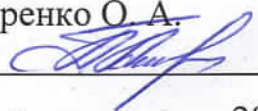


Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра двигунів
внутрішнього згорання,
установок та технічної
експлуатації

«Допущений до захисту»
В.о. завідувача кафедри
Гогоренко О. А.


« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

РОЗРАХУНОК ДОПОМІЖНОГО СУДНОВОГО ДВИГУНА ТИПУ
12ЧН 14,5/16,2 (CATERPILLAR C32)

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згорання

Для здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



В. С. Наливайко

Здобувач освіти



В. В. Антонюк

Миколаїв 2025

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ
О. А. Гогоренко
«___» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Антонюк Василь Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок допоміжного суднового двигуна типу 12ЧН 14,5/16,2
(Caterpillar C32)

2. Керівник роботи к.т.н., доц. Наливайко В. С.
(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 – 12ЧН 14,5/16,2 (Caterpillar C32),
потужність двигуна – 746 кВт; частота обертання колінчатого валу – 1800 хв⁻¹;
паливо – дизельне

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис конструкції двигуна 12ЧН 14,5/16,2; Розрахунок робочого циклу
та динамічних зусиль двигуна 12ЧН 14,5/16,2; Розробка системи охолодження
двигуна 12ЧН 14,5/16,2; Забезпечення вимог охорони праці

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Поперечний переріз двигуна 12ЧН 14,5/16,2; Індикаторна діаграма та діаграми
динаміки; Система охолодження двигуна 12ЧН 14,5/16,2

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)	/В. В. Антонюк/
	(прізвище та ініціали)
_____	_____
(підпис)	/В. С. Наливайко/
	(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі наведені результати розрахунку допоміжного суднового дизельного двигуна 12ЧН 14,5/16,2, потужністю 746 кВт та 1800 хв⁻¹.

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

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 48 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 8 джерел. Графічна частина представлена на 3 кресленнях формату А1.

Ключові слова: допоміжний двигун, охолоджувач, забортна вода, відцентровий насос.

The qualification work presents the results of calculations for the auxiliary ship diesel engine 12ЧН 14,5/16,2 with a power of 746 kW and 1800 rpm.

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

The qualification work is written in Ukrainian and consists of 48 pages of calculations and explanatory notes. Eight sources are used. The graphic part is presented in three A1 format drawings.

Key words: auxiliary engine, cooler, seawater, centrifugal pump.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Опис конструкції двигуна 12ЧН 14,5/16,2.....	6
Розділ 2. Розрахунок робочого циклу та динамічних зусиль двигуна 12ЧН 14,5/16,2.....	15
Розділ 3. Розробка системи охолодження двигуна 12ЧН 14,5/16,2.....	29
Розділ 4. Забезпечення вимог охорони праці.....	38
Висновки.....	44
Список використаної літератури.....	45
Додаток А. Поперечний переріз двигуна 12ЧН 14,5/16,2.....	46
Додаток Б. Індикаторна діаграма та діаграми динаміки.....	47
Додаток В. Система охолодження двигуна 6ЧН 11,5/12,5.....	48

					<i>КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ</i>	Аркуш
						3
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному суднобудуванні допоміжні суднові двигуни відіграють ключову роль у забезпеченні надійного функціонування суднових енергетичних установок. Вони призначені для вироблення електроенергії, живлення допоміжних механізмів і систем життєзабезпечення на борту судна, а також можуть використовуватись як аварійні джерела енергії. Ефективність, надійність та техніко-економічні показники допоміжного двигуна безпосередньо впливають на безперебійну роботу судна, його експлуатаційну безпеку та економічну доцільність морських перевезень [1].

Двигун Caterpillar C32 типу 12ЧН 14,5/16,2 є високопродуктивним дизельним агрегатом, що широко застосовується на судах різного призначення. Він поєднує в собі потужність, надійність і сучасні конструктивні рішення, що дозволяє забезпечити високий рівень паливної економічності та екологічної відповідності сучасним вимогам.

Актуальність роботи полягає в необхідності виконання точного технічного розрахунку характеристик двигуна з урахуванням режимів його експлуатації, аналізу основних параметрів, що визначають його ефективність, а також пошуку шляхів удосконалення експлуатаційних показників.

Метою даної кваліфікаційної роботи є виконання теплового, індикаторного та конструктивного розрахунків допоміжного суднового дизельного двигуна Caterpillar C32 з метою визначення його основних параметрів, оцінки ефективності та обґрунтування доцільності його застосування в енергетичній установці судна.

Об'єктом дослідження є допоміжний судновий дизельний двигун внутрішнього згоряння типу 12ЧН 14,5/16,2.

Предметом дослідження є процес теплового та індикаторного розрахунку, а також визначення конструктивних параметрів дизельного

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

двигуна з метою забезпечення його надійної та ефективної роботи в умовах суднової експлуатації.

У процесі виконання роботи буде здійснено поетапний технічний аналіз двигуна, розглянуто особливості його конструкції та функціонування, а також визначено основні експлуатаційні характеристики, що впливають на загальну ефективність роботи суднової енергетичної установки.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ДВИГУНА 12ЧН 14,5/16,2

Двигун 12ЧН 14,5/16,2 (С32 Tier 3) з окремим контуром охолодження (SCAC) сертифікований відповідно до стандартів ЕРА Tier 3 2013 року та ІМО II щодо викидів у морському транспорті.

Двигун 12ЧН 14,5/16,2 (рис. 1.1-1.5) є високопродуктивним чотиритактним V-подібним дизельним двигуном з 12 циліндрами, розташованими під кутом 60° у два ряди. Цей двигун належить до серії середньообертових суднових дизелів і широко застосовується як допоміжне джерело енергії на морських і річкових судах [2].



Рисунок 1.1 – Загальний вид двигуна (вид спереду)

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6



Рисунок 1.2 – Загальний вид двигуна (вид зліва)



Рисунок 1.3 – Загальний вид двигуна (вид справа)

