологічний процес.

**Етап 5. Побудова кривих та створення анімації.** Незважаючи на те, що на момент виконання роботи курсанти вже вміють будувати графіки та поверхні, створювати прості анімації, чомусь на цьому етапі у них виникає більше проблем ніж на попередніх. Графік містить на одній області побудови 7 різних ліній і в цьому випадку необхідно бути уважним і правильно задати координати і залежну змінну. Тому пропонується будувати кожену лінію окремо, поступово додаючи нові координати. На рисунку 3 представлено вікно анімації роботи парової машини.

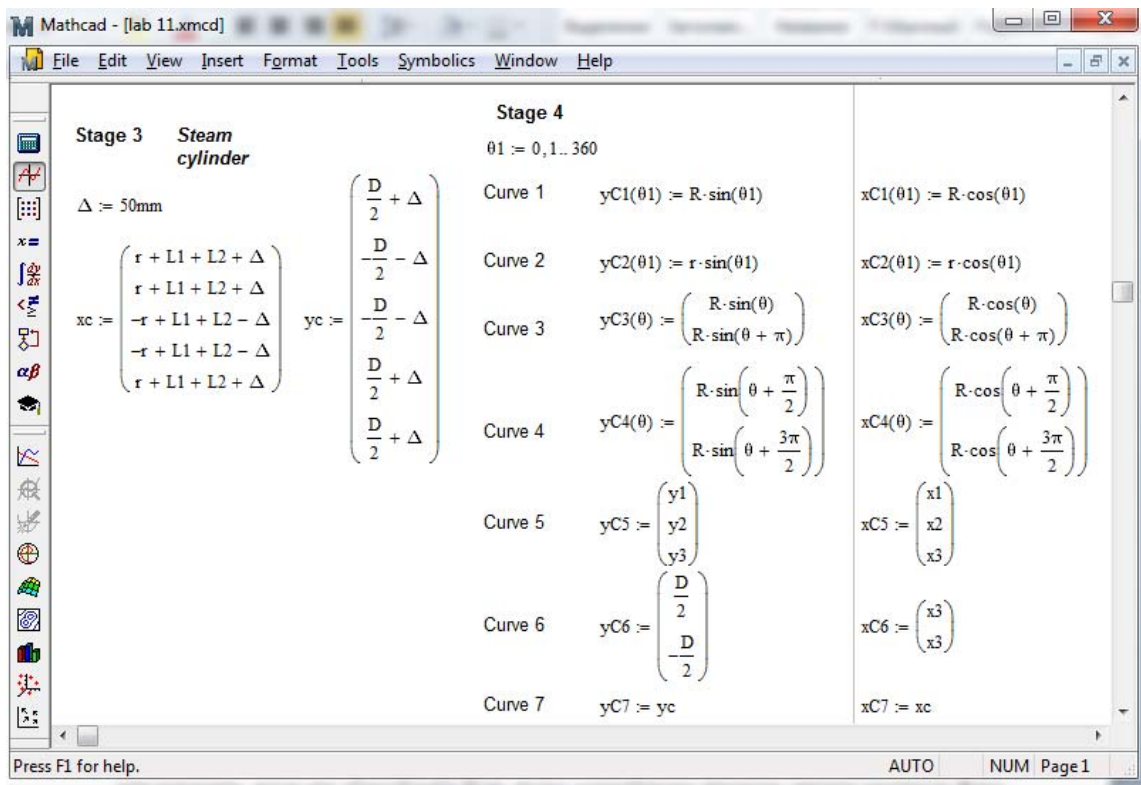


Рис.2. Розрахунки для побудови циліндра та кривих.

Виконання п'ятого, останнього етапу рішення комплексної задачі є дуже важливим для курсанта, тому що візуалізація будь-якого механічного процесу сприяє кращому його розумінню, запам'ятовуванню послідовності дій у роботі з обладнанням та взагалі закріпленню навичок проведення складних розрахунків у сучасному середовищі.

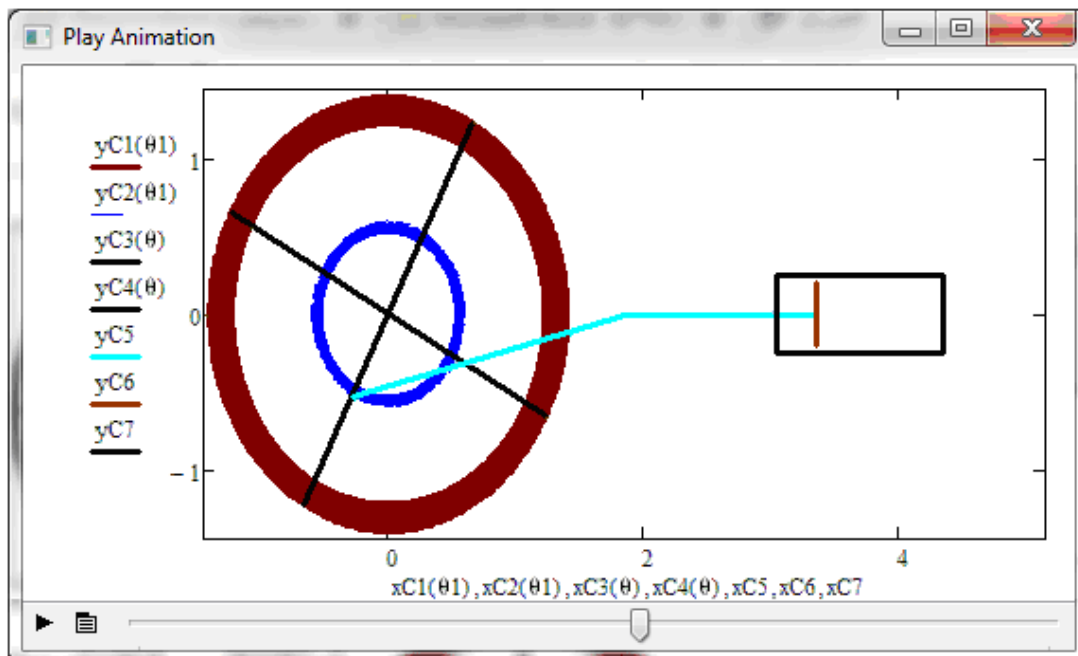


Рис.3. Вікно анімації роботи парової машини

**Висновки.** Для навчального закладу, який бере на себе відповідальність за підготовку іноземних курсантів, першочерговим є питання адаптації таких курсантів у нових умовах, надання їм якісних знань, вмінь та навичок відповідно обраної ними спеціальності. Тому розробка нових методик з урахуванням специфіки підготовки іноземних курсантів є

необхідним етапом цього процесу. Результати сесійного контролю роботи групи іноземних курсантів показують, що запропонована кафедрою методика дійсно забезпечує достатній рівень засвоєння дисципліни «Інформаційні технології в судновій енергетиці».

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентів та інженерів: російська версія. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009. — 512 с.: іл.
2. Макаров Є.Г. MathCAD: Навчальний курс. — СПб.: Пітер, 2009. — 384 с.: ил.
3. Philip J. Pritchard, Mathcad: A Tool for Engineering Problem Solving, McGraw-Hill, 2008. — 203 p.

## **СИСТЕМНЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ИХ АНАЛИЗ**

Настасенко В.А., Проценко В.А., Бабий М.В.  
Херсонская государственная морская академия (Украина)

**Введение.** Работа относится к сфере методологии решения научно-технических задач, в частности – к системным методам поиска новых решений, а также к изучению данных дисциплин в современных Вузах Украины.

**Анализ состояния проблемы, цели и задачи работы.** 20-е годы XXI века связывают с 4-й промышленной революцией, цена которой – успешность страны, или ее глобальное отставание от лидеров мирового прогресса, при не понимании данной проблемы. Для этого во всех ведущих странах мира созданы инновационные научно-технические центры – ”силиконовые долины”. При этом большое значение имеет подготовка молодежи к эффективной творческой деятельности, которая невозможна без владения системными методами поиска новых научно-технических решений.

