

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

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК ВИСОКООБЕРТОВОГО ДВИГУНА

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи

Здобувач освіти

Аркадій ПРОСКУРІН

Юрій САМОХІН

Миколаїв 2024

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

Самохін Юрій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Модернізація паливних форсунок високообертового двигуна*

2. Керівник роботи *к.т.н., доц. Проскурін А. Ю.*

(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 – 6ЧН 8,5/9,4, паливо – дизельне, потужність
двигуна – 130 кВт, частота обертання колінчастого валу – 3500 хв⁻¹

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Застосування двигуна 6ЧН 8,5/9,4 на катері «WATERSPREEUW»; Сучасні напрямки модернізації паливної апаратури високообертових двигунів; Модернізація форсунок двигуна 6ЧН 8,5/9,4 шляхом використання ультразвуку; Забезпечення вимог охорони праці; Економічне обґрунтування впровадження модернізації

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вигляд катера «WATERSPREEUW»; Загальний вигляд двигуна 6ЧН
8,5/9,4; Паливна система двигуна 6ЧН 8,5/9,4; Форсунка з ультразвуковим
випромінювачем; Розміщення ультразвукового випромінювача

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

 (підпис)

 (прізвище та ініціали)

 (підпис)

 (прізвище та ініціали)

Юрій САМОХІН

(прізвище та ініціали)

Аркадій ПРОСКУРІН

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо покращення функціонування паливних форсунок двигуна 6ЧН 8,5/9,4 шляхом використання ультразвуку. Розглянуто економічний ефект від модернізації. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 67 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 10 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: паливї, ультразвук, ефективність, камера згоряння.

The qualification work presents a set of measures aimed at improving the performance of fuel injectors in the 6ЧН 8,5/9,4 engine through the use of ultrasound. The economic effect of the modernization is analyzed. Measures to ensure occupational safety are also provided.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 67 pages of explanatory note. 10 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1

Key words: fuel, ultrasound, efficiency, combustion chamber.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Застосування двигуна 6ЧН 8,5/9,4 на катері «WATERSPREEUW».....	5
Розділ 2. Сучасні напрямки модернізації паливної апаратури високообертових двигунів.....	15
Розділ 3. Модернізація форсунок двигуна 6ЧН 8,5/9,4 шляхом використання ультразвуку.....	34
Розділ 4. Економічне обґрунтування впровадження модернізації.....	47
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	51
Висновки.....	61
Список використаної літератури.....	62
Додаток А. Загальний вигляд катера «WATERSPREEUW».....	63
Додаток Б. Загальний вигляд двигуна 6ЧН 8,5/9,4.....	64
Додаток В. Паливна система двигуна 6ЧН 8,5/9,4.....	65
Додаток Г. Форсунка з ультразвуковим випромінювачем.....	66
Додаток Д. Розміщення ультразвукового випромінювача.....	67

ВСТУП

Техніко-економічні характеристики дизеля значною мірою залежать від ефективності роботи паливної системи. Одними з головних вимог до суднових дизелів є забезпечення надійності паливної апаратури та стабільності параметрів подачі палива протягом тривалого періоду експлуатації.

Основним недоліком багатьох форсунок є необхідність виготовлення їх прецизійних деталей з високою точністю, а також неможливість забезпечення дрібнодисперсного та рівномірного розпилення палива протягом усього терміну їх експлуатації. Це пов'язано з утворенням сіро-парафінових та інших паливних відкладень на робочих поверхнях механізмів форсунки. Крім того, відкладення на робочих поверхнях форсунки призводять до зменшення діапазону регулювання витрати палива на виході сопла.

Мета даної роботи – підвищення точності управління процесом упорскування палива в камеру згоряння передбачає забезпечення дрібнодисперсного та рівномірного розпилення палива із заданим діапазоном розмірів крапель протягом усього терміну служби форсунки, а також розширення її функціональних можливостей, зокрема підтримання стабільних характеристик розпилення при використанні різних видів палива..

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Проаналізувати особливості застосування високообертового двигуна на малотоннажному катері.
2. Розробка форсунок з використанням ультразвуку.
3. Оцінити запропоновані рішення, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

Об'єкт дослідження – форсунка.

Предмет дослідження – характеристики роботи паливної форсунки.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА 6ЧН 8,5/9,4 НА КАТЕРІ
«WATERSPREEUW»

Революція «зелених» кораблів надихає на всілякі інновації в суднобудівному секторі, і спроектований і побудований компанією Damen WATERSPREEUW (рис. 1.1 – 1.2, табл. 1.1) не є винятком. Це «гібридне патрульне судно 1304 Damen Patrol Vessel 1304» було створено на замовлення компанії Waternet, яка замовила судно для інспекції та патрулювання водних шляхів і каналів Амстердама, і особливо для забезпечення дотримання правил у цих зонах. Також було вкрай важливо, щоб човен виробляв мінімальні викиди, відповідно до столичного Плану дій щодо якості повітря, і був здатний безпечно проходити під численними мостами міста. За всіма цими показниками Waterspreeuw вдалося досягти успіху [1].

Гібридний катер здатний працювати повністю в електричному режимі, завдяки 13 літій-полімерним батареям ES Technology, що генерують загальну потужність трохи більше 130 кВт. З точки зору дальності плавання, при використанні чотирилопатевого гребного гвинта Hydrosta з фіксованим рульовим гвинтом, ця електрична конфігурація забезпечує судно щонайменше шість годин плавання на робочій швидкості 5,4 вузла, або до дев'яти годин плавання на одному електричному заряді при швидкості приблизно 3,8 вузлів.

Хоча WATERSPREEUW в першу чергу призначений для роботи на електриці, якщо заряд батареї почне падати нижче мінімального рівня, її двигун 6ЧН 8,5/9,4 готовий автоматично увімкнутися, щоб заповнити дефіцит потужності. Коли задіяні обидві системи приводу, судно здатне розвинути максимальну швидкість у 8,6 вузлів – швидкість, яку човен здатен підтримувати близько години на одних лише батареях.

Корпус судна також був спеціально розроблений для мінімізації миття, щоб не заважати численним плавучим будинкам, розкиданим навколо вузьких

					<i>KPM.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

і часто завантажених каналів Амстердама, особливо коли WATERSPREEUW розвертається у вузькому просторі. Додаткову маневреність на цих водних шляхах надає рульовий гвинт і носовий підрулюючий пристрій Hydrosta потужністю 11 кВт, а також оснащення WATERSPREEUW 3-метровим спудовим стовпом. Damen гарантує, що гібридне судно може швартуватися в різних місцях, навіть там, де звичайні причальні споруди можуть бути відсутніми.

Патрульний катер також оснащений дизель-генераторною установкою 6ЧН 8,5/9,4 (Steyr/AMK), що відповідає європейському стандарту CCR3 щодо викидів вихлопних газів, встановленому Центральною комісією судноплавства на Рейні. Крім того, WATERSPREEUW отримав сертифікат Зони 3, виданий Нідерландською інспекцією з питань навколишнього середовища та транспорту (ILT).

Судно ходить під прапором Королівства Нідерланди. Позивний судна – PA3836. MMSI – 244750576.

Таблиця 1.1 – Головні характеристики судна

Параметр	Значення
Довжина максимальна, м	13,50
Довжина між перпендикулярами, м	12,50
Ширина найбільша, м	3,74
Проектна осадка, м	1,94
Дедвейт, т	1,00
Швидкість судна, вуз	8,60
Повна водотоннажність судна, т	21,5



Рисунок 1.1 – Катер WATERSPREEUW

					<i>KPM.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

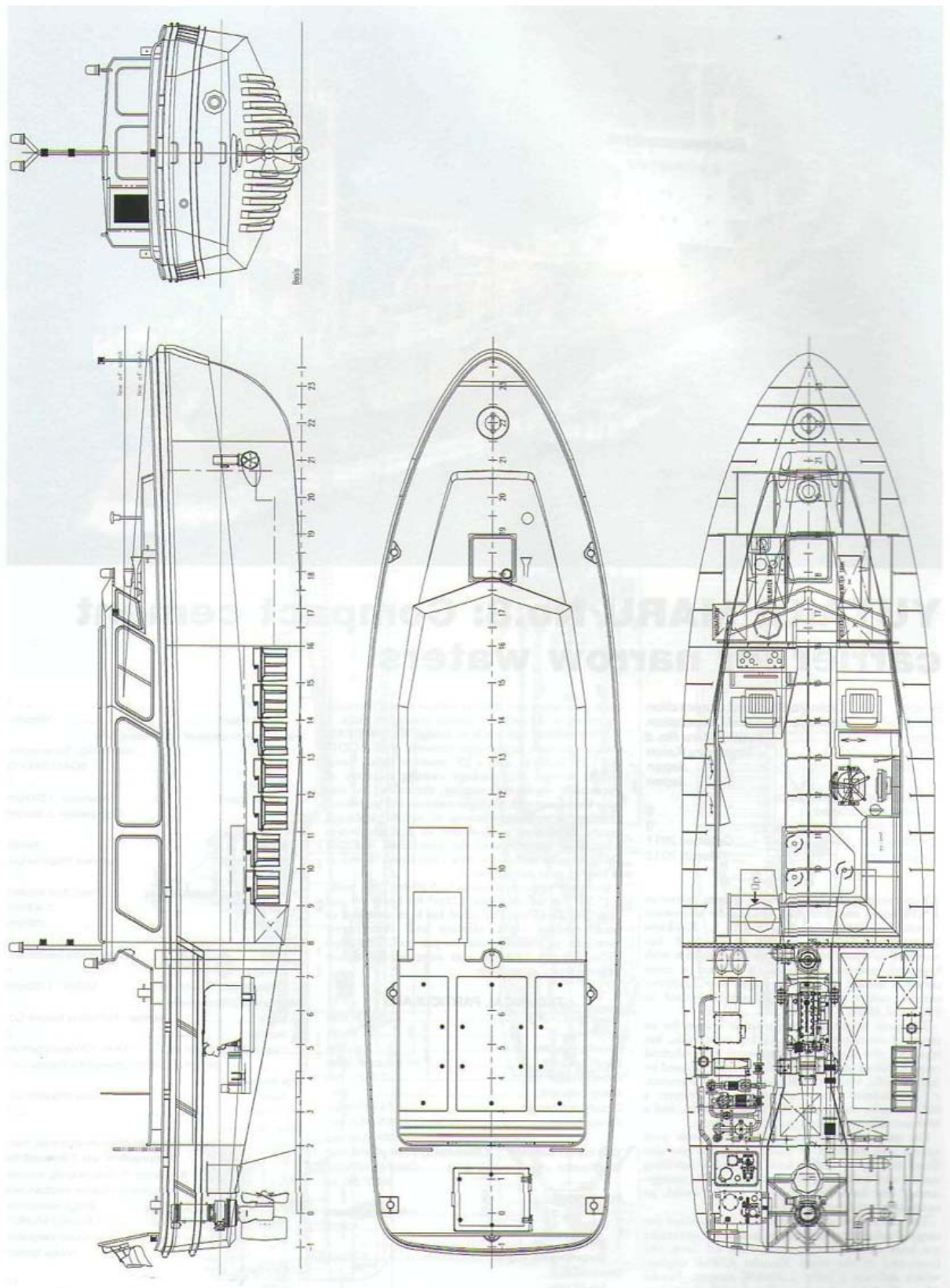


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд катера WATERSPREEUW

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ

Аркуш

8

Опис двигуна 6ЧН 8,5/9,4

6ЧН 8,5/9,4 (рис. 1.3 – 1.4) це чотиритактний дизельний двигун, нереверсивними, з турбонаддувом, водяним охолодженням і з прямим впорскуванням палива.

Конфігурація: 6 – рядний;

Діаметр циліндра: 85 мм;

Хід поршня: 94 мм;

Співвідношення хід поршня/діаметр: 1,1;

Робочий об'єм: 0,53 л. на циліндр;

Циліндрична потужність: 130 кВт;

Частота обертання колінчастого вала: 3500 об/хв.;

Середня швидкість поршня: 7,46 м/с;

Напрямок обертання: за годинниковою стрілкою.

Розроблений і спроектований у відповідь на особливі вимоги морського застосування, найбільш вражаючими особливостями цього двигуна є його висока надійність і економічність [2].



