

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра двигунів
внутрішнього згоряння,
установок та технічної
експлуатації

«Допущений до захисту»
В.о. завідувача кафедри
Олексій ГОГОРЕНКО

« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СУДНОВОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВОДО-ПАЛИВНОЇ ЕМУЛЬСІЇ

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи

Василь НАЛИВАЙКО

Здобувач освіти

Павло ЄРМАКОВ

Миколаїв 2023

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет	Машинобудівний навчально-науковий
Кафедра	Двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації
Ступінь	Магістр
Спеціальність	142 Енергетичне машинобудування
	(шифр і назва)
Освітня програма	Двигуни внутрішнього згоряння

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ
Олексій ГОГОРЕНКО

« » 20 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Єрмаков Павло Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Покращення екологічних показників суднового двигуна шляхом використання водо-паливної емульсії

2. Керівник роботи к.т.н., доц. Наливайко В. С.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 20 року №

3. Строк подання здобувачем роботи

4. Вихідні дані до роботи Двигун – Wärsilä 6R32, потужність двигуна – 1845 кВт;
частота обертання колінчатого валу – 750 хв⁻¹; паливо – дизельне та вода

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Застосування двигуна Wärtsilä 6R32 в енергетичній установці судна проекту 003RSD04/ALB03; Аналіз напрямків модернізації головного двигуна для покращення його паливної економічності та екологічності; Модернізація паливної системи двигуна шляхом використання водо-паливної емульсії; Економічне обґрунтування впровадження модернізованого двигуна; Забезпечення вимог охорони праці

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вигляд судна проекту 003RSD04/ALB03; Поперечний переріз двигуна
Wärtsilä 6R32; Схема системи підготовки та подачі водо-паливної емульсії;
Гідродинамічний диспергатор для приготування водопаливної емульсії;
Регулюючий мембранний диференційний голковий клапан; Регулююча голка;
Профільована пластина.

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оформлення 1 розділу		
2	Оформлення 2 розділу		
3	Оформлення 3 розділу		
4	Оформлення 4 розділу		
5	Оформлення 5 розділу		
6	Оформлення креслень		

Здобувач освіти

Керівник роботи

_____	<i>Павло ЄРМАКОВ</i>
(підпис)	(прізвище та ініціали)
_____	<i>Василь НАЛИВАЙКО</i>
(підпис)	(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі наведені результати дослідження ефективності використання водо-паливної емульсії для покращення екологічних показників головного суднового двигуна Wärtsilä 6R32 суховантажного судна проекту 003RSD04/ALB03. Проаналізовано сучасні способи підвищення паливної та екологічної ефективності двигунів. Як результат аналізу встановлено, що одним з ефективних способів є використання водо-паливної емульсії. Розрахунки робочого процесу двигуна підтвердили доцільність такої модернізації. Виконано економічне обґрунтування впровадження модернізації. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 76 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 10 джерел. Графічна частина представлена на 4 кресленнях формату А1, 1 кресленні формату А2 та 2 кресленнях формату А3.

Ключові слова: емульсія, паливна система, диспергатор, екологічні параметри.

The qualification work presents the results of a study of the effectiveness of using a water-fuel emulsion to improve the environmental performance of the main engine Wärtsilä 6R32 of the dry cargo ship. An analysis of modern ways to improve fuel efficiency and environmental friendliness of engines was carried out. As a result of the analysis, it was found that one of the most promising methods is the use of a water-fuel emulsion. Calculations of the engine's operating process confirmed the feasibility of such modernization. The economic feasibility study of the modernization was performed. Measures to ensure labor protection are presented.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 76 pages of explanatory note. 10 sources are used. The graphic part is presented on 4 drawings of format A1, 1 drawing of format A2, 2 drawings of format A3.

Key words: emulsion, fuel system, dispersant, environmental parameters.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		2

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Застосування двигуна Wärtsilä 6R32 в енергетичній установці суховантажного судна проекту 003RSD04/ALB03.....	6
Розділ 2. Аналіз напрямків модернізації головного двигуна для покращення його паливної економічності та екологічності.....	11
2.1 Передумови використання водо-паливних сумішей для суднових двигунів	11
2.2 Фізико-хімічні властивості водо-паливних емульсій.....	14
2.3 Вплив водо-паливної емульсії на робочий процес двигунів.....	22
2.4 Пристрої для отримання водо-паливних емульсій.....	28
Розділ 3. Модернізація паливної системи двигуна шляхом використання водо-паливної емульсії.....	34
3.1 Тепловий розрахунок двигуна при роботі на дизельному паливі.....	34
3.2 Тепловий розрахунок двигуна на водопаливній емульсії.....	44
3.3 Розробка системи підготовки та подачі водо-паливної емульсії	46
Розділ 4. Економічна оцінка модернізації двигуна.....	54
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	59
Висновки.....	68
Список використаної літератури.....	69
Додаток А. Загальний вигляд судна проекту 003RSD04/ALB03.....	70
Додаток Б. Поперечний переріз двигуна Wärtsilä 6R32.....	71
Додаток В. Схема системи підготовки та подачі водо-паливної емульсії.....	72
Додаток Г. Гідродинамічний диспергатор.....	73
Додаток Д. Регулюючий мембранний диференційний голковий клапан.....	74
Додаток Е. Регулююча голка.....	75
Додаток Є. Профільована пластина.....	76

ВСТУП

Нині у світовому двигунобудуванні поставлено завдання радикального зниження викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря. Згодом вони мають бути зведені до однакових або схожих показників, які можна позначити як "практично нульові викиди".

Додаток VI до матеріалів Міжнародної Конвенції МАРПОЛ 73/78, що набув чинності 01 січня 2011 р., намітив план поетапного зниження викидів оксидів азоту судновими енергетичними установками.

Серед нормованих хімічних компонентів, що містяться у відпрацьованих газах дизеля найнебезпечнішими для природи і людини є оксиди азоту.

Зменшення вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах є вельми складним завданням, тому що це пов'язано з обмеженнями максимальної температури циклу, термічного ККД і, отже, з обмеженнями щодо паливної економічності.

Якщо для новопроеКТованих дизелів генеральним напрямком поліпшення екологічних показників є розробка адаптивних двигунів і підвищення тиску впорскування палива, то для дизелів, що перебувають в експлуатації, альтернативним рішенням видається застосування водо-паливних емульсій (ВПЕ). Емульсії палива з водою застосовуються корпораціями MAN Diesel & Turbo SE (Німеччина-Данія) і Mitsubishi (Японія).

Доцільність використання ВПЕ для зниження викидів оксидів азоту та необхідність проведення додаткових досліджень у цій галузі відзначалася в доповідях на Міжнародному Конгресі СІМАС-2013.

Тому науково-дослідні роботи щодо застосування водо-паливних емульсій для поліпшення екологічних показників суднових дизелів є актуальними.

					<i>КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Мета даної роботи – дослідити умови покращення показників паливної економічності та екологічності дизельного двигуна суховантажного судна шляхом використання водо-паливної емульсії.

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Проаналізувати можливості використання водо-паливної емульсії як самостійного палива для дизельних двигунів.
2. Розробка системи підготовки та подачі водо-паливної емульсії.
3. Оцінити запропоновані рішення, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – паливна система двигуна.

Предмет дослідження – параметри роботи двигуна при роботі на водо-паливній емульсії.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА WÄRTSILÄ 6R32 В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ
УСТАНОВЦІ СУХОВАНТАЖНОГО СУДНА ПРОЕКТУ
003RSD04/ALB03

Загальна характеристика та опис судна

Судно проекту 003RSD04/ALB03 призначено для транспортування вантажів та контейнерів в Середземному, Каспійському, Чорному, Балтійському, Білому та Північному морях.

Довжина габаритна – 121,7 м, довжина між перпендикулярами – 116,94 м, ширина – 16,50 м, висота борту – 6,20 м.

Всі трюми виконані ящикової форми, гладкостінні. Розміри вантажних трюмів 27,9x12,7 м (трюм №1), 28,6 x 12,7 (трюму №2, 3) при висоті 8,87 м.

Місткість трьох вантажних трюмів 9370 м³, контейнер місткість – 234 TEU.

Розрахунковий термін служби корпусів 20 років. Як матеріал основних конструкцій застосовувалася суднобудівна сталь категорій РСА і РСД.

Конструкція другого дна дозволяє перевозити важку металопродукцію, а також на роботу грейфером вантажопідйомністю 16 т.

Висота подвійного дна – 1,0 м, ширина подвійних бортів – 1,9 м, місткість баластних танків – 3120 м³.

Люкові закриття знімного типу, що переміщуються судновим козловим краном.

Судно одновальне, швидкість в експлуатації 11,5 вузлів (при повному використанні потужності 12,5 вузлів), гвинт регульованого кроку діаметром 3400 мм.

Потужність валогенератора 500 кВт (валогенератор може працювати як резервний двигун, забезпечуючи швидкість до 7...8 вузлів).

Основне паливо – важке в'язкістю до 380 сСт (мазут).

					<i>KPM.142.6221м.23.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Потужність підрулюючого пристрою - 300 кВт.

Автономність по паливу – 20 діб. Екіпаж – 12 чоловік (14 місць).

Проект 003RSD04/ALB03 розроблений Морським Інженерним Бюро.

Суду відповідно до прийнятої в Бюро класифікацією належать до "Азовських п'ятитисячників" з підвищеною вантажомісткістю і мають при характеристичній для гирлових портів Азовського моря осад 5,06 м та дедвейт близько 5350 тонн.

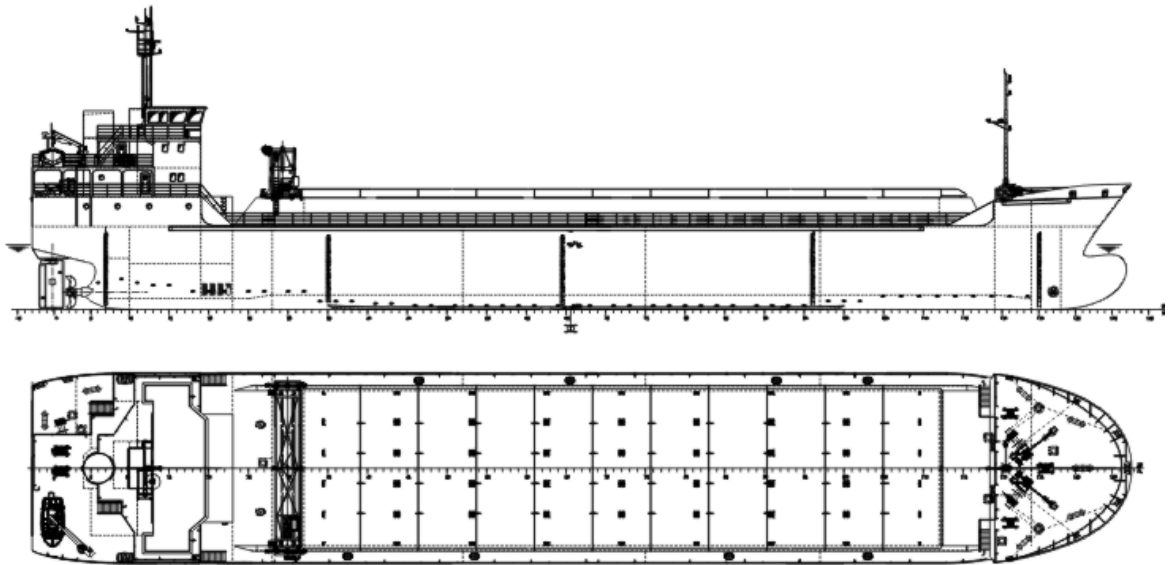


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд судна проекту 003RSD04/ALB03

Опис енергетичної установки

В якості головного на судні проекту 003RSD04/ALB03 використовується 4-тактний поршневий ДВЗ Wartsila 6R32 з діаметром циліндра 320 і ходом поршня 350 мм [1].

Двигун має можливість використовувати палива до 380 сСт в'язкістю.

Wartsila 6R32 має потужність 1845 кВт при частоті обертання колінчатого валу 750 хв⁻¹.

Допоміжна енергетична установка складається з:

– двох допоміжних двигунів Volvo Penta D12-AUX RC потужністю 310 кВт кожний;

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– двох допоміжних автоматизованих котлоагрегатів продуктивністю 1,5 та 0,5 т/год насиченої пари фірми CERTUSS та EGB.

Опис конструкції головного двигуна

Wartsila 6R32 (рис. 1.2) являє собою чотиритактний, шестициліндровий дизель, нереверсивний, з турбонагнітачем, охолоджувачем наддувного повітря і з прямим впорскуванням палива, з рядним розташуванням циліндрів.

Колінчасті вали підвішуються знизу. Маса *противаг* підбирають так, щоб урівноважити сили інерції обертових мас і тим самим вирівняти криву сил тиску на підшипники. Це сприяє зниженню середніх питомих тисків на вкладиші рамових підшипників, що дає змогу збільшити товщину і міцність масляного клина в них.

Поршень має сталеву охолоджувану головку і чавунну спідницю. Спідниця, з метою збереження нею циліндричної форми, розвантажена від механічних навантажень, останні передаються від денця поршня безпосередньо на бобишки поршневого пальця. З метою вирівнювання температур головки поршня в неї заливається масло і охолодження здійснюється збовтуванням. Змащування тронка і втулки циліндра здійснюється цим же мастилом, що надходить через 4 дозуючі сопла в канавку, розташовану у верхній частині спідниці нижче маслознімного кільця. Поршневі кільця хромовані, поршневі канавки піддані загартуванню і шліфовані з метою підвищення їх зносостійкості. Поверхні канавок піддані індукційному загартуванню.

Шатун має двотавровий перетин і косий роз'єм.

Вкладиші мотильових і рамових підшипників тришарові, верхній шар являє собою сплав Антимоніт, який виготовляють на основі олова і сурми, що має високі антифрикційні та антикорозійні властивості, що збільшує термін його служби, якщо порівняти з олов'яно-свинцевим покриттям, яке застосовували раніше, орієнтовно удвічі.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

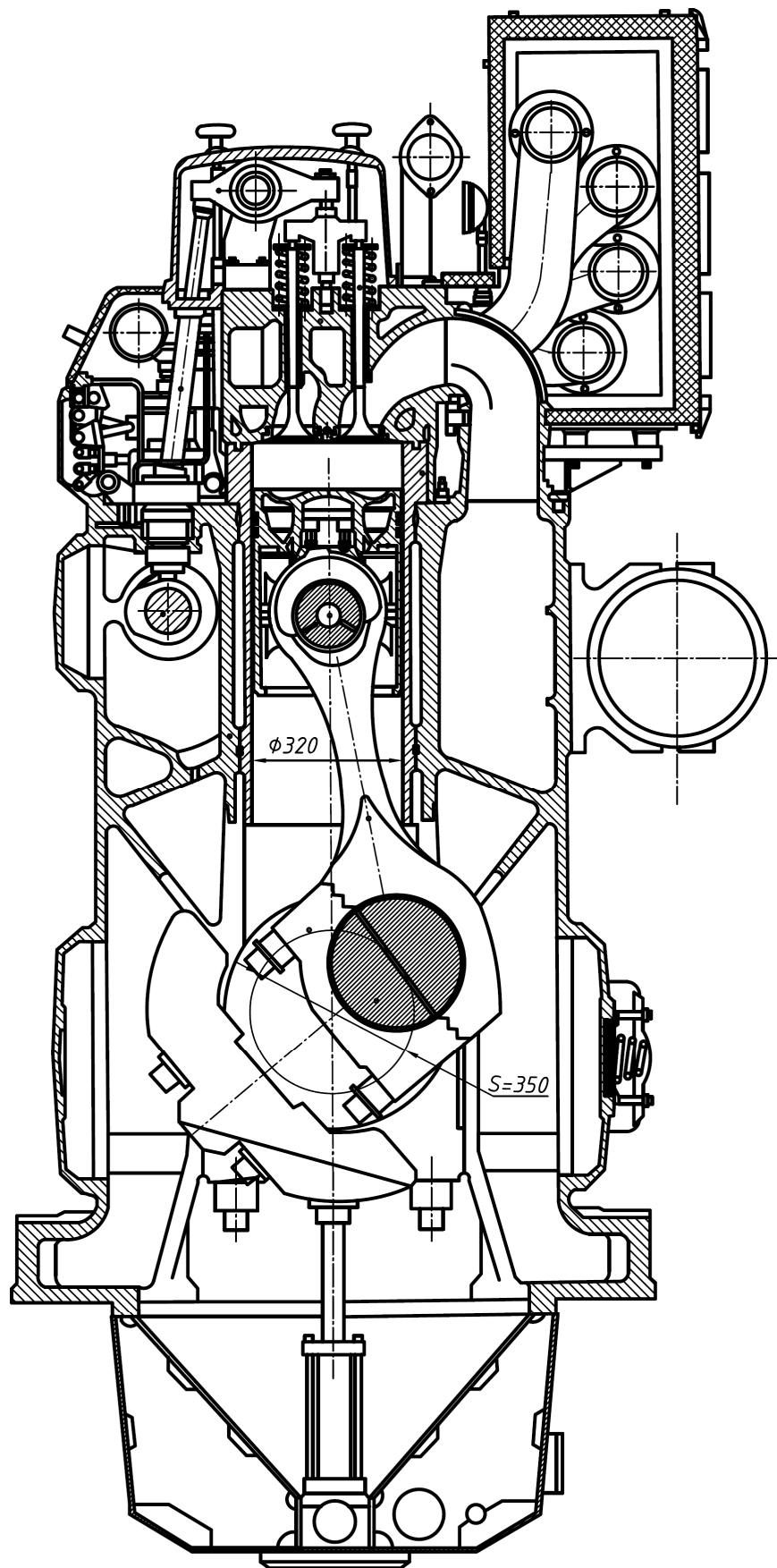


Рисунок 1.2 – Поперечний розріз двигуна Wartsila 6R32

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.23.05.00.ПЗ

Аркуш

9

Для полегшення припрацювання підшипника на сплав наноситься тонкий шар олова. Як підкладку, що забезпечує кращу зчіплюваність антимоніту з мідним сплавом, використовують тонкий шар нікелю.