В бывшем СССР понимали важность этой проблемы и во всех технических Вузах были введены дисциплины по изучению основ научно-технического творчества. В конце 80-х годов бурно создавались центры НТТМ (научно-технического творчества молодежи) – коммерческие структуры, решающие на хозрасчетной основе не только конкретные производственно-технические задачи (для чего использовали системные методы творчества), но и попутно пропагандирующие и обучающие этим методам всех желающих. Однако с умиранием собственного производства в пост-советских странах, потребность в технических разработках существенно сократилась, а при современной тенденции – приобретения зарубежной техники и заводов “под ключ”, с оборудованием и технологиями, созданными за рубежом – и вовсе исчезла. Молодые энтузиасты центров НТТМ, имея хорошо работающие мозги, быстро поняли, что проще купить оптом вагон «закордонных» сигарет и продать их в розницу, чем искать заказчиков и создавать новую технику и технологии. Творческие люди ушли в бизнес, о чем свидетельствовал бум экономических специальностей в Вузах, начиная с 90-х годов.

Второй острой проблемой является “утечкой мозгов” в страны с более высоким жизненным уровнем. Если такая тенденция сохранится в будущем, то Украина может окончательно утратить свои позиции в области науки и техники, составляющих основу любого промышленного производства, наиболее эффективного фактора обеспечения благосостояния страны и общества. Поэтому из технико-экономической проблемы она становится социально-политической, от решения которой в конечном итоге зависит экономическая и политическая самостоятельность и стабильность государства.

**Поиск путей решения поставленной проблемы.** В нашей стране исчезли не только центры, пропагандирующие и обучающие системным методам творчества, но и в ВУЗах исчезли подобные дисциплины, а в последние годы – исчезают курсы по основам научно-исследовательской работы (ОНИ) и интеллектуальной собственности (ОИС), а в некоторых ВУЗах свобода в построении учебных планов обернулась откровенным вредом качеству подготовки за счет некомпетентности и корыстолюбия лиц, учебные планы составляющих. На сегодняшний день, в основном дисциплины ОИС поддерживаются энтузиазмом читающих их преподавателей. В Украине лидером является профессор НТТУ ”КПИ им. И. Сикорского“ Ю.Н. Кузнецов (пусть нас простят многие другие неупомянутые энтузиасты, о них должна знать вся страна, в рамках научных трудов по специальности История инженерной деятельности, но мы не можем упомянуть их в рамках объема данной работы).

В нашем техническом ВУЗе курс ОИС был упразднен, а курс ОНИ был передан от технических специалистов – педагогическим, у которых иные принципы и подходы к ведению научной работы. От этого снижается общий уровень технической подготовки наших выпускников.

Учитывая, что специалистам-педагогам инженерная и изобретательская работа мало понятна в рамках их базового образования, они, как правило, не имеют личных



успехов в данной сфере и не могут научить тонкостям этой работы наших курсантов. Завершающий удар нанесло Министерство образования и науки Украины, исключив ОИС из планов учебных дисциплин с 2015 года. Дисциплины по изучению системных методов активизации технического творчества исчезли из них гораздо раньше. Оценить такую недалёковидность, в рамках общего роста потребностей научно-технического прогресса и остроты данной проблемы для нашей страны, достаточно сложно.

Проблема усугубляется тем, что в Украине свернулись собственные передовые производства, например космической и авиационной промышленности, которые шли своим путем, и для них было важно быстро и в большом количестве создавать широкий круг изобретений. Однако победить в современной конкурентной борьбе не сможет любой производитель, если у него не будет “портфель” отобранных изобретений на ближайшие 5 лет и на перспективу в 10 лет производства. Этому также надо учить студентов Вузов, а не только умению составлять бизнес-планы. Таким образом, можно сделать вывод, что потребность в изучении системных методов нужно развивать. Если не имеется, как стало модно сейчас говорить, “политической воли” на государственном уровне для ввода в программы Вузов дисциплин по научно-техническому творчеству и основам интеллектуальной собственности, надо решать эти вопросы на местном уровне, с привлечением широкого круга преподавателей всех Вузов страны, активных деятелей политики и членов общества, что является главной целью выполняемой работы.

**Оценка возможностей успешного применения системных методов поиска новых технических решений.** В условиях ускорения научно-технического прогресса потребность в системных методах возрастает, т.к. традиционные подходы метода проб и ошибок (рис), не позволяют генерировать идеи нужного качества и в нужном объеме.

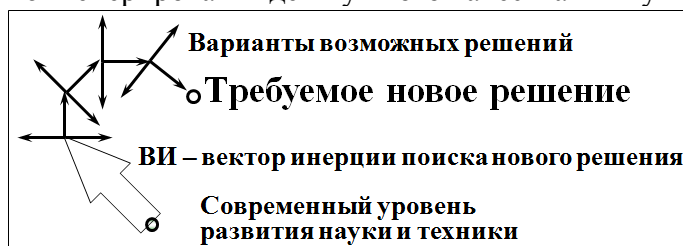


Рисунок 1. Структурная схема поиска нового решения по методу проб и ошибок

Для решения научно-технических задач по методу проб и ошибок различных уровней сложности необходимо:

- для 1-го уровня сложности  $\approx 10$  проб и ошибок,
- для 2-го уровня сложности  $\approx 100$  проб и ошибок,
- для 3-го уровня сложности  $\approx 1000$  проб и ошибок,
- для 4-го уровня сложности  $\approx 10000$  проб и ошибок,
- для 5-го уровня сложности  $> 10000$  проб и ошибок.

Таким образом, сложность и время поиска решений существенно возрастают.

Системные методы позволяют расширить круг возможных решений и найти все существующие, а также освобождают от гнета навязчивых идей, инерции и узких схем мышления. В настоящее время известны более тысячи системных методов. Однако в учебном процессе [1] можно ограничиться основными из них:

1. Методом мозгового штурма и синектики.
2. Методом гирлянд случайных ассоциаций.
3. Методом сфокусированных объектов.
4. Методом морфологического анализа и синтеза.
5. Методами теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), созданной на базе алгоритма решения изобретательских задач (АРИЗ).

Каждый из этих методов имеет свои ограничения, достоинства и недостатки. Наиболее совершенным и сложным является АРИЗ, на его изучение рекомендуется 72 часа лекций и практических работ, которые сложно найти в учебных планах. Поэтому данный курс может быть факультативным.

Наиболее целесообразно изучение метода морфологического анализа, который входит одним из элементов в АРИЗ.

Метод морфологического анализа создан еще в 40-е годы XX века американским ученым Ф. Цвикки. Он позволяет охватить все поле возможных решений и выбрать лучшие из них. Используя данный метод Цвикки в 1943 г. нашел структурные схемы, которые были применены в Германии в секретных разработках ракет ФАУ-1 и ФАУ-2. С тех пор этот метод широко применяется в различных сферах науки и техники, передовые фирмы мира считают его обязательным при разработке любых проектов.

В нашем Вузе на кафедре транспортных технологий данный метод также широко применяется. Например, его применение для создания неперетачиваемых режущих пластин, используемых для оснащения всех прогрессивных режущих инструментов, позволил охватить общее поле из 1 377 495 072 возможных решений [2], из которых более 60 конструкций были признаны изобретениями. Профессор В.А. Настасенко на его базе создал десятки конструкций дисковых и торцовых фрез, а также кольцевых сверл для глубокого сверления. Вместе с доцентом кафедры судовых энергетических установок М.В. Бабием, ими были созданы десятки конструкций отрезных резцов и режущих пластин для их оснащения. Разработаны также десятки конструкций судовых ветряных систем и сотни конструкций гидроволновых энергетических систем, а также шлюпок для спасения экипажей судов. Другие сферы успешного применения данного метода связаны с созданием червячных зуборезных инструментов и станков для их эффективной работы. Совместно с доцентом кафедры транспортных технологий В.А. Проценко были созданы десятки конструкций подшипников, цепных передач, соединительных муфт. Сотни различных машиностроительных конструкций созданы В.А. Проценко самостоятельно [3].

Общее количество патентов, полученных коллективом авторов данной работы – свыше 200, которые охватывают более 2 тысяч технических решений изобретательского уровня. Мы готовы поделиться своими знаниями и опытом с курсантами, для чего нужно внедрить систему реализации компетентного подхода [4] и вернуть на кафедру транспортных технологий дисциплины ОНИ и ОИС, и ввести дисциплину по изучению системных методов творчества. Пусть не все курсанты станут после нашего обучения изобретателями, но они получат азы знаний и психологическую уверенность, что такая работа им доступна и они смогут найти новое техническое решение практически в любых условиях, если им это потребуется.