Рисунок 1.3 – Двигун 6ЧН 8,5/9,4

					<i>KPM.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

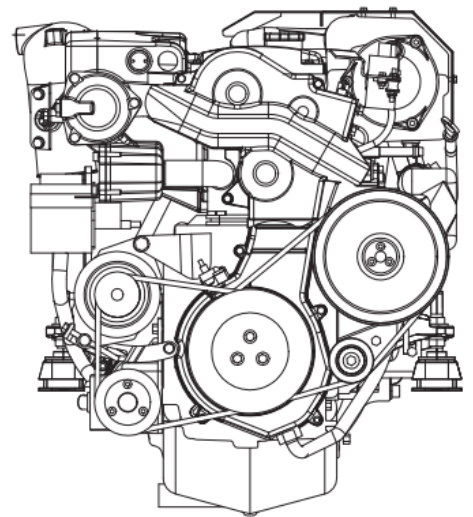
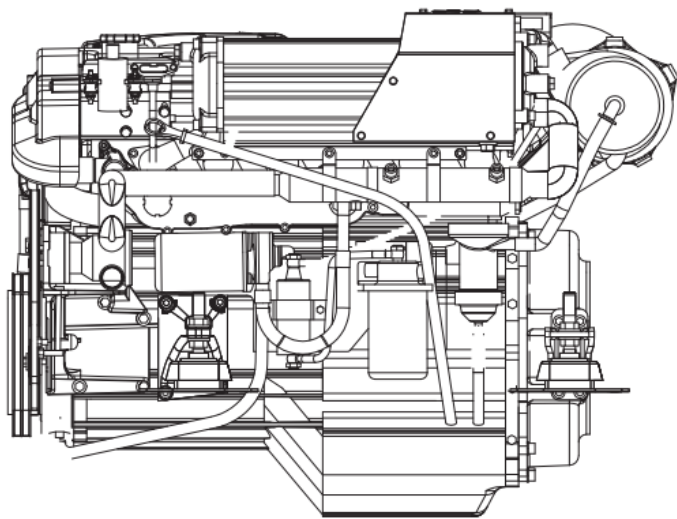


Рисунок 1.4 – Загальний вид двигун 6ЧН 8,5/9,4

Дизельний судновий двигун 6ЧН 8,5/9,4 є частиною серії SE Steyr Motors MO196K35 6-циліндрових двигунів, розроблених для високопродуктивних і безперервних режимів роботи. Ці двигуни оснащені технологією високонапірного безпосереднього впорскування палива (UNIT INJECTOR), що забезпечує широкий діапазон крутного моменту і швидкості.

Двигун має моноблочну конструкцію і здатний працювати в температурному діапазоні від -32°C до $+49^{\circ}\text{C}$. Він також підтримує використання різних видів палива, включно з EN590 і Jet A-1 (NATO код F-35).

Двигуни 6ЧН 8,5/9,4 відомі своєю компактністю, високим співвідношенням потужності до ваги, надійністю та довговічністю, що робить їх придатними для різних морських застосувань, зокрема для використання зі стерндрайвами, трансмісіями та водометними системами.

Колінчастий вал (рис. 1.5) є ключовим елементом кривошипно-шатунного механізму, що перетворює складний рух шатуна в обертальний, передаючи крутний момент на привідні агрегати. Ця деталь двигуна працює в умовах значних механічних навантажень, тому до матеріалу та технологій її

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

виготовлення висуваються суворі технічні вимоги. У цьому випадку колінчастий вал виготовлено зі сталі, підданої індукційному загартуванню, і він спирається на сім опор. Усередині порожнистого вала розташовані канали для циркуляції мастила.

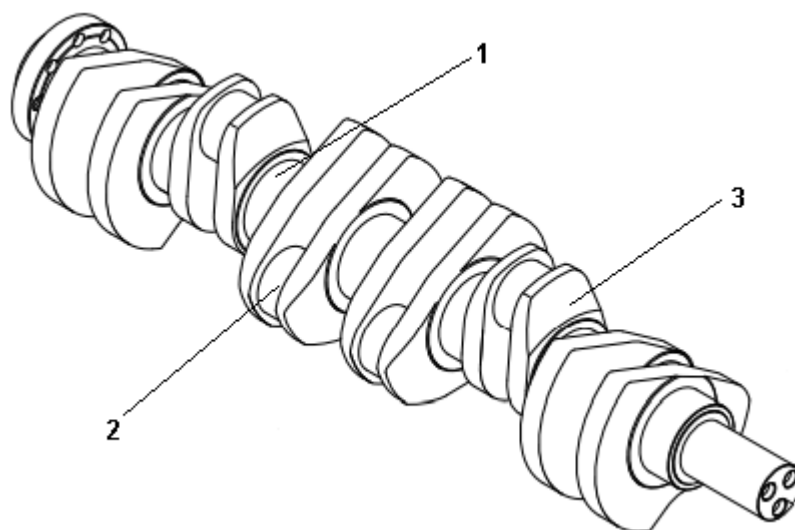


Рисунок 1.5 – Колінчастий вал:

1 – корінна шийка, 2 – шатунна шийка, 3 – щока

Шатуни (рис. 1.6) виготовляються з легованої сталі та мають пряме з'єднання з кришкою шатуна.

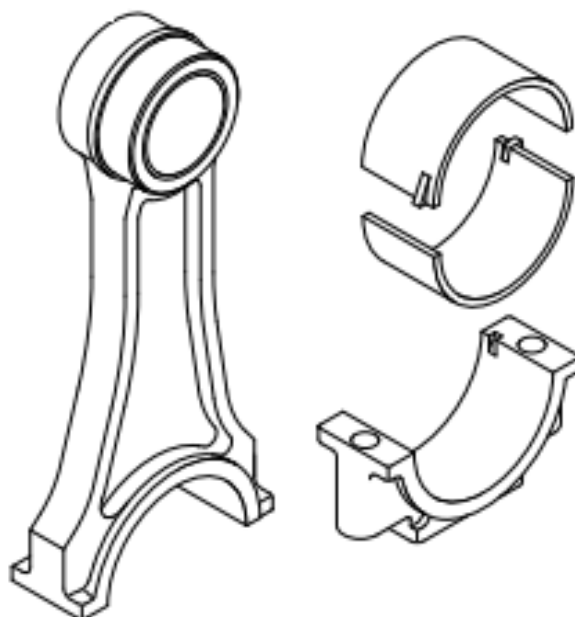


Рисунок 1.6 – Шатун

Кожен шатун маркується своїм номером і прив'язаний до конкретного циліндра, оскільки їхня вага може незначно відрізнятися. У разі необхідності заміни шатуна допускається використання стандартного типу із середнім класом ваги, який може замінити будь-який інший. Таким чином, якщо шатуни все ще функціонують ефективно, їх не обов'язково замінювати, навіть за умови належності до іншого класу ваги.

Поршні (рис. 1.7) формують високотискову камеру згоряння, а їх днище виконане у формі тороїда для оптимізації процесу сумішоутворення. На днищі поршня передбачені спеціальні вирізи для клапанів, які запобігають їх ударам по поверхні. Конструкція поршня включає три канавки для ущільнювальних кілець, кожне з яких має свої функції та геометрію.

Перше ущільнювальне кільце забезпечує герметичність камери згоряння і зазвичай має трапецієподібну форму, що сприяє ефективному притиранню до стінки циліндра. Це кільце працює в умовах високих термічних навантажень та виконує важливу функцію відведення тепла від днища поршня до стінки циліндра. Друге кільце також герметизує камеру згоряння і виконує додаткову функцію — перекачування мастила до верхнього кільця. Маслознімне кільце видаляє надлишок мастила зі стінок циліндра, запобігаючи його надмірному потраплянню в камеру згоряння з картера.

Ця конструкція забезпечує ефективну роботу поршня в умовах високих навантажень і сприяє оптимальному функціонуванню двигуна.

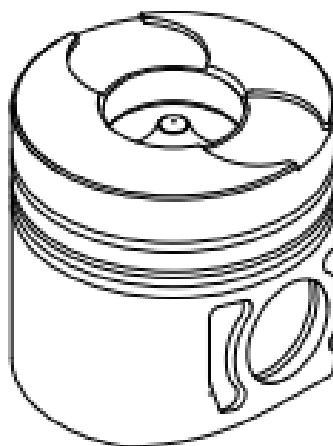


Рисунок 1.7 – Поршень

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Система синхронізації (рис. 1.8) складається зі штовхачів стрижневого типу та розподільчого вала, розташованого в картері. Розподільчий вал приводиться в обертання безпосередньо від колінчастого вала.

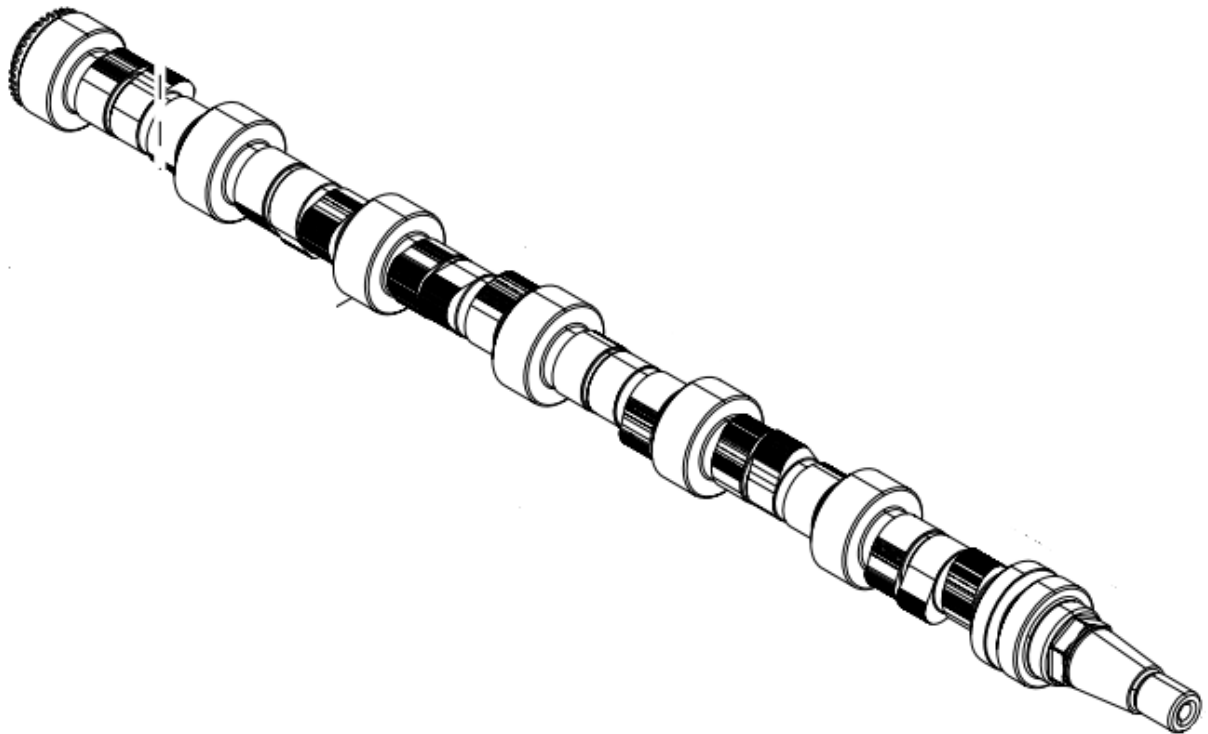


Рисунок 1.8 – Розподільчий вал

Головка циліндрів (рис. 1.9) виконана як цільнометалева конструкція. У її корпусі розташовані посадкові місця для таких елементів двигуна:

- клапани разом із сідлами та їх елементами;
- клапан термостата;
- форсунки.

До головки блоку циліндрів кріпляться:

- випускний колектор;
- впускний колектор.

Сідла клапанів, розташовані в голівці циліндрів, мають елементи, зроблені під кутом в 45° для випускних клапанів і 60° для впускних.

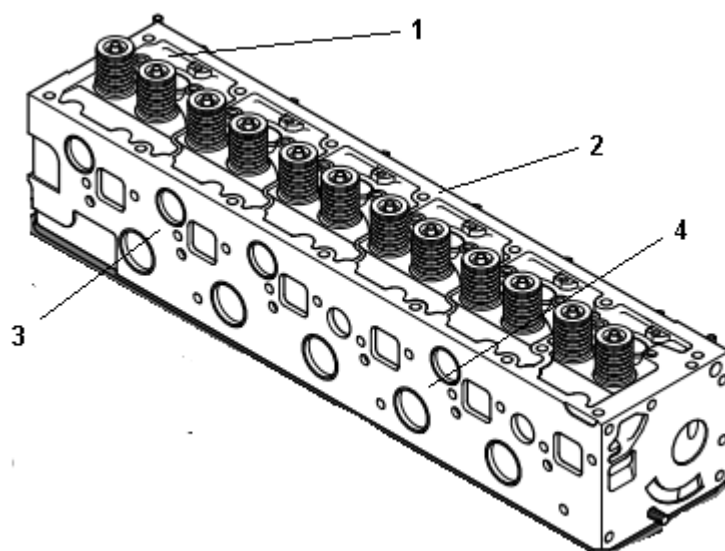


Рисунок 1.9 – Головка блоку циліндрів;

1 – впускний та випускний клапана; 2 – корпус головки блоку циліндрів;

3 – впуск повітря; 4 – випуск відпрацьованих газів.