Деформація *втулок*, що зумовлює порушення їхньої циліндричної форми, зазвичай відбувається під дією напруг, що виникають під час затягування шпильок кришки, а також під впливом механічних і термічних навантажень, яких зазнає втулка під час роботи двигуна. З огляду на те, що рівень форсування сучасних двигунів істотно підвищився, більшість двигунобудівних фірм, зокрема і Wartsila, з метою зменшення механічних напруг стали виготовляти втулки з високим потужним фланцем. Одночасно, щоб уникнути зростання температурних напружень у зв'язку з потовщенням металу у верхній частині циліндра і зберегти температуру робочої поверхні циліндра не вище 1600 °С (температура, вище за яку інтенсифікується полімеризація оливи – нагаро- та лакоутворення), охолоджувальна вода наближена до внутрішньої охолоджуваної поверхні шляхом свердління в комірці.

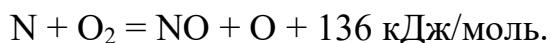
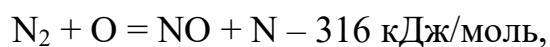
					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЙОГО ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОСТІ

2.1 Передумови використання водо-паливних емульсій для суднових двигунів

Оксиди азоту, що утворюються в циліндрі дизеля, приблизно на 90% складаються з оксиду азоту NO та діоксиду азоту NO₂. Оксид азоту утворюється при згоранні палива в результаті хімічних реакцій між киснем і азотом повітря. Початок ланцюговим реакціям утворення NO кладе поява атомарного кисню унаслідок дисоціації молекул O₂ при високих температурах. Основні реакції, згідно загальноприйнятої термічної теорії Я. Б. Зельдовича, наступні:



Кількість оксиду азоту залежить від концентрації атомарного кисню і азоту, а також від температури. Хімічна природа палива на вихід NO впливу не робить.

Найбільша кількість NO утворюється в тих зонах заряду дизеля, які згорають першими і мають найбільший час перебування при температурі вище 2200 К. Це пояснюється сильною залежністю швидкості утворення NO від температури, а в тих зонах, де паливо згоріло раніше, температура продуктів згорання вища із-за їх "стиску" внаслідок згорання в подальших зонах (так званий Мах-ефект).

При згоранні в дизелі утворення NO визначається локальними складами суміші і температурами. Наприклад, кількість NO, що утворюється в полум'ї багатих сумішей в ядрі факела, залежить від локальної концентрації кисню,

					<i>KPM.142.6221м.23.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

тому при поданні палива через більше число соплових отворів вихід NO дещо збільшується.

При пониженні температури продуктів згорання під час такту розширення концентрація NO не знижується до рівноважної, і чим більше в результаті розширення швидкість охолодження продуктів згорання, тим сильніше фактична концентрація NO перевищує рівноважну. Це явище називається загартуванням оксиду азоту.

Мінімізація емісії NO_x сьогодні є одним з основних завдань двигунобудування і експлуатаційників.

Вміст NO_x визначається кількістю азоту повітря, що окислюється в процесі згорання і залежить, головним чином, від температур в камері згорання. На вимогу Міжнародної Морської Організації (IMO) вміст NO в двигунах повинно знаходитись в діапазонах вказаних на (рис. 2.1)

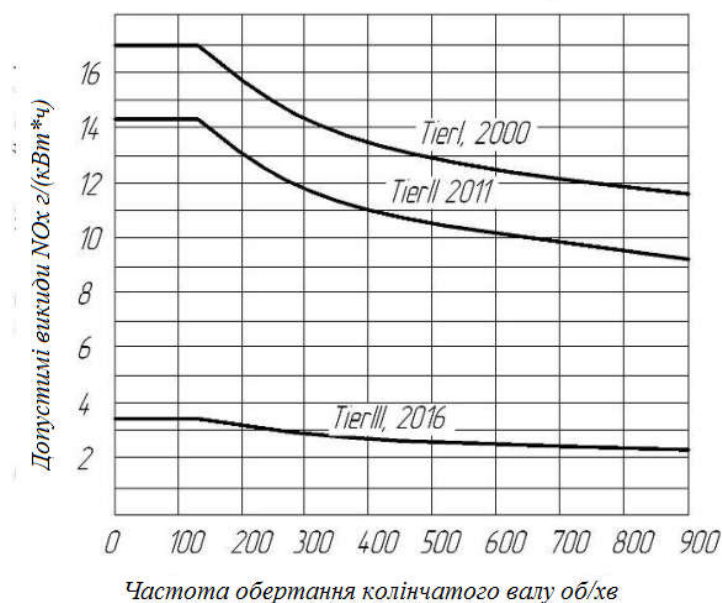


Рисунок 2.1 – Допустимі викиди NO_x від обертів колінчатого валу на вимогу Міжнародної Морської Організації (IMO)

Одним з перспективних способів покращення вмісту шкідливих речовин в відпрацьованих газах судових двигунів є використання добавок води до палива у якості емульсії.

Температура відпрацьованих газів зменшується на 2..3 %. Це досягається завдяки поліпшенню процесу сумішоутворення, оптимізації процесу тепловиділення протягом робочого процесу і підвищенню повноти згоряння палива.

Необхідно зазначити, що частина тепла, яке виділилася при згоранні палива, витрачається на прогрів і випаровування води, яка міститься в емульсії води. В результаті, на 150..200 К знижується максимальна температура циклу, а також на 400..500 К локальні температури в окремих областях камери згоряння.

Відомо, що азот, який міститься в повітряному заряді, окислюється при температурі не менше 1500 К, тому внаслідок зниження температури в камері згоряння дизеля буде зменшуватися і концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах. При вмісті води в емульсії в кількості 5...40% димність відпрацьованих газів знижується в 2...4 рази, концентрація оксидів азоту на 30...50%.

Концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах дизеля знижується при зменшенні розмірів включень води, а питома ефективна витрата палива, навпаки. Найменша витрата палива досягається при дисперсності водної фази 2...15 мкм. При занадто малих, а також при дуже великих розмірах крапель витрата палива збільшується

На рис. 2.2-2.3 наведені експериментальні навантажувальні характеристики чотиритактного суднового дизеля YANMAR 6N-330 потужністю 73,6 кВт при частоті обертання колінчастого вала 1200 хв⁻¹. З наведених на рисунках даних видно, що зі зменшенням розмірів включень води в емульсії викиди оксидів азоту зменшуються при одночасному збільшенні питомої ефективної витрати палива.

Водопаливної емульсія є ефективним засобом скорочення викидів оксидів азоту з відпрацьованими газами дизелів.

					<i>KPM.142.6221м.23.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

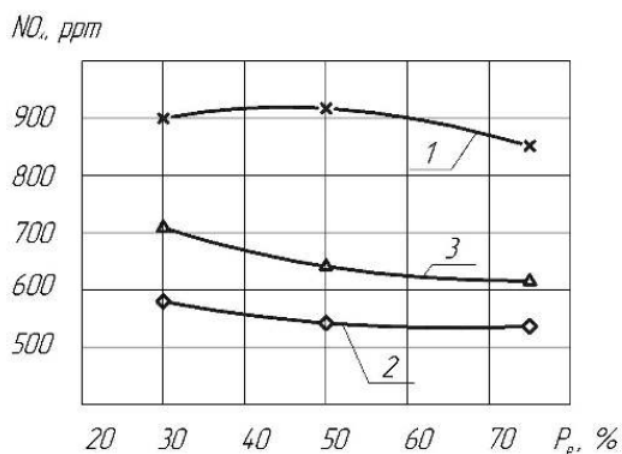


Рисунок 2.2 – Залежність концентрації оксиду азоту, що міститься у відпрацьованих газах від дисперсності ВПЕ дизельного палива: 1 – дизельне паливо; 2 – $d_w = 3,9 \text{ мкм}$; 3 – $d_w = 7,7 \text{ мкм}$

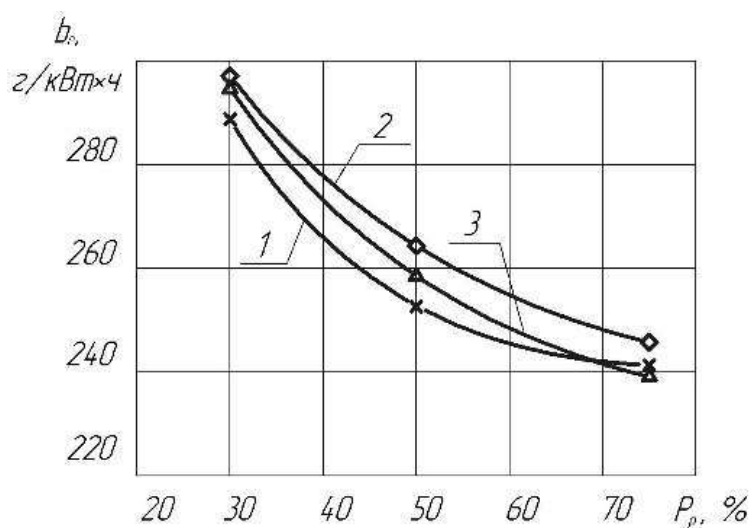


Рисунок 2.3 – Залежність питомої ефективної витрати палива від розміру часточок води в емульсії: 1 – дизельне паливо; 2 – $d_w = 3,9 \text{ мкм}$; 3 – $d_w = 7,7 \text{ мкм}$

2.2 Фізико-хімічні властивості водо-паливних емульсій

Водо-паливні емульсії, які утворені двома рідинами (вода і мазут), між якими немає взаємодії, відносяться до гідрофобних. Емульсії бувають прямого і зворотного типів. Стосовно до двигунів внутрішнього згорання найбільший інтерес представляють емульсії зворотного типу вода-масло, в яких

дисперсною фазою є вода, а дисперсійним середовищем - органічна рідина (масло, паливо). При утворенні емульсії відбуваються дроблення дисперсної фази (води) і перемішування її з дисперсійним середовищем. В результаті диспергування вода розбивається на дрібні крапельки розміром від 1 до 5 мкм, причому кожна краплина води з зовнішнього боку, по межі розділу фаз, покрита тонким шаром природного або штучного емульгатора, що запобігає злиттю крапельок і підвищує стійкість емульсії. У той же час шар емульгаторів може перешкоджати прямому контакту металевих поверхонь деталей паливної апаратури і води. При наявності у воді присадок вони можуть захищати метал від корозії.

При використанні емульгованого палива на базі мазуту не потрібно додатково вводити емульгатор, так як в мазуті в достатній кількості є асфальтени - природні емульгатори, що забезпечують високу стабільність емульсії.

Вода, що вводиться в паливо, робить істотний вплив на деякі його фізико-хімічні показники: теплоту згоряння, щільність, в'язкість, поверхневий натяг, температуру спалаху.

Теплота згоряння водомазутних емульсій залежить в основному від вмісту в них води у зв'язку з витратами теплоти на її випаровування. При використанні емульсій мазутів М-40, М-60, М-80 з вмістом води 10...20% збільшення витрати мазуту становить 0,8...1,5% на 1% води по відношенню до безводному мазуту.

Густина емульсії залежить від щільності компонентів і їх кількісного співвідношення при даній температурі.

$$\rho_{\Sigma}^{(t)} = \rho_T^{(t)} \times S_T + \rho_B^{(t)} \times S_B$$

де ρ_{Σ} , ρ_T , ρ_B – густина емульсії, палива і води;

S_T , S_B – об'ємні частки палива і води.

В'язкість емульсії залежить від процентного вмісту і в'язкості дисперсної фази (води) і дисперсного середовища (палива), а також від

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

температури підігріву. В'язкість ВПЕ вище в'язкості вихідних палив (дизельного, моторного). Зі збільшенням температури підігріву емульсії розрив між в'язкістю емульсії і вихідного палива скорочується. На рис. 2.4 представлена залежність в'язкості емульсії моторного палива дизельного палива від температури при різних вологості.

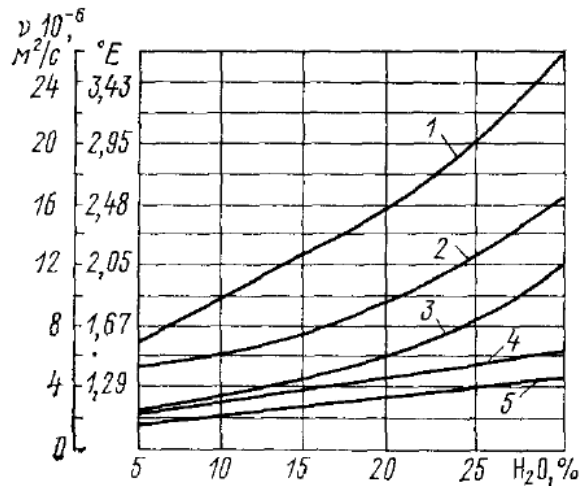


Рисунок 2.4 – Залежність в'язкості емульсій моторного палива ДТ від температури: 1 – ДП; 2 – ДП + 10% води; 3 – ДП + 20% води; 4 – ДП + 30% води; 5 – ДП + 40% води

За цими даними отримана емпірична залежність в'язкості емульсії від процентного вмісту в ній води

$$\nu_e = (1 + 16,3 \times W^{1,4}) \nu_T$$

де ν_e – кінематична в'язкість емульсії і палива, m^2/s ;

W – відносний вміст води в емульсії.

У досліджах застосовували природні та штучні емульгатори для стабілізації ВПЕ. Природним стабілізатором ВПЕ є добавка 5% мазуту. Крім того, застосовували суміш 0,5% гумового клею і 0,5% емульсолу 32 для ВПЕ на основі дизельного палива і гасу.

Як видно з кривих, в'язкість ВПЕ на основі гасу і дизельного палива зі збільшенням вмісту води зростає, але з різною інтенсивністю.

Поверхневий натяг є одним з параметрів, що визначають ефективність розпилювання палива, і залежить від температури, виду рідини і дотичних з цією рідиною фаз (газ-рідина, вода-паливо). Для емульсій дуже важливе значення має поверхневий натяг $\sigma_{ш}$ на межі розділу дисперсної фази і дисперсійного середовища, яке впливає на дисперсність і стійкість емульсії, тому що чим менше ця величина, тим швидше, тонше і рівномірніше можна роздібнити дисперсну фазу і отримати більш якісну і стабільну емульсію. Від поверхневого натягу σ_2 на границі з повітрям (газом) залежить якість розпилювання емульсії в камері згоряння. Чим нижче ця величина, тим менше опір рідини збільшенню її поверхні і тонше розпил палива, що забезпечує більш ефективне і повне його згоряння. На рис. 2.5 представлена залежність поверхневого натягу емульсій моторного палива дизельного палива на границі з повітрям від температури. Поверхневий натяг емульгованого палива в значній мірі залежить від температури і тим сильніше, чим більше води в емульсії.