**Выводы.** Для решения проблем научно-технического прогресса необходимо развитие изобретательской деятельности с применением системных методов поиска новых технических решений среди выпускников технических ВУЗов, к которому относится ХГМА. Наибольший опыт применения системных методов накоплен на кафедре транспортных технологий. Просим руководство академии обратить внимание на наше предложение о передаче данных дисциплин кафедре и активно ставить перед МОНУ вопросы их включения обязательными в учебные планы технических ВУЗов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чус А.В. Основы технического творчества / А.В. Чус, В.Н. Данченко. – К.: Вища шк., 1983. – 184 с.
2. Настасенко В.А. Новые возможности в проектировании неперетачиваемых пластин для отрезных резцов на базе метода морфологического анализа / В.А. Настасенко, М.В. Бабий // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. Вип. 44. – С.171 – 180.
3. Проценко В.О. Морфологічні основи структурного синтезу пружних ланок машин змінної жорсткості з металевими елементами / В.О. Проценко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон: ХДМА. – 2015. - № 2(13) – С. 245 - 254.
4. Проценко В.О. Алгоритм реалізації компетентнісного підходу при підготовці фахівців з експлуатації судових енергетичних установок / В.О. Проценко, В.О. Настасенко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон: ХДМА. – 2014. - № 2(11) – С. 113 - 121.

## **ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ МОДЕЛІ ШАТУНА ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ**

<sup>1</sup>Носова Г.В., <sup>1</sup>Свириденко О.В., <sup>2</sup>Носов П.С.

<sup>1</sup>Херсонський політехнічний коледж Одеського національного політехнічного університету (Україна)

<sup>2</sup>Херсонська державна морська академія (Україна)

### **Вступ**

Велику роль у освітній діяльності за технічним напрямком відіграє практично-лабораторна підготовка майбутніх фахівців. Чим складніше процес, який треба продемонструвати студентам, тим складніше його організувати використовуючи матеріальне обладнання та діючі агрегати, особливо це стосується випробувальних лабораторій та станцій [1].

### **Актуальність дослідження**

При підготовці фахівців транспортної галузі вкрай необхідно застосовувати новітні інформаційні технології для конструювання та випробування прототипів деталей, агрегатів та вузлів двигунів внутрішнього згоряння. Студенти спеціальностей пов'язаних із транспортними технологіями повинні розуміти як геометрична форма та матеріал впливають на показники міцності та надійності основних деталей двигунів та машин [2-3]. Такий підхід дуже зручний як для майбутніх конструкторів двигунів внутрішнього згоряння, так і для тих, хто експлуатує ці енергетичні системи.

### **Постановка задачі**

Враховуючи, що для студентів які ще не є фахівцями, треба підібрати таку автоматизовану систему, що дозволить виконувати точні розрахунки при достатньо високому спектрі функціоналу [4]. При цьому обрана система повинна мати інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс, що дозволить студентові не витратити багато часу на його вивчення і застосування.


Існує багато САЕ засобів що дозволяють проводити віртуальні випробування із високою точністю, найбільш відомими є такі [5-7]:

- ANSYS FLUENT,
- ANSYS CFX та ANSYS/LS-DYNA,
- Flow Vision,
- OpenFOAM,
- APM-FEM,
- SigmaFlow,
- Autodesk Simulation CFD та ін.

Одним із більш зручних за інтерфейсом та логікою процесу, дієвих засобів, є САЕ APM-FEM, що дозволяє на основі спроектованої 3D моделі виконати комп'ютерне випробування.

### **Результати досліджень**

Для представлення більшої наочності використання системи САЕ APM-FEM під час проведення лабораторного практикуму, проведемо розрахунок на міцність типової моделі поршню двигуна внутрішнього згоряння. Перш ніж розпочати виконання автоматизованого випробування на міцність шатуна, має бути побудована його 3D модель в одному із стандартних форматів (рис. 1). Наступний етап - підготовка моделі до розрахунку.

Для цього необхідно встановити закріплення , яке відповідатиме реальному закріпленню в працюючий деталі або вузлі (рис. 2).

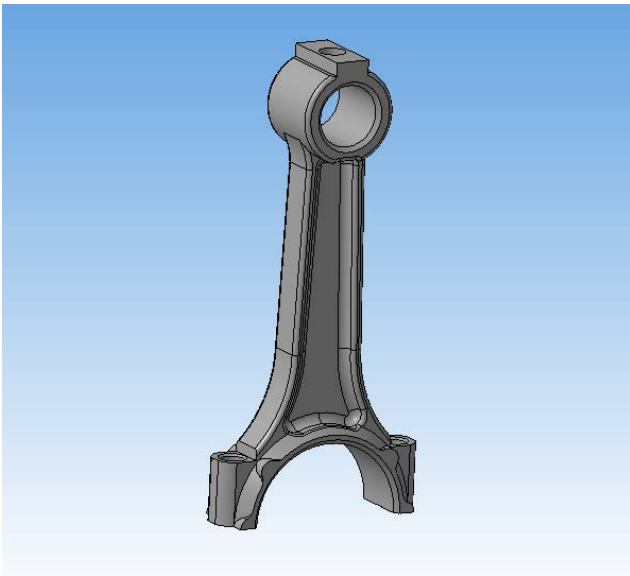


Рисунок 1. Приклад моделі шатуна

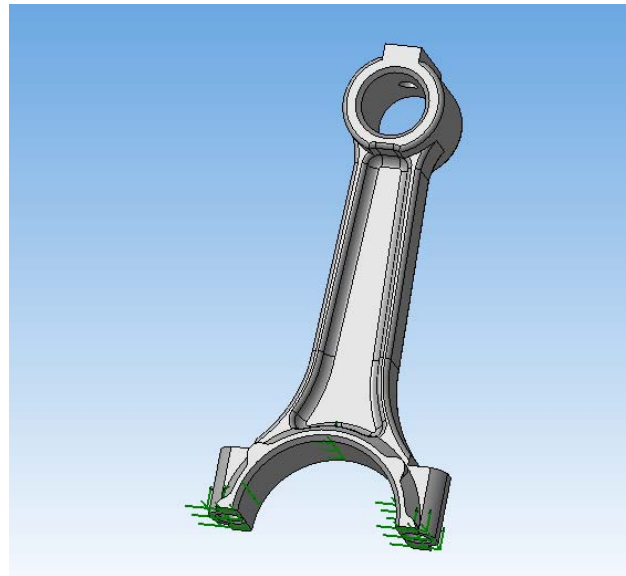




Рисунок 2. Закріплення моделі

При завданні всіх сил що впливають на роботу шатуна, необхідно також враховувати середовище. У загальному випадку на шатун діють сили з боку пальця та лінійне прискорення.

Завдамо силу дії поршневого пальця, яка дорівнює 34 кН, для цього на панелі підготовки моделі оберемо операцію завдання **розподіленої сили** , в параметрі **величини вектора** встановимо навантаження 34000 Н, та вкажемо напрямок протилежний напрямку вертикальної вісі моделі (рис. 3).

Наступною умовою для розрахунку є лінійне прискорення шатуна. Для цього на панелі підготовки моделі оберіть встановлення **лінійного прискорення** .

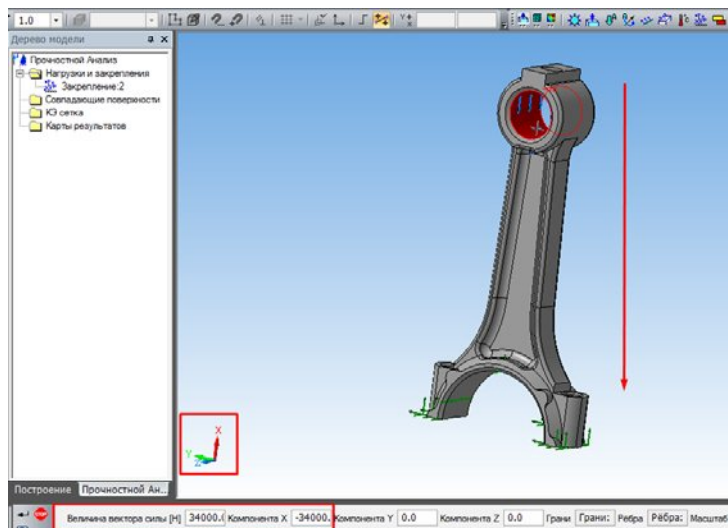


Рисунок 3. Встановлення напрямку дії розподіленої сили та завдання її параметру

Сила лінійного прискорення дорівнює  $11 \text{ км/с}^2$  та напрямок її дії спрямований відповідно до напрямку вертикальної осі моделі (рис. 4).