					<i>KPM.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ВИСОКООБЕРТОВИХ ДВИГУНІВ

Високообертові двигуни знаходять широке застосування в різних галузях техніки, зокрема в автомобільній, авіаційній та суднобудівній промисловості. Однією з ключових систем цих двигунів є паливна апаратура, яка забезпечує точну подачу палива у камеру згоряння. З огляду на постійне зростання вимог до ефективності, економічності та екологічності двигунів, модернізація паливної апаратури є одним із головних напрямків їхнього вдосконалення.

Особливості роботи паливної апаратури

Забезпечення точності подачі палива. Точність подачі палива є одним із ключових факторів, що визначають ефективність, екологічність та надійність роботи високообертових двигунів. Сучасні двигуни працюють у складних умовах, що вимагає вдосконалення паливних систем для забезпечення стабільної та оптимальної роботи при високих обертах. Недостатня точність у подачі палива може призвести до втрат потужності, збільшення витрат палива, підвищення рівня шкідливих викидів та зниження довговічності компонентів двигуна [3].

Виклики у забезпеченні точності подачі палива:

1. Швидкі зміни режимів роботи двигуна: високообертові двигуни часто працюють у динамічних умовах, де параметри роботи змінюються миттєво. Це вимагає надзвичайно швидкої реакції паливної апаратури, що ускладнює точне дозування палива.

2. Високі тиски впорскування: у сучасних системах впорскування, таких як Common Rail, тиск подачі палива може досягати 2500 бар. Це створює значне навантаження на компоненти паливної системи та збільшує вимоги до точності роботи форсунок і паливних насосів.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Нерівномірність розпилення палива: при високих обертах двигуна складно забезпечити рівномірний розподіл палива у камері згоряння. Це може призвести до утворення зон збагаченої або збідненої суміші, що негативно впливає на ефективність згоряння.

4. Вплив фізико-хімічних властивостей палива: різні типи палива, включаючи біопаливо або палива з додатковими домішками, мають різні в'язкість, щільність та інші характеристики. Це ускладнює підтримання стабільних параметрів упорскування.

5. Зношування компонентів: під час роботи двигуна при високих обертах компоненти паливної системи зазнають інтенсивного зношування, що може спричинити зміну характеристик подачі палива.

Зниження токсичності відпрацьованих газів. Зниження токсичності відпрацьованих газів є одним із найважливіших завдань при розробці та експлуатації високообертових дизельних двигунів. Сучасні екологічні стандарти, такі як Euro 6, EPA Tier IV та IMO Tier III, висувають жорсткі вимоги до рівня викидів оксидів азоту (NO_x), сажі, вуглекислого газу (CO_2) та інших шкідливих речовин. Високообертові дизельні двигуни, які широко використовуються в транспорті та промисловості, потребують впровадження інноваційних рішень для забезпечення відповідності цим вимогам.

Основні виклики у зниженні токсичності:

1. Підтримання потужності двигуна: екологічні заходи, такі як рециркуляція відпрацьованих газів (EGR), можуть знижувати ефективність двигуна.

2. Підвищення паливної ефективності: зниження токсичних викидів часто вимагає компромісу між економічністю та екологічністю.

3. Робота при високих обертах: Високообертові режими ускладнюють контроль за процесами згоряння і впливають на стабільність утворення шкідливих речовин.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4. Вплив якості палива: низькоякісне паливо сприяє утворенню більшої кількості токсичних речовин через неповне згоряння.

Використання сучасних технологій, таких як EGR, SCR, DPF, та впровадження інноваційних рішень, сприяє досягненню суворих екологічних стандартів. Подальший розвиток цієї сфери дозволить створювати більш екологічні та ефективні дизельні двигуни, які відповідатимуть потребам сучасного світу.

Економічність експлуатації. Умови високих обертів створюють додаткові виклики для забезпечення економного використання палива, мінімізації витрат на технічне обслуговування та продовження терміну служби двигуна.

Основні фактори, що впливають на економічність:

- 1) витрата палива;
- 2) зношення компонентів;
- 3) вартість технічного обслуговування;
- 4) високі швидкості роботи двигуна вимагають застосування матеріалів і технологій з підвищеною міцністю. Це впливає на вартість обслуговування, особливо якщо потрібно використовувати спеціалізовані мастильні матеріали та високоточне обладнання;
- 5) ефективність передачі енергії;
- 6) вплив якості палива;

Підвищення надійності. Надійність паливної апаратури має вирішальне значення для забезпечення довговічності двигуна, мінімізації витрат на обслуговування та уникнення збоїв у роботі. Проте підвищені механічні та термічні навантаження у високообертових двигунах створюють серйозні виклики для забезпечення стабільної роботи паливної апаратури.

Основні проблеми надійності паливної апаратури:

- 1) Високі навантаження на компоненти: При роботі на високих обертах паливна апаратура піддається значним механічним, термічним і гідравлічним

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

навантаженням. Це призводить до зносу деталей, таких як форсунки, плунжери, розподільчі вали та паливні насоси.

2) Підвищена чутливість до якості палива: Використання низькоякісного або забрудненого палива сприяє утворенню відкладень у форсунках і паливних каналах, що погіршує роботу системи та призводить до передчасного виходу з ладу.

3) Термін служби ущільнювальних елементів: постійний контакт з агресивними паливами та вплив високих температур знижують довговічність ущільнювачів, що може викликати протікання та втрату герметичності системи.

4) Ризик кавітації: у високообертових двигунах кавітація може виникати через різкі перепади тиску в паливній системі, що пошкоджує внутрішні компоненти, особливо в зоні роботи форсунок і насосів.

5) Знос форсунок: при інтенсивній експлуатації з часом порушується геометрія сопел форсунок, що призводить до нерівномірного розпилення палива та погіршення процесу згоряння.

Напрямки модернізації паливної апаратури

Використання високоточного електронного управління.

Електронні системи керування (ECU) дозволяють значно підвищити точність подачі палива за рахунок використання датчиків і програмованих алгоритмів. Сучасні системи впорскування, такі як Common Rail, забезпечують високий тиск подачі палива (до 2500 бар) і дозволяють здійснювати багатофазне упорскування впродовж одного циклу. Це сприяє поліпшенню сумішоутворення та більш повному згорянню палива.

Основні принципи високоточного електронного управління:

1) Датчики та їх роль у системі: електронна система управління використовує різноманітні датчики для моніторингу ключових параметрів роботи двигуна, таких як:

					<i>KPM.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- тиск палива;
- температура повітря і палива;
- оберти колінчастого вала;
- положення педалі акселератора.

Дані з датчиків передаються на ECU, де вони аналізуються в режимі реального часу.

2) Адаптивне керування подачею палива: на основі отриманих даних ECU керує паливними форсунками, забезпечуючи точне дозування палива відповідно до поточного навантаження та режиму роботи двигуна. Це дозволяє зменшити втрати енергії та оптимізувати процес згоряння.

3) Багатофазне впорскування: електронна система управління дозволяє реалізовувати багатофазне впорскування палива, яке включає попереднє, основне та поствпорскування. Такий підхід сприяє утворенню рівномірної паливно-повітряної суміші та зменшенню викидів шкідливих речовин [4].

Переваги використання електронного управління

1) Підвищення точності подачі палива: завдяки високій точності дозування палива забезпечується стабільність роботи двигуна навіть на високих обертах. Це особливо важливо для уникнення локального переобогачення або збіднення суміші.

2) Зниження витрати палива: електронні системи дозволяють оптимізувати подачу палива залежно від умов експлуатації, що сприяє зменшенню витрати палива без втрати потужності.

3) зменшення токсичності викидів: оптимізований процес впорскування палива сприяє більш повному згорянню, що знижує рівень оксидів азоту (NOx), твердих частинок і незгорілих вуглеводнів.

4) Адаптація до різних типів палива: системи високоточного управління можуть бути налаштовані на роботу з альтернативними видами палива, такими як біодизель або синтетичні палива, без втрати ефективності.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5) Покращення діагностики та обслуговування: завдяки інтеграції електронних систем можлива діагностика несправностей у режимі реального часу, що полегшує технічне обслуговування і скорочує час простоїв.

Виклики та перспективи впровадження

1) Висока вартість впровадження: складність конструкції та використання високоточних компонентів збільшують початкову вартість електронних систем. Однак ці витрати компенсуються економією палива та зменшенням витрат на технічне обслуговування.

2) Необхідність адаптації до різних умов експлуатації: системи повинні враховувати вплив змінних кліматичних умов, якості палива та інших факторів, що вимагає високого рівня програмного забезпечення.

3) Подальший розвиток технологій: вдосконалення алгоритмів управління, впровадження штучного інтелекту та підключення до мережевих систем (IoT) відкривають нові можливості для підвищення ефективності паливної апаратури.

Використання високоточного електронного управління є ключовим напрямком модернізації паливної апаратури високообертових двигунів. Це дозволяє забезпечити високу точність і адаптивність роботи системи, знижуючи витрати палива та рівень шкідливих викидів. Попри виклики, пов'язані з впровадженням, перспективи розвитку цієї технології свідчать про її важливість для майбутнього двигунобудування.

Застосування інноваційних матеріалів

Для підвищення довговічності деталей паливної апаратури використовуються високоякісні сплави, зокрема сталі з високим вмістом хрому і молібдену, а також керамічні матеріали. Це дозволяє знизити зношування компонентів, таких як форсунки і плунжери, особливо при роботі з паливами низької якості або альтернативними видами палива (біопаливо, синтетичні палива).

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Виклики для традиційних матеріалів

1) Високі навантаження: компоненти паливної апаратури працюють у жорстких умовах високих тисків і температур, що спричиняє швидке зношування традиційних матеріалів, таких як стандартна сталь або чавун.

2) Агресивне середовище: використання палива з низькою якістю або біопалив створює агресивне середовище, яке сприяє корозії і утворенню відкладень.

3) Механічне тертя: постійне тертя між компонентами, такими як плунжери, форсунки та клапани, знижує їхню ефективність і призводить до потреби у частому обслуговуванні.

Інноваційні матеріали та їх переваги

1. Керамічні матеріали

Керамічні матеріали, такі як оксид алюмінію або карбід кремнію, мають високу термостійкість і зносостійкість. Вони ефективно використовуються для виготовлення плунжерів і клапанів, що працюють під високим тиском.

Переваги:

Висока стійкість до зношування;

Низька теплопровідність, що сприяє зменшенню теплових втрат;

Стійкість до корозії в агресивних середовищах.

2. Сплави на основі титану

Титанові сплави поєднують легкість і високу міцність, що робить їх оптимальними для компонентів, які піддаються значним механічним навантаженням.

Переваги:

Зменшення ваги паливної системи;

Підвищена стійкість до корозії;

Довговічність у роботі при високих температурах.

3. Матеріали з покриттями DLC (алмазоподібний вуглець)

					<i>KPM.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Покриття на основі алмазоподібного вуглецю (DLC) застосовуються для зниження тертя між поверхнями рухомих компонентів, таких як плунжери та форсунки.

Переваги:

Зниження механічних втрат;

Збільшення ресурсу компонентів;

Зменшення ризику утворення відкладень.

4. Наноматеріали

Використання наноматеріалів у виготовленні деталей паливної апаратури дозволяє досягти унікальних властивостей, таких як підвищена міцність і зносостійкість.

Переваги:

Покращення механічних властивостей;

Підвищена стійкість до ударних навантажень;

Триваліший термін служби.

5. Композиційні матеріали

Композити, які поєднують у собі кілька матеріалів, забезпечують баланс між міцністю, легкістю і термостійкістю. Вони часто використовуються для виготовлення форсунок і насосів.

Переваги:

Легкість у поєднанні з високою міцністю;

Стійкість до втомних навантажень;

Можливість роботи у широкому діапазоні температур.