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

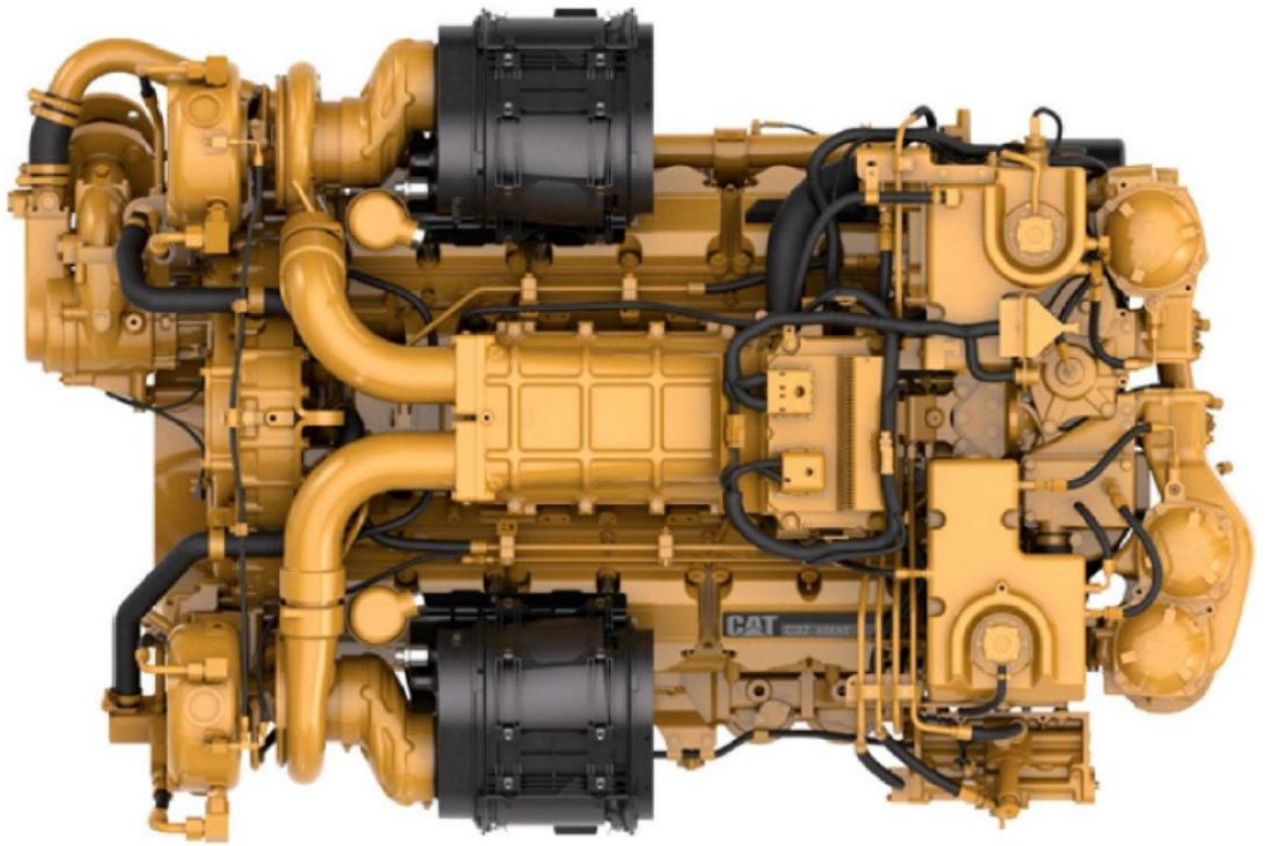


Рисунок 1.4 – Загальний вид двигуна (вид зверху)



Рисунок 1.5 – Загальний вид двигуна (вид ззаду)

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

Циліндро-поршнева група двигуна складається з чавунних гільз знімного типу, поршнів із жароміцного алюмінієвого сплаву з охолодженням маслом (мають масляну форсунку для зрошення днища поршня), а також сталевих шатунів з роз'ємною нижньою головкою. Кожен циліндр обладнаний чотирма клапанами (два впускних і два випускних), що забезпечують ефективний газообмін і підвищену пропускну здатність.

Головка блока циліндрів – окрема для кожного циліндра, виготовлена з чавуну або легованої сталі. Вона містить клапанний механізм і форсунку паливної системи високого тиску. Привід клапанів здійснюється через коромисла та штовхачі від розподільного валу, розташованого у блоці двигуна.

Двигун Caterpillar C32 має жорсткий моноблочний корпус (картер), до якого прикріплено блок циліндрів. Колінчастий вал – сталевий, кований, п'яти- або семиопорний (залежно від конфігурації), із противагами. Він з'єднаний з маховиком, до якого приєднується генератор або інший енергетичний агрегат.

Особливістю конструкції двигуна є можливість інтеграції із системами електронного керування, що дозволяє здійснювати моніторинг та діагностику роботи в реальному часі, підвищуючи надійність та ефективність експлуатації.

Загалом, конструкція двигуна 12ЧН 14,5/16,2 (Caterpillar C32) поєднує в собі міцність, технологічність та енергоефективність, що забезпечує його широку застосовність у складі суднових енергетичних установок.

Стратегія захисту двигуна застосовується для захисту компонентів двигуна від пошкодження внаслідок термічного зносу, спричиненого високою температурою вхідного повітря. Стратегія захисту двигуна застосовується лише для двигунів, що відповідають вимогам ЕРА Tier 3; ця стратегія не застосовується для двигунів, що відповідають лише вимогам ІМО II. Стратегія захисту двигуна базується на температурі повітря у впускному колекторі, яка залежить від температури охолоджувальної води в доохолоджувачі та

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

температури навколишнього повітря в турбокомпресорі. Температура морської води та рівень забруднення теплообмінника або охолоджувача кіля безпосередньо впливають на температуру впускного колектора [ІМАТ].

Температура повітря, що надходить до турбокомпресора, вимірюється новим датчиком температури, розташованим у корпусі повітряного фільтра.

Система очищення вхідного повітря є стандартною для кожної конфігурації двигуна, проте вона вважається додатковим обладнанням.

Фільтруючі елементи Cat є одноразовими. Фільтруючі елементи можна вийняти з нижньої частини корпусу очищувача, як показано на кресленнях установки в EDDC.

Система з'єднання двигуна використовується для захисту двигуна від гальванічної корозії під час його установки на судні.

Двигун повинен бути з'єднаний із цинком, зануреним у морську воду. Провід для з'єднання повинен мати мінімальний розмір #8 за американською шкалою провідників (AWG). Цинк і двигун повинні знаходитися в одній і тій же воді.

Для захисту двигуна від гальванічної корозії до двигуна повинна надходити безперервна колона морської води. Якщо в лінії морської води між двигуном і цинком є повітряний зазор, система з'єднання не захищатиме двигун.

Перед морським ящиком необхідний зворотний клапан або його еквівалент, щоб уникнути утворення повітряного зазору, якщо морська вода стікає назад з двигуна.

З'єднувальний дріт повинен бути закріплений як до двигуна, так і до цинку. Не вводьте жодних інших систем, що контактують із системою з'єднання двигуна.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

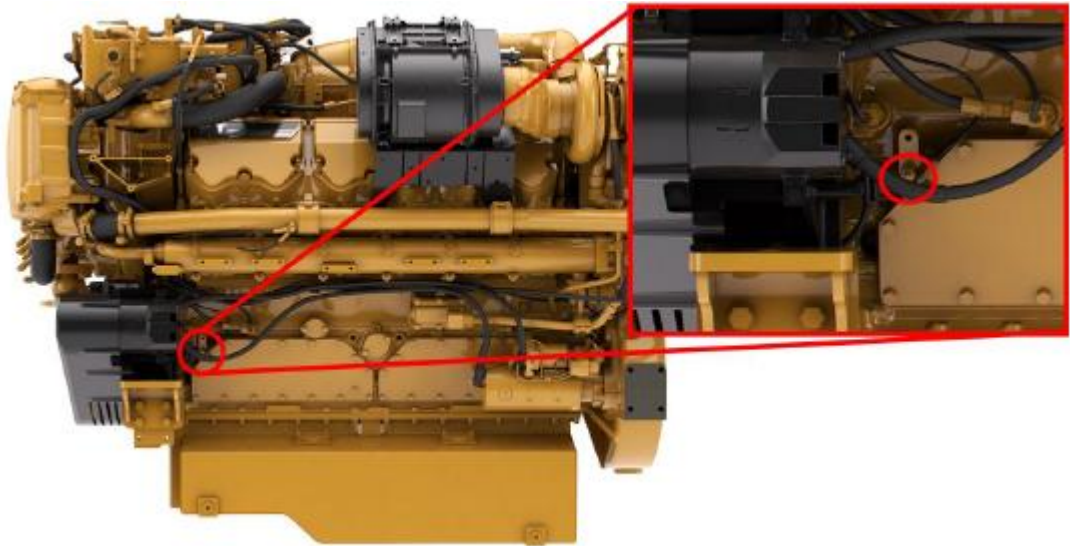


Рисунок 1.6 – Розташування кріпильних шпильок С32

Турбокомпресори

Підключення виходу турбокомпресора та його геометрія показані на кресленнях установки двигуна.

