

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
Гогоренко О. А.


« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

РОЗРАХУНОК СУДНОВОГО ДВИГУНА

ТИПУ 9CH32/40 (MAN 9L32/40)

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



А. Ю. Проскурін

Здобувач освіти



О. Є. Бондарець

Миколаїв 2025

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ
О. А. Гогоренко

« » 20 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Бондарець Олександр Євгенович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розрахунок суднового двигуна типу 9ЧН32/40 (MAN 9L32/40)*

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 прототип – 9ЧН32/40 (MAN 9L32/40),
потужність двигуна – 4500 кВт; частота обертання колінчатого валу – 750 хв⁻¹;
паливо – дизельне

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис конструкції двигуна 9ЧН32/40; Розрахунок робочого циклу та динамічних зусиль двигуна 9ЧН32/40; Розробка системи змащення двигуна 9ЧН32/40; Забезпечення вимог охорони праці

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Поперечний переріз двигуна 9ЧН32/40; Індикаторна діаграма та діаграми
динаміки; Система змащення двигуна 9ЧН32/40

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		

Здобувач освіти

Керівник роботи

_____	_____
(підпис)	/О. Є. Бондарець/
	(прізвище та ініціали)
_____	_____
(підпис)	/А. Ю. Проскурін/
	(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі наведені результати розрахунку головного суднового дизельного двигуна 9ЧН32/40 (MAN 9L32/40), потужністю 4500 кВт та 750 хв⁻¹.

В роботі виконані розрахунки робочого циклу двигуна, динамічних навантажень, а також системи змащення. Запропоновані заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 49 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 8 джерел. Графічна частина представлена на 3 кресленнях формату А1.

Ключові слова: судновий двигун, поршень, масло, змащення.

The qualification work presents the results of calculations for the main ship diesel engine 9ЧН32/40 (MAN 9L32/40) with a power of 4500 kW and 750 rpm.

The work includes calculations of the engine operating cycle, dynamic loads, and the lubrication system. Measures to ensure occupational safety are proposed.

The qualification work is written in Ukrainian and consists of 49 pages of calculations and explanatory notes. Eight sources are used. The graphic part is presented in three A1 format drawings.

Key words: ship engine, piston, oil, lubrication.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Опис конструкції двигуна 9ЧН32/40.....	6
Розділ 2. Розрахунок робочого циклу та динамічних зусиль двигуна 9ЧН32/40.....	15
Розділ 3. Розробка системи змащення двигуна 9ЧН32/40.....	28
Розділ 4. Забезпечення вимог охорони праці.....	39
Висновки.....	45
Список використаної літератури.....	46
Додаток А. Поперечний переріз двигуна 9ЧН32/40.....	47
Додаток Б. Індикаторна діаграма та діаграми динаміки.....	48
Додаток В. Система змащення двигуна 9ЧН32/40.....	49

					<i>КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ</i>	Аркуш
						3
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі глобалізації та зростаючої інтенсивності міжнародних перевезень судноплавство продовжує відігравати ключову роль у світовій логістиці, забезпечуючи понад 80% міжнародної торгівлі. Центральним елементом ефективного функціонування морського транспорту є судові енергетичні установки, які забезпечують як рухомість судна, так і енергопостачання на його борту. Одним із найпоширеніших типів таких установок є дизельні середньообертові двигуни, зокрема двигуни типу MAN 9L32/40, які поєднують високу надійність, економічність та екологічність.

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю підвищення ефективності морських дизельних двигунів шляхом оптимізації їх розрахункових параметрів, конструктивних рішень та експлуатаційних характеристик. З огляду на зростаючі вимоги до енергозбереження та зменшення викидів шкідливих речовин згідно з міжнародними екологічними стандартами (MARPOL Annex VI, IMO Tier III), удосконалення судових ДВЗ є надзвичайно актуальним завданням для морської техніки XXI століття [1].

Метою даної роботи є виконання комплексного інженерного розрахунку судового дизельного двигуна MAN 9L32/40, що передбачає визначення основних теплотехнічних і механічних характеристик, аналіз робочого процесу, оцінку ефективності та екологічних показників двигуна з урахуванням сучасних вимог судової енергетики.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

Провести аналіз конструктивних особливостей двигуна MAN 9L32/40.

- виконати тепловий розрахунок робочого процесу двигуна;
- виконати динамічний розрахунок двигуна;
- виконати розрахунок системи змащення.

Об'єктом дослідження виступає чотиритактний середньообертовий дизельний двигун MAN 9L32/40, який характеризується високою питомою

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

потужністю, здатністю до тривалої експлуатації в жорстких умовах морського середовища та уніфікацією конструктивних елементів, що знижує витрати на технічне обслуговування.

Предмет дослідження – методи теплового та індикаторного розрахунку суднового ДВЗ, з урахуванням реальних параметрів двигуна та його експлуатаційних режимів.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ДВИГУНА 9ЧН32/40

Двигуни з типовим позначенням L32/40 (ЧН32/40) є турбонаддувними, однонаправленими, чотиритактними, рядними двигунами з діаметром циліндра 320 мм і ходом поршня 400 мм. Вони використовуються в якості головних суднових двигунів, а також як стаціонарні двигуни на електростанціях. Характерні особливості більшості типів двигунів з виробничої програми MAN B&W Diesel AG були застосовані в цьому двигуні.

На рис. 1.1 представлено поперечний переріз двигуна 9ЧН32/40.

Картер (рис. 1.2) двигуна виготовлений з чавуну. Він міцний і має дуже жорстку конструкцію. Стяжні тяги простягаються від нижнього краю нижнього головного підшипника до верхнього краю картера і від верхнього краю головки циліндра до проміжного дна. Кришки підшипників головних підшипників додатково закріплені з боків до корпусу. Привід управління та корпус гасника вібрації інтегровані в картер.

Картер не має водяних просторів. Мастило подається до двигуна через розподільну трубу, вливу в корпус. Отвори для тяги і тяга виконують подвійну функцію: вони утримують компоненти під початковим натягом, а також допомагають у розподілі мастила. Тяга герметично закрита на висоті проміжного дна картера.

До частин ходової частини легко дістатися через великі кришки на поздовжніх боках. Кришки картера на випускній стороні мають запобіжні клапани (як правило, на суднових двигунах, на стаціонарних двигунах лише в деяких випадках).

Масляний піддон зварений зі сталевого листа. Він збирає масло, що капає з частин ходової частини, і подає його в масляний бак, розташований нижче.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6

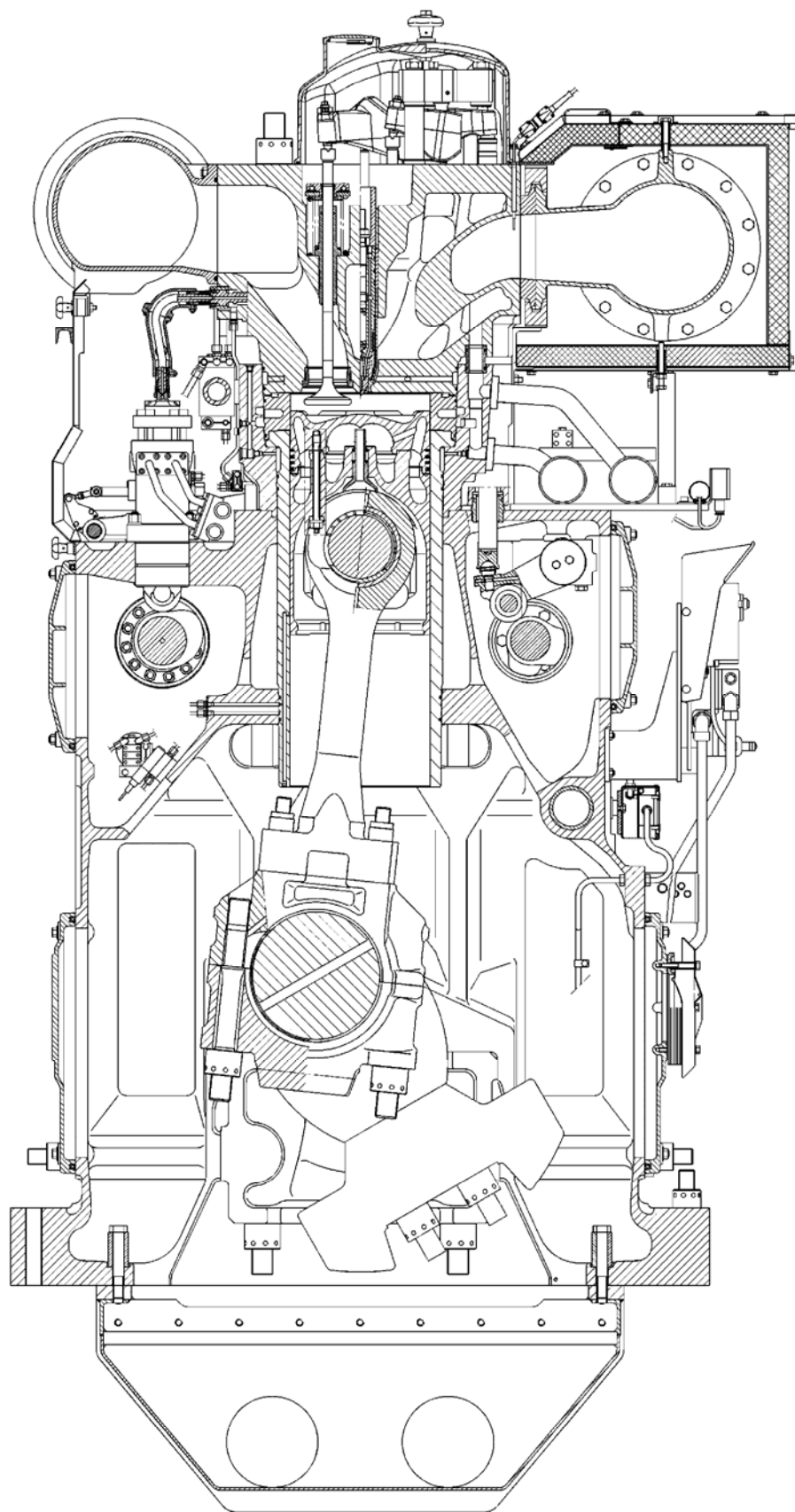


Рисунок 1.1 – Поперечний переріз двигуна 9ЧН 32/40

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ

Аркуш

7

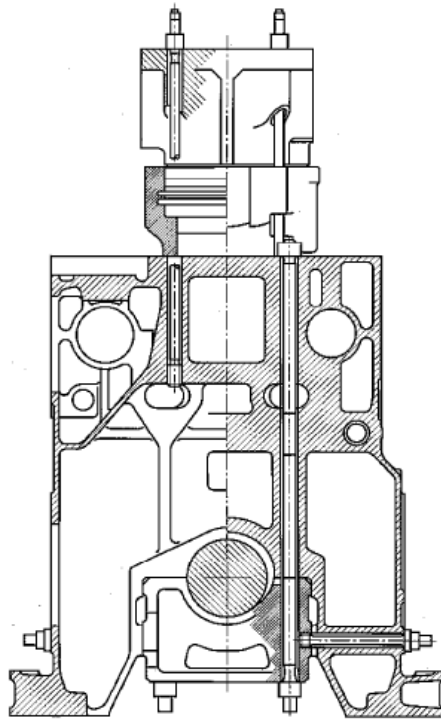


Рисунок 1.2 – Картер

Кришки головного підшипника (рис. 1.3) розташовані в підвішеному положенні. Вони утримуються рамою, яка проходить крізь них. Поперечне кріплення за допомогою додаткових тяг служить для підвищення стійкості корпусу підшипника до деформації. Воно запобігає бічному зсуву картера під дією ефективного тиску запалювання. [2]

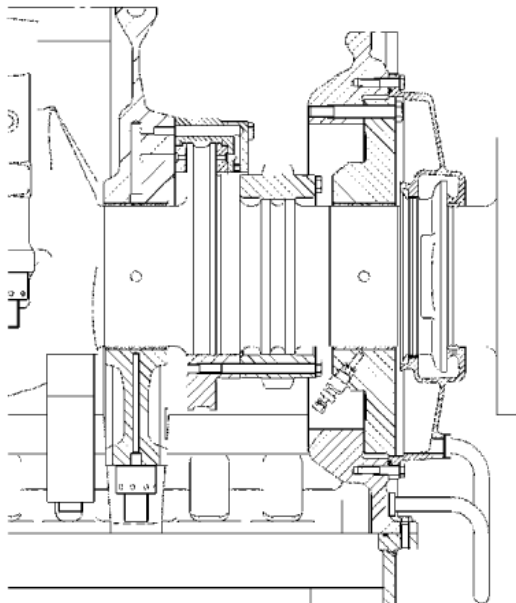


Рисунок 1.3 – Головний підшипник

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

Колінчастий вал (рис. 1.4) викуваний зі спеціальної сталі. Він розташований у підвішеному положенні і має по два балансири на кожен циліндр, які утримуються підрізними болтами і значно врівноважують коливальні маси. Приводне колесо для зубчастого приводу складається з двох сегментів. Вони утримуються разом чотирма тангенціально розташованими гвинтами. Фланець опорного підшипника з'єднаний з ним за допомогою гвинтів з головкою.