Перспективи застосування інноваційних матеріалів

1) Збільшення довговічності:

Впровадження новітніх матеріалів дозволяє значно збільшити ресурс роботи паливної апаратури, зменшуючи витрати на її обслуговування.

2) Адаптація до альтернативних видів палива:

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Інноваційні матеріали сприяють забезпеченню стабільної роботи з біопаливами, синтетичними паливами та іншими альтернативами.

3) Зменшення екологічного впливу:

Використання передових матеріалів сприяє підвищенню ефективності згоряння палива, що зменшує рівень токсичних викидів.

4) Інтеграція з сучасними технологіями:

Інноваційні матеріали відкривають нові можливості для інтеграції з електронними системами управління, забезпечуючи ще вищий рівень точності та надійності.

Застосування інноваційних матеріалів є важливим напрямком модернізації паливної апаратури високообертових двигунів. Завдяки їхнім унікальним властивостям, такі матеріали дозволяють вирішувати проблеми зношування, корозії та тертя, підвищуючи ефективність і надійність роботи системи. Подальший розвиток цієї галузі сприятиме створенню ще більш стійких та довговічних паливних систем, що відповідатимуть сучасним вимогам двигунобудування [5].

Використання ультразвукових технологій

Одним із перспективних напрямків є застосування ультразвукових коливань для покращення процесу розпилення палива. Ультразвук сприяє утворенню більш дрібнодисперсного аерозолі, що покращує рівномірність сумішоутворення та зменшує викиди незгорілого палива. Крім того, ультразвукові системи допомагають зменшити утворення паливних відкладень на форсунках.

Принцип дії ультразвукових технологій

1) Ультразвукова генерація коливань: Ультразвук створюється за допомогою генератора, який перетворює електричну енергію в механічні коливання високої частоти (20–100 кГц). Ці коливання передаються на форсунки або інші елементи паливної системи.

2) Вплив на паливо: Ультразвукові хвилі впливають на структуру палива, знижуючи його в'язкість та покращуючи процес атомізації (розпилення). Це сприяє утворенню дрібнодисперсної паливно-повітряної суміші, що забезпечує рівномірніше згоряння.

3) Самоочищення компонентів: Ультразвукові коливання допомагають запобігати утворенню відкладень на форсунках, що підтримує стабільну роботу паливної системи навіть за умов використання низькоякісного палива.

Переваги використання ультразвукових технологій

1) Поліпшення якості розпилення палива: Завдяки ультразвуку паливо розпилюється на дрібніші краплі, що забезпечує краще сумішоутворення. Зменшення розміру крапель сприяє підвищенню швидкості згоряння і повнішому використанню енергії палива.

2) Зниження витрат палива: Оптимізоване розпилення та рівномірне згоряння дозволяють зменшити витрату палива без втрати потужності двигуна.

3) Зменшення токсичних викидів: Поліпшення згоряння сприяє зниженню утворення сажі, окисів азоту (NOx) та інших шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

4) Підвищення надійності роботи форсунок: Ультразвук допомагає запобігти засміченню і утворенню сіро-парафінових відкладень, що знижує ризик збоїв у роботі паливної апаратури.

5) Адаптація до різних видів палива: Завдяки покращенню атомізації ультразвукові технології дозволяють використовувати альтернативні види палива, включаючи біопаливо або палива зі складними хімічними властивостями.

Застосування ультразвукових технологій у паливній апаратурі

1) Ультразвукові форсунки:

Інтеграція ультразвукових генераторів у форсунки дозволяє забезпечити більш точне і рівномірне розпилення палива.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Такі форсунки ефективно працюють у двигунах із прямим впорскуванням палива.

2) Очистка паливних систем:

Ультразвукові пристрої можуть використовуватися для очищення паливних форсунок та інших компонентів системи від відкладень без необхідності демонтажу.

3) Покращення процесів упорскування:

Завдяки дії ультразвуку паливо надходить у камеру згоряння з оптимальними характеристиками, що знижує ризик локального переобогачення або збіднення суміші.

Виклики та перспективи впровадження

1) Технічна складність:

Інтеграція ультразвукових систем у паливну апаратуру потребує ретельного проєктування та високих технологічних стандартів виготовлення.

2) Енергоспоживання:

Ультразвукові генератори потребують додаткового джерела енергії, що може вплинути на загальну енергетичну ефективність системи.

3) Подальші дослідження:

Розробка матеріалів, стійких до дії ультразвукових хвиль, та адаптація технології до різних типів двигунів залишаються актуальними завданнями.

Використання ультразвукових технологій є інноваційним і перспективним напрямком модернізації паливної апаратури. Ця технологія дозволяє досягти значного покращення процесів упорскування та згоряння палива, підвищуючи ефективність двигунів і знижуючи їхній екологічний вплив. Подальший розвиток ультразвукових систем сприятиме створенню більш економічних, надійних і екологічно чистих паливних систем, які відповідатимуть сучасним вимогам двигунобудування.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Інтеграція систем адаптивного керування

Адаптивні системи управління використовують штучний інтелект та алгоритми машинного навчання для автоматичного налаштування параметрів впорскування залежно від умов роботи двигуна. Це дозволяє оптимізувати процес упорскування в реальному часі, враховуючи зміну навантаження, температури та складу палива.

Принцип роботи систем адаптивного керування

1) Збір даних у реальному часі:

Система адаптивного керування використовує датчики, які контролюють основні параметри роботи двигуна, зокрема:

- тиск і температуру впорскуваного палива;
- оберти колінчастого вала;
- склад вихлопних газів;
- положення педалі акселератора;
- температуру і тиск у камері згоряння.

2) Аналіз даних:

Зібрані дані передаються на електронний блок управління (ECU), де вони аналізуються за допомогою спеціальних алгоритмів. Система оцінює поточний стан двигуна і прогнозує необхідні зміни параметрів роботи паливної системи.

3) Автоматичне налаштування:

На основі аналізу ECU автоматично регулює:

- тривалість та момент упорскування палива;
- тиск у системі подачі палива;
- кількість впорскуваного палива.

Переваги інтеграції систем адаптивного керування

1) Підвищення паливної ефективності:

Система адаптивного керування оптимізує процес упорскування палива, що дозволяє зменшити його витрату без втрати потужності двигуна.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2) Поліпшення екологічних показників:

Завдяки точному налаштуванню параметрів роботи двигуна зменшується утворення токсичних речовин, таких як оксиди азоту (NO_x), вуглеводні (НС) і тверді частинки.

3) Адаптація до змінних умов експлуатації:

Система враховує зміни навантаження, температури, висоти над рівнем моря та інших зовнішніх факторів, що забезпечує стабільну роботу двигуна за будь-яких умов.

4) Підвищення довговічності компонентів:

Завдяки рівномірному розподілу навантаження система знижує знос компонентів паливної апаратури, таких як форсунки та насоси.

5) Підтримка роботи з альтернативними видами палива:

Система адаптивного керування може автоматично налаштовувати роботу двигуна для використання біопалива, синтетичних палив або палив із низькою якістю.

Виклики впровадження систем адаптивного керування

1) Складність інтеграції: Інтеграція систем адаптивного керування вимагає модернізації всієї паливної апаратури, включаючи форсунки, насоси та електронні блоки управління.

2) Висока вартість впровадження: Використання високотехнологічних компонентів і розробка спеціалізованого програмного забезпечення збільшують вартість системи.

3) Залежність від датчиків: Надійність роботи системи залежить від точності та стабільності датчиків. У разі виходу з ладу хоча б одного з них можуть виникнути збої в роботі всієї системи.

4) Необхідність навчання персоналу: Для обслуговування та діагностики системи потрібен висококваліфікований персонал, що може вимагати додаткових витрат на навчання.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Перспективи розвитку

Інтеграція штучного інтелекту:

Використання алгоритмів машинного навчання дозволить системі адаптивного керування краще аналізувати дані та прогнозувати оптимальні параметри роботи.

Підключення до мережевих систем (IoT):

Інтеграція з інтернетом речей (IoT) дозволить системі отримувати дані про зовнішні умови в режимі реального часу та налаштовувати роботу двигуна відповідно до них.

Зменшення вартості компонентів:

Масове виробництво та вдосконалення технологій виготовлення знизять вартість впровадження систем адаптивного керування.

Розширення можливостей діагностики:

Розвиток систем самодіагностики дозволить виявляти потенційні несправності на ранніх етапах, що зменшить витрати на ремонт і технічне обслуговування.

Інтеграція систем адаптивного керування є важливим напрямком модернізації паливної апаратури високообертових двигунів. Ця технологія забезпечує підвищення паливної ефективності, зниження токсичних викидів і стабільну роботу двигуна за різних умов експлуатації. Попри виклики, пов'язані з впровадженням, перспективи розвитку систем адаптивного керування свідчать про їхню важливість для майбутнього двигунобудування.

Використання форсунок з багатоструменевим впорскуванням

Сучасні форсунки з багатоструменевим впорскуванням дозволяють точніше розподіляти паливо в камері згорання, забезпечуючи утворення оптимальної паливно-повітряної суміші. Такі системи особливо ефективні для двигунів з прямим впорскуванням, де важливо уникати локального переобогачення суміші.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Особливості форсунок з багатоструменевим упорскуванням

1) Багатоструменева конструкція: Форсунки такого типу обладнані кількома отворами для розпилення палива, що забезпечує утворення кількох окремих струменів. Ці струмені спрямовуються в різні зони камери згоряння, забезпечуючи рівномірне утворення паливно-повітряної суміші.

2) Точне керування напрямком струменів: Напрямок і кут розташування струменів можуть бути налаштовані залежно від конструкції камери згоряння. Це дозволяє уникнути локального переобогачення або збіднення суміші.

3) Можливість роботи з різними видами палива: Форсунки з багатоструменевим упорскуванням ефективно працюють як із традиційними видами палива, так і з біопаливом чи синтетичними аналогами.

Переваги використання багатоструменевих форсунок

1) Покращення якості сумішоутворення: Завдяки рівномірному розподілу палива у камері згоряння утворюється оптимальна паливно-повітряна суміш, що підвищує ефективність згоряння.

2) Зменшення витрати палива: Оптимізація згоряння сприяє зниженню витрати палива без втрати потужності двигуна.

3) Зниження токсичних викидів: Рівномірне сумішоутворення та більш повне згоряння палива дозволяють зменшити рівень викидів оксидів азоту (NO_x), вуглекислого газу (CO_2) та сажі.

4) Підвищення потужності двигуна: Завдяки покращенню процесів згоряння двигун може працювати з більшою потужністю, зберігаючи стабільність і надійність.

5) Зменшення навантаження на компоненти двигуна: Рівномірний розподіл теплового навантаження в камері згоряння запобігає перегріву окремих зон і знижує зношення компонентів.

Виклики та перспективи впровадження

					<i>KPM.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Складність конструкції: Форсунки з багатоструменевим упорскуванням мають більш складну конструкцію, що вимагає високоточного виготовлення та використання стійких матеріалів.

Вартість впровадження: Високі вимоги до точності та матеріалів збільшують початкову вартість таких форсунок. Однак зниження витрат на паливо та обслуговування компенсує ці витрати в довгостроковій перспективі.

Необхідність адаптації двигунів: Інтеграція багатоструменевих форсунок може потребувати модифікації камери згоряння та системи керування двигуном.

Подальші дослідження: Потреба в розробці форсунок, здатних працювати з різними типами палива та в екстремальних умовах, залишається актуальною.

Перспективи розвитку

1) Інтеграція з електронними системами керування: Використання електронного управління дозволить точно регулювати напрямок і параметри упорскування для досягнення максимальної ефективності.

2) Застосування нових матеріалів: Використання інноваційних матеріалів для виготовлення форсунок підвищить їхню довговічність і стійкість до зношування.

3) Робота з альтернативними видами палива: Розробка форсунок, здатних адаптуватися до біопалива чи синтетичних палив, відкриє нові можливості для зменшення екологічного впливу.

Застосування новітніх технологій обробки поверхонь

Виклики для традиційних методів обробки поверхонь

1) Знос деталей: Компоненти паливної апаратури, такі як форсунки, плунжери та клапани, піддаються значному механічному тертю, що призводить до їхнього швидкого зношування.

2) Корозія: Використання палива з домішками або агресивних видів палива створює умови для утворення корозійних пошкоджень на поверхнях деталей.

3) Підвищення температури: Робота в умовах високих температур сприяє утворенню оксидних шарів та відкладень, що знижує ефективність роботи апаратури.