Вихлопні сільфони призначені для компенсації теплового розширення та руху двигуна. Конструкція вихлопної системи судна безпосередньо за вихлопними сільфонами двигуна повинна бути фіксованою/жорсткою і не повинна підтримуватися двигуном. Поставлені вихлопні сільфони витримують лише рух двигуна та теплове розширення. Додаткове зовнішнє навантаження на турбокомпресори не допускається.

Паливна система

Паливна система повинна забезпечувати безперервну подачу чистого палива [3]. Бак не повинен перевищувати висоту форсунок двигуна, щоб запобігти можливому витoku палива в циліндри. Якщо необхідне більш високе розташування, необхідно встановити зворотні клапани з протитиском, встановленим на висоту стовпа палива.

Внутрішній діаметр трубопроводу/лінії, що подає паливо до двигуна, та лінії повернення палива до бака повинен бути рівним або більшим за розмір лінії на з'єднаннях двигуна.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Повітря в системі спричиняє важкий запуск і нестабільну роботу двигуна, а також може призвести до ерозії форсунок.

З'єднання з двигуном повинні бути гнучкими і підключатися безпосередньо до вхідного та вихідного отворів двигуна, щоб компенсувати рух двигуна.

Місце подачі палива на двигуні НЕ залежить від сторони обслуговування. Подача завжди розташована з правого боку двигуна, поблизу водяного охолодження вихлопної труби двигуна.

Місце повернення палива на двигуні залежить від сторони обслуговування і розташоване на основі паливного фільтра. Повернення палива завжди розташоване в задній частині основи паливного фільтра.

Охолоджувач палива є стандартним для всіх комерційних двигунів. Охолоджувач палива є пластинчастим паяним охолоджувачем у контурі охолоджувача обробленої води і розташований у порожнині за баком охолоджуючої рідини для системи охолоджувача.

Стандартна система фільтрації палива Cat, встановлена на двигуні, повинна розглядатися як вторинна система фільтрації палива до первинної системи фільтрації палива, встановленої суднобудівником або замовником. Система фільтрації палива, встановлена на двигуні, має дуплексну систему фільтрації палива з накручуваними паливними фільтрами. Caterpillar не пропонує симплексну систему фільтрації палива для цього продукту.

Система змащення

Стандартні масляні фільтри, встановлені на двигуні, оснащені одноступінчастою системою фільтрації масла, двоступінчаста система фільтрації масла є опціональною. Кожен двигун оснащений одним кожухотрубним масляним охолоджувачем, встановленим на двигуні. Масло охолоджується обробленою водою з контуру водяної сорочки.

Система пуску

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Цей повітряний стартер є турбінним стартером, який не потребує палива або мастила. Він постачається у вигляді повністю інтегрованого модуля, що включає такі функції та/або компоненти:

- ☐ Вбудовані елементи керування та електромагнітні клапани
- ☐ Вбудований вихлопний глушник
- ☐ Вбудований електронний контролер
- ☐ Логіка електронного захисту стартера (ESP)
- ☐ Попередньо зачеплений редукторний привід стартера та муфта вільного ходу

Редукторний привід стартера повністю зачеплений (з кільцевою шестернею двигуна) до того, як стартерний двигун запускається (заводить двигун). Муфта вільного ходу забезпечує максимальний крутний момент і додатковий захист редукторного приводу стартера та кільцевої шестерні двигуна.

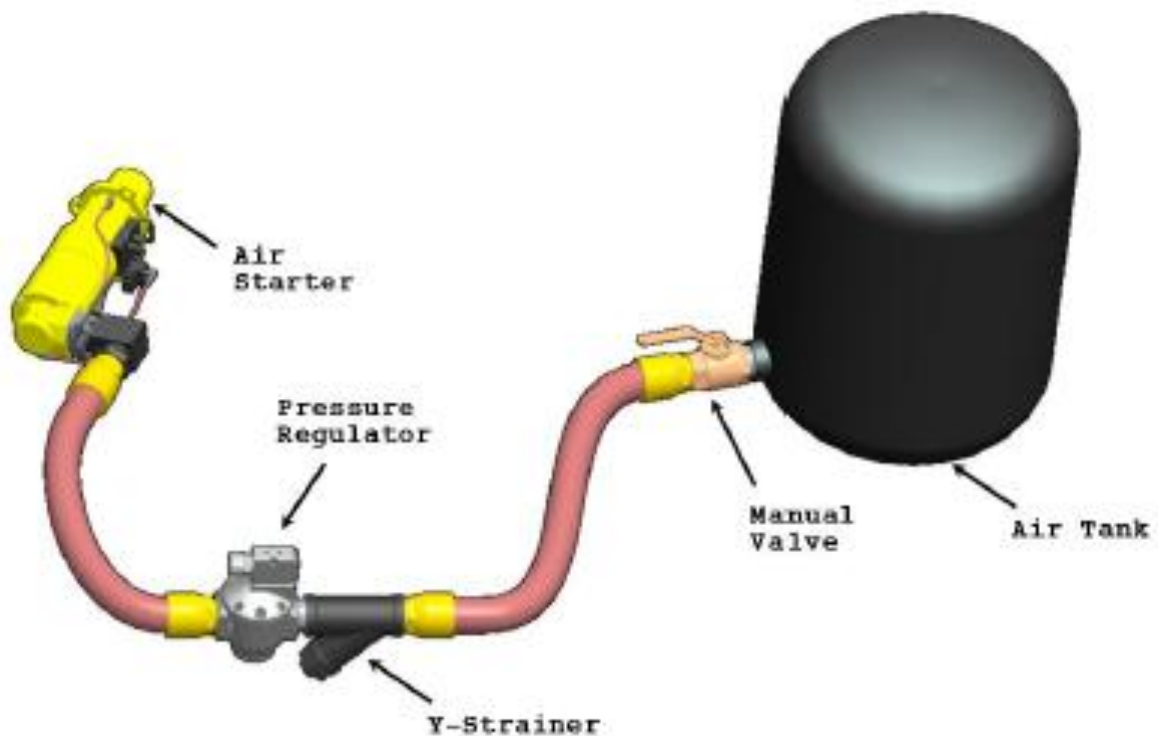


Рисунок 1.7 – Приклад установки повітряного стартера

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Вбудовані елементи управління включають головний повітряний релейний клапан та пілотний повітряний електромагнітний клапан з ручним обхідним каналом.