Температура спалаху T_{cn} є експлуатаційним фактором, який визначає ступінь пожежної безпеки використовуваного палива і регламентується регістром. З ростом процентного вмісту води температура спалаху емульгованого палива підвищується і, відповідно, підвищується безпека використання такого палива. Залежність можна представити у вигляді емпіричної формули

$$T_{cn} = 88 + 668 \times W$$

Температура застигання T_3 також відноситься до експлуатаційних факторів. Величина T_3 емульгованого палива вища, ніж вихідного палива. Для моторного палива з $T_3 = -10^\circ \text{C}$ вода, що вводиться в паливо, буде підвищувати температуру застигання по залежності.

$$T_3 = 20,7 \times W - 10$$

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

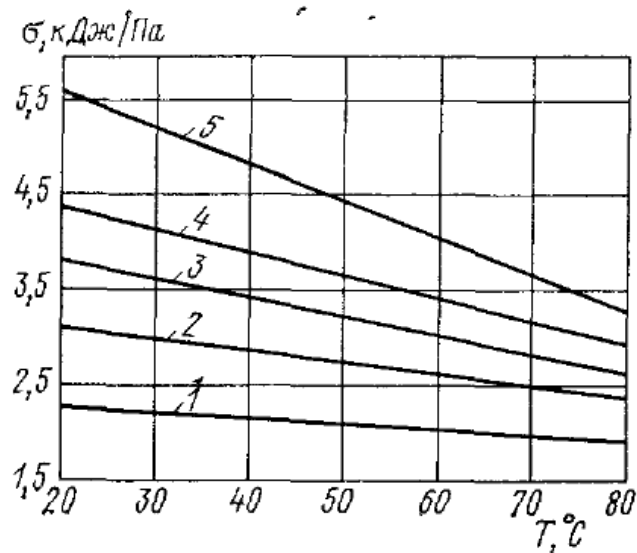


Рисунок 2.5 – Залежність поверхневого натягу емульсій моторного палива ДТ від температури: 1 – ДП; 2 – ДП + 10% води; 3 – ДП + 20% води; 4 – ДП + 30% води; 5 – ДП + 40% води

Водопаливну емульсію контролюють по дисперсності, яка вбирає в себе інші показники, що характеризують емульсію як паливо.

Дисперсність – головний показник якості емульсії, що відображає рівномірність розподілу води в масі палива, стійкість емульсії, її в'язкість і ін. Чим вище дисперсність, чим менше розмір краплі водної фази і відмінність крапель один від одного, тим рівномірніше розподіляється вода в паливі і вище якість емульсії як палива. Розміри крапель води повинні становити 1...5 мкм. Дисперсність емульсії залежить від щільності, в'язкості, поверхневого натягу вихідного палива та установки для приготування емульсії.

Питання про оптимальну дисперсність (спектр) емульсій надзвичайно важливе, але мало досліджене. Очевидно, оптимальні розміри частинок води залежать від базового палива, типу паливної апаратури, конструкції камери згоряння, ступеня форсування дизеля і режимів його роботи.

За структурою ВПЕ можуть бути: 1 – водосмолистими; 2 – водопарафіновими; 3 – водопарафіносмолистими; 4 – водостабілізуючі (рис. 2.6).

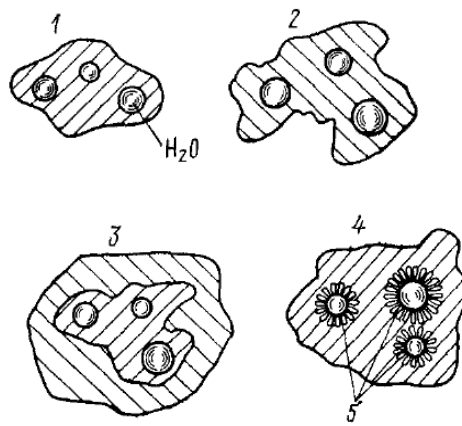


Рисунок 2.6 – Структура водопаливної емульсії

Перші три типи відносяться до ВПЕ з природними стабілізаторами, що входять до складу базового палива; останній - до ВПЕ з синтетичними стабілізаторами водної фази, які штучно вводяться.

Водосмолисті емульсії утворюються в результаті концентрації на поверхні водної краплі смол і асфальтенів палива, які внаслідок підвищеної поверхневої активності міцно обволікають частинки води. При цьому виходять досить стійкі емульсії. При охолодженні парафінистих палив, що містять воду, утворюються водопарафінові емульсії. Кристали парафіну утворюють кристалічну решітку навколо глобул води. Емульсії цього типу вельме нестабільні.

Більшість палив мають вуглеводні парафінового та ароматичного роду і з водою утворюють водопарафіносмолисті емульсії. Поверхнево-активні асфальтени і смоли концентруються на поверхні водяних глобул. Утворюється система у вигляді парафіново кристалічної решітки з включеннями глобул води, оточених смолами і асфальтенами. При нагріванні парафінова решітка може руйнуватися, але система залишається міцною.

Цікаво, що при гомогенізації палив дробляться не тільки частинки механічних домішок, а й утворюються тонкодисперсні ВПЕ. Наприклад, в експортному мазуті при вмісті води 5% і 10% середній розмір глобул води становив 90...120 мкм, після гомогенізації 2...3 мкм.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Четвертий тип ВПЕ – штучно стабілізовані емульсії. У водну фазу вводять поверхнево-активні речовини (ПАР) та інші присадки, які обволікають глобули води стійкими молекулярними шарами і не дають їм об'єднуватися.

Використання спеціально приготованих емульсій у вигляді рівномірної суміші палива нафтового походження і прісної води дозволяє зменшити витрату палива при незмінному навантаженні дизеля на 4...10% в високооборотних і на 3...6% в середньо-і малооборотних дизелях. Витрата палива знижується завдяки поліпшенню сумішоутворення, підвищенню динаміки тепловиділення при згорянні і збільшенню повноти згорання палива.

Найбільша економічність двигуна при використанні емульсивного палива досягається при вмісті водної фази в емульсії 5...17%. Поза цими межами прирощення теплоти при згорянні палива від ефекту мікрровибухів не компенсує витрат теплоти на випаровування і перегрів води.

Ефект зміни економічності двигуна при роботі на емульсивному паливі в порівнянні з «сухим» паливом залежить від дисперсності водної фази в емульсії. Найбільша економічність досягається при дисперсності водної фази 2...15 мкм. При занадто малих, а також при дуже великих розмірах крапель води економічність двигуна знижується. Збільшення повноти згорання палива при цьому виявляється незначним внаслідок ослаблення ефекту мікрровибухів, і воно не компенсує витрат теплоти на випаровування і перегрів води.

При перекладі на емульсійне паливо і збереженні незмінного навантаження двигуна тривалість упорскування палива в циліндр зростає, температура випускних газів зменшується на 2...3%. Максимальний тиск циклу залежить від способу регулювання паливних насосів: при регулюванні паливних насосів по початку подачі воно підвищується на 5...6%, а при регулюванні по кінцю подачі – знижується на 2...3%.

При використанні емульсійних палив зменшується нагароутворення на деталях циліндро-поршневої групи. Нагар стає більш пухким. Заміри

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

циліндрових втулок і поршневих кілець показують, що при роботі на емульсивному паливі підвищення інтенсивності зносів не спостерігається.

Фізичні властивості емульсійних і «сухих» палив різняться. Щільність емульсивного палива зростає, але із збільшенням щільності базового палива відмінність щільності «сухого» і емульсивного палива нівелюється. Співвідношення в'язкості «сухого» і емульсивного палив залежить від температури їх підігріву. При підвищенні температури розрив між в'язкістю емульсії і «сухого» палива скорочується, і при 85...95 °С в'язкість емульсії мало відрізняється від в'язкості «сухого» палива. Це дозволяє припускати, що якість розпилювання емульсивного палива в циліндрі дизеля зберігається такою ж, як при «сухому» паливі.

Природні емульгатори у важких паливах сприяють збереженню високої (до декількох місяців) стабільності емульсії. У емульсії на базі дизельних палив стабільність менше (до доби). Емульгатор може бути застосований в кількості, що не перевищує вміст води в емульсії.

Водопаливні емульсії відносяться до стійких колоїдних систем. При підігріві емульсивного палива, отриманого на базі мазуту, спостерігається спінювання палива при атмосферному тиску і температурі понад 90 ° С. Щоб уникнути спінювання і подальшого викиду емульсії з відкритої ємності, де проводиться підігрів, температура не повинна перевищувати 90 ° С.

Результати аналізу фільтрованості емульсійних палив показують, що фільтри працюють задовільно. За 72 год на фільтруючих елементах фільтрів тонкого очищення накопичується не більше 100 г відкладень, що становить менше 0,0001% відфільтрованого палива.

Істотний вплив на економічність двигуна при роботі на емульсивному паливі надає спосіб приготування емульсії. Наприклад, на теплоході «Полтава» при використанні кавітаційного змішувача з екраном витрата палива при постійному навантаженні двигуна зі збільшенням вмісту води в емульсії неухильно підвищувався, склавши приблизно 103% при вмісті води в

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

емульсії 8%. У разі приготування емульсії аналогічним змішувачем без екрану витрата палива при тому ж вмісті води в емульсії склав уже 94% витрати палива при роботі на «сухому» паливі. Передбачається вплив на економічність двигуна дисперсності водної фази, питання це потребує подальшого вивчення. Зі збільшенням частоти обертання двигуна оптимум питомої витрати палива в залежності від вмісту водяної фази зсувається в бік підвищеного вмісту води в емульсії. Відзначається зниження витрати масла та димності.

2.3 Вплив водо-паливної емульсії на робочий процес двигунів

Струмінь палива, що впорскується складається з великої кількості крапель розміром 5...30 мкм.

При уприскуванні безводного палива в міру його випаровування загальна поверхня крапель зменшується, а у емульгованому паливі за рахунок мікровибухів поверхня крапель збільшується в кілька разів. В результаті розриву крапель відбувається їх подрібнення, більш інтенсивне перемішування парів палива з повітрям. Факел палива, що впорскується займає значно більший обсяг. Незважаючи на велику питому масу емульсії, далекобійність струменя не збільшується, а відбувається розширення факела по об'єму камери згоряння. Вода, що знаходиться в емульгованому паливі, впливає на перебіг всіх періодів процесу горіння.

Крапля емульсії, що впорснули, за період затримки самозаймання нагрівається і вибухає. Потім розірвана крапля з великою швидкістю випаровується і, перемішуючись з повітрям, починає реагувати з киснем. Нагрівання і випаровування крапельок води, що входить в емульсію, викликають додаткове охолодження робочого тіла, яке може привести до зменшення швидкості хімічної реакції і збільшенню тривалості періоду затримки самозаймання. Однак період затримки самозаймання залежить від

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

температури і тиску в камері, тому тривалість його можна зменшити більш раннім уприскуванням ВПЕ, збільшенням ступеня стиснення та ін.

Період швидкого початкового горіння звичайно приймається від початку запалення палива до моменту досягнення максимального тиску в циліндрі. Цей період характеризується значним наростанням швидкості згоряння, зростанням тиску і температури в циліндрі. Основним фактором, що впливає на протікання процесу, є накопичення палива за період затримки самозаймання.

При спалюванні водопаливної емульсії накопичення палива відбувається повільніше, ніж при використанні звичайного палива, так як деяку частину уприснутого обсягу займає вода, що входить до емульсії. Згоряння емульгованого палива протікає швидше, ніж безводного. Наприклад, емульсія мазуту згорає на 25-30% швидше, ніж безводний мазут.

Періодом основного горіння вважається період від моменту досягнення максимального тиску до точки, в якій показник політропи розширення дорівнює адіабаті ($n_2 = k$) Цей період характеризується різким зменшенням кількості проміжних продуктів реакції і швидким збільшенням кінцевих продуктів реакції. Тривалість періоду визначається досконалістю підведення повітря до палива і продуктів його проміжного окислення. Інтенсивність перемішування реагуючих компонентів набуває вирішального значення.

При використанні ВПЕ в період основного горіння впорскується велика кількість палива. Через більш тривале уприскування і мікрОВИбухи відбувається додаткове перемішування парів палива, повітря і кінцевих продуктів реакції. Збільшення кількості уприскуваного емульгованого палива сприятливо позначається і на регулюванні процесу згоряння. У той же час зростання загальної тривалості горіння небажано, надмірна розтягнутість вприскування може різко скоротити досягнутий ефект.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

В останньому періоді підвищена концентрація водяної пари в зоні займання-горіння, має найбільший вплив на швидкість процесу окислення і горіння палива при найвищих температурах циклу [2].

Останній період характеризується безперервним зниженням температури робочого тіла і концентрації вихідних компонентів - палива і кисню. Тривалість періоду залежить від ступеня турбулізації суміші. Підвищений вміст вологи в високотемпературній газовій суміші сприяє активному протіканню процесів газифікації сажистих залишків палива, це також підтверджується зменшенням коксоутворення і нагароутворення при введенні води в циліндр дизеля. Зменшення подачі водопаливної емульсії в останній період (враховуючи збільшення її подачі в попередньому періоді) дозволить підвищити економічність циклу.

Вивчення впливу водопаливних емульсій на процес згорання палива в двигунах внутрішнього згорання показало, що добавка води до палива дає можливість якісно регулювати окремі періоди процесу згорання.

Вплив емульгованого палива на робочий процес дизеля оцінювали багато вітчизняних та закордонних дослідників.

Явища, що спостерігаються в камері згорання двигуна можна представити у вигляді комплексу взаємно впливаючих та доповнюючих фізичних і хімічних процесів.

1. Фізична дія на макро і мікросумішоутворення. До них відносяться процеси, що забезпечують більш тонке розпилювання і вторинне дроблення крапель ВПЕ в результаті мікрровибухів.

2. Хімічна і каталітична дія води на процес горіння палива.

Мікрогетерогенні прийнято називати емульсії, що складаються з частинок води розміром від 1 до 10 мкм. Невидимі в оптичний мікроскоп частинки називають колоїдними. Розмір колоїдних частинок знаходиться в діапазоні від 1 до 400 нм. Для вивчення колоїдних розчинів використовують електронні мікроскопи.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Фізичні властивості ВПЕ визначаються такими ж параметрами, як і властивості традиційного палива. Однак існують характеристики, які властиві тільки емульсіям. До них відносяться: дисперсність, гетерогенність, концентрація дисперсної фази, стійкість.

Дисперсністю називається величина зворотно пропорційна середньому діаметру крапель води і характеризує тонкість приготування емульсії. Зі збільшенням дисперсності збільшується сумарна поверхня і площа контакту води з паливом, підвищується вплив механізмів, діючих на розділі незмішуваних між собою рідин. Якщо дисперсна фаза рухлива, то система називається вільнодисперсна.

Кількість води в емульсії впливає на економічні, екологічні та ресурсні показники дизеля. Оптимальний вміст води залежить від виду палива, конструкції дизеля і режиму його роботи. Вибір оптимальної концентрації проводиться за результатами випробувань конкретного двигуна і носить компромісний характер. У суднових дизелях використовуються концентровані ВПЕ з масовою концентрацією води в діапазоні 5...25%.

Стійкістю емульсії прийнято називати її здатність зберігати з часом дисперсність і рівномірність розподілу водної фази в займаному обсязі. Стійкість є важливою характеристикою ВПЕ, так як вона багато в чому визначає безвідмовність і надійність роботи дизеля.

Емульсія, приготовлена з дистильованого дизельного палива і води, є нестійкою. Відразу ж після приготування, емульсія починає розшаровуватися на воду і пальне. Основними видами втрати стійкості емульсій є седиментація і коалесценція.

Седиментацією називають явище розшарування між собою компонентів під дією сили тяжіння, які не змішуються (легкі частинки прагнуть спливати, а важкі випасти в осад).

Явищу седиментації сприяють процеси флокуляції та коалесценції.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Флокуляцією називають процес злипання окремих крапель без злиття в їх більш великі краплі. Швидкість седиментації флокульованих (злипаних між собою) крапель вище, ніж окремих крапель. Чим більше розходження в питомій вазі рідин і чим більше розміри включень води - тим інтенсивніше відбувається процес поділу рідин і випадання осаду.

Коалесценцією називають процес злиття дрібних крапель в більші. В результаті збільшується ступінь дисперсності емульсії. При коалесценції відбувається перехід з метастабільного в термодинамічно стійкий стан. Результатом цього процесу також може стати повне руйнування (розшарування) емульсії на воду і пальне.