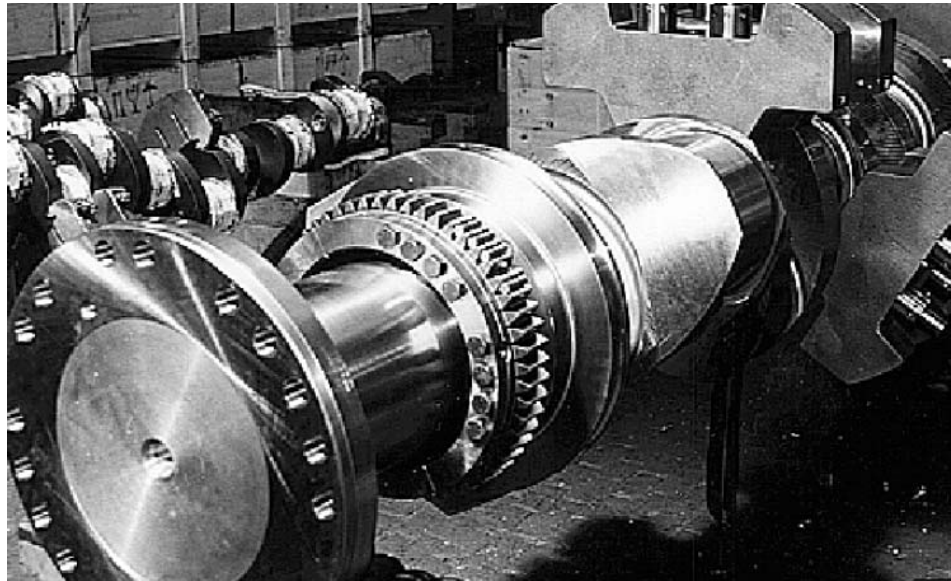


Рисунок 1.4 – Колінчастий вал

Для конструкції шатуна (рис. 1.5) було обрано так званий шатун морського типу. Лінії роз'єднання розташовані над підшипником великого кінця. При витягуванні поршня підшипник великого кінця не потрібно відкривати. Це є перевагою з точки зору експлуатаційної безпеки (немає зміни положення, немає потреби в нових регулюваннях), а також ця конструкція зменшує висоту зняття поршня.

Вкладиші підшипників ідентичні вкладишам головного підшипника. Використовуються тонкостінні вкладиши з робочим шаром з легкого металу. Кришка підшипника і корпус підшипника з'єднуються за допомогою болтів з підрізом (шпильок).

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

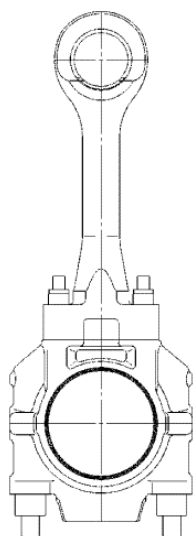


Рисунок 1.5 – Шатун

В основному поршень (рис. 1.6) складається з двох частин. Нижня частина складається з кулястого графітового чавуну. Головка поршня викувана з високоякісного матеріалу. Вибір матеріалу та конструктивне рішення забезпечують високу стійкість до тиску, що виникає під час згоряння, та дозволяють використовувати вузькі зазори поршня. Вузькі зазори поршня, а також ступінчаста конструкція поршня зменшують механічне навантаження на поршневі кільця, запобігають потраплянню абразивних частинок і захищають масляну плівку від продуктів згоряння.

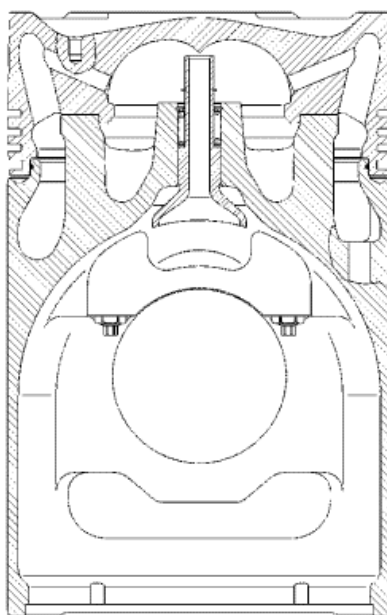


Рисунок 1.6 – Поршень

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

Спеціальна форма головки поршня сприяє ефективному охолодженню. Охолодження підтримується внутрішнім і зовнішнім ефектом вібрації, а також додатковим рядом охолоджувальних отворів на зовнішній стороні. Таким чином, температура регулюється таким чином, щоб уникнути вологої корозії в канавках кільця. Канавки кільця індуктивно загартовані. Їх можна відремонтувати. Поршень охолоджується за допомогою масла, яке подається через шатун. Масло передається від шатуна до верхньої частини поршня за допомогою воронки на пружинних підшипниках, яка ковзає по зовнішньому контуру шатуна.

Втулки циліндрів (рис. 1.7) виготовлені зі спеціального чавуну і мають у верхній частині опорне кільце із сфероїдального графіту. Це опорне кільце розташоване по центру картера. Нижня частина втулки циліндра направляється проміжним дном картера. На комірці втулки циліндра розташоване так зване верхнє кільце.

Розподіл на три компоненти, тобто на втулку циліндра, опорне кільце та верхнє кільце, забезпечує найкращу конструкцію з точки зору стійкості до деформації, охолодження та забезпечення мінімальних температур певних деталей [3].

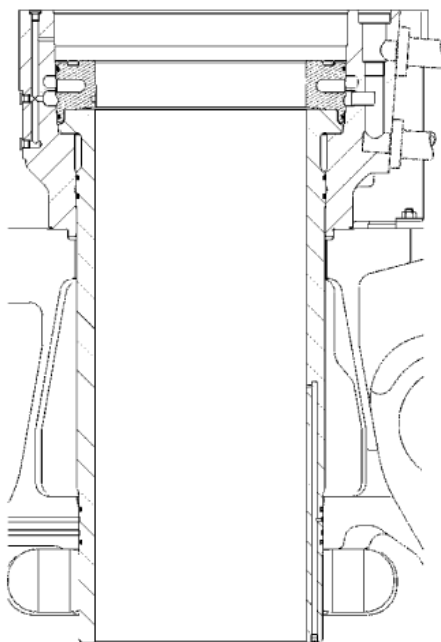


Рисунок 1.7 – Втулка циліндра

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

Верхнє кільце, яке виступає над отвором втулки циліндра, має комбінований ефект із заглибленою головкою ступінчастого поршня, завдяки чому відкладення коксу на головці поршня більше не торкаються робочої поверхні втулки циліндра. Таким чином можна уникнути полірування отвору, яке перешкоджає хорошему зчепленню мастила.

Охолоджуюча вода надходить до втулки циліндра через трубу, яка з'єднана з опорним кільцем. Вода протікає через отвори верхнього кільця (струменеве охолодження) і далі через отвори в опорному кільці до охолоджувальних камер головок циліндрів (рис. 1.8). Головка циліндра, опорне кільце і верхнє кільце можуть бути злиті разом.

За допомогою отворів в опорному кільці можна перевірити герметичність верхнього кільця і головки циліндра на наявність витоків охолоджуючої води.

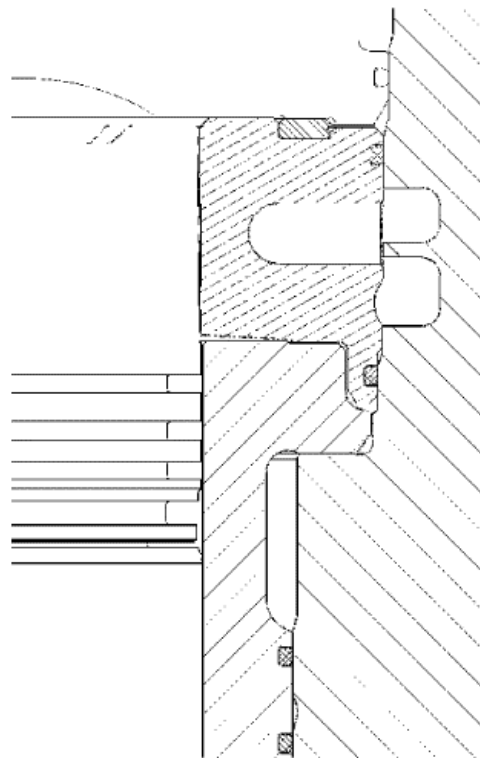


Рисунок 1.8 – Комбінований ефект ступінчастого поршня/верхнього кільця

Кришки циліндрів (рис. 1.9) виготовлені з чавуну з кулястим графітом. Вони притискаються до верхнього кільця за допомогою чотирьох шпильок.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Міцне охолоджуване отвором дно кришки циліндра, а також внутрішня частина, яка посилена ребрами, гарантують високий рівень міцності конструкції.

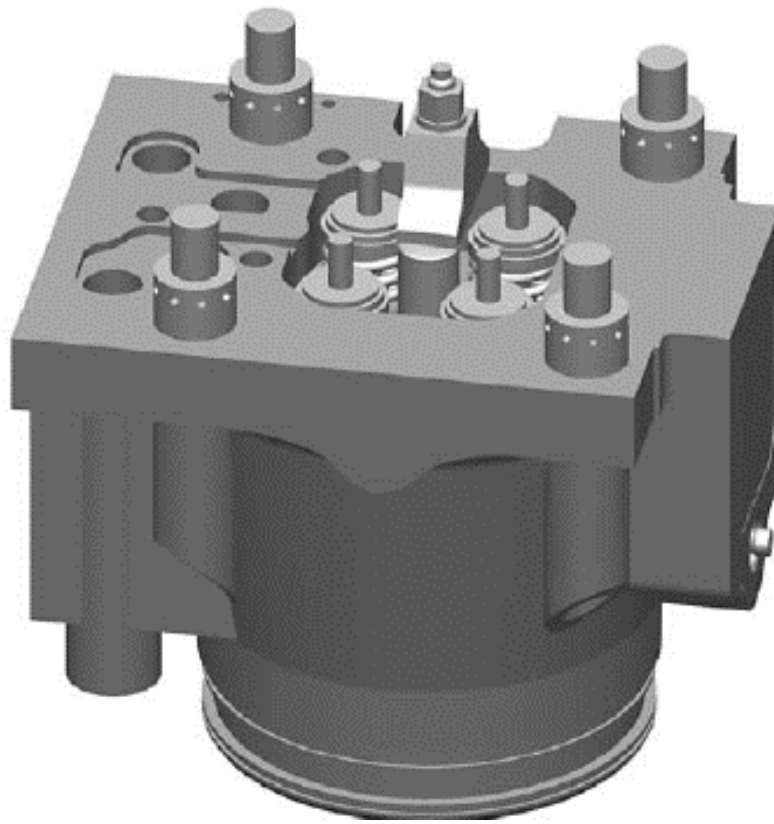


Рисунок 1.9 – Кришка циліндра

Кришка циліндра має по два впускних і випускних клапани, один пусковий клапан, а також один індикаторний клапан і по одному запобіжному клапану. Форсунка палива розташована по центру між клапанами.