Новітні технології обробки поверхонь

1) Лазерне загартування:

Лазерне загартування дозволяє створювати надтверді поверхневі шари на деталях паливної апаратури. Цей метод підвищує стійкість до зношування та термічних впливів.

Переваги:

- Підвищення зносостійкості;
- Зменшення ймовірності утворення мікротріщин;
- Висока точність обробки.

2) Нанесення алмазоподібного вуглецю (DLC):

Покриття DLC створює ультратвердий шар із низьким коефіцієнтом тертя, що ефективно зменшує втрати на тертя та покращує довговічність деталей.

Переваги:

- Зниження тертя між рухомими частинами;
- Підвищення корозійної стійкості;
- Збільшення терміну служби компонентів.

3) Плазмове напилення:

Ця технологія використовується для створення зносостійких і корозійностійких покриттів на деталях, які працюють в агресивних умовах.

Переваги:

- Стійкість до високих температур;

					<i>KPM.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Можливість нанесення покриттів з різними хімічними властивостями;
- Підвищення механічної міцності.

4) Електрохімічна поліровка:

Електрохімічна обробка дозволяє досягти ідеально гладкої поверхні, що зменшує ймовірність утворення відкладень і покращує протікання палива.

Переваги:

- Зменшення мікронерівностей;
- Покращення антикорозійних властивостей;
- Зниження опору потоку палива.

5) Іонно-плазмова імплантація:

Ця технологія передбачає модифікацію поверхонь деталей шляхом впровадження іонів різних елементів, що покращує їхні фізичні та хімічні властивості.

Переваги:

- Підвищення зносостійкості;
- Зменшення адгезії відкладень;
- Покращення тепловіддачі.

Переваги використання новітніх технологій

Підвищення довговічності компонентів:

Оброблені поверхні мають вищу стійкість до зношування, що зменшує необхідність у частій заміні деталей.

Покращення паливної ефективності:

Зменшення тертя та поліпшення потоку палива через компоненти сприяє зниженню витрат палива.

Зниження витрат на технічне обслуговування:

Менше зношування і корозії означає зниження витрат на ремонт і заміну деталей.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Покращення екологічних показників:

Зменшення утворення відкладень і покращення сумішоутворення сприяє зниженню викидів токсичних речовин.

Виклики та перспективи впровадження

Висока вартість технологій:

Новітні методи обробки поверхонь вимагають використання дорогого обладнання та матеріалів, що підвищує початкові інвестиції.

Необхідність високої кваліфікації персоналу:

Впровадження складних технологій потребує навчання та залучення кваліфікованих спеціалістів.

Розробка інноваційних матеріалів:

Подальші дослідження спрямовані на створення матеріалів, які будуть ще більш стійкими до механічних і термічних навантажень.

Для підвищення надійності компонентів паливної апаратури використовуються сучасні методи обробки, такі як лазерне загартування, напилення покриттів на основі нітриду титану або алмазоподібного вуглецю (DLC). Це дозволяє значно знизити тертя та підвищити корозійну стійкість деталей.

Сучасні напрямки модернізації паливної апаратури високообертових двигунів спрямовані на підвищення ефективності, зниження впливу на навколишнє середовище та забезпечення надійності в умовах інтенсивної експлуатації. Подальші дослідження в цій сфері сприятимуть створенню ще більш ефективних і екологічно безпечних двигунів.

В результаті зробленого аналізу сучасних напрямків модернізації паливної апаратури високообертових двигунів визначено, що для двигуна 6ЧН 10,4/13,2 найефективнішим буде використання форсунок з ультразвуковим випромінювачем, що сприяє поліпшенню економічних і екологічних якостей двигуна.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ ФОРСУНОК ДВИГУНА 6ЧН 8,5/9,4 ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ

Тепловий розрахунок двигуна 6ЧН 8,5/9,4

Методика розрахунку робочого циклу двигуна

Цикл роботи двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) представляє собою сукупність процесів, які періодично повторюються для перетворення теплової енергії палива на механічну роботу. Це складний фізико-хімічний процес, точний аналітичний розрахунок якого (без використання експериментальних коефіцієнтів) наразі неможливий. Тому для таких розрахунків зазвичай застосовують спрощені моделі, серед яких значне поширення отримав цикл за Гриневецьким-Мазінгом [6].

Цей розрахунковий цикл (рис. 3.1) включає такі процеси: політропне стиснення t - c , ізохорний процес c - y , ізобарний процес y - z , політропне розширення z - b і ізохорний процес b - t , що завершує цикл.

Метод Гриневецького-Мазінга став популярним завдяки своїй здатності забезпечувати достатню точність результатів за допомогою порівняно простих обчислень. Ця методика дозволяє ефективно аналізувати процеси, що відбуваються в ДВЗ [7].

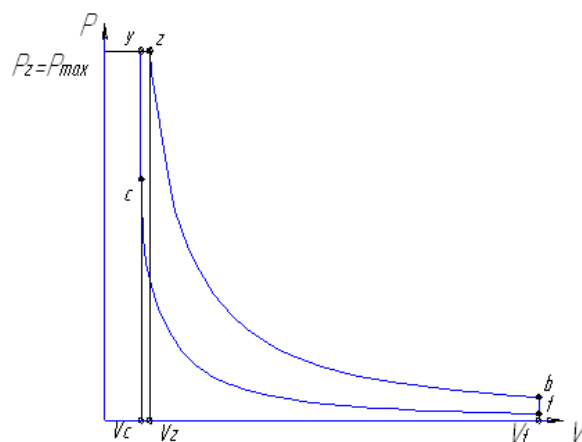


Рисунок 3.1 – Теоретичний цикл

Результати розрахунку циклу двигуна

Точність розрахунку задовільна у випадку різниці між заданою і розрахунковою потужністю не більше 0,5%.

Розрахунок процесу наповнення

$$T_k = T_0 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 293 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{0,21}{0,1013} \right)^{0,286} - 1}{0,78} \right] = 380,084$$

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 380,084 - 0,7 \times (380,084 - 293) = 319,125$$

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{319,125 + 15 + 0,045 \times 720}{1 + 0,045} = 350,742$$

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0,21 - 0,004 = 0,206$$

$$P_a = 0,97 \times P_s = 0,97 \times 0,206 = 0,2$$

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \phi_n) = \frac{17,5}{17,5 - 1} \times \frac{0,2}{0,206} \times \frac{319,125}{350,742} \times \frac{1}{1 + 0,045} \times (1 - 0) = 0,896$$

Розрахунок процесу стиску

$$n_l = 1,359$$

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_l} = 0,2 \times 17,5^{1,359} = 9,77$$

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_l - 1} = 350,742 \times 17,5^{1,359 - 1} = 979,924$$

Розрахунок процесу згоряння

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1,86}{0,21} \times \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} + \frac{0}{32} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,92$$

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,126 + 0,004}{32 \times 0,92} = 1,0344$$

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,0344 + 0,045}{1 + 0,045} = 1,0329$$

$$x_z = \frac{\xi_z}{\xi_b} = \frac{0,9}{0,92} = 0,978$$

$$\beta_z = 1 + \left(\frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \times x_z = 1 + \left(\frac{1,0344 - 1}{1 + 0,045} \right) \times 0,978 = 1,032$$

$$\frac{\xi_z \times Q_h}{\alpha \times L_0} + [c_v' + 8,314 \times \lambda + \gamma_r \times (c_v'' + 8,314 \times \lambda)] \times T_c = \beta_z \times (1 + \gamma_r) \times c_{pz}'' \times T_z$$

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

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

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

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

$$T_z = 1981$$

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,1 \times 9,77 = 10,747$$

Розрахунок процесу розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,032}{1,1} \times \frac{1981}{979,924} = 1,897$$

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{17,5}{1,897} = 9,224$$

$$n_2 = 1,274$$

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2-1}} = 1981 \times \frac{1}{9,224^{1,274-1}} = 1077$$

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{10,747}{9,224^{1,274}} = 0,633$$

Визначення індикаторних показників

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

$$= \frac{10,747}{17,5 - 1} \times \left[1,1 \times (1,897 - 1) + \frac{1,1 \times 1,897}{1,274 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{9,224^{1,274-1}} \right) - \frac{1}{1,359 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{17,5^{1,359-1}} \right) \right] = 1,581$$

$$P_i = P'_i \times \zeta \times (1 - \phi_n) = 1,581 \times 0,97 \times (1 - 0) = 1,565$$

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_n}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,206 \times 0,896}{1,86 \times 0,495 \times 319,125 \times 1,565} = 0,174$$

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_n} = \frac{3600}{0,174 \times 42700} = 0,485$$

Визначення ефективних показників

$$P_e = P_i \times \eta_m = 1,565 \times 0,89 = 1,393$$

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,485 \times 0,89 = 0,432$$

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,174}{0,89} = 0,1952$$

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,085^2 \times 0,094 \times 0,5 \times 1,393 \times 3500 \times 6 = 130,144$$

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{130,144 - 130}{130,144} = 0,111\%$$

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$R = 287 \text{ Дж/кг*К}$$

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

$$= \left(\frac{3,14 \times 0,085^2}{4} \right) \times 0,094 \times \left(\frac{0,206 \times 10^6}{287 \times 319,125} \right) \times 0,896 \times 6 \times 0,5 \times \left(\frac{3500}{60} \right) \times 1 = 0,197$$

$$G_t = G + g_e \times \frac{N_e}{3600} = 0,197 + 0,195 \times \frac{130}{3600} = 0,205$$

$$P_r = \psi_t \times P_k = 0,8 \times 0,21 = 0,168$$

$$T_t = T_b \times \left(\frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{n_2-1}{n_2}} = 1077 \times \left(\frac{0,168}{0,633} \right)^{\frac{1,274-1}{1,274}} = 809,474$$

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

$$= \left(\frac{0,87}{12} \right) + \left(\frac{0,126}{2} \right) + [0,21 \times (1,86 - 1) \times 0,495] + (0,79 \times 1,86 \times 0,495) = 0,952$$

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

$$= \frac{1}{\frac{0,873}{12 \times 0,952 \times 189} + \frac{0,125}{2 \times 0,952 \times 461,6} + \frac{0,21 \times (1,86 - 1) \times 0,495}{0,952 \times 259,8} + \frac{0,79 \times 1,86 \times 0,495}{0,952 \times 296,8}} = 287,27$$

$$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \times T_t) + 8,314}{a_{vb} + b_b \times T_t} = \frac{(19,933 + 0,003 \times 809,474) + 8,314}{19,933 + 0,003 \times 809,474} = 1,37$$

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
 \Pi_k &= \left[1 + \frac{\left(\frac{k_t}{k_t - 1} \right) \times R_t \times T_t \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{P_r}{P_0} \right)^{\frac{k_t - 1}{k_t}}} \right] \times \eta_{t.m} \times \eta_{t.ad} \times G_t}{G \times R \times T_0 \times \left(\frac{k_g}{k_g - 1} \right) \times \frac{1}{\eta_{k.ad}}} \right]^{\frac{1}{0,286}} \\
 &= \left[1 + \frac{\left(\frac{1,37}{1,37 - 1} \right) \times 287,27 \times 809,474 \times \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{0,168}{0,1013} \right)^{\frac{1,37 - 1}{1,37}}} \right] \times 0,96 \times 0,8 \times 0,205}{0,197 \times 287 \times 293 \times \left(\frac{1,4}{1,4 - 1} \right) \times \frac{1}{0,78}} \right]^{\frac{1}{0,286}} = 2,081
 \end{aligned}$$

$$P_{kd} = \Pi_k \times P_0 = 2,081 \times 0,1013 = 0,2108$$

$$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}} \times 100\% = \frac{0,2108 - 0,21}{0,2108} = 0,395\%$$

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

Розрахунок паливної системи двигуна

№	Параметр	Формула	Значення
1	Добовий запас палива, кг/доб	$G_n = 24 \cdot K_m \cdot g_e \cdot N_e$	669,24
	Питома ефективна витрата палива, кг/кВт·год	g_e	0,195
	Номінальна потужність двигуна, кВт	N_e	130
	Коефіцієнт запасу, який враховує можливе збільшення витрати палива	$K_m = 1,1 \dots 1,2$	1,10