Як було зазначено раніше, вода, що знаходиться в емульсії надає на процеси сумішоутворення і горіння розпорошеного в палива фізичне, хімічне та каталітичну дію.

До фізичних процесів, які поліпшують якість сумішоутворення і згоряння при роботі на ВПЕ відносять і явища «мікрровибухів» парів води в краплях палива. Мікрровибухи знижують локальні температури в камері згоряння і зменшують концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах.

В оцінці впливу мікрровибухів на робочий процес дизеля також немає єдиної думки. Одні вважають, що мікрровибухи є потужним засобом поліпшення сумішоутворення і згоряння розпорошеної емульсії, інші - що це вплив вельми незначний.

Хімічний і каталітичний вплив води на робочий процес визначається наступними явищами. Згідно теорії про каталітичний вплив води на процеси займання і горіння палива, значний вміст парів води в суміші і в продуктах згорання сприяє гарному впливу на процес горіння палива. Відомо, що в безводневій суміші вигорання окису вуглецю практично не відбувається. Однак при підвищенні вологості в 1% спостерігається майже повне її вигорання. Це явище пояснюють каталітичним дією парів води.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Каталітична дія води здійснюється наступним чином. Молекули кисню та молекули води характеризуються однаковою резонансною частотою коливань, і енергія, яка може передаватися однією молекулою, в свою чергу, може безпроблематично сприйматися іншою. Також молекула води полярна, а значить, що наявність води додатково поляризує середовище, в якому відбувається процес горіння.

Найбільш повно пояснює каталітичний вплив парів води на горіння палива теорія горіння і ланцюгових реакцій. Відповідно до неї, вихідні речовини перетворюються в кінцеві продукти з утворенням ряду проміжних хімічних сполук.

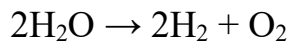
У початковій стадії окислення швидкість ланцюгової реакції залежить від концентрації атомарного водню. Далі хімічна реакція йде зі значним самоприскоренням і підвищенням температури, тобто екзотермічно. Для прискореного розвитку ланцюгової реакції необхідно збільшувати початкову концентрацію атомів водню. У дизелях це можна досягти за допомогою введення присадки води до палива.

Перші досліді, що стосуються дослідження впливу води на процес горіння вуглеводневого палива, були проведені шляхом додавання у камеру згоряння двигуна разом з паливом важкої води, що містить ізотопи кисню. При аналізі складу відпрацьованих газів, у вуглекислому газі було виявлено близько 45% ізотопів кисню.

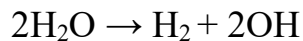
При високій температурі відбувається термічна дисоціація молекул води на водень і кисень, а також дисоціація молекул води на водень і гідроксил. Наявність у полум'ї великої кількості активних центрів гідроксилу і атомарного водню сприяють підвищенню швидкості горіння вуглеводневих палив.

Процес дисоціації води відбувається в наступній послідовності. Спочатку за рахунок високої температури горіння палива відбувається дисоціація молекул водяної пари на водень і кисень.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Потім відбувається дисоціація води на водень і гідроксил



Кисень, водень і гідроксил, що утворилися з води, надалі беруть участь в процесі горіння вуглеводневого палива. Крім цього, при введенні води в якості присадки до палива або повітря збільшується концентрація активних центрів. У зв'язку з тим, що швидкість ланцюгових реакцій пропорційна концентрації активних центрів, то наявність парів води в камері згоряння дизеля збільшує швидкість хімічних реакцій при горінні палива.

2.4 Пристрої для отримання водо-паливних емульсій

Установки для отримання водо-паливних емульсій повинні бути прості по конструкції, надійні і ефективні в експлуатації.

Для отримання ВПЕ можуть бути використані колоїдні млини, механічні мішалки, струменеві диспергатори, барбатажні установки, ультразвукові та кавітаційні установки, гомогенізатори, гідродинамічні сирени.

Колоїдні млини готують емульсії високої якості (середній діаметр крапель $d_k = 3..5$ мкм), однак вимагають великих енерговитрат і мають малу продуктивність.

Механічні мішалки не дозволяють отримати дрібнодисперсну емульсію ($d_k = 12..18$ мкм), хоча мають велику продуктивність і менші витрати енергії.

Струменеві диспергатори прості за конструкцією, проте необхідно додаткове обладнання (шестерні насоси) і багаторазова (14-15 разів) обробка для отримання високоякісної емульсії ($d_k = 2..8$ мкм).

Барбатажні пристрої характеризуються нерівномірністю розподілу часток дисперсної фази за обсягом емульсії, великими розмірами крапель ($d_k = 5$ мкм) і високою витратою енергії.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ультразвукові та кавітаційні установки мають високу вартість, складні за конструкцією і в експлуатації, хоча дозволяють отримувати емульсію з розмірами частинок $d = 5$ мкм.

Гомогенізатори використовуються для отримання емульсії з розмірами крапель 1 мкм і менше. Однак вони складні по конструкції, працюють при високому тиску (до 35 МПа), що веде до передчасного зносу і поломки деталей, вимагає багаторазової обробки емульсії і великих енерговитрат.

Гідродинамічні сирени (відцентрові - і роторно-пульсаційні апарати) прості по конструкції, надійні в експлуатації, мають малі витрати енергії, причому інтенсивність процесів тепло - і масообміну в них на 1 ~ 2 порядки вище, ніж в існуючих пристроях.

У роторно-пульсаційному апараті при одно-дворазовий обробці можна отримати емульсію з середнім розміром частинок 3...6 мкм, причому час обробки складає 20...30 с, що на 2-3 порядки менше, ніж при отриманні такої ж емульсії в апараті з мішалкою. Частка частинок середнього розміру доходить до 90...95%. Принципово можливе одержання емульсій з розміром частинок $d_k = 0,5...1$ мкм.

Робочі органи роторно-пульсаційних апаратів являють собою два комплекти порожніх коаксіальних циліндрів з отворами різної форми уздовж утворюючих. При обертанні одного набору (ротора) щодо іншого (статора) відбувається швидке чергування суміщення і перекриття прорізів, що тягне за собою синхронне зміна швидкості руху рідини через прорізи, тобто виникнення пульсуючого з великою частотою рідинного потоку. Одночасно в цьому ж пристрої забезпечується обробка середовища в тонких зазорах за рахунок високих напруг зсуву та зрізуючих зусиль. Крім того, при роботі таких апаратів виникають різноспрямоване поле швидкостей, процеси в пристінкових зонах, кавітація та інші явища.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Зміни окремих конструктивних елементів дозволяють в широких межах змінювати інтенсивність гідродинамічних або механічних явищ при збереженні загального принципу роботи апарату.

Установки для отримання емульсій відрізняються різними витратами енергії. Механічні мішалки споживають значно менше енергії, ніж колоїдні млини або гомогенізатори при тій же продуктивності. Однак одержувана емульсія має велику дисперсність, ніж у апаратури інших типів.

Як видно з рис. 2.7, механічні мішалки споживають значно менше енергії, ніж колоїдні млини або гомогенізатори при тій же продуктивності. Однак одержувана емульсія має велику дисперсність, ніж у апаратури інших типів.

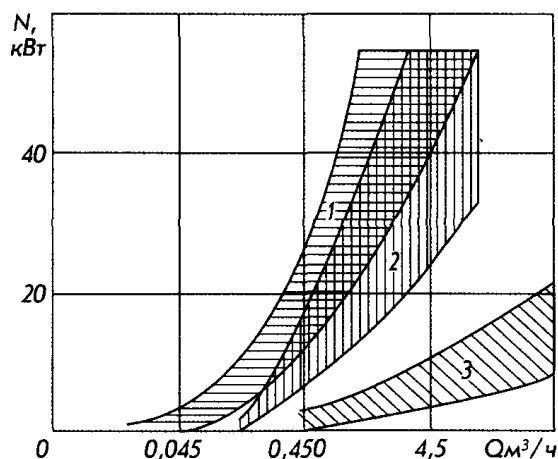


Рисунок 2.7 – Витрата потужності на емульгування в різних апаратах:
1 – колоїдна машина; 2 – гомогенізатор; 3 – механічна машина

За даними досліджень, потужність споживана, РПА, на два порядки менше, ніж у мішалки, в 4...6 разів нижче, ніж в ультразвуковому диспергаторі, і менше, ніж у струминного апарату. Тому роторно-пульсаційні апарати є найбільш економічними в порівнянні з іншими пристроями.

Аналіз систем з приготування ВПЕ свідчить про те, що існують два принципових підходи до їх реалізації. Перший підхід передбачає приготування ВПЕ поза зв'язку з роботою двигуна, причому емульгування

здійснюється в системі паливопідготовки з накопиченням готової ВПЕ в проміжних ємностях для відносно тривалого зберігання.

Компоненти ВПЕ зберігаються окремо і окремо проходять стадії попередньої обробки, емульгування палива виконується в однорежимному (по продуктивності, вмістом води та її дисперсності) диспергаторі. Для зберігання запасу ВПЕ передбачаються спеціальні ємності.

У таких установках можливе використання відносно простих по конструкції диспергуючих пристроїв з малою інтенсивністю масообміну (мішалок, дроселюючих пристроїв і т.п).

До недоліків цієї системи належить неможливість оптимізації змісту води по навантаженню двигуна, переводу двигуна для роботи на чистому паливі і видалення ВПЕ з системи паливопідготовки при зупинці двигуна.

Другий підхід до реалізації системи приготування ВПЕ передбачає диспергування палива до паливного насоса високого тиску. Такий спосіб сприяє оптимізуванню вмісту води та інших компонентів в ВПЕ в залежності від типу двигуна, режимів його роботи, сорти палива і пріоритету мети - економія палива, перекид двигуна на більш важке паливо, форсування по потужності, зниження димності і токсичності.

До позитивних якостей такої системи відносяться простота очищення вихідних продуктів ВПЕ, можливість роботи на важких паливах, що вимагають підігріву перед ПНВТ, і простий перекид дизеля з чистого палива на ВПЕ і назад. Дана система не вимагає додаткових затрат на підтримання стабільності, адже ВПЕ використовується відразу після її отримання.

Однак цей варіант вимагає установки диспергатора, що забезпечує отримання ВПЕ необхідної якості при одноразовій обробці.

Особлива роль води в процесі сумішоутворення пояснюється дослідниками наступним чином. Емульсія являє систему, що складається з двох рідин з різною температурою кипіння; температура кипіння води при нормальному тиску дорівнює 100 °С, а мазуту 260...300 °С. Крапля емульсії

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

типу «вода в маслі» є дуже складною. Хоча температура поверхні краплі рідини в процесі її випаровування дещо менше температури кипіння, різниця між температурою поверхні частки палива і температурою кипіння води, укладеної всередині краплі палива, залишається дуже істотною і досягає 70...200 °С.

Завдяки цьому мікрочастинки води, що знаходиться всередині краплі емульсії, в процесі її прогріву швидше переходять в пароподібний стан. При цьому товщина плівки палива внаслідок випаровування з поверхні краплі безперервно зменшується. У момент, коли тиск прагнуть розширитися водяної пари всередині частинки перевищить вже ослаблені (внаслідок її нагрівання) сили поверхневого натягу плівки, відбудеться руйнування поверхні краплі, тобто мікрровибух. Внаслідок цього відбувається інтенсивне розпилювання крапель палива і хороше перемішування їх з повітрям у циліндрі.

Саме цьому процес згоряння стає більш ефективним і відбувається за менший проміжок часу. Повніше згорання в цьому випадку досягається газифікацією залишків палива, які зазвичай не встигають згоряти, але в присутності парів води в достатній кількості взаємодіють з останніми при температурі вище 800 °С з утворенням вуглекислого газу і водню. Вільний водень реагує з киснем швидше й активніше, ніж вуглець. Існування таких реакцій наочно підтверджується тим, що при уприскуванні води у всмоктуючий колектор двигунів внутрішнього згоряння нагару і сажі на днище поршня, кришці циліндра і на випускному патрубку, як правило, не виявляється.

Існує думка, що поліпшення процесу сумішоутворення пояснюється також викидом парів води і осколків палива у вигляді нестаціонарних мікроструй з краплі палива при згорянні її в циліндрі двигуна. Утворені мікроструї створюють реактивну силу, яка викликає коливання краплі в потоці, підвищує коефіцієнт дифузії і веде до турбулентного перемішування частинок в струмені розпорошеного палива.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

При використанні водопаливної суміші особливо важливе значення має попереднє сильне диспергування води. При цьому збільшується абсолютна величина водяній поверхні і зменшується товщина шарів вуглеводнів, що покривають поверхню води. Збільшення абсолютної поверхні рідкого палива веде до сильного збільшення швидкості його випаровування і згоряння.

Інтенсивність процесів сумішоутворення, згоряння і в цілому економічність дизеля при роботі на ВПЕ визначаються в основному двома чинниками – збільшенням поверхні випаровування паливних факелів і тривалістю уприскування палива. Зміна фізичних характеристик різних палив визначає лише конкретну величину сумарного ефекту від згаданих факторів. Вода уповільнює процес згоряння паливного компонента в емульсії.

В результаті зробленого аналізу можна зробити висновок, що використання водо-паливних емульсій є ефективним засобом покращення економічних та екологічних показників роботи дизельних двигунів.

В даній роботі буде розглянута можливість роботи головного двигуна на суміші води та важкого палива у співвідношенні 18 % води та 82 % дизельного палива при номінальному навантаженні.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДВИГУНА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВОДО-ПАЛИВНОЇ ЕМУЛЬСІЇ

3.1 Тепловий розрахунок двигуна при роботі на дизельному паливі

Методика розрахунку робочого циклу двигуна

Дійсним циклом ДВЗ називається комплекс процесів, що періодично повторюються в ньому та здійснюються з метою перетворення теплоти згораючого палива на механічну роботу. Це складний фізико-хімічний процес, розрахувати який аналітично (без залучення дослідних коефіцієнтів) дотепер не є можливим. Тому розрахункові методи, як правило, базуються на більш-менш спрощених моделях, однією з яких є розрахунковий цикл за Гриневецьким-Мазінгом [3].

Цей розрахунковий цикл (рис. 3.1) складається з процесів: політропи стиснення $t-s$, ізохори $s-u$, ізобари $u-z$, політропи розширення $z-b$ та ізохори $b-t$, що замикає цикл.

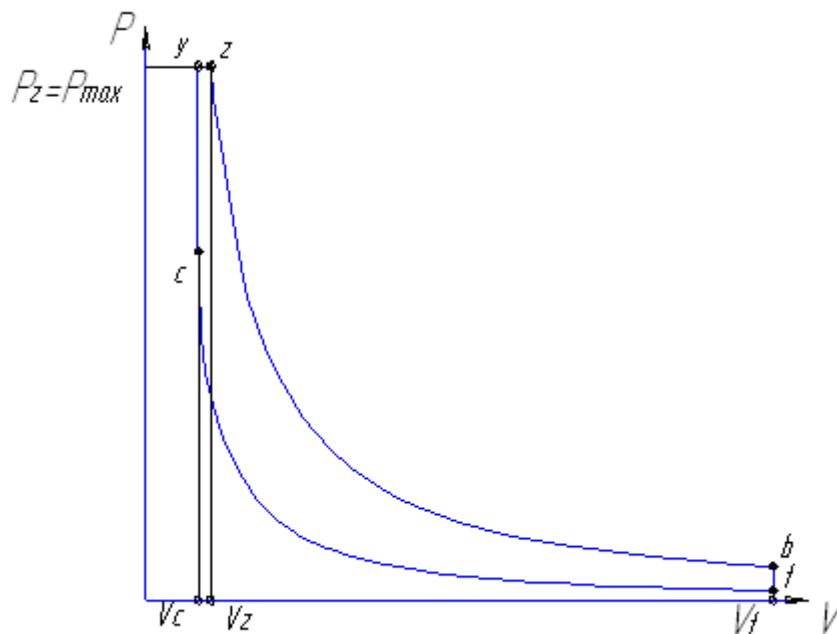


Рисунок 3.1 – Розрахунковий цикл двигуна за Гриневецьким - Мазінгом

Популярність методу Гриневецького - Мазинга пояснюється задовільними результатами досить простих розрахунків. За допомогою методу Гриневецького - Мазинга легко аналізувати процеси в ДВЗ.

Вибір й обґрунтування вихідних даних для теплового розрахунку

Температура атмосферного повітря T_0 . Приймаємо $T_0 = 293$ К (стандартне значення).

Тиск атмосферного повітря p_0 . Приймаємо $p_0 = 0,1013$ МПа (стандартне значення).