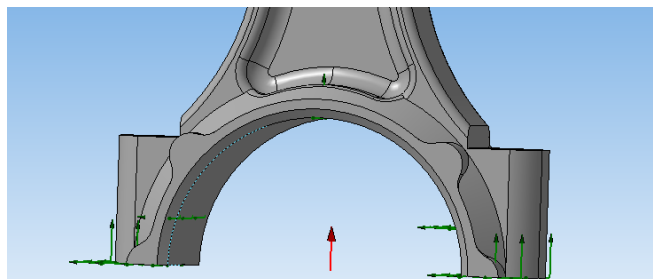



Рисунок 4. Напрямок дії лінійного прискорення у момент згоряння палива

Також для більшої точності розрахунку на міцність необхідно задати робочі температури  (рис. 5).

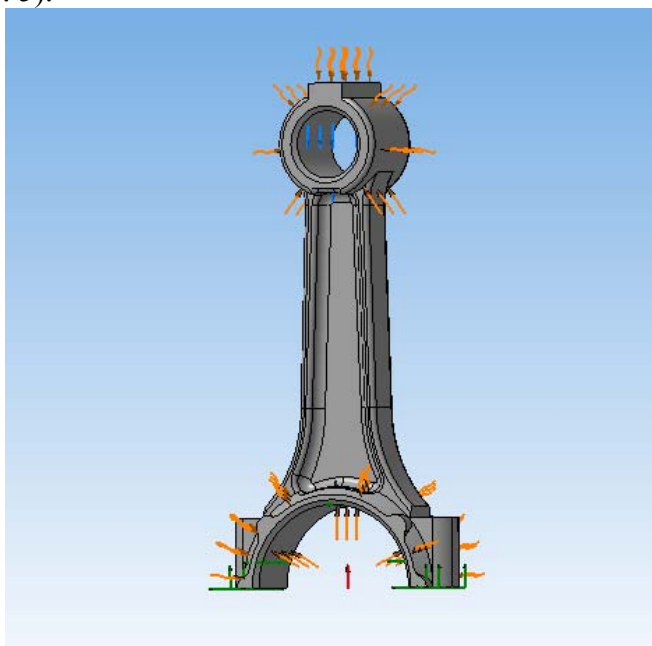




Рисунок 5. Завдання зон дії температур

Для зони поршневого пальця, встановлюємо температуру  $150\text{C}^{\circ}$ . Для зони колінчастого валу –  $70\text{C}^{\circ}$ .

Наступним етапом є розбивання моделі на KE-сітку та розрахунку деформації, напруження, переміщення та навантаження.

Для цього переходимо на панель **розбиття та розрахунку** . Обираємо команду розбивання сітки  та налаштовуємо наступні параметри:  
- Максимальна довжина сторони елемента = 5  
- Максимальний коефіцієнт згущення на поверхні = 2.

Далі натискаємо кнопку створення об'єкту. По завершенню розбивання на елементи отримаємо наступний результат (рис. 6).

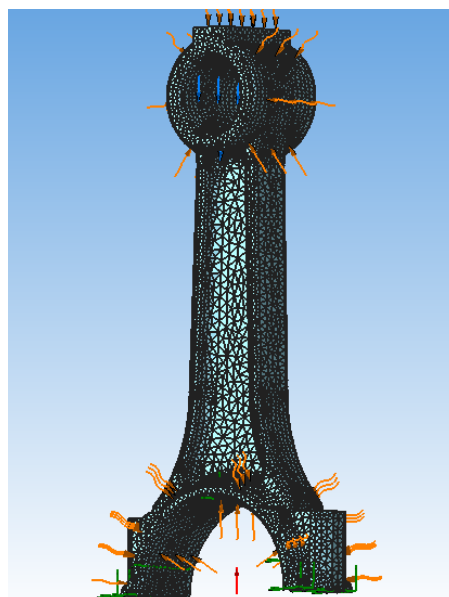




Рисунок 6. Розбивання моделі на KE-сітку

Наступне, що необхідно виконати, це виконати розрахунок . Встановлює параметри розрахунку та переходимо до формування результатів.

Для цього переходимо на панель **результати** та обираємо команду **карта результатів** .

В діалозі виведення результатів обираємо такі види (рис. 7):

- деформації (рис. 7 а)
- напруження (рис. 7 б)
- переміщення (рис. 7 в)
- навантаження (рис. 7 г)