З'єднання між кришкою циліндра і вихлопною трубою, з'єднання всередині труби наддувного повітря і до системи подачі охолоджуючої води та труби пускового повітря використовують швидкозакриваючі, затискні та вставні з'єднувачі.

Кришка циліндра закрита зверху кожухом коромисла і кришкою, через які легко доступні клапани і форсунка.

Двигуни мають два розподільні вали (рис. 1.10), які складаються з секцій, кожна з яких має довжину циліндра. Один розподільний вал активує

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

елементи газорозподіл, другий – насоси впорскування. Таке рішення дозволяє регулювати обидва розподільні вали відповідно до умов/цілей експлуатації та звільняє розподільний вал клапанів від крутильних вібрацій, що виникають від насосів впорскування. Розподільні вали підтримуються тунельними підшипниками. Впресовані підшипникові втулки складаються зі сталеві оболонки та тонкого робочого шару з свинцевої бронзи.

Обидва розподільні вали інтегровані в контур рами. Вони покриті легкознімними кришками з легкого металу.

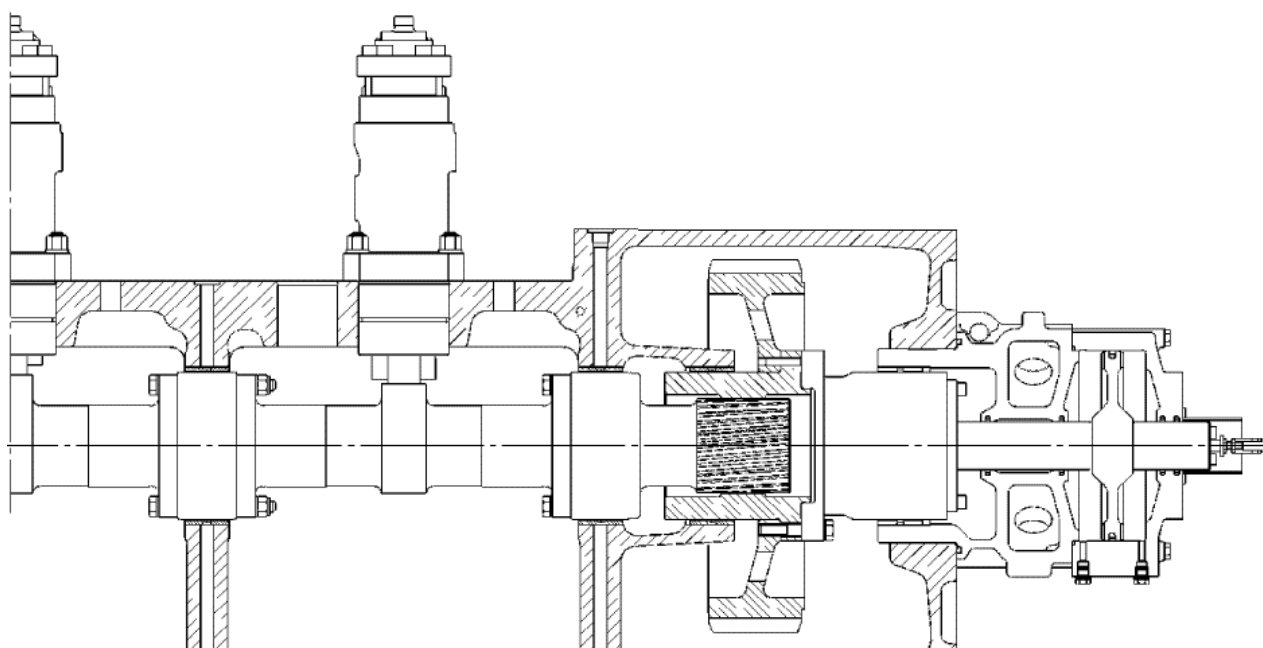


Рисунок 1.10 – Розподільний вал

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ТА ДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ ДВИГУНА 9ЧН32/40

Методика розрахунку робочого циклу двигуна

Розгляд реального робочого циклу поршневого двигуна за підходом Гріневецького–Мазінга демонструє суттєві розбіжності з абстрактними ідеалізованими циклами. Основна мета теплового аналізу процесів у двигуні внутрішнього згоряння полягає у визначенні ключових характеристик, що впливають на його економічну доцільність і термодинамічну ефективність. Ці дані також є основою для подальшого проектування конструктивних елементів, зокрема в аспектах розрахунку на міцність, опір деформаціям та зносостійкість. Тепловий аналіз дозволяє створити індикаторну діаграму, обчислити середній індикаторний тиск, а також на базі заданої потужності визначити оптимальні розміри та кількість циліндрів для нової конструкції двигуна [4].

Для здійснення теплових розрахунків необхідно враховувати нижчу теплоту згоряння палива, яка визначається вмістом горючих компонентів і співвідношенням хімічних елементів у його складі. Саме ця величина використовується в обчисленнях, оскільки вона є більш точною для реальних умов експлуатації. Існує чітка залежність між нижчою і вищою теплотою згоряння, яка враховується при моделюванні процесів.

У межах кваліфікаційної роботи було застосовано перевірений підхід теплового аналізу, вперше запропонований В. І. Гріневецьким і згодом модернізований Є. К. Мазінгом. Ця методика ґрунтується на принципах термохімії та термодинаміки і дає змогу всебічно змоделювати теплові процеси в робочому об'ємі циліндра. Для проведення розрахунків використовувалося програмне середовище Mathcad, що забезпечило точність і наочність результатів.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Вхідні параметри для розрахунку робочого циклу двигуна

У табл. 2.1 представлені вхідні параметри для розрахунку робочого циклу

Таблиця 2.1 – Вхідні параметри для розрахунку

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Ефективна потужність	N_e	кВт	4500
Частота обертання	n	хв ⁻¹	750
Тиск навколишнього середовища	P_0	МПа	0,1013
Температура навколишнього середовища	T_0	К	298
Тиск наддуву	P_k	МПа	0,42
Коефіцієнт продувки	ϕ_a		1,05
Коефіцієнт залишкових газів	γ_z		0,04
Коефіцієнт використання тепла в точці Z	ϵ_z		0,94
Коефіцієнт використання тепла в точці b	ϵ_b		0,98
Ступінь стиснення	ϵ		16,3
Ступінь підвищення тиску при згорянні	λ		1,2
Підігрів заряду від стінок циліндра	ΔT_a	К	20
Частка ходу поршня втрачена на продувку	ϕ_n		0
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми	ζ		0,98
Механічний ККД двигуна	η_m		0,92
Адіабатний ККД компресора	$\eta_{k.ad}$		0,7
Втрата тиску в повітроохолоджувачі	$\Delta P_{ох}$	МПа	0,004
ККД системи охолодження	η_0		0,95
Температура залишкових газів	T_r	К	800
Масовий склад палива	C	кг	0,87
	H	кг	0,126
	S	кг	0
	O	кг	0,004

Нижча теплота згоряння палива	Q_H	(кДж / кг)	42700
Кількість циліндрів	i		9
Діаметр циліндра	D_c	м	0,32
Хід поршня	S_c	м	0,4
Коефіцієнт тактності	z		0,5
Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння	α		2,277
Показник адіабати повітря	k_e		1,41
Механічний ККД турбіни	$\eta_{t.m}$		0,98
Адіабатний ККД турбіни	$\eta_{t.ad}$		0,95
Коефіцієнт втрати тиску на впуску	ϵ_{fp}		0,93
Ставлення тиску за компресором до тиску перед турбіною р	ψ_t		0,79

Розрахунок робочого циклу двигуна

Розрахунок робочого циклу розрахований в програмі Mathcad, результати якого представлені у табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку робочого циклу

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Результати розрахунку процесу наповнення			
Температура повітря за компресором	T_k	К	514,297
Температура повітря в ресивері	T_s	К	308,957
Температура повітря в кінці наповнення	T_a	К	347,074
Тиск повітря в ресивері двигуна	P_s	МПа	0,416
Тиск в кінці наповнення	P_a	МПа	0,387
Коефіцієнт наповнення	η_n		0,848
Результати розрахунку процесу стиснення			
Показник політропи стиснення	n_1		1,361
Тиск у кінці стиснення	P_c	МПа	17,253
Температура в кінці стиснення	T_c	К	949,576
Результати розрахунку процесу згоряння			
Дійсна кількість повітря для згоряння	L	кмоль/кг	1,126

Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	β_0		1,0281
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	β		1,027
Частка палива, що вигоріла до точки z	x_z		0,959
Коефіцієнт молекулярної зміни у точці z	β_z		1,026
Максимальна температура згоряння	T_z	К	1863
Максимальний тиск згоряння	P_z	МПа	20,704
Результати розрахунку процесу розширення			
Ступінь попереднього розширення	ρ		1,678
Ступінь подальшого розширення	δ		9,716
Показник політропи розширення	n_2		1,278
Температура в кінці процесу розширення	T_b	К	989,88
Тиск у кінці процесу розширення	P_b	МПа	1,132
Результати визначення індикаторних показників			
Теоретичний середній індикаторний тиск	P'_i	МПа	2,758
Дійсний середній індикаторний тиск	P_i	МПа	2,703
Питома індикаторна витрата пального	g_i	кг/(кВт*год)	0,162
Індикаторний ККД	η_i	-	0,519
Результати визначення ефективних показників			
Середній ефективний тиск	P_e	МПа	2,487
Ефективний ККД	η_e	-	0,478
Питома ефективна витрата пального	g_e	кг/(кВт*год)	0,176
Ефективна потужність двигуна	N_e	кВт	4503
Результати визначення дійсного Пк компресора			
Витрата повітря через компресор	G	кг/год	7,56
Витрата газів через турбіну	G_t	кг/год	7,78
Тиск газів перед турбіною	P_t	МПа	0,332
Температура газів	T_t	К	757,834
Кількість робочого тіла	M_s	кмоль/кг	1,159
Універсальна газова стала для відпрацьованих газів	R_t	кДж/кг*К	287,432
Показник адіабати розширення газу в турбіні	k_t		1,377

Дійсна ступінь підвищення тиску у компресорі	P_k		4,202
Розрахунковий тиск наддуву	P_{kd}	МПа	0,4202

Розрахунок та побудова індикаторних діаграм

Графічне зображення процесів у вигляді розрахункових діаграм створюється на основі результатів моделювання робочого циклу, яке було проведено у середовищі MathCad. У подальшому ці діаграми використовуються як основа для проведення динамічного аналізу та розрахунків на міцність конструктивних елементів двигуна. Аналітичне формування графіка здійснювалося за допомогою програмного пакету Excel.