Ступінь стиснення ε . Для даного типу двигунів приймаємо $\varepsilon = 15$ [4].

Коефіцієнт надлишку повітря α . Він залежить від розмірів двигуна. Приймаємо $\alpha = 2,77$.

Адіабата повітря $k_s = 1,4$.

Механічний ККД турбіни $\eta_{t.m} = 0,98$.

Адіабатний ККД турбіни $\eta_{t.ad} = 0,85$.

Коефіцієнт відпрацьованих газів γ_r . Приймаємо $\gamma_r = 0,04$.

Коефіцієнт використання теплоти в точці z (ξ_z), та в точці b (ξ_b). Ця величина може змінюватись в значних межах і залежить від досконалості двигуна.

Приймаємо $\xi_z = 0,92$; $\xi_b = 0,95$.

Ступінь підвищення тиску при згорянні λ . Приймаємо $\lambda = 1,1$.

Підігрів повітря від стінок втулки циліндра ΔT_a . Приймаємо $\Delta T_a = 10$ К.

Коефіцієнт округлення індикаторної діаграми ζ . Величину залежить від типу двигуна та типу системи газообміну. Приймаємо $\zeta = 0,99$.

Механічний ККД двигуна η_m .

Приймаємо $\eta_m = 0,92$.

Зменшення тиску у охолоджувачі наддувного повітря ΔP_{ox} . Приймаємо $\Delta P_{ox} = 0,004$ МПа.

Температура відпрацьованих газів T_r . Приймаємо $T_r = 700$ К [6].

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Елементарний склад палива. Розрахунок для палива середнього складу [5]: C = 0,87 кг; H = 0,126 кг; S = 0 кг; O = 0,004 кг.

Коефіцієнт тактності Z. Приймаємо $Z = 0,5$.

Нижча теплота згоряння палива Q_n . Приймаємо $Q_n = 42700$ (кДж/кг).

Ступінь підвищення тиску P_k . Для даного турбонагнітача приймаємо $P_k = 3,3$.

Результати теплового розрахунку двигуна

Робочий цикл є послідовним розрахунком п'ятих процесів: наповнення, стиснення, згоряння палива, розширення та випуску. Точність розрахунку вважалася задовільною, якщо різниця між заданої і отриманої в результаті розрахунку потужності не перевищувала 0,5%.

Розрахунок процесу наповнення

У реальному двигуні на початку кожного циклу в циліндр надходить зовні повітря або суміш палива з повітрям. Процес, протягом якого відбувається заповнення циліндра повітрям або сумішшю повітря з паливом, називається процесом наповнення. Параметри процесу наповнення, що визначають кількість повітря або суміші, які надходять у циліндр двигуна, залежать від безлічі факторів. Основним таким чинником є падіння тиску повітря під час надходження в циліндр.

Температура повітря за компресорною частиною, К

$$T_k = T_0 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 293 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{0,33}{0,101} \right)^{0,286} - 1}{0,8} \right] = 440,165$$

Температура повітря перед двигуном, К

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 440,165 - 0,85 \times (440,165 - 293) = 315,075$$

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Температура заряду наприкінці процесу наповнення, К

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{315,075 + 10 + 0,02 \times 700}{1 + 0,02} = 332,426$$

Тиск повітря перед двигуном, МПа

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0,33 - 0,004 = 0,326$$

Тиск заряду наприкінці процесу наповнення, МПа

$$P_a = 0,975 \times P_s = 0,975 \times 0,326 = 0,318$$

Коефіцієнт наповнення

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \varphi_n) = \frac{15}{15 - 1} \times \frac{0,318}{0,326} \times \frac{315,075}{332,426} \times \frac{1}{1 + 0,02} \times (1 - 0) = 0,971$$

Розрахунок процесу стиснення

Основним призначенням процесу стиснення в ДВЗ є збільшення різниці температурних рівнів циклу, а отже, підвищення економічності двигуна. Крім цього, збільшення густини та температури заряду наприкінці стиснення ініціює подальші процеси займання та горіння палива.

Під час стиснення в дизелі відбуваються такі процеси: нестационарний теплообмін між зарядом і поверхнею циліндра, що обмежує його; зменшення поверхні теплообміну в міру наближення поршня до ВМТ; випаровування та займання частини уприсненого палива; витік частини заряду через нещільності кілець.

Приймаємо

$$n_l = 1,364$$

Тиск в кінці процесу стиснення, МПа

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_l} = 0,318 \times 15^{1,364} = 12,776$$

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Температура в кінці процесу стиснення, К

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{m-1} = 332,426 \times 15^{1,364-1} = 890,787$$

Розрахунок процесу згоряння

Дійсний процес згоряння дуже складний. У розрахунковому циклі, що розглядається, передбачається, що згоряння палива починається в точці "с" (див. рис. 3.1.), а закінчується на лінії z - b. Для розрахунку термодинамічних процесів, під час яких до робочого тіла підводиться теплота від палива, що згорає, необхідно знати, скільки теплоти підводиться до робочого тіла в результаті згоряння і теплообміну зі стінками на ділянках с - у - z і z - b. При цьому динаміка підведення теплоти на розглянутих ділянках визначається характером процесу (ізохора, ізобара, політропа). Це питання вирішується за допомогою емпіричних коефіцієнтів.

Дійсна кількість повітря для згоряння, кмоль/кг

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{2,77}{0,21} \times \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} + \frac{0}{32} - \frac{0,004}{32} \right) = 1,37$$

Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,126 + 0,004}{32 \times 1,37} = 1,0231$$

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,0231 + 0,02}{1 + 0,02} = 1,0226$$

Доля палива, що згоріла в точці z

$$x_z = \frac{\xi_z}{\xi_b} = \frac{0,92}{0,95} = 0,968$$

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z

$$\beta_z = 1 + \left(\frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \times x_z = 1 + \left(\frac{1,0231 - 1}{1 + 0,02} \right) \times 0,968 = 1,022$$

Максимальна температура згоряння, К

$$\frac{\xi_z \times Q_n}{\alpha \times L_0} + [c'_v + 8,314 \times \lambda + \gamma_r \times (c''_v + 8,314 \times \lambda)] \times T_c = \beta_z \times (1 + \gamma_r) \times c''_{pz} \times T_z$$

$$T_z = \frac{C}{A \times T_z + B}$$

$$A = \beta_z \times (1 + \gamma_r) \times b_z$$

$$B = \beta_z \times (1 + \gamma_r) \times (a_{vz} + 8,314)$$

$$C = \frac{\xi_z \times Q_n}{\alpha \times L_0} + [(19,26 + 0,0025 \times T_c) + 8,314 \times \lambda + \gamma_r \times ((20,47 + 0,0036 \times T_c) + 8,314 \times \lambda)] \times T_c$$

Це рівняння розв'язується методом послідовних наближень, для чого у першому наближенні приймаємо $T_z = 1700$ К. Після вирішення декількох рівнянь отримуємо:

$$T_z = 1653$$

Максимальний тиск згоряння, МПа

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,1 \times 12,776 = 14,054$$

Розрахунок процесу розширення

Він здійснюється під час руху поршня від ВМТ до НМТ, і починається він у момент кінця подачі палива (кінець видимого процесу згоряння, точка z).

Закінчується процес розширення (точка b), як це приймають в ідеальних і розрахункових циклах, у момент досягнення поршнем НМТ. Насправді в робочих циклах процес розширення закінчується в момент відкриття випускного клапана, тобто раніше НМТ. Процес розширення протягом усього часу протікає зі змінним теплообміном, що значною мірою ускладнює

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

визначення балансу тепла за цей процес. Для визначення параметрів газу наприкінці процесу розширення, так само як і процес стиснення, є політропним процесом із постійним значенням показника n_2 , що дорівнює середньому значенню. при такій заміні дійсного процесу розширення визначення тиску й температури газів наприкінці розширення значно спрощується, а точність залежить від того, наскільки правильно й обгрунтовано визначено значення n_2 .

Ступінь попереднього розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,022}{1,1} \times \frac{1653}{890,787} = 1,724$$

Ступінь подальшого розширення

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{15}{1,724} = 8,702$$

Приймаємо:

$$n_2 = 1,295$$

Температура в кінці процесу розширення, К

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2-1}} = 1653 \times \frac{1}{8,702^{1,295-1}} = 872$$

Тиск в кінці процесу розширення, МПа

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{14,054}{8,702^{1,295}} = 0,852$$

Визначення індикаторних показників

Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа

$$P'_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \times \left[\lambda \times (\rho - 1) + \frac{\lambda \times \rho}{n_2 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] =$$

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$= \frac{12,776}{15-1} \times \left[1,1 \times (1,724-1) + \frac{1,1 \times 1,724}{1,295-1} \times \left(1 - \frac{1}{8,702^{1,295-1}} \right) - \frac{1}{1,364-1} \times \left(1 - \frac{1}{15^{1,364-1}} \right) \right] = 1,921$$

Дійсний середній індикаторний тиск, МПа

$$P_i = P_i' \times \zeta \times (1 - \varphi_n) = 1,921 \times 0,99 \times (1 - 0) = 1,902$$

Індикаторна питома витрата пального, кг/(кВт*год)

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_n}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,326 \times 0,971}{2,77 \times 0,495 \times 315,075 \times 1,902} = 0,167$$

ККД

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_n} = \frac{3600}{0,167 \times 42700} = 0,506$$

Визначення ефективних показників

Середній ефективний тиск, МПа

$$P_e = P_i \times \eta_m = 1,902 \times 0,92 = 1,75$$

Ефективний ККД двигуна

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,506 \times 0,92 = 0,465$$

Питома ефективна витрата пального, кг/(кВт*год)

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,167}{0,92} = 0,182$$

Ефективна потужність двигуна, кВт

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,32^2 \times 0,35 \times 0,5 \times 1,75 \times 750 \times 6 = 1848,6$$

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Порівняння заданої та отриманої потужності двигуна

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{1848,6 - 1845}{1848,6} \times 100\% = 0,196\%$$

Точність розрахунку задовільна, різниця між заданою і отриманою в результаті розрахунку потужності не перевищує 0,5%.

Визначення дійсного P_k компресора на даному режимі роботи двигуна

Витрата повітря через компресор, кг/с

Універсальна газова стала $R = 287$ Дж/кг*К

$$G = \left(\frac{\pi \times D_c^2}{4} \right) \times S_c \times \left(\frac{P_s \times 10^6}{R \times T_s} \right) \times \eta_i \times i \times z \times \left(\frac{n}{60} \right) \times \phi_a =$$

$$= \left(\frac{3,14 \times 0,32^2}{4} \right) \times 0,35 \times \left(\frac{0,326 \times 10^6}{287 \times 315,075} \right) \times 0,971 \times 6 \times 0,5 \times \left(\frac{750}{60} \right) \times 1 = 3,694$$

Витрата газів через турбіну, кг/с

$$G_t = G + g_e \times \frac{N_e}{3600} = 3,694 + 0,182 \times \frac{1848,6}{3600} = 3,787$$

Тиск газу перед турбіною, МПа

$$P_r = \psi_t \times P_k = 0,896 \times 0,33 = 0,296$$

Температура газу перед турбіною, К

$$T_t = T_b \times \left(\frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{n_2 - 1}{n_2}} = 938,692 \times \left(\frac{0,296}{0,852} \right)^{\frac{1,295 - 1}{1,295}} = 685,286$$

Загальна кількість продуктів згоряння, кмоль

$$M_s = \left(\frac{C}{12} \right) + \left(\frac{H}{2} \right) + [0,21 \times (\alpha - 1) \times L_0] + (0,79 \times \alpha \times L_0) =$$

$$= \left(\frac{0,87}{12} \right) + \left(\frac{0,126}{2} \right) + [0,21 \times (2,77 - 1) \times 0,495] + (0,79 \times 2,77 \times 0,495) = 1,403$$

Універсальна газова стала для відпрацьованих газів, кДж/кг*К

$$R_t = \frac{1}{\frac{C}{12 \times M_s \times 189} + \frac{H}{2 \times M_s \times 461,6} + \frac{0,21 \times (\alpha - 1) \times L_0}{M_s \times 259,8} + \frac{0,79 \times \alpha \times L_0}{M_s \times 296,8}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{0,87}{12 \times 1,403 \times 189} + \frac{0,126}{2 \times 1,403 \times 461,6} + \frac{0,21 \times (2,77 - 1) \times 0,495}{1,403 \times 259,8} + \frac{0,79 \times 2,77 \times 0,495}{1,403 \times 296,8}} = 287,562$$

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Показник адіабати розширення газу в турбіні

$$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \times T_t) + 8,314}{a_{vb} + b_b \times T_t} = \frac{(19,791 + 0,003 \times 685,286) + 8,314}{19,791 + 0,003 \times 685,286} = 1,383$$

Дійсна ступінь підвищення тиску в компресорі

$$\Pi_k = \left[1 + \frac{\left(\frac{k_t}{k_t - 1} \right) \times R_t \times T_t \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{P_r}{P_0} \right)^{\frac{k_t - 1}{k_t}}} \right] \times \eta_{t.m} \times \eta_{t.ad} \times G_t}{G \times R \times T_0 \times \left(\frac{k_s}{k_s - 1} \right) \times \frac{1}{\eta_{k.ad}}} \right]^{\frac{1}{0,286}}$$

$$= \left[1 + \frac{\left(\frac{1,383}{1,383 - 1} \right) \times 287,562 \times 685,286 \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{0,296}{0,1013} \right)^{\frac{1,383 - 1}{1,383}}} \right] \times 0,93 \times 0,85 \times 3,787}{3,694 \times 287 \times 298 \times \left(\frac{1,4}{1,4 - 1} \right) \times \frac{1}{0,73}} \right]^{\frac{1}{0,286}} = 3,262$$

$$P_{kd} = \Pi_k \times P_0 = 3,262 \times 0,1013 = 0,3305$$

Порівняння заданого та отриманого тиску надуву

$$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}} \times 100\% = \frac{0,3305 - 0,33}{0,3305} = 0,139\%$$

Точність розрахунку задовільна, різниця між заданим і отриманим в результаті розрахунку тиском надуву не перевищує 0,5%.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3.2 Тепловий розрахунок двигуна на водо-паливній емульсії

Для розрахунку робочого процесу двигуна на водопаливній емульсії приймаємо вихідні дані і допущення, які використовували в попередніх розрахунках (розділ 3.1.2). Розрахунок проводиться для двигуна, який працює за дизельним циклом. Згідно з літературних джерел наявність води у суміші значно покращує процес згоряння палива, що в розрахунках виражається збільшенням коефіцієнтів використання теплоти в точці z та в точці b до 0,94 та 0,98.

Розрахунок нижчої теплоти згоряння та хімічного складу показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Властивості водо-паливної емульсії

Параметр		Одиниці виміру	Масовий елементарний склад палива, %		Суміш (ВП –85%, H ₂ O – 15%)
			Паливо	Вода	
Компоненти	C	%	0,87	0	0,7134
	H	%	0,126	0,111111	0,1231
	O	%	0,004	0,888889	0,1635
Питома нижча теплота згоряння		кДж/кг	42700	0	35014

Результати розрахунків наводяться в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати теплового розрахунку двигуна на водо-паливній емульсії

Параметр	Значення
Температура повітря за компресором, T_k (К)	440,2
Температура повітря перед двигуном, T_s (К)	315,1

Температура заряду к кінцю наповнення, T_a (К)	332,4
Тиск повітря перед двигуном, P_s (МПа)	0,326
Тиск заряду к кінцю наповнення, P_a (МПа)	0,318
Коефіцієнт наповнення, η_n	0,971
Середній показник політропи стиску, n_1	1,364
Тиск в кінці процесу стиску, P_c (МПа)	12,8
Температура в кінці процесу стиску, T_c (К)	890,7
Ступінь підвищення тиску при згорянні, λ_a	1,1
Максимальна температура згоряння, T_z (К)	1620
Максимальний тиск згоряння, P_z (МПа)	14,05
Ступінь попереднього розширення, ρ_o	1,712
Ступінь наступного розширення, δ	8,762
Середній показник політропи розширення, n_2	1,287
Температура в кінці процесу розширення, T_b (К)	869,2
Тиск в кінці процесу розширення, P_b (МПа)	0,861
Теоретичний середній індикаторний тиск, P_{ti} (МПа)	1,919
Дійсний середній індикаторний тиск, P_i (МПа)	1,9
Індикаторна питома витрата емульсії, g_i (кг/кВт×год)	0,198
Індикаторний ККД, η_i	0,52
Середній ефективний тиск, P_e (МПа)	1,748
Ефективна витрата дизельного палива, g_e (кг/кВт×год)	0,176
Ефективна витрата води, g_e (кг/кВт×год)	0,039
Ефективний ККД, η_e	0,479
Ефективна потужність, N_e (кВт)	1846

Таким чином, згідно з розрахунків при використанні водопаливної емульсії у двигуні при номінальному навантаженні зменшилась питома ефективна витрата важкого палива з 182 до 176 г/кВт×год (3 %). Також

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

знизилась максимальна температура циклу на 33 °С (з 1653 до 1620 К), що сприяло значному зменшенню викидів NO_x на 15 % [6].