Вбудований глушник з центральним розсіюванням 360 градусів випускає повітря з низькою швидкістю через три замінні елементи шумозаглушення, кожен з яких розташований під металевою захисною сіткою.

Вбудований електронний контролер спільно з системою управління двигуном забезпечує стабільну, безпомилкову роботу та максимальну надійність стартера.

З виходу теплообмінника масло надходить до фільтрувального вузла, а звідти назад до блоку двигуна для змащення всіх антифрикційних елементів.

Конденсатор вихлопних парів, оснащений фільтром і запобіжним клапаном, розташований у верхній частині кришки механізму регулювання фаз. Пари, повернувшись у рідкий стан, надходять із конденсатора вихлопних парів до масляного піддону. Двигун оснащений системою попереднього змащення за запитом. Вона може впорскувати в канали двигуна достатню кількість масла, щоб гарантувати повністю безпечний запуск.

Робота електричного насоса попереднього змащення автоматично контролюється електронним блоком ECU.

Ця система за допомогою електромагнітного клапана перемикання потоку також дозволяє спорожнити і наповнювати масляний піддон.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ТА ДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ ДВИГУНА 12ЧН 14,5/16,2

Методика розрахунку робочого циклу двигуна

Метод Гріневецького–Мазинга є одним із класичних підходів до розрахунку робочого циклу поршневого двигуна внутрішнього згоряння. Його суть полягає в аналітичному відтворенні індикаторної діаграми – залежності тиску в циліндрі від об'єму (або кута повороту колінчастого вала) – із використанням ідеалізованих та наближених залежностей для кожного періоду циклу.

Основні положення методу:

Робочий цикл поділяється на окремі фази:

наповнення

стиснення

згоряння палива

розширення (робочий хід)

випуск

Кожен з етапів описується окремим рівнянням залежності тиску від об'єму або кута повороту колінчастого вала. Розрахунок базується на ряді припущень:

робоче тіло підпорядковується законам термодинаміки і має сталі показники;

згоряння описується політропним або двоступеневим процесом;

ураховується вплив залишкових газів, ступеня стиску, наддуву тощо.

Переваги методу Гріневецького–Мазинга при розрахунку робочого циклу двигуна:

1. Простота та аналітична зручність

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Метод базується на чітких аналітичних залежностях між тиском, об'ємом і температурою на різних фазах циклу. Це дозволяє швидко виконувати розрахунки вручну або у середовищах типу Excel/Mathcad, без потреби у складному програмному забезпеченні.

2. Можливість оцінки основних індикаторних параметрів

Метод дозволяє обчислити:

середній індикаторний тиск

індикаторну потужність

термічний ККД;

питомі витрати палива.

Ці показники важливі для попереднього аналізу ефективності двигуна, а також для порівняння різних варіантів конструкцій або режимів роботи.

3. Підходить для ескізного проектування

Завдяки простоті та можливості застосування середньостатистичних параметрів (ступеня стиску, показників політропи тощо), метод широко використовується на ранніх етапах проектування нових двигунів або при виконанні курсових і дипломних робіт.

4. Універсальність

Метод застосовний для будь-яких типів поршневих ДВЗ – бензинових, дизельних, газових, з наддувом і без. Це робить його зручним у роботі як для академічних цілей, так і для аналізу реальних двигунів із відомими параметрами.

5. Можливість швидкого варіаційного аналізу

Метод дозволяє легко змінювати вхідні параметри (ступінь стиску, початковий тиск, показники політроп) і швидко бачити, як це впливає на кінцеві технічні характеристики двигуна. Це корисно для попередньої оптимізації та аналізу чутливості.

6. Доступність і наочність

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Завдяки чіткій структурі та можливості побудови аналітичної індикаторної діаграми метод є зрозумілим для студентів і молодих інженерів. Він широко застосовується в навчальних курсах з теплотехніки, двигунобудування та термодинаміки.

7. Можливість урахування основних конструктивних і теплотехнічних особливостей

Хоча метод і не враховує всі складні фізичні явища, у ньому можна враховувати вплив наддуву, змінного складу суміші, залишкових газів, теплових втрат, що забезпечує прийнятну точність для практичних розрахунків.

Метод Гріневецького–Мазинга є ефективним інструментом для інженерного аналізу та початкового етапу розрахунку поршневих двигунів, поєднуючи доступність, гнучкість і достатню точність. Він дає змогу швидко оцінити ефективність і потенціал конструкції, що особливо важливо при розробці нових моделей двигунів або модернізації існуючих систем.

Вхідні параметри для розрахунку робочого циклу двигуна

У табл. 2.1 представлені вхідні параметри для розрахунку робочого циклу [4].

Таблиця 2.1 – Вхідні параметри для розрахунку

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Ефективна потужність	N_e	кВт	746
Частота обертання	n	хв ⁻¹	1800
Тиск навколишнього середовища	P_0	МПа	0,1013
Температура навколишнього середовища	T_0	К	303
Тиск наддуву	P_k	МПа	0,3
Коефіцієнт продувки	ϕ_a		1,05
Коефіцієнт залишкових газів	γ_z		0,04
Коефіцієнт використання тепла в точці Z	ϵ_z		0,92

Коефіцієнт використання тепла в точці b	ϵ_p		0,95
Ступінь стиснення	ϵ		16
Ступінь підвищення тиску при згорянні	λ		1,4
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		0,85
Адіабатний ККД компресора	$\eta_{k.ad}$		0,842
Втрата тиску в повітроохолоджувачі	ΔP_{ox}	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 згорання палива	Q_H	(кДж / кг)	42700
Кількість циліндрів	i		12
Діаметр циліндра	D_c	м	0,145
Хід поршня	S_c	м	0,162
Коефіцієнт тактності	z		0,5
Коефіцієнт надлишку повітря для згорання	α		2,47
Показник адіабати повітря	k_e		1,41
Механічний ККД турбіни	$\eta_{t.m}$		0,98
Адіабатний ККД турбіни	$\eta_{t.ad}$		0,74
Коефіцієнт втрати тиску на впуску	ϵ_g		0,955
Ставлення тиску за компресором до тиску перед турбіною p	ψ_t		0,885

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	434,031
Температура повітря в ресивері	T_s	К	309,552
Температура повітря в кінці наповнення	T_a	К	347,646
Тиск повітря в ресивері двигуна	P_s	МПа	0,296
Тиск в кінці наповнення	P_a	МПа	0,283
Коефіцієнт наповнення	η_n		0,872
Результати розрахунку процесу стиснення			
Показник політропи стиснення	n_1		1,361
Тиск у кінці стиснення	P_c	МПа	12,299
Температура в кінці стиснення	T_c	К	945,324
Результати розрахунку процесу згоряння			
Дійсна кількість повітря для згоряння	L	кмоль/кг	1,222
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	β_0		1,0259
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	β		1,0249
Частка палива, що вигоріла до точки z	x_z		0,968
Коефіцієнт молекулярної зміни у точці z	β_z		1,024
Максимальна температура згоряння	T_z	К	1823
Максимальний тиск згоряння	P_z	МПа	17,218
Результати розрахунку процесу розширення			
Ступінь попереднього розширення	ρ		1,41
Ступінь подальшого розширення	δ		11,344
Показник політропи розширення	n_2		1,288
Температура в кінці процесу розширення	T_b	К	905,109