2	Місткість випратної цистерни, м ³	$V = \frac{G_n}{\rho_n} \cdot K_1 \cdot K_2$	0,84
	Щільність палива при максимальній температурі в секції, кг/м ³	ρ_n	850,00
	Коефіцієнт захаращення цистерни елементами конструкції	$K_1 = 1,01 \dots 1,05$	1,03
	Коефіцієнт, що враховує мертвий об'єм цистерни	$K_2 = 1,03 \dots 1,05$	1,04
3	Продуктивність паливopідкачуального насоса, м ³ /год	$W_{nn} = \frac{K_3 \cdot g_e \cdot N_e}{\rho_n}$	0,06
	Коефіцієнт запаса подачі палива	$K_3 = 1,5 \dots 2,0$	2,00
4	Потужність привода паливopідкачуального насоса, кВт	$N_{nn} = \frac{W_{nn} \cdot K_4 \cdot p \cdot 10^3}{3600 \cdot \eta_{nn}}$	0,02
	Тиск нагнітання палива, МПа	p	0,50
	Коефіцієнт запаса потужності	$K_4 = 1,1 \dots 1,5$	1,30
	ККД поршневих паливopідкачувальних насосів	$\eta = 0,6 \dots 0,7$	0,70
5	Площа поверхонь фільтруючих елементів, м ²	$F_\phi = \frac{W_{nn}}{3600 \cdot v_m \cdot K_{жп}}$	0,00
	Швидкість фільтрації, м/с	$v_m = 0,02 \dots 0,05$	0,04
	Коефіцієнт живого перетину	$K_{жп} = 0,2 \dots 0,3$	0,30
6	Пропускна здатність сепаратора, м ³ /год	$W_{cen} = \frac{B_{дооб}}{\rho_n \cdot n \cdot \tau}$	0,04
	Добова витрата палива, кг/доб	$B_{дооб} = 24 \cdot g_e \cdot N_e$	608,40
	Кількість сепараторів	$n = 1 \dots 4$	2
	Час роботи сепаратора, год	$\tau = 8 \dots 12$	10
7	Теплообмінна поверхня підігрівача палива в цистерні сепаратора, м ²	$F_{nn} = \frac{W_{cen} \cdot C_m \cdot (t_2 - t_1) \cdot \rho_n}{k \cdot \Delta t \cdot \eta_3}$	0,11
	Теплоємність палива, кДж/кг·К	C_m	1,90
	Температура палива, що поступає в сепаратора, °С	t_2	80,00
	Температура, при якій зберігається паливо, °С	t_1	40,00
	Коефіцієнт теплопередачі	k	500,00
	Коефіцієнт, що враховує забруднення підігрівача	η_3	0,70
	Середня різниця температур між насиченою парою і паливом, °С	$\Delta t = t_3 - \frac{t_2 + t_1}{2}$	60,00
	Температура насиченої пари, що поступає в підігрівач, °С	t_3	120,00
8	Потужність електричних підігрівачів, кВт	$N_{nn} = \frac{W_{cen} \cdot C_m \cdot (t_2 - t_1) \cdot \rho_n}{860 \cdot \eta_3}$	3,84
9	Хід плунжера ПНВГ, мм	$h_r = 1 \dots 1,5 \cdot d_r$	9,80
		приймаємо	10,00
10	Діаметр плунжера, мм	$d_r = 16,9 \cdot g_{u \max}^{0,303}$	6,83
		приймаємо	7,00
		$d_r = 35 + 0,04 \cdot (g_{u \max} - 10)$	
	Максимальна циклова подача палива, г/цикл	$g_{u \max} = 1,25 \cdot \frac{g_e \cdot (N_e / i)}{60 \cdot n \cdot z}$	0,05
	Кількість циліндрів	i	6,00
	Частота обертання, об/хв	n	3500,00
	Коефіцієнт тактності	z	0,50

11	Внутрішній діаметр паливопроводу високого тиску, мм	2 при $d_r < 10$ мм 2,5-2,6 при $d_r = 11 \dots 14$ мм 3 при $d_r = 15 \dots 20$ мм $3 + 0,218(d_r - 20)$ при $d_r > 20$ мм	2,00
		приймасмо	2,00
12	Діаметр одного соплового отвору, мм	0,25 при $D < 100$ мм 0,3 при $D = 105 \dots 200$ мм 0,35 при $D = 205 \dots 250$ мм $+ 0,0012(D - 250)$ при $D > 250$ мм	0,25
		приймасмо	0,30
	Діаметр циліндра, мм	D	85,00
13	Кількість соплових отворів	$i_c = 4 \dots 8$	6,00
14	Довжина соплового отвору, мм	$l_c = (3 \dots 4) \cdot d_c$	1,80

Розробка форсунок з ультразвуковим випромінювачем

Відома гідродинамічна форсунка фірми Robert Bosch GmbH, яка містить складений корпус, розпилювач з голкою, проставку з прецизійними торцями, один торець якої контактує з голкою розпилювача, а в інший торець натягнута коротка штанга - тарілка, і разом піджаті пружиною в сторону голки розпилювача. Силу попереднього затягування пружини в сторону голки розпилювача регулюють підбором комплекта шайб. Запобіжні фільтри встановлюють на вході в форсунку.

Недоліком цієї форсунки є неможливість дрібнодисперсного і рівномірного розпилювання палива протягом всього терміну експлуатації форсунки через утворення сіро-парафінових і інших паливних відкладень на робочих поверхнях механізмів форсунки.

Форсунка зі штангою ЯЗДА містить складений корпус з паливним каналом високого тиску, розпилювач з голкою, розміщений на цьому корпусі і утворюючий з торцем форсунки безпрокладочне прецизійне герметичне з'єднання, штангу, проставку з прецизійними торцями, одним торцем контактує з голкою, а іншим - з піджатою пружиною в сторону голки розпилювача.

Піджата пружина діє на голку через штангу і проставку, розміщені в глухому каналі, який виходить до голки розпилювача і служить одночасно для

розміщення пружини розпилювача форсунки. На вході в форсунку встановлюється запобіжний фільтр, призначений для відсіву з палива частинок стружки, окалин, фільтруючих матеріалів і випадкових забруднень, які потрапили в паливо. Паливо від паливного насоса високого тиску (ПНВТ) під тиском надходить в кільцеве сопло, і паливо розпилюється в камеру згоряння. При зниженні тиску в розпилювачі голка закриває сопло.

Недоліком такої форсунки є необхідність виготовлення з високою точністю всіх прецизійних деталей форсунки і неможливість дрібнодисперсного і рівномірного розпилювання палива протягом всього терміну експлуатації форсунки через утворення сіро-парафінових і інших паливних відкладень на робочих поверхнях механізмів форсунки. Іншим недоліком при утворенні відкладень на робочих поверхнях форсунки є зменшення діапазону регулювання витрати палива на виході сопла.

Виходячи з вищевикладеного завданням кваліфікаційної роботи є підвищення точності управління процесом впорскування палива в камеру згоряння, а саме забезпечення дрібнодисперсного і рівномірного розпилю палива з заданим діапазоном розмірів крапель протягом всього терміну експлуатації форсунки і розширення її функціональних можливостей (підтримання сталості характеристик розпилю при використанні різноманітних палив).

Поставлене завдання досягається тим, що на відміну від штатної форсунки в верхній частині корпусу форсунки навпроти паливного каналу високого тиску, поруч зі штуцером підведення палива закріплений ультразвуковий випромінювач, розміщений всередині циліндричної втулки і складається з ультразвукової накладки з концентруючим випромінювачем і механізмом кріплення, кільця ущільнювача, ультразвукового перетворювача на п'єзоелементах, відбиваючий накладки з гайкою для кріплення, п'єзоелектричного перетворювача для зворотного зв'язку з плоскими шайбами і гайкою для кріплення, причому ультразвукової перетворювач на

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

п'єзoeлементaх і п'єзoeлектричний перетворювач електрично з'єднані гнучкою проводкою з клемою, з'єднаної з електронним блоком управління двигуном і розташованої в торці втулки, механізм кріплення містить закріплювальну втулку і ущільнююче кільце, які механічно фіксують ультразвукову накладку з концентруючим випромінювачем всередині циліндричної втулки.

Технічна сутність розробки пояснюються кресленнями (рис. 3.2 і рис. 3.3). На рис. 3.2 зображений загальний вид в розрізі пропонованої форсунки, а на рис. 3.3 показані розрізи А-А і Б-Б

Пропонована паливна форсунка для двигуна 6ЧН 8,5/9,4 складається (див. рис. 3.2) з корпусу 1 з закріпленим на ньому розпилювачем 3 з голкою 2. Штанга 5 з боку проставки з прецизійними торцями контактує з голкою 2.

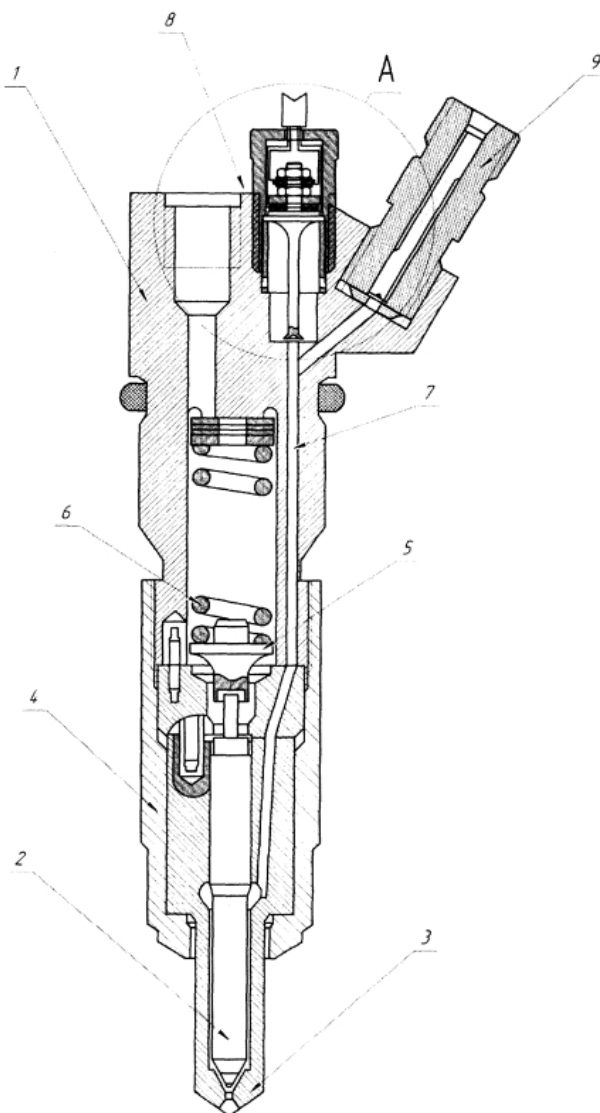


Рисунок 3.2 – Форсунка з ультразвуковим випромінювачем

Між проставкою штанги 5 і корпусом форсунки 1 встановлена пружина замикання 6 голки розпилювача 3. При роботі форсунки паливо подається через штуцер 9 з фільтром по каналу 7 високого тиску в порожнину розпилювача. Навпроти паливного каналу 7 високого тиску, поруч зі штуцером 9 закріплений ультразвуковий випромінювач 8.

Конструктивно ультразвуковий випромінювач (рис. 3.3) збирається в циліндричній втулці 10 з зовнішньою і внутрішньою дрібною різьбою і з хвостовиком для ключа.