Обчислення координатних значень для процесів стиснення та розширення, які описуються політропними залежностями, проводиться за наступними виразами [5]:

– для процесу стиснення:

$$p = \frac{p_c}{(V/V_c)^{n_1}}$$

– для процесу розширення:

$$p = \frac{p_z * \rho^{n_2}}{(V/V_c)^{n_2}}$$

де $V/V_c = \varepsilon_x$ – відношення об'ємів, яке представляє собою поточне значення ступеня стиснення.

Для обчислення індикаторної діаграми необхідні наступні вихідні дані:

Показник політропи стиснення n_1	1,361
Показник політропи розширення n_2	1,278
Тиск кінця стиснення p_c , МПа	17,253
Максимальний тиск згоряння p_z , МПа	20,704
Ступінь попереднього розширення ρ	1,678
Ступінь стиснення ε	16,3

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків для побудови індикаторної діаграми

V/V_c	$P_{ст}$	$P_{розш}$
1,00	20,70	
1,00	17,25	20,70
1,68	8,53	20,70
2,41	5,21	13,04
3,14	3,64	9,29
3,87	2,73	7,11
4,60	2,16	5,70
5,33	1,77	4,72
6,06	1,48	4,01
6,80	1,27	3,47
7,53	1,11	3,04
8,26	0,98	2,70
8,99	0,87	2,42
9,72	0,78	2,19
10,45	0,71	2,00
11,18	0,65	1,83
11,91	0,59	1,69
12,64	0,55	1,57
13,38	0,51	1,46
14,11	0,47	1,36
14,84	0,44	1,28
15,57	0,41	1,20
16,30	0,39	1,13
16,30		0,39

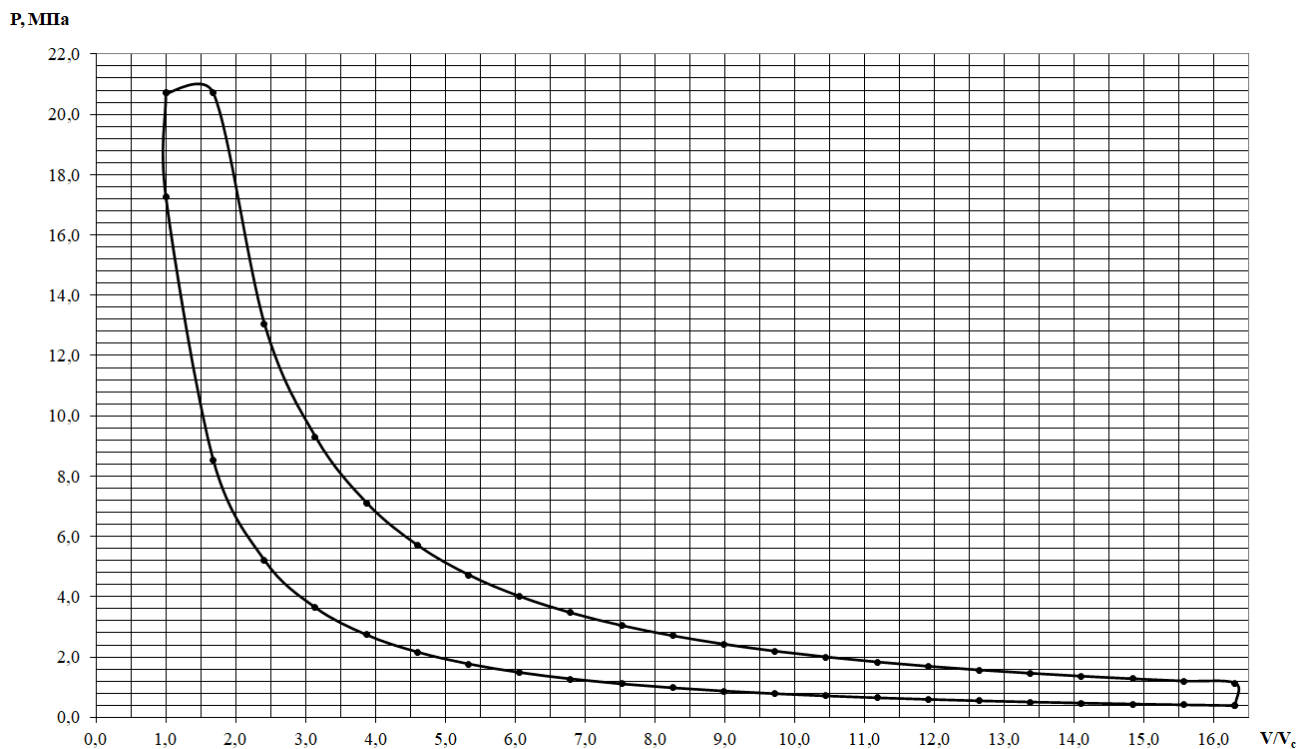


Рисунок 2.1 – Індикаторна діаграма

Розрахунок динамічних зусиль діючих у КШМ

Графіки динаміки застосовуються для виявлення навантажень, що діють на колінчастий вал у процесі його обертання під будь-яким кутом. Вони слугують основою для оцінки міцнісних характеристик основних елементів валу та рівня його врівноваженості. Побудова таких графіків ґрунтується на параметрах, отриманих у ході теплового аналізу циклу, з урахуванням змін зовнішніх і внутрішніх сил протягом обертового руху вала [6].

До складу розрахованих сил, що відображаються на діаграмах, входять:

- P_g – сила газового тиску, що передається на поршень;
- P_j – сила інерції мас, які переміщуються прямолінійно;
- P_{dv} – вертикальна сила, яка прикладена до осі поршневого пальця (т.зв. рушійна сила);
- N – перпендикулярна сила, що тисне поршень до поверхні втулки;
- Q – сила, що передається уздовж шатуна;
- T – дотична сила, спрямована по дузі обертання кривошипа;

- Z – сила, орієнтована вздовж осі кривошипа.

Схематичне зображення прикладених сил у кривошипно-шатунному механізмі подано на рис. 2.2.

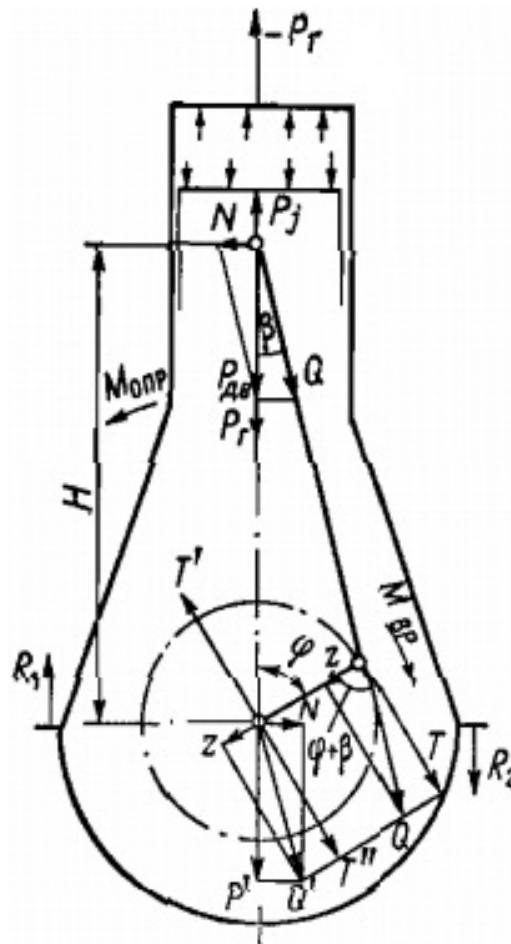


Рисунок 2.2 – Схема дії сил в КШМ

Вихідні параметри, використані для динамічного аналізу, наведено у табл. 2.4. Обчислені значення розміщені в табл. 2.5 та 2.6, на основі яких побудовано діаграми, що зображено на рис. 2.3–2.5.

На рис. 2.3 проілюстровано:

- P_r – тиск газів на поршень;
- P_j – інерційне навантаження одного циліндра;
- P_{dv} – вертикальна рушійна сила.

На рис. 2.4 представлено:

- N – нормальна сила взаємодії поршня з втулкою;

- Z – осьове зусилля в кривошипі;
- T – дотична складова сили.

На рис. 2.5 показано:

- $T\Sigma$ – сумарні дотичні сили;
- $T_{cp}\Sigma$ – усереднене значення сумарного дотичного навантаження.

Таблиця 2.4 – Вхідні дані по розрахунку діючих зусиль

Діаметр поршня	м	D	0,32
Частота обертання КВ	хв^{-1}	n	750
Максимальний тиск згоряння	МПа	P_z	20,704
Тиск на початку стиску	МПа	P_a	0,387
Тиск наддуву	МПа	P_k	0,42
Тиск залишкових газів	МПа	P_r	0,6
Кривошипно-шатунне відношення		λ	0,236
Маса деталей, що рухаються возвратно-поступово	кг	m	250
Радіус кривошипа	м	r	0,2
Ступінь стиснення		ε	16,3
Показник політропи стиснення		n_1	1,361
Показник політропи розширення		n_2	1,278
Ступінь попереднього розширення		ρ	1,678
Кількість циліндрів		i	9

Таблиця 2.5 – Результати динамічного розрахунку

φ°	P_r	P_j	P_{dv}	N	Z	T
0	0,4200	-4,7376	-4,3176	0,0000	-4,3176	0,0000
10	0,4200	-4,6248	-4,2048	-0,1724	-4,1110	-0,9000
20	0,4200	-4,2948	-3,8748	-0,3134	-3,5339	-1,6198
30	0,4200	-3,7718	-3,3518	-0,3974	-2,7040	-2,0200
40	0,4200	-3,0933	-2,6733	-0,4087	-1,7852	-2,0315
50	0,4200	-2,3067	-1,8867	-0,3449	-0,9486	-1,6670
60	0,4200	-1,4642	-1,0442	-0,2164	-0,3347	-1,0125