Тиск у кінці процесу розширення	P_b	МПа	0,754
Результати визначення індикаторних показників			
Теоретичний середній індикаторний тиск	P'_i	МПа	1,862
Дійсний середній індикаторний тиск	P_i	МПа	1,825
Питома індикаторна витрата пального	g_i	кг/(кВт*год)	0,162
Індикаторний ККД	η_i	-	0,521
Результати визначення ефективних показників			
Середній ефективний тиск	P_e	МПа	1,551
Ефективний ККД	η_e	-	0,443
Питома ефективна витрата пального	g_e	кг/(кВт*год)	0,1904
Ефективна потужність двигуна	N_e	кВт	747,6
Результати визначення дійсного P_k компресора			
Витрата повітря через компресор	G	кг/год	1,469
Витрата газів через турбіну	G_t	кг/год	1,509
Тиск газів перед турбіною	P_r	МПа	0,266
Температура газів	T_t	К	716,655
Кількість робочого тіла	M_s	кмоль/кг	1,254
Універсальна газова стала для відпрацьованих газів	R_t	кДж/кг*К	287,489
Показник адіабати розширення газу в турбіні	k_t		1,38
Дійсна ступінь підвищення тиску у компресорі	P_k		2,973
Розрахунковий тиск наддуву	P_{kd}	МПа	0,3011

Розрахунок та побудова індикаторних діаграм

Графічне зображення процесів у вигляді розрахункових діаграм було отримано на основі моделювання робочого циклу, виконаного у середовищі MathCad. Ці діаграми використовуються як база для подальшого динамічного аналізу та розрахунків на міцність окремих елементів конструкції двигуна. Побудова аналітичних графіків здійснювалась із використанням програмного забезпечення Excel. Розрахунок координатних значень для процесів стиснення та розширення, які описуються політропними рівняннями, проводився за такими формулами [5]:

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– для процесу стиснення:

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

– для процесу розширення:

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

де $v/v_c = \epsilon_x$ – відношення об'ємів, яке представляє собою поточне значення ступеня стиснення.

Для розрахунку індикаторної діаграми використовуємо вхідні дані:

Показник політропи стиснення n_1	1,361
Показник політропи розширення n_2	1,288
Тиск кінця стиснення p_c , МПа	12,299
Максимальний тиск згоряння p_z , МПа	17,218
Ступінь попереднього розширення ρ	1,41
Ступінь стиснення ϵ	16

Таблиця 2.3 – Розрахунки для побудови індикаторної діаграми

V/V_c	$p_{ст}$	$p_{розш}$
1,00	17,22	
1,00	12,30	17,22
1,41	7,71	17,22
2,14	4,37	10,06
2,87	2,93	6,90
3,60	2,15	5,15
4,33	1,67	4,06
5,06	1,35	3,32
5,79	1,13	2,79
6,52	0,96	2,40
7,25	0,83	2,09
7,98	0,73	1,85
8,71	0,65	1,65
9,43	0,58	1,49
10,16	0,52	1,35

10,89	0,48	1,24
11,62	0,44	1,14
12,35	0,40	1,05
13,08	0,37	0,98
13,81	0,35	0,91
14,54	0,32	0,85
15,27	0,30	0,80
16,00	0,28	0,75
16,00		0,28

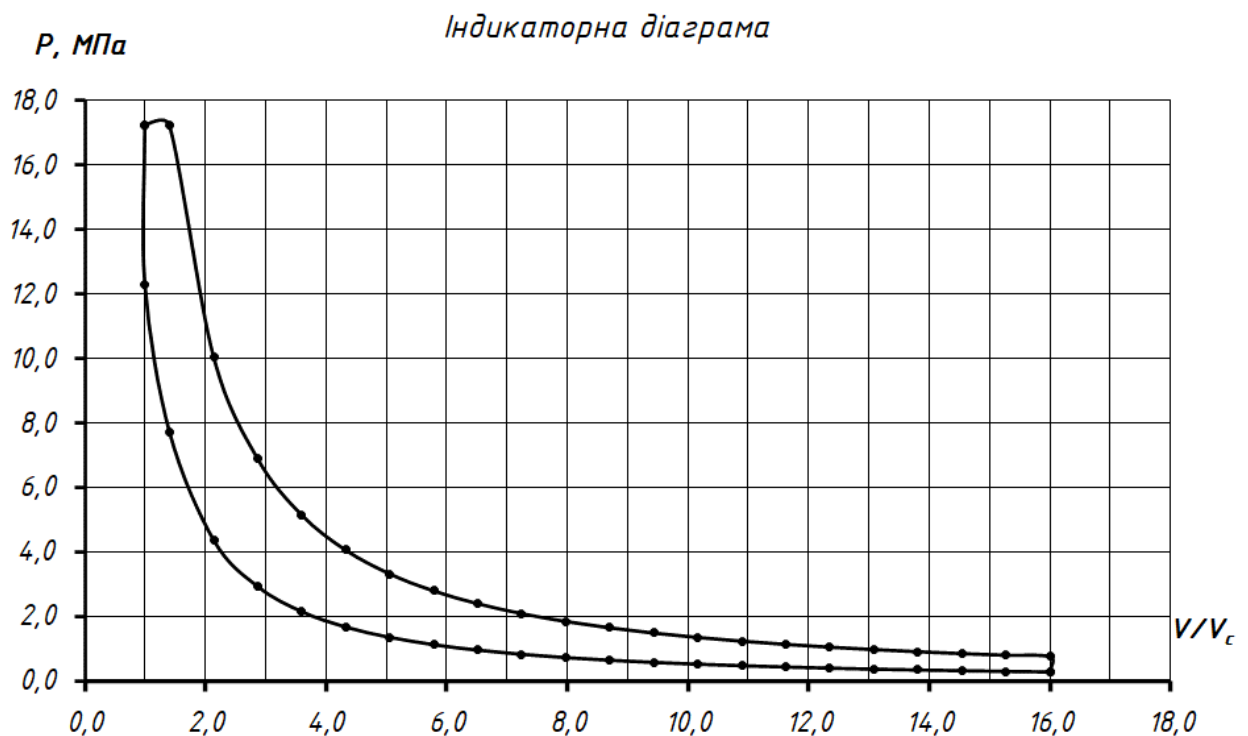


Рисунок 2.1 – Індикаторна діаграма

Розрахунок динамічних зусиль діючих у КШМ

Графіки динамічних процесів використовуються для визначення навантажень, що виникають у колінчастому валу під час його обертання на будь-якому куті повороту. Вони є ключовим інструментом для оцінки міцності основних елементів вала та аналізу його балансування. Побудова таких графіків здійснюється на основі параметрів, отриманих у результаті

теплового розрахунку робочого циклу, із врахуванням дії змінних зовнішніх і внутрішніх сил протягом одного оберту колінчастого вала [5].