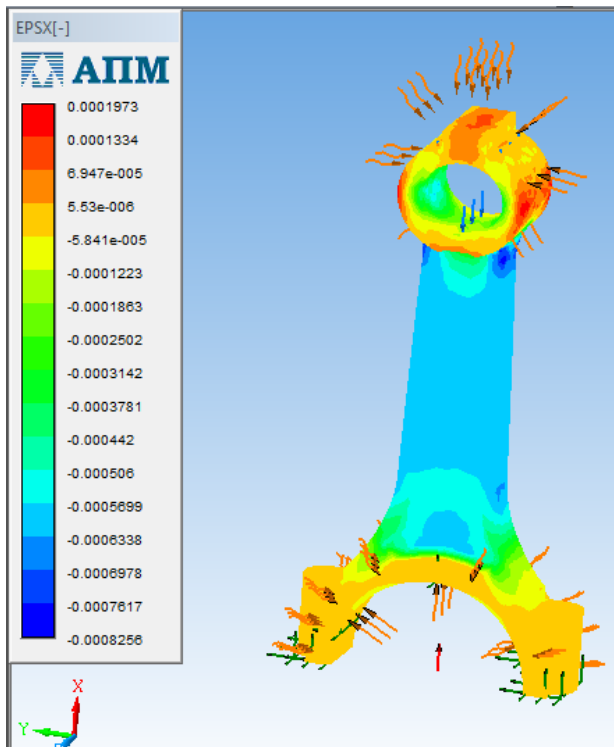


Рисунок 7 а. Результат деформацій

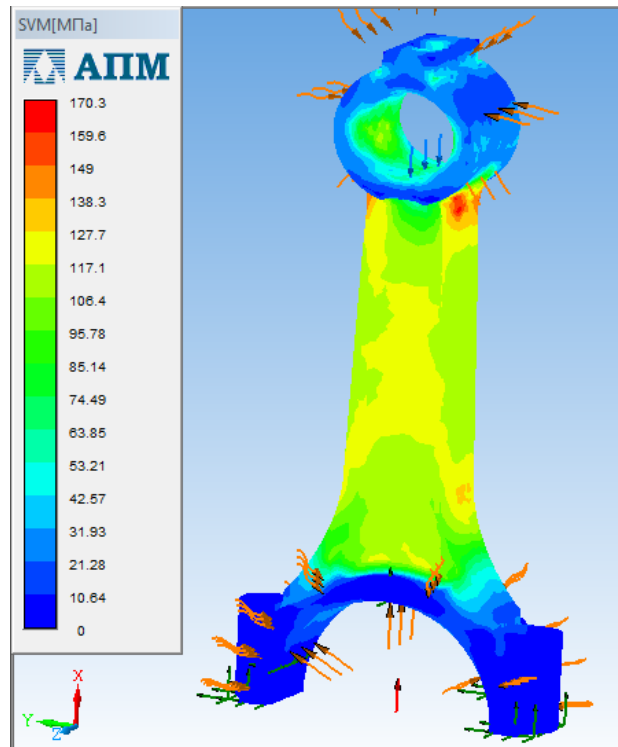


Рисунок 7 б. Результат напружень

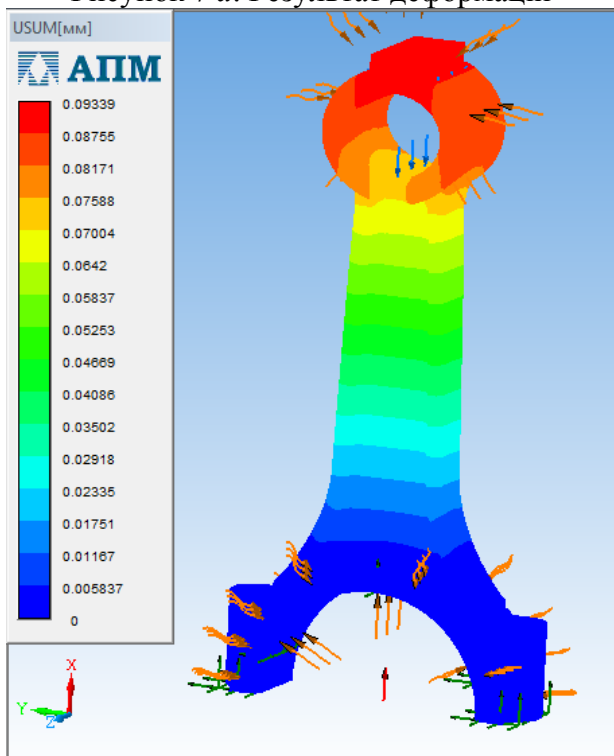


Рисунок 7 в. Результат переміщень

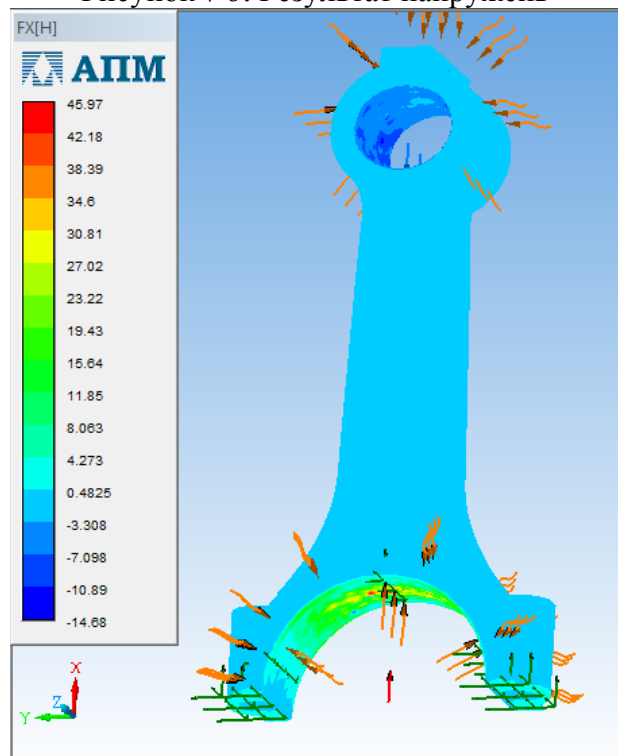


Рисунок 7 г. Результат навантаження

Після завершення всіх розрахунків та виведення результатів слід зробити висновок щодо придатності та форми шатуна щодо його застосування у двигунах внутрішнього згоряння. Такий підхід дозволить студентам аргументовано підходити до вибору геометрії та матеріалу деталей під час проектування і дасть загальні поняття про процеси що відбуваються при їх використанні.

**Висновок.** Таким чином використовуючи системи САЕ АРМ-FEM, з'являється можливість відповідно до спроектованого прототипу деталі у вигляді 3D моделі швидко отримати ґрунтовний аналіз дієздатності та міцності її конструкції під час проведення лабораторного практикуму.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Носов П.С. Комп'ютерні технології в інженерній практиці: навч. посіб. 2-е вид. доп. та перероб. / П.С. Носов, О.Є. Яковенко. – О.: Бахва, 2014. – 292 с.
2. Автоматизоване проектування механізмів та агрегатів автомобілів / Навчальний посібник / Укладачі: П.С. Носов, О.Є. Яковенко. - Херсон: ХПТК ОНПУ, 2012. – 261 с.
3. Акімов О.В., Носов П.С. Розрахунок та конструювання приводів. Довідниково-методичний посібник з курсу „Деталі машин і основи конструювання”. – Навч. посібник. – Херсон: ХФ НУК, 2010. – 71 с.
4. Ламберг Н.В., Носов П.С. Використання інноваційних технологій при викладанні креслення для студентів технічних спеціальностей // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Збірник наукових праць [Текст]. — Вип. 7(2) — Одеса: Наука і техніка, 2013. С. 255-261.
5. ANSYS Fluent software (Офіційний сайт) / [Режим доступу URL:] <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>.
6. Autodesk CFD features (Офіційний сайт) / [Режим доступу URL:] <https://www.autodesk.com/products/cfd/overview>
7. Power engineering (Офіційний сайт) / [Режим доступу URL:] [https://ethw.org/Category:Power\\_engineering?gclid=EAIaIQobChMIqJqQgMna3AIVWeWaCh14Bw3MEAAAYAiAAEgK7JvD\\_BwE](https://ethw.org/Category:Power_engineering?gclid=EAIaIQobChMIqJqQgMna3AIVWeWaCh14Bw3MEAAAYAiAAEgK7JvD_BwE)

## РАЗВИТИЕ БАЗОВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Терещенкова О.В., Стрелковская Л.А.  
Херсонская государственная морская академия (Украина)

Новые требования к высшему образованию предполагают в первую очередь изменения образовательного пространства ВУЗов. Эти изменения касаются цели и содержания образования, используемых методов и технологий.

Внедрение компьютерных технологий в современное образование обеспечивает высокие темпы передачи знаний и опыта не только от поколения к поколению, но и от человека к человеку, способствует обновлению содержания и повышению качества профессионального образования.

Для получения необходимых компетенций на занятиях по изучению информационных технологий удобно использовать такую форму ведения занятий как квест - дидактическая игра, направленная на решение определенной ситуации. Ключевую роль в игровом процессе играют решение головоломок и задач (для разных тем подходят разные типы заданий), требующих от игрока умственных усилий. Благодаря такому подходу к проведению учебного занятия курсанты получают возможность самостоятельно выбирать и структурировать материал, анализировать полученную информацию, учиться самостоятельно принимать решения для получения нужного результата, постигать элементы научно-практической работы, а также работать в команде, что актуально для курсантов морских заведений. При проведении занятия в виде квеста решаются такие задачи как: развитие креативного мышления; раскрытие творческого потенциала; формирование навыков рационального использования учебного времени; стимулирование познавательной мотивации.

В настоящее время широко известен и активно применяется в образовании метод проектов. Образовательный web-квест - (webquest) - проблемное задание с элементами ролевой игры, для выполнения которого используются информационные ресурсы Интернета. Дисциплина «Информационные технологии» позволяет использовать такой метод обучения т.к. каждый курсант имеет свое рабочее место с доступом в интернет.

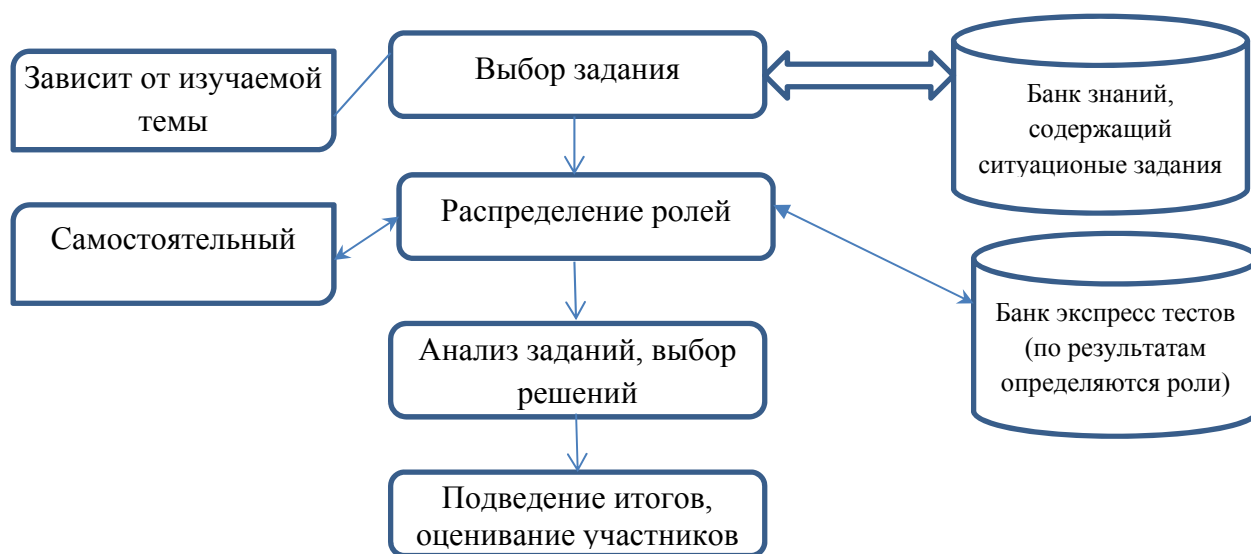


Рисунок 1. Структура простого ситуационного квеста для курсантов морских вузов

Курсант в процессе работы над таким квест-проектом постигает реальные процессы, проживает конкретные ситуации, приближается к проникновению вглубь