70	0,4200	-0,6180	-0,1980	-0,0446	-0,0258	-0,2013
80	0,4200	0,1844	0,6044	0,1431	-0,0359	0,6201
90	0,4200	0,9046	1,3246	0,3185	-0,3185	1,3246
100	0,4200	1,5156	1,9356	0,4581	-0,7873	1,8267
110	0,4200	2,0039	2,4239	0,5465	-1,3426	2,0908
120	0,4200	2,3688	2,7888	0,5781	-1,8950	2,1261
130	0,4200	2,6209	3,0409	0,5558	-2,3804	1,9722
140	0,4200	2,7792	3,1992	0,4891	-2,7651	1,6817
150	0,4200	2,8672	3,2872	0,3897	-3,0416	1,3061
160	0,4200	2,9089	3,3289	0,2693	-3,2202	0,8855
170	0,4200	2,9247	3,3447	0,1371	-3,3177	0,4457
180	0,3870	2,9284	3,3154	0,0000	-3,3154	0,0000
190	0,3899	2,9247	3,3146	-0,1359	-3,2879	-0,4417
200	0,3988	2,9089	3,3077	-0,2676	-3,1997	-0,8799
210	0,4144	2,8672	3,2816	-0,3890	-3,0365	-1,3039
220	0,4380	2,7792	3,2172	-0,4918	-2,7806	-1,6912
230	0,4716	2,6209	3,0924	-0,5652	-2,4208	-2,0056
240	0,5183	2,3688	2,8871	-0,5984	-1,9618	-2,2011
250	0,5829	2,0039	2,5868	-0,5833	-1,4328	-2,2313
260	0,6731	1,5156	2,1887	-0,5181	-0,8902	-2,0655
270	0,8008	0,9046	1,7054	-0,4101	-0,4101	-1,7054
280	0,9863	0,1844	1,1707	-0,2771	-0,0696	-1,2011
290	1,2641	-0,6180	0,6461	-0,1457	0,0841	-0,6570
300	1,6969	-1,4642	0,2327	-0,0482	0,0746	-0,2256
310	2,4018	-2,3067	0,0951	-0,0174	0,0478	-0,0840
320	3,6051	-3,0933	0,5117	-0,0782	0,3417	-0,3889
330	5,7283	-3,7718	1,9565	-0,2319	1,5784	-1,1791
340	9,3763	-4,2948	5,0814	-0,4111	4,6344	-2,1242
350	14,3969	-4,6248	9,7721	-0,4007	9,5541	-2,0915
360	17,2782	-4,7376	12,5406	0,0000	12,5406	0,0000
370	20,7040	-4,6248	16,0792	0,6593	15,7204	3,4414
380	20,7040	-4,2948	16,4092	1,3274	14,9656	6,8596
390	14,2268	-3,7718	10,4550	1,2394	8,4346	6,3009
400	9,2100	-3,0933	6,1166	0,9351	4,0846	4,6480
410	6,2898	-2,3067	3,9831	0,7280	2,0026	3,5192
420	4,5389	-1,4642	3,0747	0,6373	0,9854	2,9814
430	3,4427	-0,6180	2,8247	0,6369	0,3676	2,8721
440	2,7270	0,1844	2,9114	0,6891	-0,1731	2,9869
450	2,2425	0,9046	3,1471	0,7568	-0,7568	3,1471
460	1,9048	1,5156	3,4205	0,8096	-1,3913	3,2279
470	1,6642	2,0039	3,6681	0,8271	-2,0318	3,1641
480	1,4903	2,3688	3,8591	0,7999	-2,6223	2,9421
490	1,3638	2,6209	3,9847	0,7283	-3,1192	2,5843

500	1,2724	2,7792	4,0516	0,6194	-3,5018	2,1298
510	1,2080	2,8672	4,0752	0,4831	-3,7708	1,6192
520	1,1652	2,9089	4,0741	0,3296	-3,9411	1,0837
530	1,1408	2,9247	4,0655	0,1667	-4,0327	0,5418
540	1,1328	2,9284	4,0612	0,0000	-4,0612	0,0000
550	0,6000	2,9247	3,5247	-0,1445	-3,4963	-0,4697
560	0,6000	2,9089	3,5089	-0,2838	-3,3944	-0,9334
570	0,6000	2,8672	3,4672	-0,4110	-3,2082	-1,3776
580	0,6000	2,7792	3,3792	-0,5166	-2,9207	-1,7764
590	0,6000	2,6209	3,2209	-0,5887	-2,5213	-2,0889
600	0,6000	2,3688	2,9688	-0,6154	-2,0173	-2,2634
610	0,6000	2,0039	2,6039	-0,5871	-1,4423	-2,2461
620	0,6000	1,5156	2,1156	-0,5008	-0,8605	-1,9965
630	0,6000	0,9046	1,5046	-0,3618	-0,3618	-1,5046
640	0,6000	0,1844	0,7844	-0,1857	-0,0466	-0,8048
650	0,6000	-0,6180	-0,0180	0,0041	-0,0023	0,0183
660	0,6000	-1,4642	-0,8642	0,1791	-0,2770	0,8380
670	0,6000	-2,3067	-1,7067	0,3120	-0,8581	1,5080
680	0,6000	-3,0933	-2,4933	0,3812	-1,6650	1,8947
690	0,6000	-3,7718	-3,1718	0,3760	-2,5588	1,9115
700	0,6000	-4,2948	-3,6948	0,2989	-3,3698	1,5446
710	0,6000	-4,6248	-4,0248	0,1650	-3,9350	0,8614
720	0,4200	-4,7376	-4,3176	0,0000	-4,3176	0,0000

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку сумарних дотичних сил

				Кут заклинки	φ_3°	80					
φ°	T_E									T_E	T_{cp}
	Номер циліндра										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
0	0,000	0,620	0,886	-2,201	-0,389	4,648	2,942	-0,933	-0,805	4,768	3,689
10	-0,900	1,325	0,446	-2,231	-1,179	3,519	2,584	-1,378	0,018	2,204	3,689
20	-1,620	1,827	0,000	-2,066	-2,124	2,981	2,130	-1,776	0,838	0,190	3,689
30	-2,020	2,091	-0,442	-1,705	-2,092	2,872	1,619	-2,089	1,508	-0,257	3,689
40	-2,031	2,126	-0,880	-1,201	0,000	2,987	1,084	-2,263	1,895	1,716	3,689
50	-1,667	1,972	-1,304	-0,657	3,441	3,147	0,542	-2,246	1,912	5,140	3,689
60	-1,013	1,682	-1,691	-0,226	6,860	3,228	0,000	-1,997	1,545	8,388	3,689
70	-0,201	1,306	-2,006	-0,084	6,301	3,164	-0,470	-1,505	0,861	7,367	3,689
80	0,620	0,886	-2,201	-0,389	4,648	2,942	-0,933	-0,805	0,000	4,768	3,689
										29,515	