До складу сил, які враховуються при побудові діаграм, належать:

- P_g – сила газового тиску, що діє на поршень;
- P_j – сила інерції поступально рухомих мас;
- $P_{дв}$ – вертикальна складова сили, прикладеної до осі поршневого пальця (так звана рушійна сила);
- N – нормальна сила, що притискає поршень до стінки циліндра;
- Q – сила, яка передається вздовж шатуна;
- T – дотична сила, що діє по дузі обертання кривошипа;
- Z – осьова сила, спрямована вздовж осі кривошипа.

Схематичне розташування зазначених сил у кривошипно-шатунному механізмі наведено на рис. 2.2.

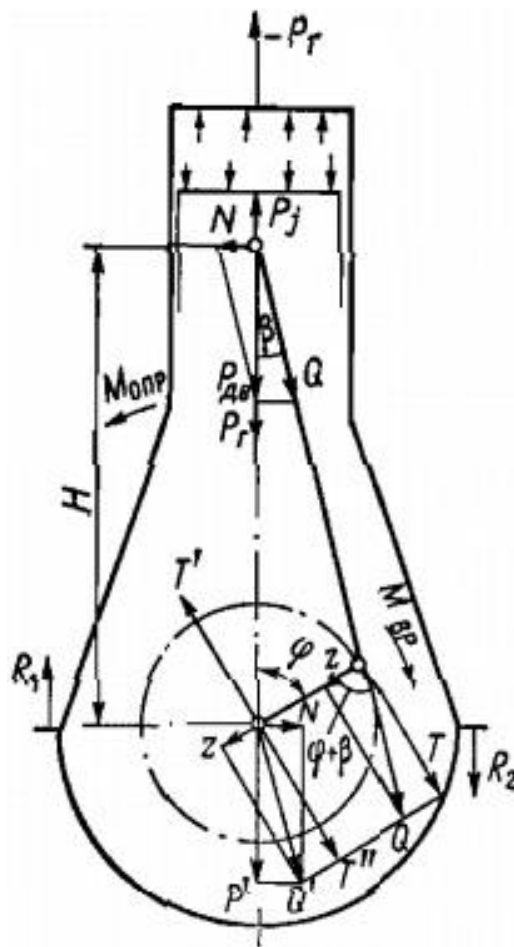


Рисунок 2.2 – Схема сил в КШМ

Інформація, що слугувала основою для проведення динамічного аналізу, представлена у табл. 2.4. Виходячи з цих даних, були виконані відповідні обчислення, результати яких систематизовано в табл. 2.5 та 2.6. На основі розрахованих значень побудовано графічні залежності, подані на рис. 2.3–2.5.

На рис. 2.3 відображено:

- P_r – тиск газів, що передається на поршень;
- P_j – інерційна сила, зумовлена поступальним рухом маси в одному циліндрі;
- P_{dv} – вертикальна сила, що реалізує поступальний рух поршня (рушійна).

Рис. 2.4 ілюструє:

- N – нормальну силу, що діє між поршнем і стінкою втулки;
- Z – зусилля, спрямоване вздовж осі кривошипа;
- T – дотичну компоненту сили, що діє у напрямку обертання кривошипа.

На рис. 2.5 наведено:

- $T\Sigma$ – сумарну дотичну силу, прикладену до кривошипно-шатунного механізму;
- $T_{ср}\Sigma$ – усереднене значення загального дотичного навантаження протягом циклу.

Таблиця 2.4 – Вхідні дані для розрахунку

Діаметр поршня	м	D	0,145
Частота обертання КВ	хв^{-1}	n	1800
Максимальний тиск згоряння	МПа	P_z	17,218
Тиск на початку стиску	МПа	P_a	0,283
Тиск наддуву	МПа	P_k	0,3
Тиск залишкових газів	МПа	P_r	0,5
Кривошипно-шатуне відношення		λ	0,3
Маса деталей, що рухаються возвратно-поступово	кг	m	10
Радіус кривошипа	м	r	0,081

Ступінь стиснення		ε	16
Показник політропи стиснення		n_1	1,361
Показник політропи розширення		n_2	1,288
Ступінь попереднього розширення		ρ	1,41
Кількість циліндрів		i	12

Таблиця 2.5 – Результати динамічного розрахунку

φ°	Pr	Pj	Pdv	N	Z	T
0	0,3000	-2,2646	-1,9646	0,0000	-1,9646	0,0000
10	0,3000	-2,2066	-1,9066	-0,0994	-1,8604	-0,4290
20	0,3000	-2,0372	-1,7372	-0,1789	-1,5713	-0,7623
30	0,3000	-1,7699	-1,4699	-0,2222	-1,1619	-0,9273
40	0,3000	-1,4252	-1,1252	-0,2197	-0,7207	-0,8916
50	0,3000	-1,0290	-0,7290	-0,1705	-0,3379	-0,6680
60	0,3000	-0,6097	-0,3097	-0,0823	-0,0836	-0,3094
70	0,3000	-0,1955	0,1045	0,0303	0,0073	0,1086
80	0,3000	0,1886	0,4886	0,1487	-0,0616	0,5070
90	0,3000	0,5226	0,8226	0,2545	-0,2545	0,8226
100	0,3000	0,7936	1,0936	0,3328	-0,5177	1,0192
110	0,3000	0,9961	1,2961	0,3754	-0,7960	1,0896
120	0,3000	1,1323	1,4323	0,3807	-1,0459	1,0500
130	0,3000	1,2105	1,5105	0,3534	-1,2416	0,9299
140	0,3000	1,2437	1,5437	0,3014	-1,3763	0,7614
150	0,3000	1,2473	1,5473	0,2339	-1,4569	0,5711
160	0,3000	1,2366	1,5366	0,1582	-1,4980	0,3769
170	0,3000	1,2244	1,5244	0,0795	-1,5151	0,1864
180	0,2830	1,2194	1,5024	0,0000	-1,5024	0,0000
190	0,2849	1,2244	1,5094	-0,0787	-1,5001	-0,1846
200	0,2909	1,2366	1,5275	-0,1573	-1,4892	-0,3746
210	0,3014	1,2473	1,5487	-0,2341	-1,4582	-0,5716
220	0,3173	1,2437	1,5610	-0,3048	-1,3917	-0,7699
230	0,3400	1,2105	1,5505	-0,3627	-1,2745	-0,9546
240	0,3718	1,1323	1,5040	-0,3998	-1,0983	-1,1026
250	0,4159	0,9961	1,4120	-0,4089	-0,8672	-1,1870
260	0,4775	0,7936	1,2711	-0,3869	-0,6017	-1,1846
270	0,5652	0,5226	1,0878	-0,3365	-0,3365	-1,0878
280	0,6927	0,1886	0,8813	-0,2682	-0,1111	-0,9145
290	0,8841	-0,1955	0,6886	-0,1994	0,0481	-0,7153
300	1,1830	-0,6097	0,5733	-0,1524	0,1547	-0,5727
310	1,6714	-1,0290	0,6424	-0,1503	0,2978	-0,5887
320	2,5090	-1,4252	1,0838	-0,2116	0,6942	-0,8588