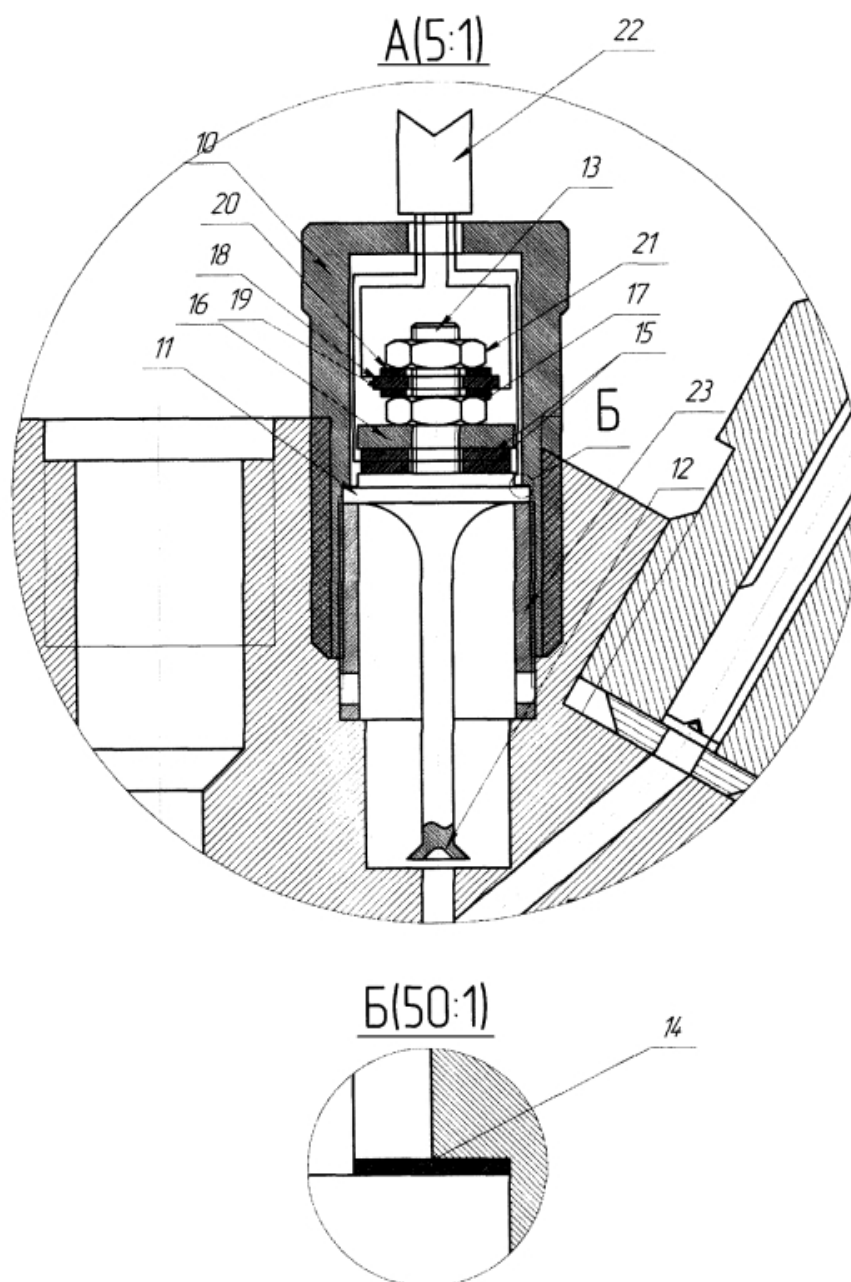


Рисунок 3.3 – Розміщення ультразвукового випромінювача

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

Він складається з: ультразвукова накладка 11 з концентруючим випромінювачем 12 і механізмом кріплення 13; ущільнююче кільце 14; ультразвуковий перетворювач на п'єзoeлементах 15; відбиваюча накладка 16 з гайкою 17; п'єзoeлектричний перетворювач 18 для зворотного зв'язку з плоскими шайбами 19, 20 і гайкою 21. Ультразвуковий перетворювач 15 і п'єзoeлектричний перетворювач 18 електрично з'єднані гнучкою проводкою з клемою 22, з'єднаної з електронним блоком управління двигуном і розташованої в торці втулки 10. Закріплювальна втулка 23 із зовнішньою різьбою і хвостовиком для ключа і ущільнююче кільце 14 механічно фіксують ультразвукову накладку 11 з концентруючим випромінювачем 12 всередині циліндричної втулки 10.

Ультразвуковий випромінювач збирається всередині циліндричної втулки 10 в наступній послідовності. В механізм кріплення 13 ультразвукової накладки 11 послідовно один за одним встановлюється ущільнююче металеве кільце 14, ультразвуковий п'єзоперетворювач 15, відбиваюча накладка 16, далі за допомогою гайки 17 ці елементи стягуються з необхідним (заданим) зусиллям. Для формування різних алгоритмів управління ультразвуковим п'єзоперетворювачем 15 поверх гайки 17 послідовно один за одним встановлюється плоска шайба 19, п'єзoeлектричний перетворювач для зворотного зв'язку 18, плоска шайба 20, і за допомогою гайки 21 ці елементи також стягуються з необхідним (заданим) зусиллям в закінчену конструкцію ультразвукового випромінювача. Циліндрична втулка 10, співвісно паливному каналу 8 високого тиску і поруч з вхідним штуцером подачі палива, ввертається в корпус форсунки.

Принципи роботи паливної форсунки у наступному: закріплений на торці форсунки ультразвуковий випромінювач не змінює існуючі принципи роботи форсунок, його завдання - генерування пружних ультразвукових хвиль в каналах розпилювача, з метою забезпечення дрібнодисперсного і рівномірного розпилу палива з заданим діапазоном розмірів крапель протягом

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

всього терміну експлуатації форсунки і розширення її функціональних можливостей (підтримка сталості характеристик розпилю при використанні палива з різними вязкостями).

Таке виконання форсунки забезпечує пульсацію ходу і розрідження палива в паливному каналі високого тиску і розпилювачі, що призводить до збільшення її поверхневої енергії і більш тонкому її дроблення. Ультразвуковий випромінювач 8 в паливному каналі 7 високого тиску генерує пружні ультразвукові хвилі і утворює кавітаційні бульбашки, що руйнує на робочих поверхнях каналу паливопроводу і механізмах розпилювача тверді і рідко-тверді сіро-парафінові та інші паливні відкладення. Завдяки цьому геометричні розміри і чистота робочих поверхонь форсунки залишаються заданими заводськими і не зміняться протягом усього періоду експлуатації форсунки. Крім того, генеруючі ультразвукові хвилі з кавітаційними бульбашками розріджують паливо, завдяки чому відбувається краще дрібнодисперсне розпилювання палива на носику форсунки, що забезпечує стабільність термодинамічних процесів горіння в камерах згоряння. Все це збільшує ККД двигуна і покращує запуск двигуна в умовах низьких температур, наприклад в холодну зимову пору.

Згідно з літературних даних реалізація даної форсунки з ультразвуковим випромінювачем дозволить знизити питому ефективну витрату палива для двигуна 6ЧН 8,5/9,4 на 1 % - з 195 г/(кВт×год) до 193 г/(кВт×год).

					<i>КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

У роботі модернізації піддалася паливна система двигуна, а саме використання форсунок з ультразвуковим випромінювачем.

При цьому головними вихідними даними є:

- двигун марки 6ЧН 8,5/9,4 вартістю \$ 0,037 млн.;
- питома витрата палива базового двигуна – 195 г/(кВт×год), та питома витрата палива при роботі з модернізованими форсунками 193 г/(кВт×год) (розділ 3).

Визначення додаткових інвестицій на впровадження нововведень

Оптова ціна судна після його модернізації за рахунок удосконалення елементів СЕУ визначається по формулі:

$$C_n = C_0 - \sum_{i=1}^m C_{0i} + \sum_{j=1}^n C_{nj},$$

де C_0 , C_n – оптова ціна двигуна до і після модернізації (тобто базового і нового варіантів) \$;

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

C_{nj} – сумарна ціна нових агрегатів та вузлів ($C_{nj} = 600$ \$);

m – кількість агрегатів СЕУ, що модернізуються (у нашому випадку $m=1,0$);

n – кількість нових агрегатів СЕУ (у нашому випадку $n=1,0$).

Оптова ціна базового двигуно приймається за даними заводу-будівника. У нашому випадку $C_0 = 37000$ \$;

$$C_n = 37000 - 0 + 600 = 37600\$$$

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:

					<i>KPM.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		47

$$K_{\partial n} = \sum_{j=1}^n C_{nj} - \sum_{i=1}^m C_{\partial i}.$$

$$K_{\partial n} = 600 \times 1 - 0 \times 1 = 600 \$$$

Для розрахунку вкладень на модернізацію використовуємо узагальнені показники, якими являються робоча година на виконання та вартість 1-го нормочасу даних робіт, у залежності від їх складності, яка для України в середньому складає близько 41 грн., або 10 \$ (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 (К _в), \$
Монтаж системи	2	45	90
Налаштування пристроїв	1	85	85
Випробування двигуна	2	50	100
Регулювання елементів системи	2	60	120
Всього	7	-	395

Таким чином, додаткові інвестиції складуть величину:

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

$$K_{\partial} = 600 + 395 = 995 \$.$$

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_{∂} . Розраховуються по формулі:

$$B_{ам} = 20/100 \times K_{\partial}$$

$$B_{ам} = 20/100 \times 995 = 199 \$.$$

Витрати на паливо-мастильні матеріали, так звані змінні, розраховуються з урахуванням витрат палива на ходу для головного двигуна при 100 % навантаженні.

При роботі базового двигуна:

$$B_{нал(Б)} = N \times g_e \times T_e \times B_n \times n$$

де N – потужність двигуна (для базового двигуна при 100% навантаженні – 130 кВт) (розділ 3.1.3);

g_e – питома витрата палива двигуна (для базового двигуна при 100% навантаженні – 0,195 кг/(кВт×год)) (розділ 3);

T_e – години роботи двигуна при повному навантаженні в рік, год (для базового двигуна – 3000) (розділ 1);

B_n – вартість 1 кг палива, \$, (1) [8];

T_e – кількість двигунів, шт (розділ 1).

$$B_{нал(Б)} = 130 \times 0,195 \times 3000 \times 1 = 76050,00 \$.$$

При роботі модернізованого двигуна:

$$B_{нал(М)} = N \times g_e^I \times T_e \times B_n \times n$$

де g_e^I – питома витрата важкого палива при роботі з модернізованими форсунками (0,193 кг/(кВт×год)) (розділ 3);

$$B_{нал(М)} = 130 \times 0,193 \times 3000 \times 1 = 75270,00 \$.$$

Додатковий економічний ефект від зменшення витрат палива виникає в результаті економії витрат на його завантаження, контроль, зберігання та роботу паливних насосів для транспортування.

Витрати на мастильні матеріали, \$ рік:

$$B_{мм} = B_{нал} \times 0,2\%$$

$$B_{мм(Б)} = B_{нал(Б)} \times 0,2\% = 76050 \times 0,2\% = 152,1 \$$$

$$B_{мм(М)} = B_{нал(М)} \times 0,2\% = 75270,0 \times 0,2\% = 150,54 \$.$$

Результаті розрахунків занесемо до таблиці 4.2.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку експлуатаційних витрат, \$

Стаття витрат	Базове рішення	Нове рішення	Відхилення
Амортизаційні відрахування $B_{ам}$	—	381,00	199,00
Витрати на паливо $B_{пал}$	76050,00	75270,00	780,00
Витрати на мастило $B_{мм}$	152,10	150,54	1,56
Всього	76202,1	75801,54	582,56

Обчислення техніко-економічних показників

Загальний балансовий річний прибуток $\Pi_б$ розраховують за формулою:

$$E_p = \Delta B - E_n \times K_о$$

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

$$E_p = ((76050,00 + 152,10) - (75270,00 + 150,54)) - 0,2 \times 1905 = 582,56 \$$$

Чистий прибуток ($\Pi_ч$) визначається як різниця між балансовим прибутком ($\Pi_б$) та податком на прибуток:

$$\Pi_ч = \Pi_б - (0,18 \times \Pi_б) = 0,82 \times \Pi_б$$

$$\Pi_ч = 0,82 \times 582,56 = 477,70 \$$$

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

$$T_{ок} = K_о / \Pi_ч$$

$$T_{ок} = 995 / 477,70 = 2,08 \text{ року}$$

Таким чином, запропоновані в проекті заходи дозволяють отримати близько 478 \$ на рік чистого прибутку в основному, за рахунок економії палива. Термін окупності запропонованих рішень становить 2,08 року або 760 днів.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Машинне відділення судна є однією з найважливіших та водночас найнебезпечніших зон на борту. Висока температура, шум, вібрація, робота з паливно-мастильними матеріалами, а також можливість виникнення аварійних ситуацій створюють значні ризики для здоров'я та безпеки персоналу. Тому забезпечення вимог охорони праці є ключовим завданням для забезпечення безпечних умов роботи [9].

Основні ризики в машинному відділенні

Температурний фактор:

У машинному відділенні працюють різноманітні механізми, які виділяють значну кількість тепла. Висока температура може спричинити теплове перенавантаження персоналу.

Шум і вібрація:

Робота двигунів, насосів і допоміжних механізмів супроводжується високим рівнем шуму та вібрації, що може викликати професійні захворювання, зокрема втрату слуху та порушення опорно-рухового апарату.

Робота з небезпечними речовинами:

У машинному відділенні широко використовуються паливо, мастильні матеріали та хімічні реагенти, які можуть бути токсичними, легкозаймистими або корозійними.

Пожежо- та вибухонебезпека:

Високі температури, паливо та наявність відкритих джерел полум'я створюють ризик виникнення пожеж та вибухів.