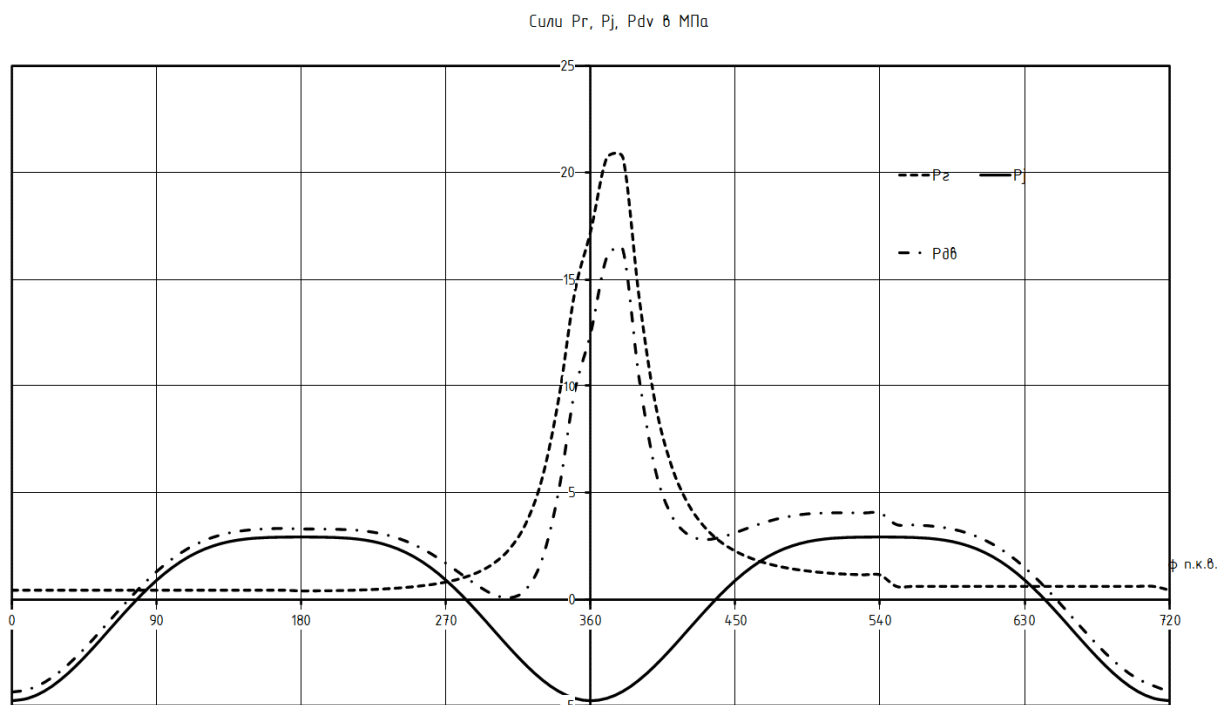


Рисунок 2.3 – Зміна сил P_r , P_j , P_{dv} від кута повороту колінчастого валу

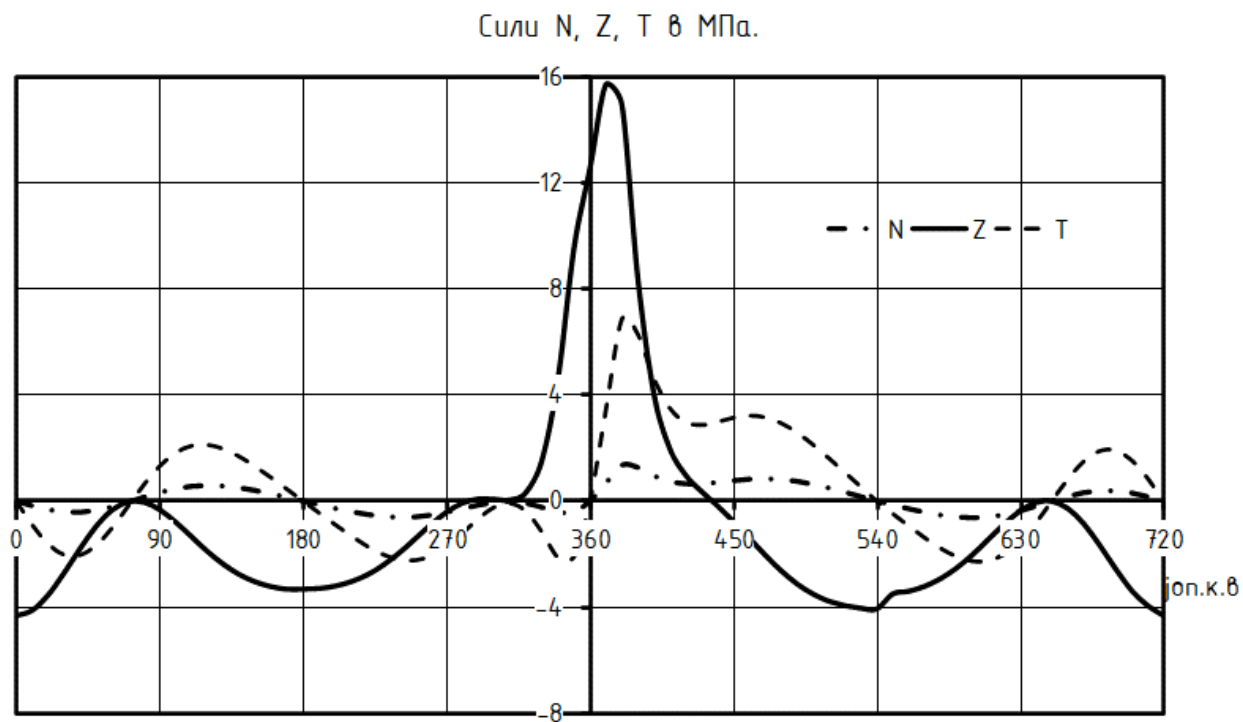


Рисунок 2.4 – Зміна сил N , Z , T від кута повороту колінчастого валу

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ

Аркуш

26

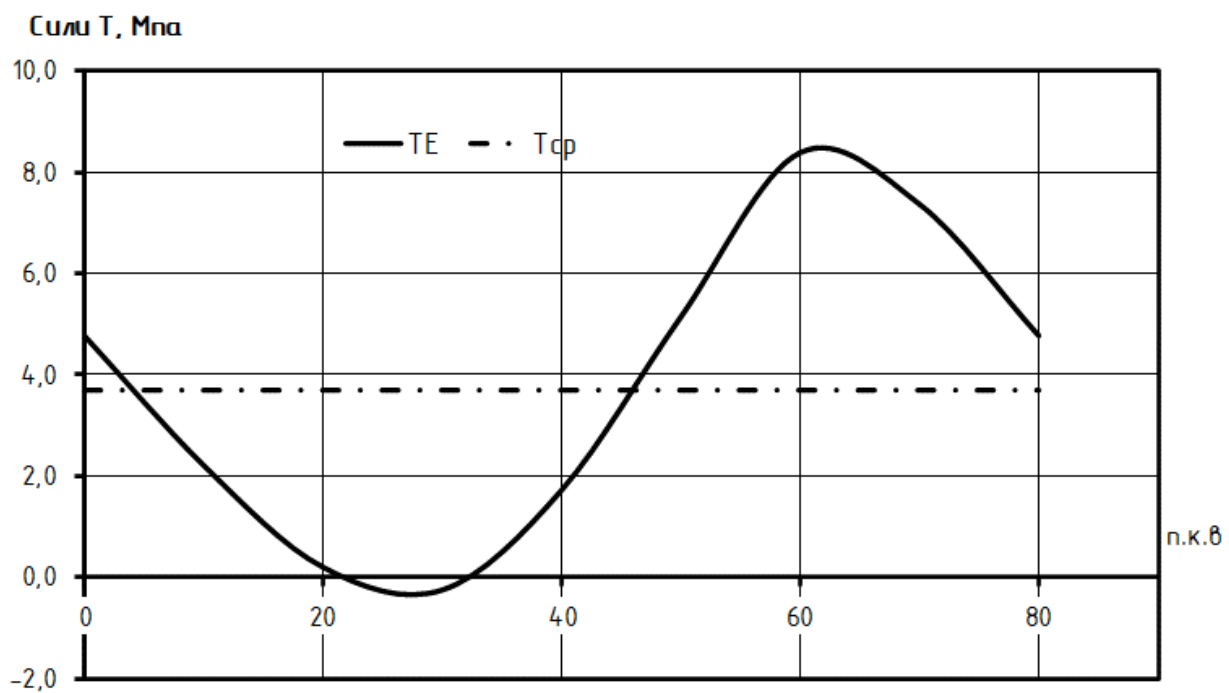


Рисунок 2.5 – Зміна сумарних дотичних сил T від кута заклинки колінчастого валу

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЗМАЩЕННЯ ДВИГУНА 9ЧН32/40

Система змащення (рис. 3.1) представляє стандартну конструкцію зовнішніх систем обслуговування масла, з комбінацією встановлених на двигуні та відокремлених, автономних мастильних насосів.

Внутрішнє змащування двигуна та турбокомпресора забезпечується системою примусового змащування.

Змащення втулок циліндрів реалізовано у вигляді окремої системи, приєднаної до двигуна, але обслуговуваної внутрішньою системою змащення. У багатодвигунних установках для кожного двигуна потрібна окрема система змащення маслом.

Сервісний бак. Основне призначення сервісного бака полягає у відділенні повітря та частинок від мастила перед його поверненням до двигуна. При проектуванні сервісного бака необхідно враховувати вимоги класу.

Нагрівач масла. Масло в робочому баку та системі повинно бути нагріте до температури ≥ 40 °C перед запуском двигуна. Не рекомендується постійна циркуляція мастила за допомогою резервного насоса.

Всмоктувальні труби повинні бути встановлені з постійним нахилом і розраховані на загальний опір (включаючи падіння тиску для всмоктувального фільтра), що не перевищує висоту всмоктування насоса. Поруч із масляним баком необхідно встановити зворотний клапан, щоб запобігти зворотному потоку масла після вимкнення двигуна.

Запобіжний клапан. Для насосів, встановлених на двигуні, зворотний клапан, повинен бути обведений запобіжним клапаном для захисту ущільнень насоса від високого тиску, що виникає внаслідок протилежного обертання (під час вимкнення).

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Всмоктувальний фільтр захищає масляні насоси від великих частинок бруду, які можуть накопичуватися в баку. Рекомендується використовувати конусний фільтр з розміром отворів 1,5 мм. Два манометри, встановлені до і після фільтра, вказують, коли необхідно провести ручне очищення фільтра, яке бажано виконувати в порту.

Масильні насоси

Для суден з більш ніж одним головним двигуном, крім робочого насоса, необхідний насос попереднього змащення для попереднього та подальшого змащення. Згідно з вимогами класифікаційного товариства, на борту судна повинен бути запасний головний масильний насос. Для суден з одним головним двигуном бажано спроектувати систему мастила з комбінацією насоса мастила з приводом від двигуна та резервного насоса з електричним приводом (100 % потужності).

Додатково рекомендується насос попереднього змащення (не зазначений на схемі).

Використання резервного насоса (100 %) для безперервного попереднього змащування не допускається.

Якщо встановлений резервний насос забезпечує 100 % потужності робочого насоса, вимога класу щодо наявності на борту запасного робочого насоса вважається виконаною.

Основні переваги насоса для мастила з приводом від двигуна:

- Знижена потреба в потужності для генераторної установки/РТО для нормальної роботи.
- Безперервна подача мастила під час відключення електроенергії та аварійної зупинки для вимкнення двигуна.

Загалом, для різних конфігурацій насосів слід розглянути додаткові установки:

- Дотримуватися правил класифікаційних товариств.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

▪ Забезпечити безперервне постачання мастила під час відключення електроенергії та аварійної зупинки двигуна.

У разі непередбаченої зупинки двигуна (наприклад, відключення електроенергії) післямастилення має бути розпочато якомога швидше (не пізніше ніж через 20 хвилин) після зупинки двигуна і тривати протягом 15 хвилин.

Це необхідно для охолодження підшипників і гарячих внутрішніх компонентів двигуна.

Охолоджувач масла

З боку мастила перепад тиску не повинен перевищувати 1,1 бара.

Клапан регулювання температури

Клапан призначений для регулювання температури масла на вході в двигун. Клапан регулювання може бути оснащений восковими термостатами.

Автоматичний фільтр зворотного промивання встановлюється як основний фільтр. Зворотне промивання/промивання фільтруючих елементів має бути організовано таким чином, щоб не впливати на потік і тиск мастила.

Промивна рідина (суміш масла і шламу) подається в сервісний бак. Через всмоктувальну лінію в сепаратор масло постійно очищається в обхідному режимі. Це забезпечує ефективне остаточне видалення відкладень.

Індикаторний фільтр є дуплексним фільтром, який необхідно очищати вручну. Він повинен бути встановлений за автоматичним фільтром, якомога ближче до двигуна. Перед установкою необхідно ретельно перевірити ділянку труби між фільтром і входним отвором двигуна. Цю ділянку труби необхідно розділити і встановити фланці, щоб перед остаточним монтажем можна було перевірити і очистити всі вигини і зварні шви. У разі двоступеневого автоматичного фільтра монтаж індикаторного фільтра можна уникнути. Клієнти, які бажають забезпечити вищий рівень безпеки, можуть встановити додатковий дуплексний фільтр поблизу двигуна.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Сепаратор. Мастило інтенсивно очищається шляхом сепарації в байпасі, що зменшує навантаження на фільтри та дозволяє створити економічну конструкцію.

Сепаратор повинен бути самоочисним. Конструкція повинна базуватися на кількості мастила 1,0 л/кВт. Ця кількість мастила повинна очищатися протягом 24 годин при:

- роботі на важкому мазуті 6 – 7 разів;
- MDO-експлуатація 4 – 5 разів;
- Двопаливні двигуни, що працюють на газі (+MDO/MGO тільки для запалювання) 4 – 5 разів.

Клапан регулювання тиску

За допомогою клапана регулювання тиску регулюється постійний тиск масла перед двигуном.

Клапан регулювання тиску встановлюється перед охолоджувачем масла. Необхідно дотримуватися положення установки. За рахунок відведення надлишкової кількості мастила перед основними компонентами, розміри цих компонентів можуть бути зменшені. Повертальна труба (відвідна труба) від клапана регулювання тиску повертається в сервісний бак мастила.

Бак для витоків масла

Витік палива та брудне масло, що стікає з корпусів масляних фільтрів, збирається в цьому резервуарі. Його слід виливати в бак для шламу. Вміст не можна додавати до палива. Не дозволяється додавати масло до палива. Як альтернатива, можна встановити окремі резервуари для витоків палива та мастильного масла.

Насос масла для циліндрів

Насос, встановлений на двигуні, приводиться в дію електродвигуном (асинхронний двигун 380 – 420 В/50 Гц або 380 – 460 В/60 Гц трифазний змінний струм із зміною полюсів).

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Всі точки змащення двигуна і турбокомпресора підключені до системи примусової циркуляції масла (рис. 3.2). Фланець для подачі мастила розташований на вільному кінці двигуна, над кришкою. Масло подається з вбудованої в корпус розподільної труби до основних підшипників через труби тяги. Звідти воно продовжує рухатися через колінчастий вал до підшипників і через шатуни до головок поршнів (рис. 3.3), а також до демпфера крутильних коливань на вільному кінці двигуна.

З усіх цих точок змащення масло вільно стікає назад у масляний піддон, а з масляного піддону воно подається в масляний бак, розташований нижче. Вбудована розподільна труба також подає масло до підшипників розподільного вала впорскування та клапанів, а також до розпилювальних форсунок і підшипників приводу розподільного вала.

Масляні канали для подачі масла до розподільних валів продовжуються над розподільними валами, а звідти мастилом забезпечуються кулачки на стороні вихлопу, а також інжекторні насоси та коромисла на стороні проти вихлопних газів.

Опорний підшипник розподільного вала насоса впорскування мастила забезпечується мастилом ззовні. Насоси охолоджувальної води та мастила, що приводяться в дію двигуном, також забезпечуються мастилом ззовні. Контрольні поршні та опорні підшипники пристроїв регулювання розподільного вала (якщо є) також забезпечуються ззовні через окремі труби. Те саме стосується підшипників турбокомпресора. Труби подачі для цих вузлів підключені до інтегрованої розподільної труби.