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

330	3,9983	-1,7699	2,2284	-0,3368	1,7615	-1,4059
340	6,5881	-2,0372	4,5509	-0,4686	4,1162	-1,9968
350	10,2113	-2,2066	8,0048	-0,4174	7,8107	-1,8011
360	12,3195	-2,2646	10,0550	0,0000	10,0550	0,0000
370	17,2180	-2,2066	15,0114	0,7827	14,6474	3,3775
380	14,8226	-2,0372	12,7854	1,3165	11,5641	5,6100
390	9,2400	-1,7699	7,4701	1,1290	5,9048	4,7128
400	5,9449	-1,4252	4,5198	0,8825	2,8951	3,5813
410	4,0475	-1,0290	3,0185	0,7062	1,3993	2,7662
420	2,9183	-0,6097	2,3086	0,6137	0,6229	2,3062
430	2,2154	-0,1955	2,0199	0,5850	0,1411	2,0982
440	1,7586	0,1886	1,9472	0,5926	-0,2455	2,0205
450	1,4506	0,5226	1,9732	0,6104	-0,6104	1,9732
460	1,2368	0,7936	2,0304	0,6179	-0,9611	1,8922
470	1,0851	0,9961	2,0812	0,6028	-1,2782	1,7495
480	0,9759	1,1323	2,1082	0,5604	-1,5394	1,5455
490	0,8969	1,2105	2,1073	0,4930	-1,7322	1,2974
500	0,8400	1,2437	2,0837	0,4069	-1,8577	1,0277
510	0,8001	1,2473	2,0474	0,3094	-1,9278	0,7557
520	0,7737	1,2366	2,0103	0,2070	-1,9599	0,4931
530	0,7587	1,2244	1,9831	0,1034	-1,9710	0,2425
540	0,7538	1,2194	1,9732	0,0000	-1,9732	0,0000
550	0,7000	1,2244	1,9244	-0,1003	-1,9126	-0,2354
560	0,6000	1,2366	1,8366	-0,1891	-1,7905	-0,4504
570	0,5000	1,2473	1,7473	-0,2641	-1,6452	-0,6449
580	0,5000	1,2437	1,7437	-0,3405	-1,5546	-0,8600
590	0,5000	1,2105	1,7105	-0,4002	-1,4060	-1,0531
600	0,5000	1,1323	1,6323	-0,4339	-1,1919	-1,1967
610	0,5000	0,9961	1,4961	-0,4333	-0,9189	-1,2577
620	0,5000	0,7936	1,2936	-0,3937	-0,6123	-1,2055
630	0,5000	0,5226	1,0226	-0,3163	-0,3163	-1,0226
640	0,5000	0,1886	0,6886	-0,2096	-0,0868	-0,7145
650	0,5000	-0,1955	0,3045	-0,0882	0,0213	-0,3163
660	0,5000	-0,6097	-0,1097	0,0292	-0,0296	0,1096
670	0,5000	-1,0290	-0,5290	0,1238	-0,2452	0,4848
680	0,5000	-1,4252	-0,9252	0,1807	-0,5926	0,7331
690	0,5000	-1,7699	-1,2699	0,1919	-1,0038	0,8012
700	0,5000	-2,0372	-1,5372	0,1583	-1,3904	0,6745
710	0,5000	-2,2066	-1,7066	0,0890	-1,6652	0,3840
720	0,3000	-2,2646	-1,9646	0,0000	-1,9646	0,0000

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку сумарних дотичних сил

Кут заклінки			φ_3°	60										
φ°	T _E												T _E	T _{cp}
	Номер циліндра													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
0	0,000	-0,309	1,050	0,000	-1,103	-0,573	0,000	2,306	1,546	0,000	-1,197	0,110	1,830	3,141
10	-0,429	0,109	0,930	-0,185	-1,187	-0,589	3,378	2,098	1,297	-0,235	-1,258	0,485	4,414	3,141
20	-0,762	0,507	0,761	-0,375	-1,185	-0,859	5,610	2,021	1,028	-0,450	-1,206	0,733	5,823	3,141
30	-0,927	0,823	0,571	-0,572	-1,088	-1,406	4,713	1,973	0,756	-0,645	-1,023	0,801	3,976	3,141
40	-0,892	1,019	0,377	-0,770	-0,914	-1,997	3,581	1,892	0,493	-0,860	-0,715	0,675	1,890	3,141
50	-0,668	1,090	0,186	-0,955	-0,715	-1,801	2,766	1,750	0,243	-1,053	-0,316	0,384	0,910	3,141
60	-0,309	1,050	0,000	-1,103	-0,573	0,000	2,306	1,546	0,000	-1,197	0,110	0,000	1,830	3,141
													18,844	