Фізичні травми:

Робота з важким обладнанням, інструментами та механізмами може призвести до травм, таких як порізи, опіки або удари.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Вимоги охорони праці в машинному відділенні

Організація безпечного робочого середовища:

Організація безпечного робочого середовища в машинному відділенні судна є однією з найважливіших складових забезпечення охорони праці. Машинне відділення є зоною підвищеного ризику через високу температуру, шум, вібрації, наявність небезпечних речовин і складне технічне обладнання. Впровадження систематичних заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків, є обов'язковою умовою для забезпечення здоров'я та безпеки персоналу [10].

Основні аспекти організації безпечного робочого середовища

1. Вентиляція і контроль температури:

- Установлення ефективних систем вентиляції для забезпечення циркуляції свіжого повітря та видалення шкідливих парів і газів.
- Контроль рівня температури в приміщенні за допомогою систем моніторингу та охолодження для створення комфортних умов праці.

2. Освітлення:

- Забезпечення достатнього рівня освітлення в усіх робочих зонах машинного відділення.
- Використання вибухобезпечних світильників у зонах з підвищеною пожежонебезпекою.

3. Шумоізоляція і зменшення вібрацій:

- Використання шумоізоляційних матеріалів для зниження рівня шуму від роботи обладнання.
- Регулярне обслуговування механізмів для зменшення вібрацій і запобігання їхньому негативному впливу на працівників.

4. Маркування і знаки безпеки:

- Установлення чітких знаків безпеки в усіх зонах машинного відділення.

					<i>KPM.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- о Позначення небезпечних зон та інструкцій щодо поводження з обладнанням і матеріалами.

5. Організація робочих місць:

- о Розміщення інструментів і обладнання у визначених місцях для запобігання їхньому падінню чи травмам працівників.
- о Забезпечення доступу до аварійних виходів і першочергового обладнання для гасіння пожеж.

Захист від шуму та вібрації:

Постійний вплив шуму від двигунів, насосів, генераторів та інших механізмів, а також вібрації від їхньої роботи може призвести до серйозних професійних захворювань, таких як втрата слуху, порушення нервової системи чи опорно-рухового апарату.

Основні джерела шуму та вібрації в машинному відділенні

1. Головні двигуни:

- о Основне джерело шуму і вібрації через їхню високу потужність і роботу на високих обертах.

2. Допоміжні механізми:

- о Насоси, компресори, генератори створюють постійний механічний шум.

3. Системи вентиляції:

- о Робота вентиляторів і повітряних потоків також додає до загального шумового фону.

4. Робота з інструментами:

- о Використання ударних та вібраційних інструментів створює додаткове вібраційне навантаження.

Заходи захисту від шуму

1. Технічні заходи:

- о Звукоізоляція: Використання шумоізоляційних матеріалів на стінах, підлозі та стелі машинного відділення.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- о Глушники: Установка глушників на вихлопні системи двигунів і вентиляційне обладнання.
- о Віброізоляція: Встановлення двигунів і механізмів на амортизаційні платформи для зниження передачі шуму через корпус.
- о Регулярне технічне обслуговування: Своєчасна діагностика та усунення несправностей у механізмах для зменшення рівня шуму.

2. Організаційні заходи:

- о Обмеження часу роботи в шумних зонах: Встановлення графіка роботи з перервами для зниження впливу шуму.
- о Контроль шумових параметрів: Регулярний моніторинг рівня шуму за допомогою спеціальних приладів.

3. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- о Використання звукоізолюючих навушників або берушів для захисту слуху.
- о Надання працівникам спеціального захисного спорядження на основі результатів замірів шуму.

Робота з небезпечними речовинами:

Паливо, мастильні матеріали, хімічні реагенти, охолоджувальні рідини та інші речовини можуть бути токсичними, легкозаймистими чи корозійними. Забезпечення належного рівня охорони праці під час роботи з такими матеріалами є ключовим завданням для збереження здоров'я та безпеки персоналу.

Основні ризики під час роботи з небезпечними речовинами

Токсичність:

Вплив шкідливих випарів і парів, які можуть викликати отруєння або хронічні захворювання дихальної системи.

Легкозаймистість:

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Використання палива та мастил створює ризик займання або вибуху за неналежних умов зберігання та використання.

Корозійна дія:

Деякі хімічні реагенти можуть пошкоджувати обладнання чи спричиняти опіки шкіри та слизових оболонок.

Неправильне поводження:

Невідповідне транспортування, зберігання або утилізація небезпечних речовин може призвести до аварій чи забруднення навколишнього середовища.

Пожежна безпека:

Забезпечення пожежної безпеки є критично важливим для захисту життя працівників, обладнання та самого судна. Виконання вимог охорони праці, пов'язаних із пожежною безпекою, є ключовим завданням для запобігання аварійним ситуаціям.

Основні ризики виникнення пожеж у машинному відділенні

1. Наявність горючих речовин:
 - о Паливо, мастильні матеріали та інші хімічні речовини можуть легко займатися при контакті з джерелами тепла або іскрою.
2. Високі температури:
 - о Робота двигунів та іншого обладнання створює підвищені температури, які можуть стати причиною самозаймання горючих матеріалів.
3. Електричні несправності:
 - о Коротке замикання, перевантаження електричних систем або пошкодження ізоляції можуть спричинити пожежу.
4. Недостатнє обслуговування обладнання:
 - о Зношені або забруднені компоненти, такі як фільтри чи трубопроводи, можуть сприяти витоку горючих речовин і підвищенню ризику пожежі.

Вимоги до пожежної безпеки в машинному відділенні

1. Організаційні заходи:
 - о Розробка інструкцій і процедур щодо пожежної безпеки.
 - о Проведення регулярних інструктажів і навчань для персоналу про дії у разі пожежі.
 - о Встановлення чіткої системи маркування аварійних виходів і місць розташування засобів пожежогасіння.
2. Системи раннього виявлення пожежі:
 - о Установка датчиків диму, температури та полум'я для раннього виявлення загорянь.
 - о Інтеграція систем моніторингу з аварійними сигналізаціями для оповіщення екіпажу.
3. Системи пожежогасіння:
 - о Оснащення машинного відділення автоматичними системами пожежогасіння (CO₂, порошкові чи водяні спринклери).
 - о Установка переносних вогнегасників у легкодоступних місцях.
 - о Забезпечення аварійних кнопок для відключення обладнання та припинення подачі палива в разі загоряння.
4. Профілактика загорянь:
 - о Регулярне технічне обслуговування двигунів, насосів і трубопроводів для запобігання витoku палива або мастил.
 - о Очищення фільтрів і вентиляційних систем для зниження ризику накопичення займистих матеріалів.
 - о Контроль стану електропроводки та заміна пошкоджених елементів.
5. Організація безпечного середовища:
 - о Заборона використання відкритого полум'я або джерел іскри в машинному відділенні.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- о Встановлення нековзких покриттів і поручнів для безпечної евакуації.

6. Евакуація та дії у разі пожежі:

- о Встановлення чітких планів евакуації для персоналу.
- о Регулярне проведення тренувань з евакуації та використання засобів пожежогасіння.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) для пожежної безпеки

1. Теплозахисний одяг:

- о Надання персоналу вогнетривких комбінезонів, рукавичок і взуття для роботи в зоні підвищеного ризику.

2. Засоби захисту органів дихання:

- о Використання протигазів або дихальних апаратів у разі задимлення.

3. Захисні окуляри та каски:

- о Забезпечення персоналу засобами захисту для мінімізації ризику отримання травм.

Контроль і моніторинг пожежної безпеки

1. Регулярні перевірки:

- о Проведення інспекцій стану пожежної сигналізації, систем гасіння та засобів захисту.

2. Аудит пожежної безпеки:

- о Оцінка дотримання вимог пожежної безпеки та розробка заходів для їхнього покращення.

3. Документування інцидентів:

- о Ведення журналу інцидентів для аналізу та запобігання повторення подібних ситуацій.

Зниження ризику травматизму:

Робота з важким обладнанням, висока температура, обмежений простір і складні умови експлуатації збільшують імовірність виникнення нещасних

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

випадків. Зниження ризику травматизму є ключовою вимогою охорони праці, яка спрямована на захист життя і здоров'я працівників.

Основні ризики травматизму

1. Фізичні травми:
 - о Порізи, удари, опіки, викликані контактом з гарячими поверхнями, гострими краями або рухомими частинами обладнання.
2. Падіння та ковзання:
 - о Ризик падіння через слизькі поверхні, обмежений простір або відсутність поручнів.
3. Механічні ушкодження:
 - о Травми через неналежну роботу або збої в обладнанні.
4. Неправильне використання інструментів:
 - о Ризик отримання травм через некоректне застосування інструментів або відсутність навичок у працівників.

Основні заходи зі зниження ризику травматизму

1. Організація безпечного робочого середовища:
 - о Забезпечення чистоти та порядку в машинному відділенні для уникнення перешкод.
 - о Установка поручнів, нековзних покриттів і знаків безпеки в усіх небезпечних зонах.
2. Технічні заходи:
 - о Оснащення обладнання захисними кожухами, які запобігають контакту з рухомими частинами.
 - о Регулярне технічне обслуговування механізмів для зменшення ризику несправностей.
 - о Установка аварійних кнопок для швидкого зупинення роботи обладнання.
3. Навчання та інструктаж:

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- о Проведення регулярного навчання персоналу з техніки безпеки та правильного використання обладнання.

- о Інструктаж перед початком робіт у нових або небезпечних умовах.

4. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- о Забезпечення працівників спеціальним одягом, взуттям із захистом від ковзання, рукавичками, захисними окулярами та касками.

- о Використання термостійкого одягу під час роботи з гарячим обладнанням.

5. Контроль фізичного стану працівників:

- о Регулярні медичні огляди для оцінки здатності працівників виконувати свої обов'язки в умовах підвищеного ризику.

- о Забезпечення працівників перервами для відпочинку та відновлення сил.

6. Організація роботи:

- о Встановлення змінного графіка роботи для запобігання перевтомі.

- о Ротація персоналу для зменшення впливу шкідливих факторів.

Системи моніторингу та контролю

1) *Системи автоматичного контролю:*

Установка датчиків температури, тиску, рівня вібрації та концентрації газів для своєчасного виявлення небезпеки.

Інтеграція цих систем із центральним пультом керування.

2) *Регулярні перевірки та технічне обслуговування:*

Проведення планових інспекцій стану обладнання.

Вчасне виявлення зношених деталей та їх заміна.

3) *Журнали обліку інцидентів:*

Ведення документації про всі аварійні ситуації, що виникли, та їх аналіз для розробки запобіжних заходів.

Психологічний і фізичний комфорт персоналу

1) *Рациональний розклад роботи:*

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Встановлення змінного графіка для запобігання перенавантаженням.

Забезпечення перерв для відпочинку та відновлення сил.

2) Медичний нагляд:

Регулярні медичні огляди працівників для виявлення професійних захворювань.

Надання доступу до засобів першої допомоги.

3) Навчання та мотивація:

Постійне підвищення кваліфікації персоналу в галузі охорони праці.

Впровадження системи заохочення за дотримання норм безпеки.

Забезпечення вимог охорони праці в машинному відділенні судна є складним, але вкрай важливим завданням. Комплексний підхід, який включає використання сучасних технічних рішень, навчання персоналу та створення комфортних умов праці, дозволяє мінімізувати ризики для здоров'я та життя працівників. Ефективна організація заходів з охорони праці не лише підвищує безпеку, але й сприяє зростанню продуктивності та надійності експлуатації судна.

					<i>КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Згідно із завданням кафедри виконано дослідження дизельного двигуна 6ЧН 8,5/9,4 потужністю 130 кВт для катеру з модернізацією паливних форсунок

Було проаналізовано конструктивні особливості чотиритактного двигуна 6ЧН 8,5/9,4, проведено аналіз сучасних напрямків модернізації паливної апаратури високообертових двигунів. В результаті проведеного аналізу було встановлено, що одним з перспективних способів є використання форсунок з ультразвуковим випромінювачем. Це дозволяє покращити не тільки економічні, але і екологічні показники двигуна.

При розробці двигуна було проведено розрахунок робочого циклу, розрахунок паливної системи та економічній розрахунок, який показав доцільність модернізації.

В розділі охорони праці розглянуті питання забезпечення вимог охорони праці в машинному відділенні катера.

					КРМ.142.6221мз.24.12.00.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Significant small ships of 2013. The Royal Institution of Naval Architects, 2013. pp. 60 - 61.
2. SteyrMotors. Project guide, 2016. 125 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. <https://shipandbunker.com/prices>.
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.142.6221мз.24.12.00.ПЗ</i>	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		