Система масла повинна бути обладнана клапаном регулювання тиску на вхідній стороні для підтримки постійного тиску масла на вході в двигун, незалежно від швидкості та температури масла. Подача масла до турбокомпресора регулюється за допомогою клапана зниження тиску або діафрагми.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

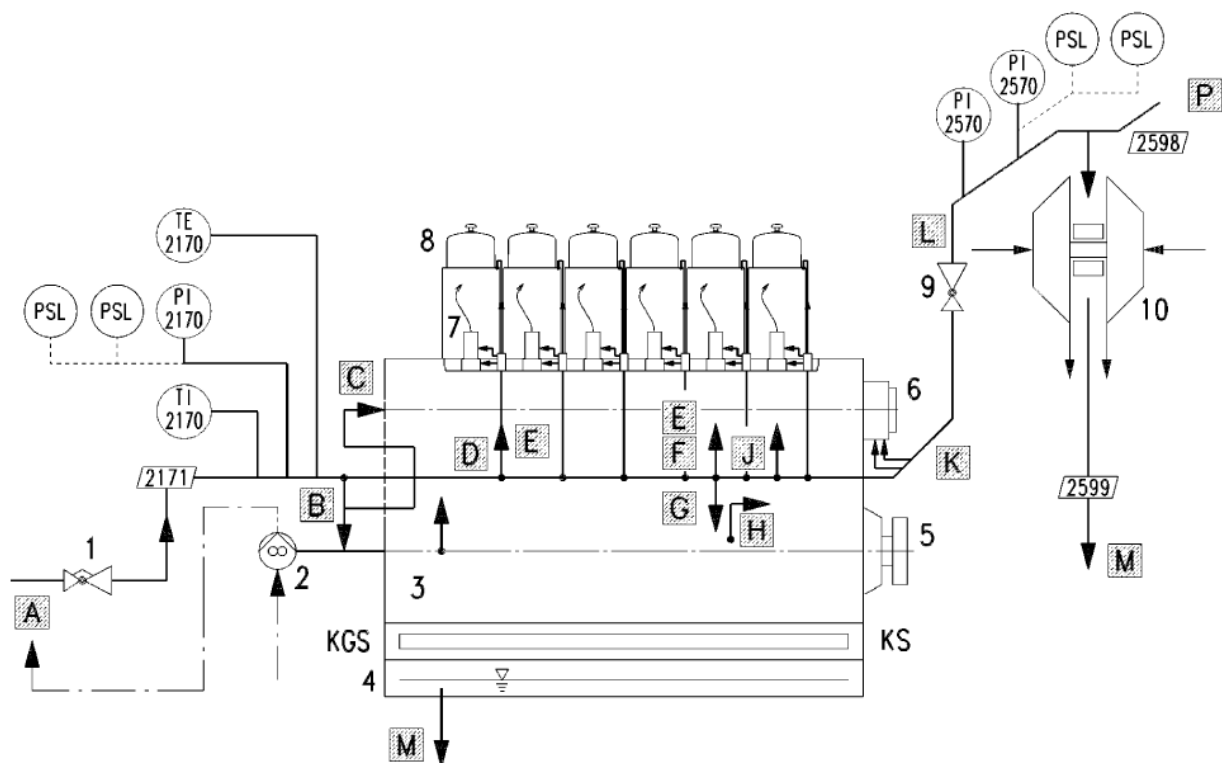


Рисунок 3.2 – Система змащення:

- 1 – Регулювальний клапан тиску; 2 – Приєднаний насос; 3 – Двигун;
 4 – Масляний піддон; 5 – Колінчастий вал; 6 – Розподільні вали;
 7 – Насос впорскування; 8 – Головка циліндра/коромисло; 9 – Клапан
 зниження тиску; 10 – Турбокомпресор; Е – Через розподільний вал насоса
 впорскування до насосів впорскування і через головку циліндра до коромисел;
 F – Через розподільний вал клапанів до кулачків; G – До головних
 підшипників; H – Через головні підшипники до опорного
 підшипника; J – До підшипників і форсунок приводу розподільного вала;
 K – До опорних підшипників і розподільного вала клапанів; L – До
 турбокомпресора; M – Випуск масла з турбокомпресора;
 P – Вентиляція

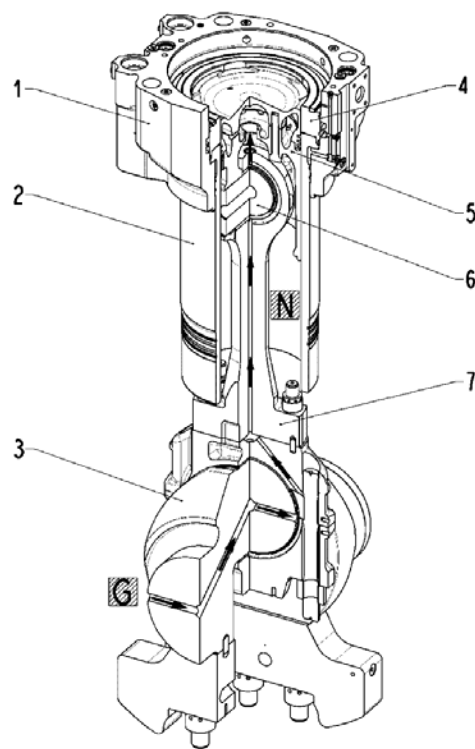


Рисунок 3.3 – Система змащення від головного підшипника до поршня:
 1 – Опорне кільце; 2 – Втулка циліндра; 3 – Колінчастий вал; 4 – Верхнє кільце; 5 – Поршень; 6 – Поршневий палець; 7 – Шатун; G – До головних підшипників Головка циліндра/коромисло; N – Від головних підшипників до головки поршня

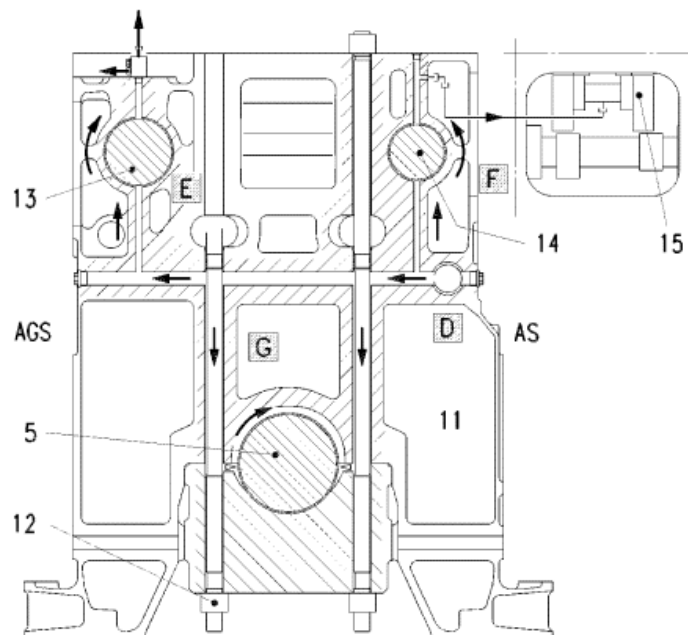


Рисунок 3.4 – Система змащення від розподільної труби до колінчастого вала та розподільних валів

На рис. 3.4 позначено: 5 – Колінчастий вал; 11 – Картер циліндрів; 12 – Тяга; 13 Розподільний вал насоса впорскування; 14 – Розподільний вал клапанів; 15 – Послідовник кулачка; D – Розподільна труба; E – Через розподільний вал насоса впорскування до насосів впорскування і через головку циліндрів до коромисел; F – Через розподільний вал клапанів до послідовників кулачків; G – До головних підшипників.

Суднові головні двигуни, особливо ті, що мають механічні масляні насоси, оснащені турбокомпресорами, які обладнані системою аварійного змащення для забезпечення достатнього постачання мастила до турбокомпресора під час зупинки та у разі відключення електроенергії. Під час фази зупинки підшипники турбокомпресора забезпечуються мастилом з акумулятора балонного типу, балон якого заповнений азотом і знаходиться в стисненому стані під час нормальної роботи. Коли робочий тиск знижується, масло подається до турбокомпресора під дією стисненого балона, а зворотний клапан запобігає зворотному потоку масла в трубопровід подачі (рис.3.5).

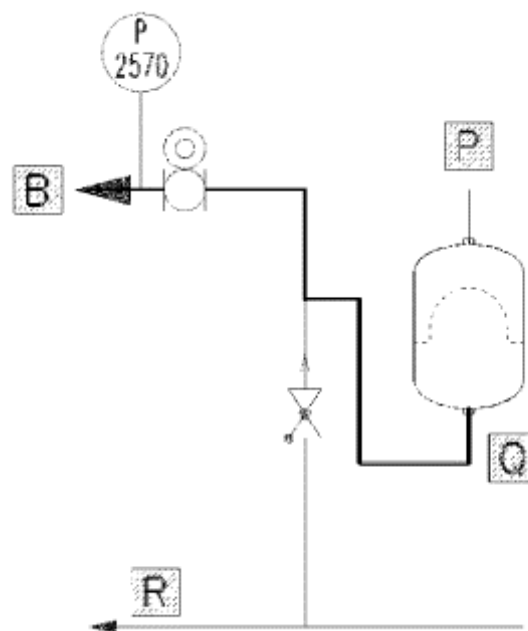


Рисунок 3.5 – Аварійне змащування турбокомпресора з акумулятора балонного типу:

B – Масло до турбокомпресора; P – Азот (одноразове заправлення); Q – Запас масла до турбокомпресора; R – Масло до двигуна

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для змащення турбокомпресора перед запуском двигуна можна використовувати головний мастильний насос або, як альтернатива, менший допоміжний насос (рис. 3.6). Необхідно забезпечити відповідну синхронізацію насоса та узгодженість системи, щоб уникнути надмірного змащення турбокомпресора під час запуску та експлуатації.

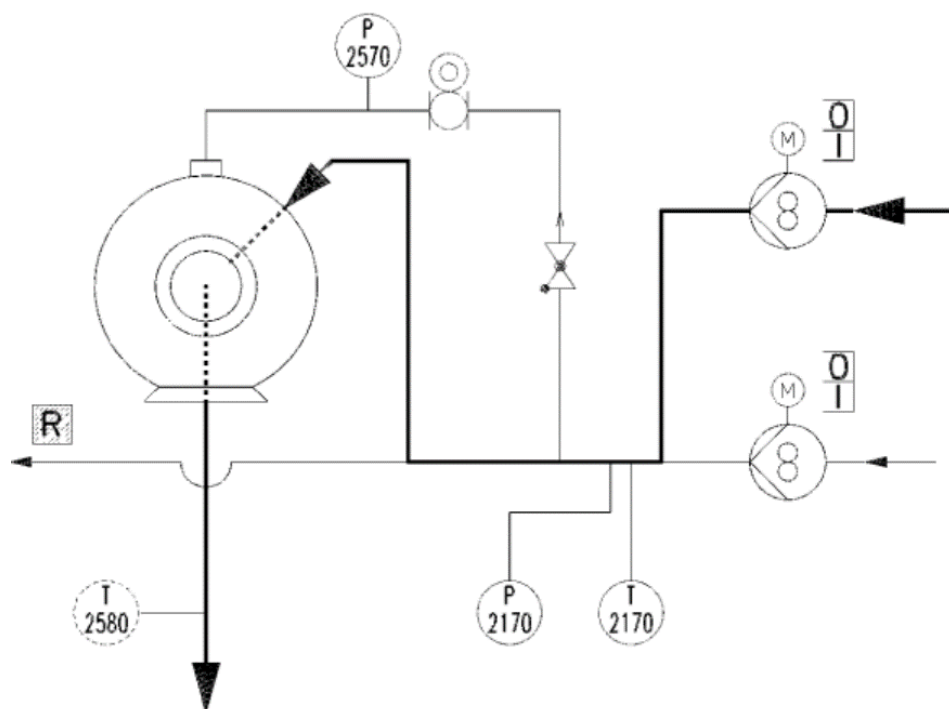


Рисунок 3.6 – Запуск турбокомпресора за допомогою допоміжного насоса

Розрахунок системи змащення

№	Параметр	Формула	Значення
1	Продуктивність масляного насоса, м ³ /год	$W_{MH} = K_v \cdot \frac{Q_M}{c_M \cdot \rho_M \cdot \Delta t_M}$	77,920
	Коефіцієнт запасу подачі	$K_v = 1,2 \dots 1,5$	1,2
	Питома теплоємність масла, кДж/(кг·К)	$c_M = 1,67 \dots 2,01$	2,000
	Щільність мастила, кг/м ³	ρ_M	870,0
	Різниця температур вихідного і вхідного масла в двигун, К	$\Delta t_M = 5 \dots 15$	15
	Кількість теплоти, яка відводиться з тертям, кДж/год	$Q_M = \alpha_n \cdot g_e \cdot N_e \cdot Q_{np}$	1694763,00
	Питома ефективна витрата палива, кг/кВт·год	g_e	0,176
	Номінальна потужність двигуна, кВт	N_e	4500,0
	Перепад температур масла, К	$\Delta t_n = 10 \dots 15$	15
	Доля теплоти, що сприймається маслом для охолодження поршнів	$\alpha_n = 0,05 \dots 0,1$	0,05
	Нижча теплота згоряння палива, кДж/кг	Q_{np}	42700