3.3 Розробка системи підготовки та подачі водо-паливної емульсії

Система підготовки і подачі водопаливної емульсії (рис. 3.2) містить паливну 1 і водяну 2 магістралі. Паливна магістраль 1 з'єднує паливну цистерну 3 з двигуном через встановлені на ній гідродинамічний диспергатор 4, для підведення води і попереднього її диспергування в потоці палива, підкачуючий насос 5, що виконує вторинне диспергування води, підігрівач 6 з терморегулятором 7, фільтри тонкого очищення, паливні насоси високого тиску з трубками 10 високого тиску.

Для повернення відсічного палива є трубопровід 11 з безповоротним клапаном 12 і трубопроводи 13 і 14. Водяна магістраль 2 через встановлений на ній модуль управління і автоматичного дозування 15 і електромагнітний клапан 16 управління з'єднує водяну ємність 17 з гідродинамічним диспергаторів 4. Модуль 15 управління і автоматичного дозування містить регулюючий мембранний диференційний голчастий клапан 18 для автоматичного дозування води в паливо і управління диспергаторів 4 через електромагнітний клапан 16, з'єднаний електрокабелем 19, електроживлення до регулюючого клапана 18 підводиться по кабелю 20.

Для автоматичного управління регулюючим клапаном 18 від джерела наддувочного повітря встановлений пневмопривід 21. Для стабілізації тиску води, що надходить до регулюючого клапана 18, встановлений редукційний клапан 22. Крім цього, в модуль включені фільтр 23 води і ротаметр 24 для контролю кількості води, що поступає в паливо.

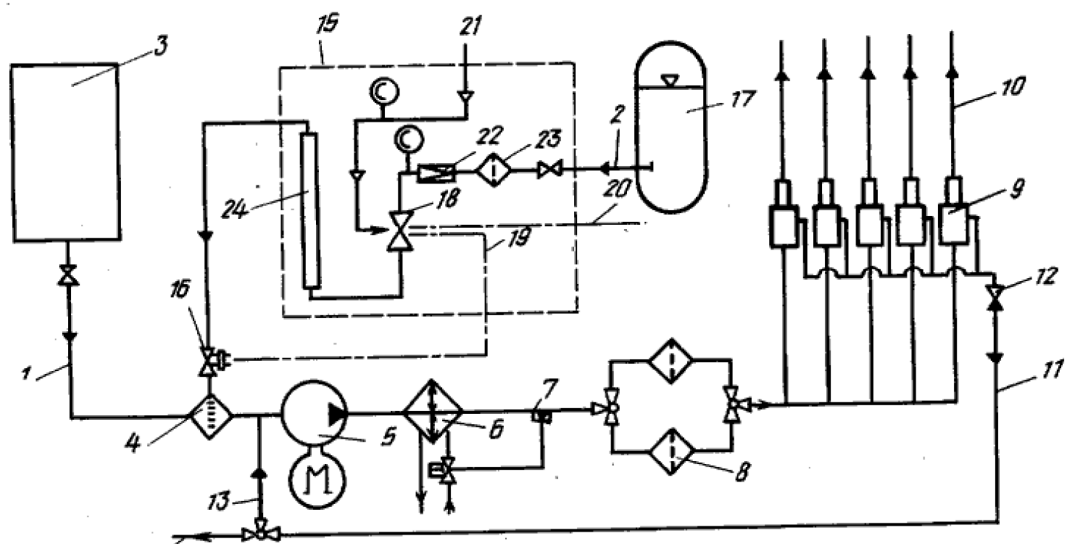


Рисунок 3.2 – Схема підготовки і подачі водопаливної емульсії

Регулюючий мембрано-диференційний клапан (рис. 3.3) 18 складається з водяної 25 і повітряної 26 порожнин, розділених мембраною 27. Для дозування води, що надходить по магістралі 2, встановлена дозуюча шайба 28 і регулююча частина у вигляді голки 29, голчастого клапану 18, для управління якого встановлена мембрана 30 і регульована пружина 31. Підведення повітря в порожнину 26 здійснено за пневмоприводом 21. Управління електромагнітним клапаном 16 здійснено мікрровимикачем 32 по засобам пристрою 33, встановленого на торцевій частині 34 регулюючого голчастого клапана 18.

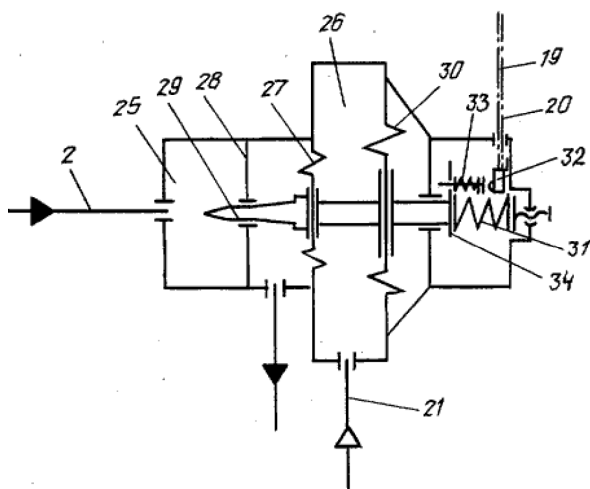


Рисунок 3.3 – Регулюючий мембрано-диференційний клапан

Регулююча частина (рис. 3.4) (голка 29) клапана 18 виконана з трьох ділянок різного профілю: першого (А) - конічного, другого (В) - циліндричного, третього (С) - параболічного. Причому перша ділянка становить 40% загальної довжини регулюючої частини клапана 18, другий - 20% і третій - 40%.

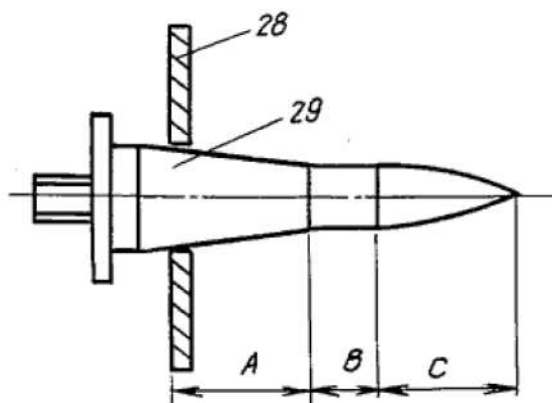


Рисунок 3.4 – Регулююча частина мембрано-диференційного клапана

Зазначений профіль регулюючої частини клапана 18 дозволяє забезпечити закон подачі води в паливо (рис. 3.5), який виражає залежність оптимальної концентрації води в паливі, що забезпечує максимальну економію палива на даній потужності, від потужності двигуна. Перший профіль регулюючої частини клапана 18 забезпечує подачу води відповідно до А ділянкою кривої (рис. 3.5), другий В - ділянкою кривої; третій - С ділянкою кривої.

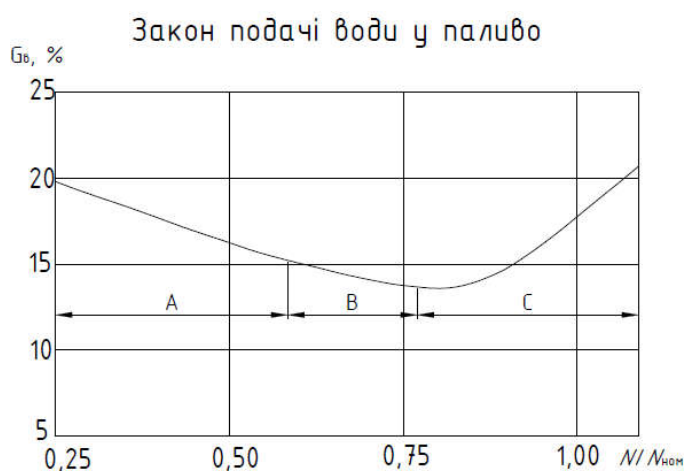


Рисунок 3.5 – Закон подачі води в паливо

Система працює наступним чином.

Вода з цистерни 17 по магістралі 2 надходить до модуля управління і автоматичного дозування 15, де, пройшовши через фільтр 23 і редуктор тиску 22, під постійним тиском надходить до регулюючого клапана 18 в порожнину 25. Одночасно до регулюючого клапана 18 від джерела надувочного повітря подається по пневмоприводу 21 в порожнину 26 повітря під тиском, який, впливаючи на мембрану 30, призводить в рух регулюючу частину 29 голчастого клапана 18. При переміщенні регулюючої частини змінюється прохідний перетин в отворі дозуючої шайби 28 відповідно до закону подачі води. Торцевою частиною 35 голка 29 переміщує пристрій 34 і по досягненню положення, відповідного мінімальним оборотам, рухається і включає мікровимикачем 32 електромагнітний клапан 2. З регулюючого клапана 18 вода по трубопроводу через ротаметр 24 і електромагнітний клапан 16 надходить в гідродинамічний диспергатор 4, який виробляє грубе диспергування і рівномірний розподіл глобул води в потік палива, що надходить по магістралі 1 з цистерни 3. Водопаливна суміш забирається підкачуючим насосом, який виробляє диспергування глобул води до необхідної дисперсності і підготовлену водопаливну емульсію через підігрівач 6 і фільтри 8 подає до насосів 9 високого тиску, які по трубопроводах 10 високого тиску подають емульсію через форсунки в циліндр двигуна. Відсічне паливо по трубопроводу 11 і 13 повертається в систему перед підкачуючим насосом 5. У разі роботи двигуна не на водопаливній емульсії відсічне паливо по трубопроводах 11 і 14 повертається в цистерну 3.

В системі підготовки і подачі водо-паливної емульсії в ДВЗ встановлений автоматичний регулюючий клапан, керований надувочного повітрям, з голкою диференціального перерізу, що забезпечує раціональне дозування води до палива в залежності від потужності двигуна, що забезпечує отримання максимальної економічності.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таким чином, запропонована система забезпечує підвищення економічності шляхом оптимізації дозування води.

Як показано на рис. 3.6, гідродинамічний диспергатор для приготування водопаливної емульсії містить в якості основного елемента охоплену корпусом 1 з кришкою 2 проточну частину, що включає розтруб входу - конфузор 3 і проточну камеру 4 з встановленими в ній кавітаторами 5 і 6. Проточна камера 4 містить ділянку 7, виконану у вигляді дифузора, і примикає до розтруба 8 виходу. Кінці кавітаційного реактора забезпечені монтажними фланцями 9 і 10 для закріплення його в установці по кавітаційній обробці палива.

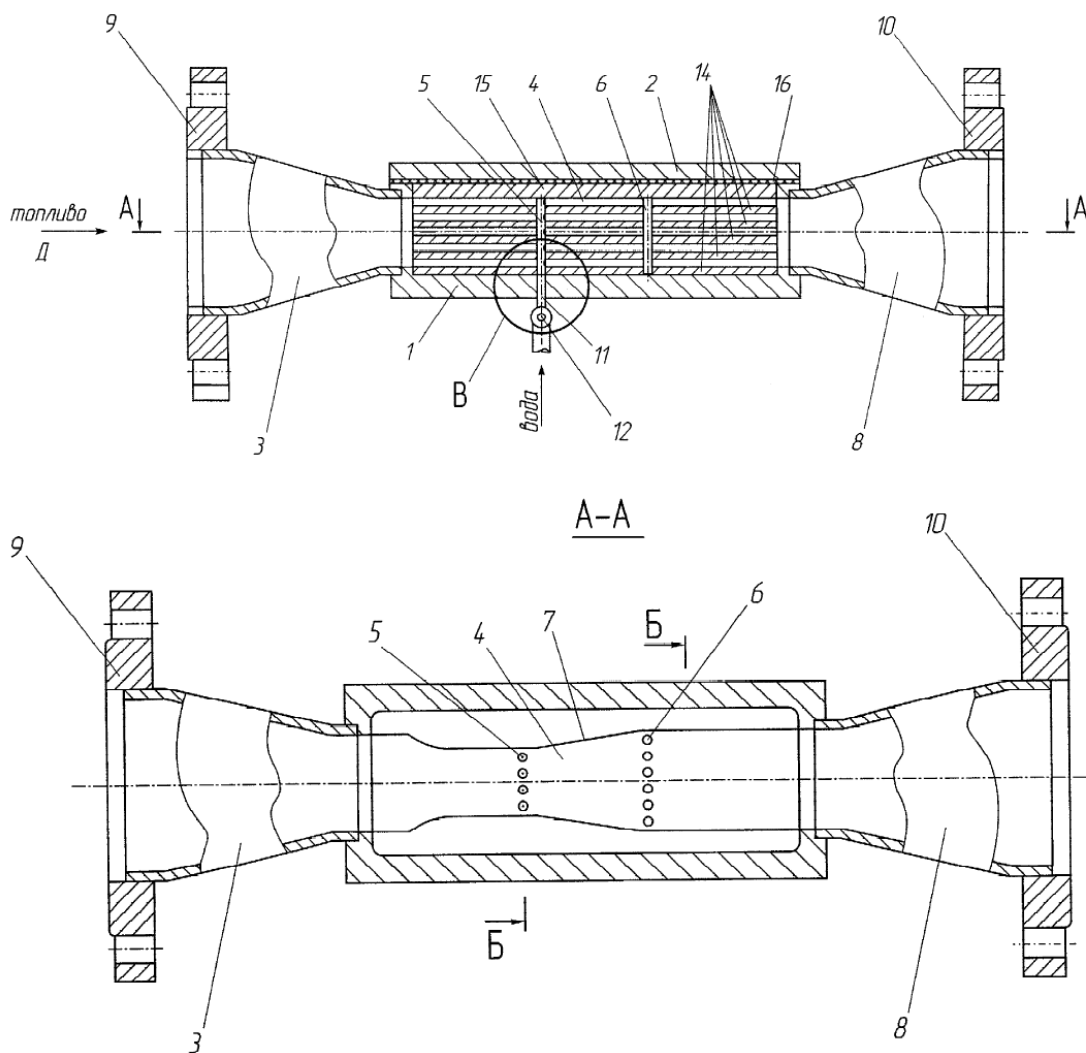


Рисунок 3.6 – Гідродинамічний диспергатор

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ

Аркуш

50

Як видно з рис. 3.6-3.7, проточна камера 4 гідродинамічного диспергатора виконана плоскою, а кавітатори 5 і 6 виконані у вигляді поперечних штирів, причому в зазначеній проточній камері встановлено щонайменше два ряди таких кавітаторів - 1-й ряд (5) в самій вузькій частині проточної камери, 2-й ряд (6) - на виході з дифузора 7.