явлений, конструированию новых процессов, объектов. С точки зрения информационной деятельности при работе над квест-проектом его участнику требуются навыки поиска, анализа информации, умения хранить, передавать, сравнивать и на основе сравнения синтезировать новую информацию. Выполняя квест-проект, курсант учится формулировать проблему, планировать свою деятельность, критически мыслить, решать сложные проблемы, взвешивать альтернативные мнения, самостоятельно принимать продуманные решения, брать на себя ответственность за их реализацию.

Разработчик веб-квеста, как учебного задания Берни Додж выделил следующие виды заданий для веб-квестов [1]: *пересказ* – демонстрация понимания темы на основе представления материалов из разных источников в новом формате: создание презентации, плаката, рассказа; *планирование и проектирование* – разработка плана или проекта на основе заданных условий; *самопознание* – любые аспекты исследования личности; *компиляция* – трансформация формата информации, полученной из разных источников: создание книги кулинарных рецептов, виртуальной выставки, капсулы времени, капсулы культуры; *творческое задание* – творческая работа в определенном жанре – создание пьесы, стихотворения, песни, видеоролика; *аналитическая задача* – поиск и систематизация информации; *детектив, головоломка, таинственная история* – выводы на основе противоречивых фактов; *достижение консенсуса* – выработка решения по острой проблеме; *оценка* – обоснование определенной точки зрения; *убеждение* – склонение на свою сторону оппонентов или нейтрально настроенных лиц; *научные исследования* – изучение различных явлений, открытий, фактов на основе уникальных онлайн источников.

Работа учащихся в таком варианте проектной деятельности, как веб-квест, разнообразит процесс обучения, сделает его живым и интересным, а полученный опыт принесет свои плоды в будущем, потому что при работе над этим проектом развивается ряд компетенций:

- использование информационных технологий для решения поставленных задач (в т.ч. для поиска необходимой информации, оформления результатов работы в виде компьютерных презентаций, веб-сайтов, флеш-роликов, баз данных и т.д.);
- самообучение и самоорганизация;
- работа в команде (планирование, распределение функций, взаимопомощь, взаимоконтроль);
- умение находить несколько способов решений проблемной ситуации, определять наиболее рациональный вариант, обосновывать свой выбор;
- навык публичных выступлений (обязательно проведение предзащит и защит проектов с выступлениями авторов, с вопросами, дискуссиями).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Что такое образовательный веб-квест? [Электронный ресурс] URL: <http://project.457spb.ru/DswMedia/kvesttsexnologiya.pdf> (дата обращения 03.02.2015).
2. Ильченко О. В. Використання веб-квестів у навчально-виховному процесі. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://osvita.ua/school/lessons\\_summary/proftech/32834/](http://osvita.ua/school/lessons_summary/proftech/32834/)
3. Панфилова А.П. Инновационные педагогические технологии: Активное обучение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Панфилова. — М.: Издательский центр «Академия», – 2009. – 192 с.

## **ФОРМУВАННЯ ПАСПОРТУ ТЕРМІНОСИСТЕМИ «ПРОПУЛЬСИВНІ УСТАНОВКИ» З ВИКОРИСТАННЯМ ЛІНГВОКОГНІТИВНОГО ПІДХОДУ**

Філіппова Н.М., Мітенкова В.С.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)

Актуальність роботи обумовлюється декількома причинами. По-перше, незважаючи на досить активний розвиток українського термінознавства протягом останніх 27 років незалежності, багато термінологій різних галузей науки і техніки залишаються недостатньо унормованими [1-3]. По-друге, Україна, як морська держава, бере активну участь у міжнародному судноплаванні, переважно як один із основних постачальників кадрів вищої кваліфікації на світовий ринок праці (судноводіїв, суднових механіків та електромеханіків, тощо), хоча, на жаль, останні роки значно зменшилася роль нашої держави, як одного з провідних центрів суднобудування. По-третє, підготовка кваліфікованих фахівців у морській справі та суднобудуванні вимагає, в тому числі, розробки термінологічної бази саме українською мовою, оскільки профільні підприємства, організації та навчальні заклади, сконцентровані переважно на півдні України, ще з часів СРСР розвивалися переважно у російськомовному середовищі [1, 3].

Значна частина термінології у галузі суднобудування та морської справи пов'язана з судовими енергетичними установками (СЕУ) – складними комплексами функціонально взаємопов'язаних елементів енергетичного устаткування, машин та механізмів, призначених для вироблення механічної, електричної, теплової та інших видів енергії, необхідної для задоволення всіх судових потреб. До складу СЕУ входять головний (пропульсивний) та допоміжний комплекси і установки. Саме пропульсивна установка (ПУ) забезпечує транспортні судна та кораблі необхідною для руху механічною енергією [4, 5]. В даній роботі представлено попередні результати розробки паспорту терміносистеми «Пропульсивні установки», яка є складовою більшої за обсягом системи «Суднові енергетичні установки».

Серед проблем української термінології, які висвітлено, наприклад, у Вісниках Національного університету «Львівська Політехніка» «Проблеми української термінології» і в матеріалах традиційних конференцій особливе місце посідає проблема україномовного термінознавчого планування: політичні, правові, лінгвістичні засади. Зазначається також, що паралельно співіснують в термінознавчому просторі три дослідницькі парадигми: 1) системно-структурна; 2) функціональна; 3) когнітивно-функціональна (або когнітивно-комунікаційна) [6].

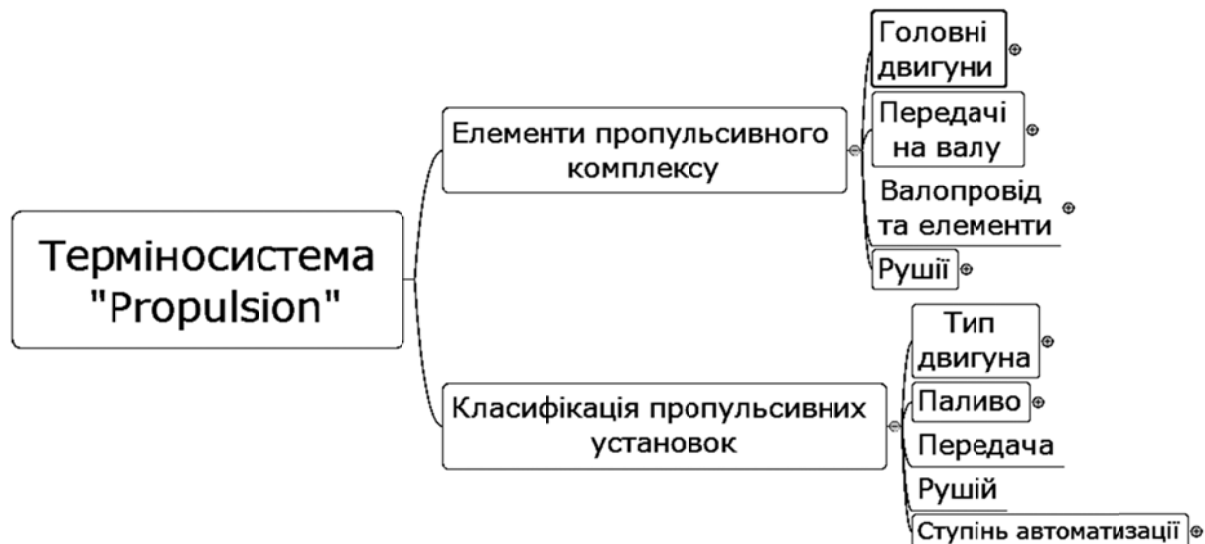
Нам здалося, що для представлення терміносистеми ПУ доцільно використовувати сучасний когнітивно-орієнтований підхід до вивчення процесів термінотворення та організації терміносистем, який об'єднує інформацію про мисленнєву і мовленнєву діяльність людини, оскільки осмислюючи свою діяльність, людина користується оперативними одиницями, які концептуалізують набуті знання [7, 8]. Відомо, що у термінотворенні та організації терміносистем важливу роль виконують такі моделі, як фрейми, одне з визначень яких описує фрейм як засіб упорядкування терміносистеми (верхній ярус – концепт – гіперонім; другий ярус – основні концепти – гіпоніми; нижній ярус – детальні концепти цього знання). Термін номінує науковий концепт, сформований в результаті свідомої наукової діяльності, наукового узагальнення, проаналізувати структуру і сутність якого можна лише на базі когнітивного аналізу [9, 10]. Досить велика кількість досліджень термінологій показує перспективність використання методів фреймового аналізу з виділенням базових концептів для вивчення організації терміносистем [11].