2	Продуктивність відкачуючого насоса, м ³ /год	$W_{MG} = (1,25 \dots 1,3) W_{MH}$	97,400
3	Ємність маслосбірної цистерни, м ³	$V_{My} = K_c \frac{W_{Me}}{z}$	4,22
	Коефіцієнт, який враховує мертвий запас масла та збільшення об'єму масла при його нагріві, м ³	$K_c = 1,2 \dots 1,3$	1,3
	Кратність циркуляції	$z = 10 \dots 30$ - МОД, СОД $= 40 \dots 60$ - ВОД	30
4	Об'єм сточної цистерни відпрацьованого масла, м ³	$V_{cm} = 0,6 \cdot V_{My}$	2,532
5	Об'єм витратної цистерни, м ³	$V_g = (1,1 \dots 1,5) \cdot V_{My}$	5,065
6	Площа теплообмінної поверхні маслоохолоджувача, м ²	$F_M = \frac{Q_M}{3,6 \cdot k \cdot \Delta t}$	66,987
	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м ² ·К)	$k = 290 \dots 460$	460,0
	Температурний напір, К	Δt	55,0
7	Продуктивність масляного сепаратора, м ³ /год	$W_{MC} = \frac{m \cdot V_{My}}{t_c}$	1,58
	Кратність очистки масла	$m = 1,5 \dots 3,5$	3,0
	Час роботи сепаратора на добу, год	$t_c = 8 \dots 12$	8

РОЗДІЛ 4

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Система змащення є важливою складовою суднового двигуна, що забезпечує зменшення тертя між рухомими частинами, відведення тепла та запобігання зносу деталей. Під час експлуатації, технічного обслуговування та ремонту цієї системи персонал піддається діям шкідливих факторів, таких як контакт із гарячим мастилом, тиск у трубопроводах, слизькі поверхні, шум, вібрації та ризик займання мастильних матеріалів. Тому дотримання правил охорони праці є обов'язковим для забезпечення безпеки працівників [7].

1. Загальні вимоги безпеки

Забезпечення безпеки праці при роботі з системою змащення суднового двигуна є важливою умовою безперебійного функціонування суднової енергетичної установки та збереження життя і здоров'я обслуговуючого персоналу. Усі роботи повинні проводитись у суворій відповідності до нормативних документів, інструкцій з експлуатації та чинного законодавства у сфері охорони праці.

Основні вимоги [8]:

Кваліфікація персоналу

До робіт із ремонту, технічного обслуговування та експлуатації системи змащення допускаються лише особи, які:

пройшли медичний огляд;

пройшли вступний та первинний інструктаж з охорони праці;

ознайомлені з технічною документацією та інструкціями виробника;

мають відповідну професійну підготовку та досвід.

Перед початком робіт

Необхідно переконатися в наявності і справності засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Перевірити наявність, доступність та справність аварійних засобів (вогнегасників, аптечки, вентиляції).

Забезпечити зупинку двигуна, охолодження системи, зниження тиску в трубопроводах та відключення живлення.

Під час виконання робіт

Роботи дозволено проводити лише у справному, добре освітленому, вентильованому та сухому приміщенні.

Заборонено виконувати ремонт або обслуговування при працюючому або гарячому обладнанні.

Злив мастильних матеріалів слід проводити у спеціальні герметичні ємності з подальшою утилізацією відповідно до екологічних вимог.

Використання інструменту

Заборонено використання несправного або саморобного інструменту.

Всі з'єднання та кріплення слід виконувати з дотриманням зусиль, рекомендованих виробником.

Після завершення робіт перевіряється герметичність системи та справність роботи вузлів.

Пожежна та екологічна безпека

Мастильні матеріали мають зберігатися у спеціально призначених ємностях у безпечному місці.

Заборонено куріння та використання відкритого полум'я поблизу системи змащення.

Витоки мастила слід негайно ліквідовувати, а забруднені ділянки очищати згідно з інструкціями.

2. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Робота з системою змащення суднового двигуна супроводжується впливом небезпечних і шкідливих виробничих факторів: високих температур, мастильних матеріалів, токсичних випарів, тиску в трубопроводах, а також

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ризиком механічних травм. Для запобігання впливу цих факторів на працівника обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

Основні види ЗІЗ, що застосовуються:

Спеціальний одяг

Вогнетривкий або масло-стійкий комбінезон або костюм, що захищає від бризок гарячого масла та забруднення.

Одяг повинен щільно прилягати до тіла, не мати звисаючих частин, які можуть зачепитися за рухомі механізми.

Захист рук

Маслостійкі рукавиці з теплоізоляційною підкладкою для захисту від гарячого мастила та гострих кромek деталей.

При роботах з хімічно активними рідинами — рукавиці з гуми або нітрилу.

Захист органів зору та обличчя

Захисні окуляри або щитки з полікарбонатним склом при зливi, заміні або фільтрації масла.

У разі ймовірності бризок чи виплеску масла — захисний щиток на все обличчя.

Захист органів дихання

Респіратори або маски з протиаерозольними фільтрами при роботах у замкнених приміщеннях, де можливе випаровування мастил.

У разі роботи з очисними засобами — використання фільтрів для органічних парів.

Захист ніг

Спецвзуття з маслостійкою, неслизькою підошвою та захисним носком для запобігання травмам при падінні інструменту чи деталей.

Додаткові засоби безпеки

Навушники або беруші при підвищеному рівні шуму в машинному відділенні.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Захисні каски — при виконанні робіт під піднятими елементами двигуна чи в обмежених просторах.

3. Вимоги під час експлуатації

У процесі експлуатації системи змащення суднового двигуна важливо дотримуватися встановлених правил охорони праці з метою запобігання аварійним ситуаціям, виходу з ладу обладнання та травмуванню персоналу. Своєчасне виявлення несправностей, правильне поводження з мастильними матеріалами та дотримання послідовності обслуговування — ключові умови безпечної роботи.

Основні вимоги безпеки під час експлуатації:

Контроль параметрів роботи системи змащення

Регулярно перевіряти тиск і температуру мастила відповідно до технічних норм.

Контролювати рівень масла у картері двигуна; долив мастила здійснювати лише на зупиненому двигуні.

Стежити за чистотою фільтрів та наявністю можливих витоків у трубопроводах.

Попередження аварійних ситуацій

При появі стороннього шуму, вібрацій або підвищеного тиску слід негайно зупинити двигун і з'ясувати причину.

У разі перегріву мастила або виявлення в ньому механічних домішок забороняється подальша експлуатація без усунення проблеми.

Робота з мастильними матеріалами

Злив, долив і заміна масла повинні проводитися з дотриманням температурного режиму та правил безпечного поводження.

Заборонено переливати мастило у відкритих ємностях поблизу джерел вогню або гарячих поверхонь.

Безпека робочого середовища

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Підлога в машинному відділенні має бути чистою, сухою та не слизькою — мастильні плями необхідно усувати одразу.

Освітлення в зоні обслуговування має забезпечувати повну видимість всіх елементів системи.

Уникнення контакту з рухомими частинами

Заборонено виконувати будь-які дії біля обертових вузлів під час роботи двигуна.

Усі роботи з перевірки вузлів системи змащення проводяться лише після повного зупинення двигуна та охолодження обладнання.

4. Вимоги під час ремонту

Ремонт системи змащення суднового двигуна — це відповідальна і потенційно небезпечна діяльність, яка вимагає суворого дотримання норм охорони праці. Під час виконання ремонтних робіт можливі контакти з гарячим мастилом, перебування в обмеженому просторі, робота з тиском і взаємодія з рухомими та важкими елементами. Правильна організація процесу ремонту є ключем до безпеки працівників і збереження працездатності обладнання.

Основні вимоги до охорони праці під час ремонту:

Підготовка до ремонту

Перед початком робіт необхідно зупинити двигун, дочекатися його повного охолодження та знизити тиск у системі.

Від'єднати обладнання від джерел живлення (електро-, пневмо- чи гідросистеми).

Провести інструктаж для персоналу, задіяного в роботах, з уточненням потенційних ризиків.

Безпечне поводження з мастильними матеріалами

Перед розбиранням системи потрібно злити залишки мастила у спеціальні ємності, не допускаючи розливів.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Заборонено використовувати відкритий вогонь або проводити зварювальні роботи поблизу місць зберігання мастильних матеріалів.

Організація робочого місця

Поверхні мають бути очищені від масла, щоб уникнути травм через ковзання.

Робоча зона повинна бути добре освітленою, вентиляваною і захищеною від сторонніх осіб.

Усі інструменти й обладнання мають бути справними, перевіреними та відповідати виду робіт.

Монтаж і пуск після ремонту

Після завершення ремонту необхідно перевірити герметичність з'єднань, справність фільтрів і насосів.

Перед пуском системи проводиться пробне прокручування вручну або на холостому ходу.

Після запуску – контроль за показниками тиску, температури та відсутністю витоків.

Дотримання вимог охорони праці під час роботи з системою змащення суднового двигуна дозволяє уникнути травматизму, пожеж, забруднення довкілля та продовжити ресурс основного обладнання. Безпека праці — це першочергова умова стабільної та ефективної експлуатації суднових енергетичних установок.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи було проведено розрахунок суднового чотиритактного середньообертового дизельного двигуна MAN 9L32/40 потужністю 4500 кВт при частоті обертання 750 хв^{-1} . Отримані результати свідчать про ефективність технічних рішень, закладених у конструкцію двигуна, зокрема у частині організації робочого процесу, міцності вузлів та надійності функціонування системи змащення.

У роботі виконано: тепловий розрахунок робочого циклу із визначенням індикаторних та ефективних показників, а також побудовано індикаторні діаграми; динамічний розрахунок сил, що діють у кривошипно-шатунному механізмі, з побудовою відповідних графіків зміни зусиль протягом обертання колінчастого валу; спроектовано систему змащення, яка забезпечує безперебійну подачу мастила до всіх вузлів двигуна, включаючи підшипники, поршневу групу, розподільні вали та турбокомпресор; розроблено комплекс заходів з охорони праці при експлуатації, обслуговуванні та ремонті системи змащення, що відповідають чинним нормам безпеки.

Отримані результати свідчать про відповідність обраного технічного рішення сучасним вимогам до суднових енергетичних установок — як у технічному, так і в екологічному аспектах. Розроблена система змащення гарантує надійну експлуатацію двигуна в умовах підвищених навантажень, а також забезпечує довговічність основних компонентів. Урахування вимог охорони праці дозволяє забезпечити безпечні умови роботи екіпажу судна та обслуговуючого персоналу.

Таким чином, поставлені в роботі цілі досягнуто, а результати можуть бути використані у практиці проєктування і модернізації морських дизельних двигунів.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Судновий механік: Довідник у 3 томах / за редакцією А. А. Фока. Одеса.: Фенікс, 2008. Т. 1. 1036 с.
2. Latarche M. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. Tenth edition. Elsevier Ltd, 2021. 930 p.
3. Черниш І. І., Кар'янський С. А., Оженко Є. М. Сучасні суднові дизелі: особливості конструкції, експлуатації та автоматизованого управління. Одеса : НУ «ОМА», 2019. – 217 с.
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. Дяченко В. Г. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія : підручник. Харків : НТУ «ХПІ», 2008. – 488 с.
6. Challen B., Baranescu R. Diesel Engine Reference Book. Second edition Butter-worth-Heinemann, 1999. – 675 p.
7. Bennett S. Modern Diesel Technology: Light Duty Diesels. New York: Delmar, 2012. – 412 p.
8. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 151 с.

					КРБ.142.4221.25.02.00.ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		