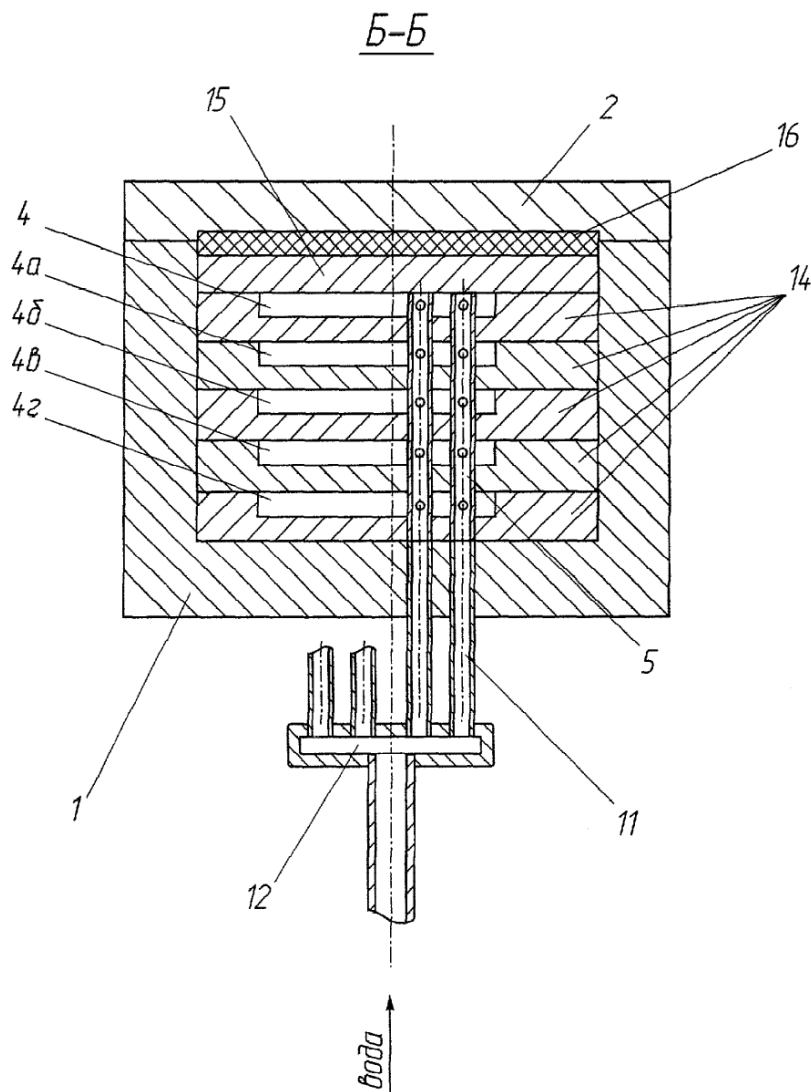


Рисунок 3.7 – Розріз В-В гідродинамічного диспергатора

Кавітатори першого ряду (по ходу руху потоку палива) виконані у вигляді трубок, з'єднаних з водоживлюючими трубопроводами 11 колектора 12, при цьому в кожному зі згаданих трубчастих кавітаторів виконано кавітаторний отвір 13 (див. рис. 3.8) в зоні кавітації по ходу руху потоку палива.

Як видно з рис. 3.6, проточна частина даного гідродинамічного диспергатора містить кілька паралельних плоских проточних камер - 4, 4а, 4б, 4в і 4г, утворених шляхом об'єднання в кавітаційний пакет кількох профільованих пластин 14 (див. рис. 3.9), притиснутих кришкою 15 з прокладкою 16. У пластинах 14 передбачені отвори 17 під кавітатори.

Пропонований гідродинамічний спосіб приготування водопаливної емульсії здійснюють за допомогою описаного гідродинамічного кавітаційного реактора в такий спосіб.

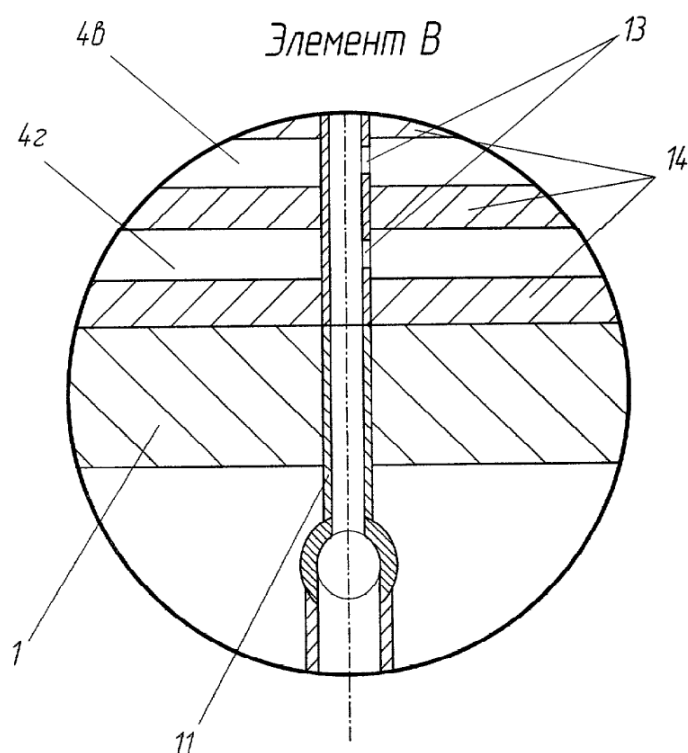


Рисунок 3.8 – Елемент гідродинамічного диспергатора

Водопаливну суміш піддають кавітаційній обробці в гідродинамічному кавітаційному реакторі, однак, на відміну від прототипу, цю суміш палива і води готують не поза реактора, а в самому реакторі, поєднуючи процес отримання водопаливної суміші з кавітаційною обробкою палива, що подається по стрілці Д і пропускається через проточну частину реактора. При цьому воду подають в зону кавітації палива в проточній камері 4 зазначеного

гідродинамічного диспергатора через трубчасті кавітатори 5, з'єднані живлячими трубопроводами 11 з колектором 12.

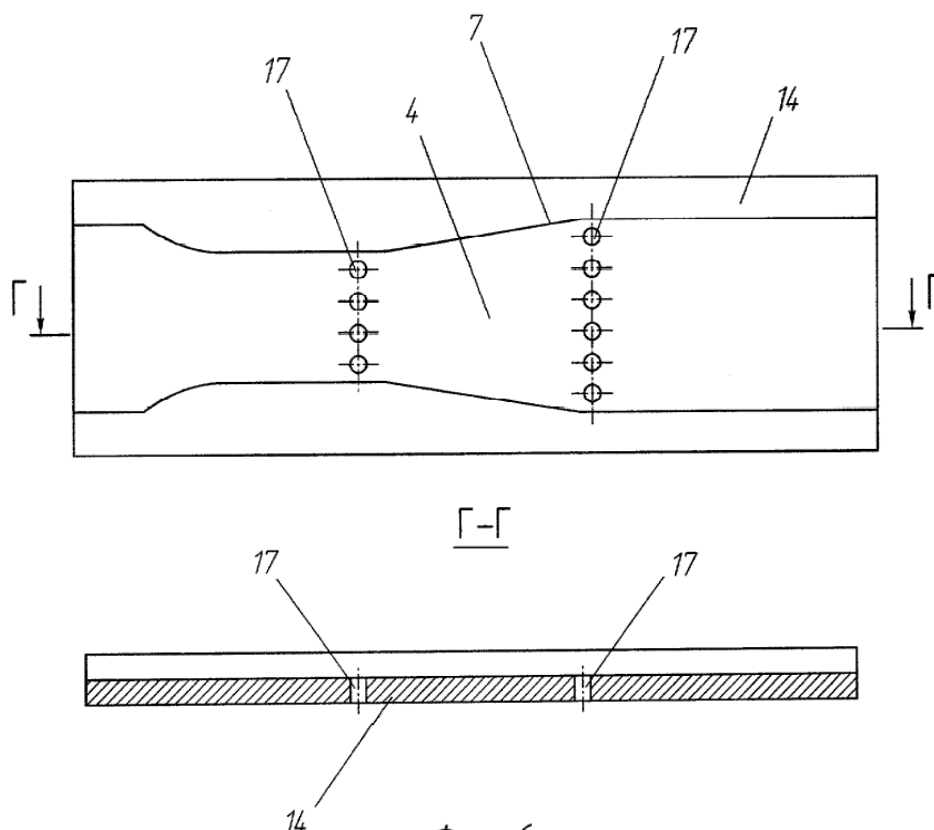


Рисунок 3.9 – Профільована пластина для утворення плоскої проточної камери

Вода через отвори 13 (див. рис. 3.9) кавітаторів 5 потрапляє в кавітаційну зону 1-го ряду кавітаторів. В кавернах, що утворюються в потоці рідкого палива за кожним з кавітаторів 5, відбувається інтенсивне перемішування палива з водою завдяки безперервним мікроривам. Отримана таким чином водопаливна суміш піддається додатковій кавітаційній обробці за другим рядом кавітаторів 6. В результаті на виході кавітаційного реактора отримують гомогенну мікродисперсну водопаливну емульсію високої якості.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА МОДЕРНІЗАЦІЇ ДВИГУНА

Визначення економічного ефекту від модернізації і вдосконалення суднового механізму

Річний економічний ефект від впровадження модернізації визначається за формулою:

$$E_p = (B_{\delta} - B_{np}), \quad (4.1)$$

де B_{δ} і B_{np} – річні витрати за базовим і модернізованим варіантами, тис. грн. або \$.

Так як модернізація стосується тільки паливної системи, визначається тільки витрати на заміну пристроїв. Таким чином, при розрахунках економічного ефекту достатньо визначити додаткові інвестиційні витрати.

У роботі модернізації піддалися система паливоподачі двигуна. У результаті не змінюється швидкість ходу, поточний ремонт, а витрати на паливо, амортизаційні відрахування та загальний розмір експлуатаційних витрат та ін. – зменшуються.

При цьому головними вихідними даними є:

- головний двигун WÄRTSILÄ 6R32 загальною вартістю \$ 2 млн. [7];
- зменшення питомих витрат дизельного палива з 182 до 176 г/(кВт×год), при роботі двигуна на водо-паливній емульсії [розділ 3].

Визначення додаткових витрат на впровадження модернізації

Оптова ціна двигуна після його модернізації визначається по формулі:

$$C_n = C_{\delta} - \sum_{i=1}^m C_{\delta i} + \sum_{j=1}^n C_{nj}, \quad (4.2)$$

де C_{δ} , C_n – оптова ціна двигуна до і після модернізації (тобто базового і нового варіантів) \$;

$C_{\delta i}$ – сумарна ціна елементів що підлягають заміні ($C_{\delta i} = 0$ \$);

C_{nj} – сумарна ціна нових елементів ($C_{nj} = 30000$ \$);

					<i>KPM.142.6221м.23.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Оптова ціна базових двигунів приймається за даними заводу-будівника.
 $C_6 = 2000000 \$$;

$$C_n = 2000000 - 0 + 30000 = 2030000 \$$$

Замість визначення ціни базового і проектного варіантів двигуна по наведеній формулі, знайдемо їх різницю, оскільки лише два члени у цієї формули будуть розрізнятися і саме ця різниця складе додаткові інвестиції:

$$K_{\partial n} = \sum_{j=1}^n C_{nj} - \sum_{i=1}^m C_{6i}. \quad (4.3)$$

$$K_{\partial n} = 30000 \times 1 - 0 \times 1 = 30000 \$$$

Для визначення витрат на модернізацію використовуємо показники, якими являються робоча година на виконання та вартість 1-го нормочасу даних робіт, у залежності від їх складності (10 \$ - для України, для закордонних виробників – від 70 до 100 \$). Додаткові інвестиції зводимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Додаткові інвестиції

Вид робіт	Тривалість, людино-години	Вартість нормо-год., \$	Вартість робіт (K_v), \$
Монтаж системи	12	90	1080
Налаштування пристроїв	2	85	170
Випробування двигуна	12	100	1200
Регулювання елементів системи	16	120	1920
Всього	42	-	4370

Таким чином, додаткові інвестиції складуть величину:

$$K_{\partial} = K_{\partial n} + K_e$$

$$K_{\partial} = 30000 + 4370 = 34370 \$.$$

Розрахунок експлуатаційних витрат судна

Витрати на амортизаційні відрахування $B_{ам}$ при порівняльній ефективності визначаються по нормах амортизації (H_A) і беруться в розмірі 20 % від величини додаткових інвестицій K_0 . Розраховуються по формулі:

$$B_{ам} = 20/100 \times K_0$$

$$B_{ам} = 20/100 \times 34370 = 6874 \$.$$

Витрати на паливо та масла розраховуються при 100 % навантаженні двигуна.

Витрати на паливо:

$$B_{нал} = N \times g_e \times T_e \times B_n,$$

де N – потужність двигунів (для базового та модернізованого двигуна при 100% навантаженні – 1875 кВт) [розділ 1.2];

g_e – питома витрата дизельного палива (для базового при 100% навантаженні – 0,182 кг/кВт×год [розділ 3.1]; при використанні водо-паливної емульсії – 0,176 кг/кВт×год) [розділ 3.2];

T_e – години роботи двигуна при повному навантаженні в рік, (для базового та модернізованого двигуна – 4000) [розділ 1.2];

B_n – вартість 1 кг палива, \$, (1) [16].

$$B_{нал}(Б) = 1875 \times 0,182 \times 4000 \times 1 = 1365000,0 \$$$

$$B_{нал}(М) = 1875 \times 0,176 \times 4000 \times 1 = 1320000,0 \$$$

Питомі витрати масла для двигуна WÄRTSILÄ 6R32 складають 0,2 % витрат на паливо.

Витрати на мастильні матеріали, \$ рік:

$$B_{мм} = B_{нал} \times 0,2\%$$

$$B_{мм}(Б) = B_{нал}(Б) \times 0,2\% = 1365000,0 \times 0,2\% = 2730,0 \$$$

$$B_{мм}(М) = B_{нал}(М) \times 0,2\% = 1320000,0 \times 0,2\% = 2640,0 \$.$$

Результаті розрахунків занесемо до таблиці 4.2.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку експлуатаційних витрат, \$

Стаття витрат	Базове рішення	Нове рішення	Відхилення
Амортизаційні відрахування $B_{ам}$	–	6874,0	6874,0
Витрати на паливо $B_{пал}$	1365000,0	1320000,0	45000,0
Витрати на мастильні матеріали $B_{пал}$	2730,0	2640,0	90,0
Всього	1367730,0	1329514,0	38216,0

Загальний балансовий річний прибуток Пб розраховують за формулою:

$$E_p = \Delta B - B_{ам}$$

$$\Delta B = (B_{пал}(Б) + B_{мм}(Б)) - (B_{пал}(М) + B_{мм}(М))$$

$$E_p = ((1365000,0 + 2730,0) - (1320000,0 + 2640,0)) - 6874,0 = 38216,0 \$$$

Чистий прибуток (Пч) визначається як різниця між балансовим прибутком (Пб) та податком на прибуток:

$$Пч = Пб - (0,18 \times Пб) = 0,82 \times Пб$$

$$Пч = 0,82 \times 38216,0 = 31337,12 \$$$

Термін окупності додаткових інвестицій (T_{OK}) визначається за формулою:

$$T_{OK} = K_d / Пч$$

$$T_{OK} = 34370 / 31337,12 = 1,1 \text{ року}$$

Результати розрахунків зводимо у таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Техніко-економічні показники проекту

Найменування показника	Одиниця виміру	Базовий варіант	Новий варіант	Відхилення
Двигун	од.	1	1	–
Ціна агрегатів	тис. \$	2000	2030	30
Додаткові інвестиції	тис. \$	0	34,37	34,37

Експлуатаційні витрати по статтях, усього	тис. \$	1367,73	1329,51	38,22
У тому числі на:				
Амортизаційні відрахування	тис. \$	0	6,874	6,874
Витрати на паливо-мастильні матеріали	тис. \$	1367,73	1322,64	45,09
Річний економічний ефект	тис. \$	38,22		
Чистий прибуток	тис. \$	31,34		
Окупність додаткових інвестицій	років	1,10		

Визначено, що запропонована модернізація дозволить зекономити \$ 31337,12 на рік за рахунок економії палива. Термін окупності модернізації становить 1,1 року або 402 доби.

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на судах

СОЛАС (від англ. SOLAS, Safety of Life at Sea) є найбільш важливим всіх міжнародних угод по безпеці торговельних суден. Кожне судно, що здійснює міжнародний рейс і що підпадає під дію цього нормативного документа, повинне виконувати його вимоги. Інакше воно може бути затримане, а по деяких позиціях і не допущено в порт. Основне завдання Конвенції СОЛАС – визначення мінімальних стандартів по конструкції, устаткуванню й безпеці плавання судів [9].

Згідно СОЛАС (Правило 21), кожен уряд зобов'язується проводити розслідування будь-якої аварії, що відбулася з будь-яким з його суден. До нормативно-технічної бази з охорони праці при роботі у МКВ судна відносяться наступні, спеціально розроблені, документи: 1) Правила технічної експлуатації суднових енергоустановок; 2) Правила технічної експлуатації суднових електроустановок; 3) Правила безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів та посудин під тиском; 4) Правила безпечної експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння;

5) Правила техніки безпеки при експлуатації суднового тепломеханічного й електричного устаткування.

6) Міжнародні документи:

ПДМНВ-78/95 – міжнародна конвенція про підготовку та дипломування моряків та несення вахти, англійською – International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW-78/95) Міжнародна конвенція про підготовку та дипломування моряків та несення вахти.