Відповідно до методики, викладеної у [12] при проведенні фреймового аналізу для виявлення можливих варіантів групування номінативних одиниць були сформульовані

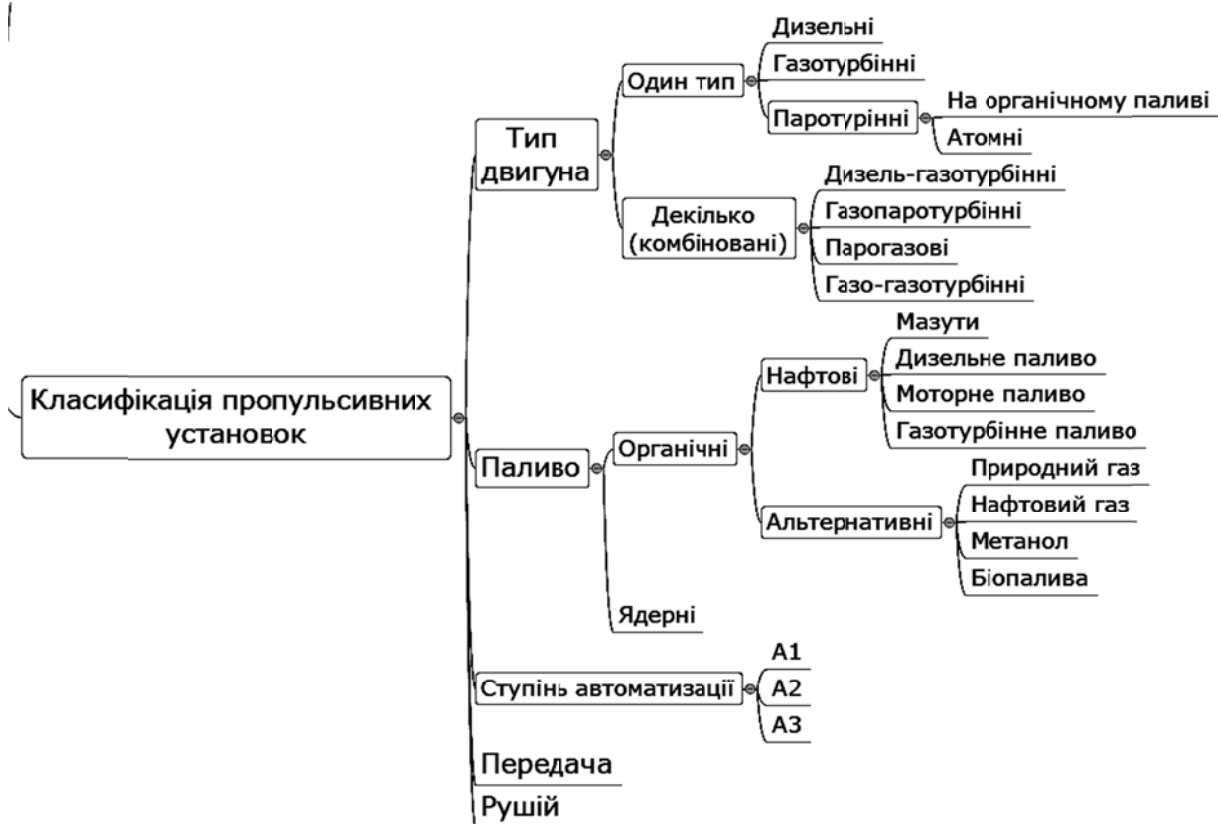
наступні питання:

1. За якими ознаками поділяються (класифікуються) пропульсивні установки?
2. Які типові елементи входять до складу ПУ?
3. Які розрізняються типові елементи ПУ?
4. Які базові принципи роботи основних елементів ПУ?
5. Які складові елементи основного обладнання ПУ?

На основі аналізу було виділено два базові концепти – елементи пропульсивного комплексу та класифікація ПУ, в яких, в свою чергу, було виділено ряд опорних концептів, субконцептів різних порядків та слотів (рис. 1) [4, 5, 13-19].



а



б

Рисунок 1. Ієрархічна структура фрейма терміносистеми «Пропульсивні установки»: а – базові концепти та субконцепти першого порядку; б – фреймова схема субконцепта «Класифікація пропульсивних установок»

В залежності від рівня подальшої деталізації в терміносистемі за попередніми оцінками можна виділити більше 1000 термінів, як притаманних лише цій галузі, так і запозичених з суміжних сфер енергетики та машинобудування. В процесі попереднього аналізу було вибрано 100 базових термінів і розроблено паспорт терміносистеми «Пропульсивні установки» (табл. 1).

Таблиця 1. Паспорт терміносистеми «Пропульсивні установки»

№	Показник	Характеристика
<b>ЕКСТРАЛІНГВІСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>		
1	Час появи перших термінів	Кінець XVIII – початок XIX ст. Час появи перших термінів співпадає з винаходом парових машин – першого типу теплових двигунів, що стали використовувати для забезпечення руху замість сили вітру або мускульної сили гребців, що домінували на флоті з найдавніших часів мореплавства. Етапи появи нової групи термінів, пов’язані з винаходом та удосконаленням нових типів теплових двигунів, що запроваджувалися на флоті: 1) парові машини – кінець XVIII – початок XIX ст.; 2) парові турбіни – 1880-90 рр.; 3) дизельні двигуни – 1900-1920 рр.; 4) газотурбінні двигуни – 1930-1950 рр. 5) атомні енергетичні установки – 1950-1960 рр.
2	Місце виникнення перших термінів	Промислово розвинені країни Західної Європи XIX ст. (Велика Британія, Німеччина, Швеція)
3	Причини виникнення терміносистеми	Необхідність номінації нових об’єктів, суб’єктів та явищ, що сформувалися в суднобудуванні та морській справі.
4	Розповсюдження термінології	Термінологією у даній сфері користуються фахівці у морській справі, що насамперед пов’язані з суднобудуванням та експлуатацією суден. Також широкого використовується в суміжних сферах машинобудування, пов’язаних зі створенням судового обладнання, машин та механізмів. На даний час існує розвинена англійська термінологія в даній сфері, що регулюється Міжнародною Морською Організацією (International Maritime Organization) при ООН та нормативними документами класифікаційних товариств (контролюючи організації, що здійснюють нагляд за побудовою, ремонтом та експлуатацією суден, морських та інших об’єктів з метою забезпечення дотримання міжнародних норм у морській справі) різних країн. Російськомовна термінологія з цього напрямку формувалася практично паралельно з англійською, оскільки Російська імперія, а потім СРСР активно розвивали суднобудування та морську справу. Значна кількість суднобудівних підприємств забезпечувалася численними державними стандартами, розрахунковими документами, методиками, що було б неможливо без розвиненої терміносистеми. Формування українськомовної термінології почалося лише у XXI ст., оскільки до цього періоду країна використовувала російськомовну термінологічну базу в суднобудуванні. Навіть ще у 90-ті роки XX ст., отримавши незалежність, більшість нормативних документів у цій галузі виходило російською мовою. Єдиними на даний час сучасними українськомовними підручниками у галузі судових енергетичних установок є видання кафедри судових та стаціонарних енергетичних установок Національного університету кораблебудування, в яких представлена майже вичерпна термінологія з цього напрямку [4, 5]. В той же час, ці підручники були створені фахівцями у технічній галузі без участі термінологів-лінгвістів.

Продовження табл. 1.

№	Показник	Характеристика
<b>ЛІНГВІСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>		
5	Модель утворення терміносистеми	Терміносистема утворена у результаті взаємодії декількох вихідних терміносистем, які забезпечують номінацію концептів і процесів тих галузей знань і сфер діяльності людини, які стосуються пропульсивних установок та пропульсивного комплексу.
6	Структурні параметри	<p>а) величина терміносистеми (<i>для вибірки, що аналізується на попередньому етапі</i>): терміносистема складається зі 100 термінів, які складають її основний понятійний апарат;</p> <p>б) структурний склад термінів: 22 однослівних, 56 бінарних, 8 трислівних, 11 чотирислівних, 3 терміни, які складаються більш ніж з чотирьох слів. Переважають бінарні терміни (56%), однослівні складають 22%, чотирислівні 11%, трислівні 8%, терміни, які складаються більше ніж з чотирьох слів, 3%;</p> <p>в) генетичний склад терміносистеми: терміносистема складається з базових термінів, що не зазнали семантичної модифікації номінативних одиниць, успадкованих з інших терміносистем, семантично модифікованих термінів, запозичених з інших галузей;</p> <p>г) фрейм терміносистеми: складається з двох базових концептів: елементи пропульсивного комплексу – 77 термінів, та класифікація пропульсивних установок – 23 терміни, кожен з яких об'єднує декілька опорних концептів, які є фреймами другого, третього і подальших порядків, субконцепти і слоти яких номіновані певним набором термінів, які в свою чергу виступають у якості слотів і субфреймів по відношенню до концептів, які розташовані вище і нижче на ієрархічних сходах фреймової структури терміносистеми.</p>
7	Основні способи термінотворення	Семантичний (наприклад, насос, вал, муфта); морфологічний (турбогенератор, суперкавітуючий, тощо); синтаксичний – за рахунок утворення словосполучень (дизельне паливо, нафтовий газ, впускні клапани і т.д.). Із 56 бінарних, 47 утворені по моделі Прикм+Ім, 9 – по моделі Ім+Ім.
8	Семантичні параметри	<p>а) семантична доступність: термінологія пропульсивних установок зрозуміла для людей, що професійно займаються даною сферою, і малодоступна для розуміння широкої аудиторії, як і будь-яка інша спеціалізована субмова науки і техніки;</p> <p>б) варіативність номінативних засобів: терміносистема полісемічна, складається з 2 основних концептів, номінованих 66 термінами-синонімами, що уточнюють і деталізують ключові поняття, сенс і спеціальний зміст яких не можуть бути адекватно сприйнятий без фахових знань.</p>

Продовження табл. 1.

№	Показник	Характеристика
9	Емоційність та експресивність термінів	У терміносистемі відсутні метафоричні терміни.
10	Системні параметри	а) наявність гніздоутворюючих термінів: терміносистема складається з 48 гніздоутворюючих термінів доміант, навколо яких згруповано 52 терміни. б) ступінь самостійності терміносистеми: терміносистема номінує концепти галузі суднобудування; спеціальні терміни пропульсивних установок, що утворилися в результаті створення нових словотворень або семантичної модифікації початкового значення, запозичених з інших терміносистем слів; більшість термінів, створюючи нові словосполучення і набуваючи спеціальне значення, надають терміносистемі пропульсивних установок безсумнівну самостійність і неповторність, створюючи термінологічний корпус, що містить терміни які існували раніше, у значній частині яких модифіковано семантичне значення, так терміни, притаманні тільки пропульсивним установкам; в) повнота терміносистеми: терміносистема пропульсивних установок здатна функціонувати окремо, охоплюючи своїми елементами практично всі базові і опорні концепти пропульсивних установок.

Автори представили попередні результати аналізу терміносистеми «Пропульсивні установки» для подальшого опису україно- і англійської версій для оптимізації навчального процесу підготовки фахівців цієї галузі і для унормування цієї україномовної термінології у співпраці з Регістром судноплавства України і Національним стандартом.

**Висновки.** Авторі планують продовжувати роботу в даному напрямку для створення повноцінного паспорта терміносистеми «Пропульсивні установки» українською та англійською мовами, що буде включати всю основну термінологію з даної тематики.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Зарицький, М. С. Актуальні проблеми українського термінознавства [Текст] / М. С. Зарицький. – Київ : Політехніка НТУУ «КПІ», 2004. – 123 с.
2. Кочан І. М. Українське термінознавство вчора, сьогодні, завтра / І. М. Кочан // Мовознавство. – 2017. – № 6. – С. 44-53.
3. Циткіна, Ф. А. Термінознавство на Україні й аспекти зіставних досліджень [Текст] / Ф. А. Циткіна // Мовознавство, 1993, – №2. – С. 67-71.
4. Артемов Г. А. Суднові енергетичні установки [Текст] / Г. А. Артемов, В. М. Горбов. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 356 с.
5. Горбов В. М. Енциклопедія суднової енергетики [Текст] / В. М. Горбов. – Миколаїв: НУК, 2010. – 624 с.
6. Іващенко В. І. Основні напрями досліджень у термінознавстві кінця ХХ – початку ХХІ століття [Текст] / В. І. Іващенко. – Вісник Національного університету «Львівська Політехніка». Проблеми української термінології. - 2014. - № 791. - С. 22-26.
7. Акуленко, В. В. Вопросы интернационализации словарного состава языка [Текст] / В. В. Акуленко. – Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1972. – 216 с.

8. Іващенко, В. І. Термінологічна репрезентація [Текст] / В. І. Іващенко // Проблеми української термінології, – № 675, 2010, С. 98-105.
9. Куньч, З. Семантичний потенціал електроенергетичних професіоналізмів і професійних жаргонізмів [Текст] / Зоряна Куньч, Лілія Харчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Проблеми української термінології». – 2014. – № 791. – С. 61–65.
10. Лейчик, В. М. Лингвистические проблемы терминологии и научно-технический перевод [Текст] / В. М. Лейчик, С. Д. Щеглов. – М. : ВЦП, 1989. – 40 с.
11. Філіппова Н. М. Навчальний посібник «Загальне термінознавство» [Текст] / Н. М. Філіппова. – Миколаїв: НУК, 2017. – 202 с.
12. Ивина, Л. В. Лингво-когнитивные основы анализа отраслевых терминисистем (на примере англо-язычной терминологии венчурного финансирования) [Текст] / Л. В. Ивина. – М.: Академический проект, 2003. – 304 с.
13. Акимов П. П. История развития судовых энергетических установок [Текст] / П. П. Акимов. – Л.: Судостроение, 1966. – 187 с.
14. Артемов Г. А. Судовые установки с газотурбинными двигателями [Текст] / Г. А. Артемов, В. М. Горбов, Г. Ф. Романовский. – Николаев: УГМТУ, 1997. – 233 с.
15. Горбов В. М. Альтернативные топлива в судовой энергетике [Текст] / В. М. Горбов, В. С. Митенкова – Николаев: НУК, 2012. – 316 с.
16. Горбов В. М. Енергетичні палива [Текст] / В. М. Горбов. – Миколаїв : УДМТУ, 2003. – 328 с.
17. Корнилов Э. В. Вспомогательные и утилизационные котлы морских судов [Текст] / Э. В. Корнилов, В. Н. Афанашенко, П. В. Бойко. – О.: Фенікс, 2004. – 170 с.
18. Корнилов Э. В. Дейдвудные устройства и валопровод морских судов. Конструкция, эксплуатация, ремонт [Текст] / Э. В. Корнилов, П. В. Бойко, В. П. Смирнов. – О.: Фенікс, 2008. – 200 с.
19. Курзон А. Г. Судовые комбинированные энергетические установки [Текст] / А. Г. Курзон, Б. С. Юдовин. – Л. : Судостроение, 1981. – 210 с.

Відповідальний 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 24  
Підписано до друку 10.09.18 р.  
Тираж 300 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