Конвенція від 1987 року «Про захист здоров'я й медичне обслуговування моряків» вимагає, щоб всі судна мали в складі команди одного або декількох призначених осіб, відповідальних за медичне

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

обслуговування й видачу ліків, у якості одного зі своїх звичайних обов'язків. Така ж вимога зазначена в резолюції ІМО А-481 (ХІІ). Ці призначені особи повинні пройти курс теоретичної й практичної підготовки в області медицини, що дає можливість ефективно брати участь у координованих системах надання медичної допомоги й забезпечувати хворим або отримавшим травми задовільний рівень медичного обслуговування в період їхнього знаходження на судні. Ці особи повинні проходити курси підвищення кваліфікації кожні п'ять років. Також до цього списку можна додати ті інструкції, що розробляються спеціально роботодавцем.

МКУБ – Міжнародний кодекс по управлінню безпечною експлуатацією суден та запобіганням забруднення, англійською – International Safety Management (ISM) Code; метою даного Кодексу полягає в забезпеченні міжнародного стандарту по управлінню безпечною експлуатацією судні запобіганням забрудненню.

ІМО 2000 – міжнародний нормативно-правовий документ, який регулює норми викидів відпрацьованих газів суднами.

ІМО 2011 – міжнародний нормативно-правовий документ, який вступив в силу в 2011 році. Згідно з ІМО 2011 були посилені норми викидів в атмосферу, порівняно з 2000 роком.

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які мають місце під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування паливної системи двигуна Wartsila 6R32

Шкідливий виробничий фактор виробничий фактор, вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я зниження працездатності працівника. [10].

Підвищений рівень шуму. Шум причиняє несприятливий вплив на людину послаблює увагу, уповільнює психічні і рухові реакції, викликає стомлення, порушує точність рухів, погіршує гостроту зору або зменшує його

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

поле. Шум також може заважати комунікації і ускладнювати сприйняття попереджень.

Основними типами захисту органів слуху є:

- навушники, які повністю покривають вухо, однак ефективність навушників може бути зменшена, якщо людина також носить окуляри [1, розділ 8.6.4];
- беруші для вух, які вставлені в вушний канал [1, розділ 8.6.3];
- напіввставки (також звані «канальними кришками»), які закривають вхід у вушний канал.

Вибір того чи іншого засобу проводиться в залежності від його поглинаючого ефекту на певних частотах, стосовно характеру шуму на робочому місці, а також необхідності сприйняття на слух корисних сигналів і мови, пов'язаних з виконанням трудових операцій конкретного фахівця.

Підвищений рівень вібрації. Для приміщень суден найбільш характерною є ходова вібрація з частотним діапазоном від 5 до 80 Гц. При дії вібрації нижче 1...2 Гц можуть проявлятися симптоми хвороби руху - морської хвороби. При закачуванні переважаючими ефектами є реакції вестибулярної системи, що дало підставу виділити її в якості ведучої в механізмі дії низькочастотної вібрації і визначити специфічний рецептор сприйняття цих коливань.

Ручна (або передана вручну) вібрація виникає через використання ручного електроінструменту або іншого вібраційного устаткування. Регулярний і частий вплив вібрації переданої вручну може привести до негативних наслідків для здоров'я. Випадковий вплив не викликає негативних наслідків.

Компанія повинна проектувати робочі місця таким чином, щоб звести до мінімуму навантаження на руки та зап'ястя моряків і при необхідності, використовувати такі пристрої, як пристосування і системи підвіски, щоб зменшити необхідність жорсткого захоплення важких інструментів.

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Робота в замкнених приміщеннях. Замкнений простір означає простір, що має одну з наведених нижче характеристик:

- обмежений вхід і вихід;
- недостатня вентиляція;
- вентиляція не розрахована на постійну присутність працівників.

А так само включає, але не обмежується ними, вантажний простір, подвійні днища, паливні баки, баластні цистерни, вантажні насосні, вантажні компресорні, кофердами, ланцюгові шафи, пустотні простори, каналні кілі, котли, картер двигуна, приймальник повітря для продування двигуна, резервуари для стічних вод і суміжні простори. Цей список не є вичерпним, і список повинен формуватися на судні, щоб ідентифікувати замкнуті простори.

Недостатня освітленість. Недостатня освітленість викликається застосуванням у більшості штучного освітлення на судні. Нерівномірність освітлення робочих місць підвищує стомлюваність органів зору від частоті переадаптації зору, при переведенні погляду з більш освітленої поверхні на менш освітлену. Наявності тіней на робочих поверхнях, а також близькість робочих поверхонь устаткування також створюють несприятливі умови для роботи органів зору. Найкращий розподіл світла на робочих місцях створює загальне освітлення. При аварійному світлі освітленість робочих поверхонь повинна бути не менш 25% установлених для робочого освітлення норм, а на сходинах трапа і проходах – не менш 5 лк. У МКВ загальне освітлення на палубі, наприклад, згідно цих норм повинне бути не менш 20 лк, на шкалах приладів – 75 лк, на сходинах трапа – 20 лк. Норми освітленості регламентуються діючими нормами штучного освітлення на судах морського флоту.

Безпека посудин та установок, що працюють під тиском. На сучасних судах використовується стиснене повітря, водяна пара, що знаходиться у посудинах та трубопроводах під тиском. Аварії посудин, що знаходяться під тиском, можуть викликати серйозні руйнування. Причинами

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

аварії можуть бути відсутність або несправність запобіжних клапанів, редукторів, дефекти при виготовленні, монтажі та ремонті суден, зносі стінок посудин. Згідно Правил Морського Регістра посудини, що працюють під тиском повинні відповідати наступним вимогам: – корпуси посудин повинні мати надійні лапи для кріплення їхній до фундаменту; – кожна посудина повинна мати пристрій продування; – отвору для люків повинні розташовуватися поза звареними швами; – зварені шви посудин повинні бути тільки стиковими; – міцність фланців.

Розрахунок приточно-витяжної вентиляції в машинно-котельному відділенні

Загальна кількість повітря, що подається в машинне відділення, визначається рівнянням:

$$L_{\Pi} = \frac{\sum Q_{над}}{C_{\Pi} \times \rho_{\Pi} \times \Delta t}, \text{ м}^3/\text{год}$$

де $\sum Q_{над}$ - сумарні надлишкові тепловиділення в повітря працюючими механізмами, кДж/год;

$C_{\Pi} = 1,01$ - питома теплоємність повітря, кДж/(кг×К);

Δt - різниця температур повітря в МВ і зовнішнього, згідно санітарним нормам: $\Delta t_{літо} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta t_{зима} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

ρ_{Π} - щільність повітря при зовнішній температурі, кг/м³:

$$\rho_{\Pi} = \frac{\rho_0}{1 + \frac{t_n}{273}}$$

де $\rho_0 = 1,293$ - щільність повітря при нормальних умовах, кг/м³;

t_n - температура зовнішнього повітря, приймається в залежності від району плавання судна, °С.

Сумарні надлишкові тепловиділення в повітря працюючими механізмами, даного судна, визначаються за виразом:

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$EQ_{над} = Q_{ГД} + Q_{ДГ} - Q_{зв}$$

Надлишкове тепловиділення для ДВЗ визначається за формулою:

$$Q_{ГД} = K_3 \times g_e^{ГД} \times N^{ГД} \times Q_H^H \times m \times n, \text{ кДж/год},$$

де $K_3 = 0,8$ – коефіцієнт завантаження головного двигуна;

$g_e^{ГД} = 0,182 \text{ кг/(кВт}\times\text{год)}$ – питома витрата палива;

$N^{ГД} = 1845 \text{ кВт}$ – потужність головного двигуна;

$Q_H^H = 42700 \text{ кДж/кг}$ – нижня теплота згоряння палива;

$m = 0,013$ – частка тепловиділення у навколишнє середовище;

$n = 1$ – кількість головних двигунів.

$$Q_{ГД} = 0,8 \times 0,182 \times 1845 \times 42700 \times 0,013 \times 1 = 198823,5 \text{ кДж/год}.$$

Тепловиділення від допоміжних дизель генераторів обраховується за формулою:

$$Q_{ДГ} = K_3 \times g_e^{ДГ} \times N^{ДГ} \times Q_H^H \times m \times n, \text{ кДж/год},$$

де $K_3 = 0,85$ – коефіцієнт завантаження дизель генераторів;

$g_e^{ДГ} = 0,192 \text{ кг/(кВт}\times\text{год)}$ – питома витрата палива;

$N^{ДГ} = 310 \text{ кВт}$ – потужність дизель-генератора;

$n = 2$ – кількість дизель-генераторів;

$Q_H^H = 42700 \text{ кДж/кг}$ – нижня теплота згоряння палива;

$m = 0,013$ – частка тепловиділення у навколишнє середовище.

$$Q_{ДГ} = 0,85 \times 0,192 \times 31 \times 42700 \times 0,013 \times 2 = 56167,2 \text{ кДж/год}.$$

Кількість тепла, яке сприймає забортна вода, обраховується за формулою:

$$Q_{зв} = S \times \eta \times (t_{МВ} - t_{зв}),$$

де $S = 2 \times L_M \times H = 2 \times 15 \times 7 = 210 \text{ м}^2$ – площа лівого та правого бортів, які відносяться до машинного відділення;

$\eta = 24 \text{ кДж/ м}^2 \text{ }^\circ\text{С}$ – коефіцієнт розсіювання тепла;

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$t_{MB} = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ – температура у машинному відділенні згідно останніх вимог ІМО;

$t_{3B} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ – середня температура води за бортом судна.

$$Q_{3B} = 24 \times 210 \times (38 - 19) = 95760 \text{ кДж.}$$

Сумарне надлишкове тепловиділення у машинному відділенні становить величину, яку обраховують за формулою:

$$\begin{aligned} EQ_{над} &= Q_{ГД} + Q_{ДГ} - Q_{3B} = 198823,5 + 56167,2 - 95760 = \\ &= 159230,7 \text{ кДж.} \end{aligned}$$

Щільність повітря при зовнішній температурі $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ буде:

$$\rho_{П} = \frac{1,293}{1 + \frac{20}{273}} = 1,204, \text{ кг/м}^3$$

Загальна кількість повітря, що подається в машинне відділення

$$L_{П}^{літо} = \frac{159230,7}{1,01 \times 1,204 \times 8} = 16357,6, \text{ м}^3/\text{Год}$$

$$L_{П}^{зима} = \frac{159230,7}{1,01 \times 1,204 \times 25} = 5234,5, \text{ м}^3/\text{Год}$$

Кратність циркуляції для літа та зими становить:

$$n_{літо} = \frac{L_{П}^{літо}}{V_M}$$

$$n_{зима} = \frac{L_{П}^{зима}}{V_M}$$

де V_M – об'єм машинного відділення, який приблизно дорівнює:

$$V_M = s \times H_{суд} = 150 \times 10 = 1500 \text{ м}^3$$

де $H_{суд} = 10 \text{ м}$ – висота борту судна до верхньої палуби [розділ 1].

Тоді кратність циркуляції для літа та зими буде:

$$n_{літо} = \frac{16357,6}{1500} \approx 10,91 \text{ год}^{-1}$$

$$n_{зима} = \frac{5234,5}{1500} \approx 3,49 \text{ год}^{-1}$$

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

На судні встановлено систему штучної приточно-витяжної вентиляції, що забезпечує кратність вентиляції у діапазоні для літа $n = 30 \dots 40 \text{ год}^{-1}$. Отримані значення кратності вентиляції машинного відділення не перевищують вказаного значення.

Заходи безпеки під час технічного обслуговування та ремонту двигуна Wartsila 6R32 (робота з повним зняттям електричної напруги)

В період експлуатації на суднах різного призначення роботи з технічного обслуговування електрообладнання здійснюються електротехнічним персоналом під керівництвом старшого електромеханіка (електромеханіка) за погодженням із старшим механіком при повному або частковому знятті напруги, а у виняткових випадках - без зняття напруги при дотриманні необхідних заходів безпеки.

На місці проведення робіт з повним зняттям напруги повинні бути відключені струмопровідні частини, на яких проводиться робота, а також струмопровідні частини, доступні дотику при виконанні робіт (ці частини допускається не відключати, якщо вони будуть огорожені ізолюючими накладками з ізоляційних матеріалів, що забезпечують безпеку). Відключення повинно проводитися таким чином, щоб виділене для виконання роботи електрообладнання або окрема ділянка були з усіх боків надійно відділені від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, за допомогою комутаційної апаратури (вимикачі, автомати, контактори, роз'єднувачі, рубильники та ін.) і зняттям запобіжників. При наявності контакторів і інших комутаційних апаратів з автоматичними приводами, дистанційним керуванням потрібно переконатися у відсутності напруги на відключених ділянках шляхом огляду положення контактів, а також перевіркою відсутності напруги у комутаційних апаратів з закритими контактами, якщо є повна впевненість, що положення рукоятки або покажчика відповідає положенню контактів. Для запобігання подачі до місця роботи напруги від

					КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

трансформаторів необхідно відключити всі пов'язані з підготовленим до ремонту електроустаткуванням силові, вимірювальні і різні трансформатори з боку як вищої, так і нижчої напруги.

У випадках, коли робота виконується без застосування переносних заземлень, повинні бути прийняті додаткові заходи, що перешкоджають помилковому поданню напруги до місця роботи: механічне замикання приводів відключених апаратів, зняття запобіжників, застосування ізолюючих накладок в рубильниках, автоматах, контакторах і т.п. При неможливості застосування зазначених заходів мають бути від'єднанні кінці лінії живлення. Перед початком всіх видів робіт в електроустановках зі зняттям напруги перевірка відсутності напруги слід провадити між усіма фазами та кожної фази по відношенню до корпусу і до нульового проводу (якщо такий є). Перевірка відсутності напруги до 1000 В провадиться показчиком напруги заводського виконання або переносним вольтметром; застосовувати контрольні лампи не допускається. Перед перевіркою необхідно переконатися в справності застосовуваного показчика або приладу шляхом перевірки їх на струмопровідних частинах, що знаходяться під напругою свідомо, або за допомогою спеціального приладу. Показчик напруги або вольтметр, застосовуваний для перевірки відсутності напруги, повинен бути розрахований на номінальну лінійну напругу електроустановки. Стаціонарні вимірювальні прилади і лампи, що сигналізують про стан установки, є тільки допоміжними засобами, на підставі показань яких не допускається робити висновки про відсутність напруги.

					<i>КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі проведено аналіз конструктивних особливосте чотирьохтактного середньообертового головного двигуна Wärtsilä 6R32 суховантажного судна, проаналізовано сучасні способи покращення паливної економічності та екологічних показників двигунів. Установлено, що ефективним способом є вдосконалення паливної системи шляхом використання емульсії води та палива, що в свою чергу, покращує як економічні, так і екологічні характеристики. Розрахунки робочих циклів підтверджують доцільність такого впровадження.

Також були розглянуті основні проблеми виготовлення на судні паливної суміші та заходи по забезпеченню безпеки. Була розроблена система підготовки та подачі водо-паливної емульсії.

Економічний розрахунок показав, що витрати на впровадження запропонованих заходів будуть становити 34370 \$, строк окупності яких становить 402 доби.

В 5 розділі розроблені розглянуті питання з забезпечення вимог охорони праці при експлуатації двигуна.

					<i>КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Черниш І. І., Кар'янський С. А., Оженко Є. М. Сучасні суднові двигуни: особливості конструкції, експлуатації та автоматизованого управління. Одеса : НУ «ОМА», 2019. 217 с.
2. Roy B., Wankhede A. A Guide to 2-Stroke Marine Engine Components. Marine Insight, 2013. 104 p.
3. Woodyard D. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Eighth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington, 2004. 914 p.
4. Наливайко В. С., Тимошевський Б. Г., Ткаченко С. Г. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : підруч. Миколаїв : Вид-во Торубара В.В., 2015. 332 с.
5. Kees Kuiken. Diesel Engines for ship propulsion and power plants. Target Global Energy Training. Onnen, The Netherlands. July 2008.
6. Судновий механік: Довідник у 3 томах / за редакцією А. А. Фока. Одеса.: Фенікс, 2008. Т. 1. 1036 с.
7. Latarche M. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Tenth edition. Elsevier Ltd, 2021. 930 p.
8. Woodyard D. Marine diesel engines and gas turbines. 9th ed. Oxford, 2009. 896 p.
9. Міжнародні конвенції, кодекси, рекомендації ІМО і МАРПОЛ. Одеса, 2008. 80 с.
10. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

					<i>КРМ.142.6221м.23.05.00.ПЗ</i>	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		