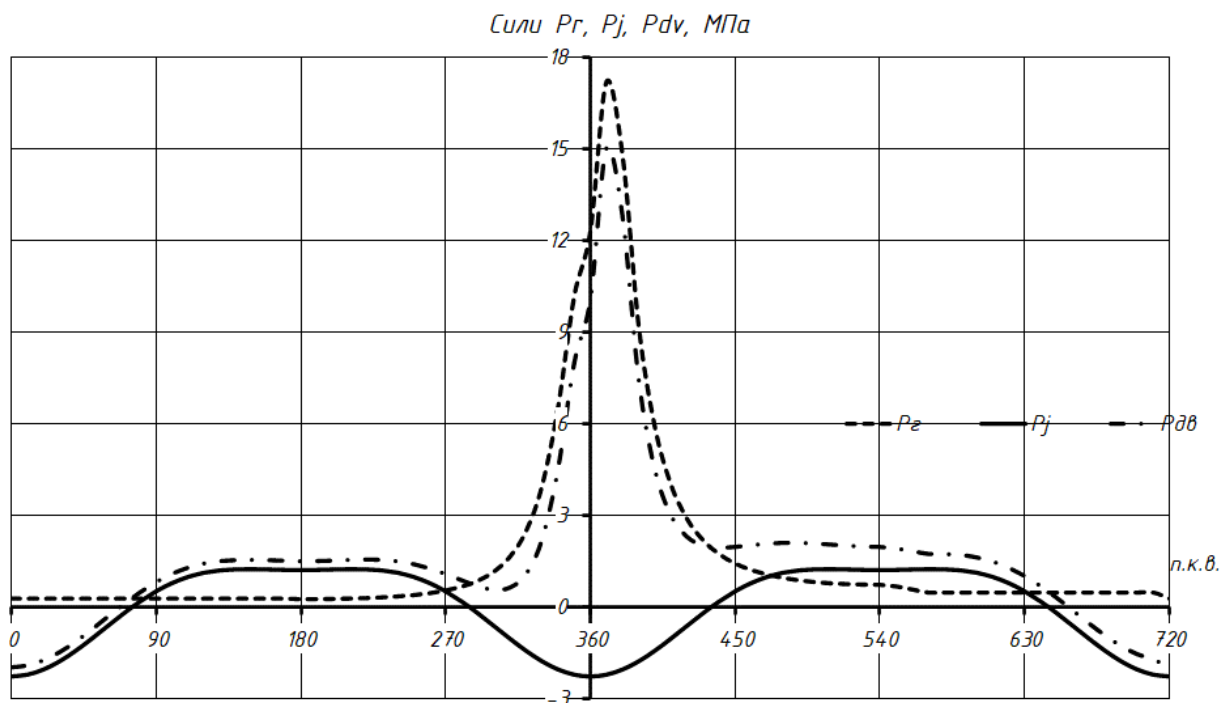


Рисунок 2.3 – Зміна сил P_r , P_j , P_{dv} від кута повороту колінчастого валу

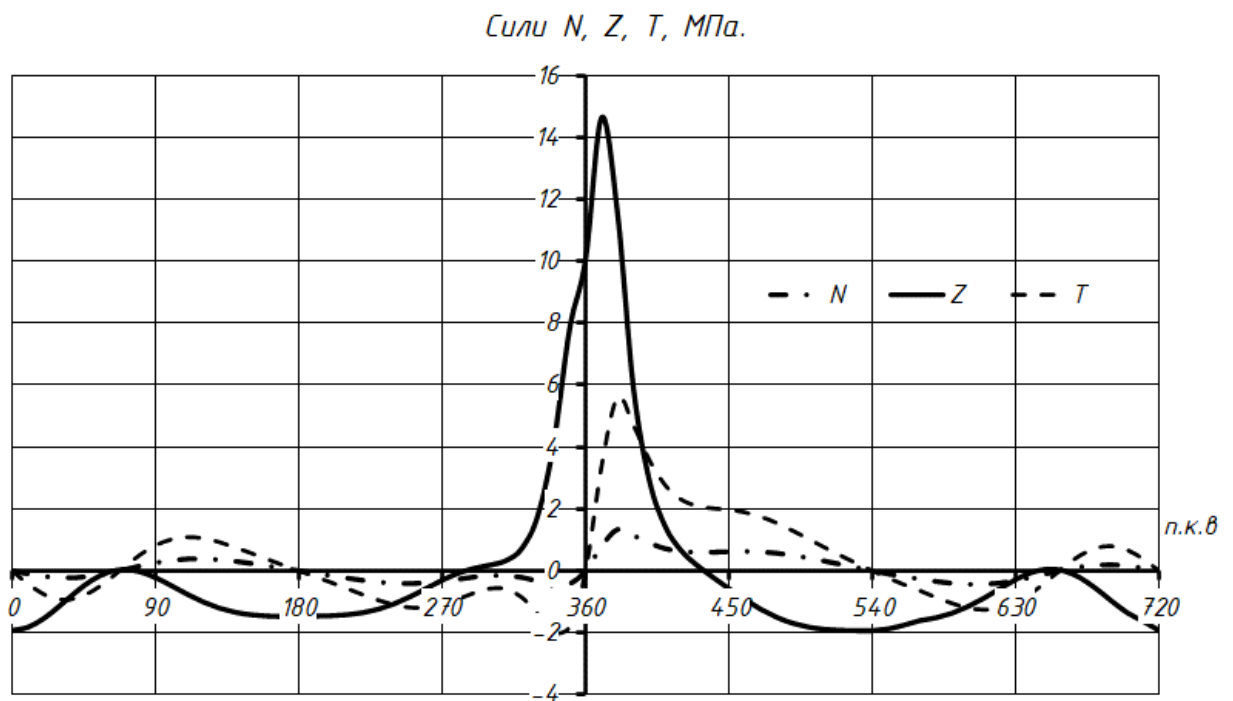


Рисунок 2.4 – Зміна сил N, Z, T від кута повороту колінчастого валу

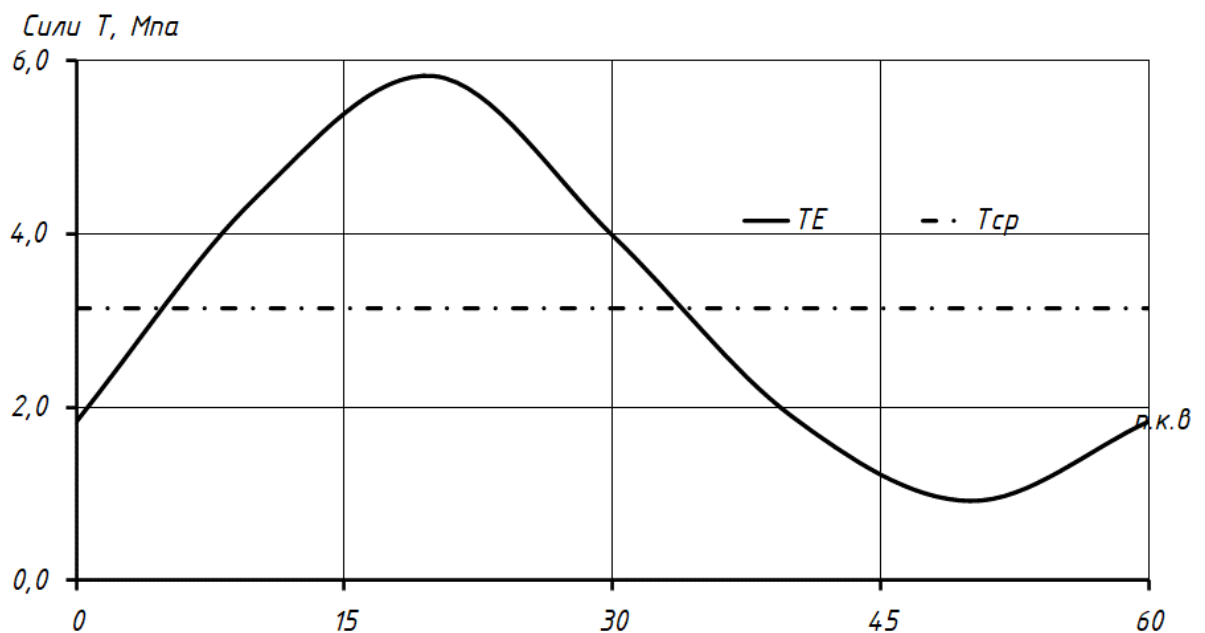


Рисунок 2.5 – Зміна сумарних дотичних сил T від кута заклинки колінчастого валу

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА 12ЧН 14,5/16,2

Конфігурація системи охолодження для двигунів 12ЧН 14,5/16,2 з окремим контуром охолодження (SCAC).

Максимальна концентрація гліколю для контуру водяної сорочки становить 50/50 концентрації води до гліколю. Рекомендована концентрація гліколю для контуру охолодження SCAC становить 80/20 концентрації води до гліколю.

Система охолодження розроблена для належного функціонування при таких температурах, що подаються до двигуна [6]:

☐ Максимальна температура обробленої води, що подається до охолоджувача, становить 52 °С.

☐ Максимальна температура води в кожусі від двигуна до зовнішнього охолоджувача становить 99 °.

Двигуни 12ЧН 14,5/16,2 розроблені для використання із системою цинкового з'єднання, де цинк встановлюється на судні.

Регулювання потоку охолоджуючої рідини

Налаштування зовнішнього опору контуру встановлює загальний потік контуру, зрівноважуючи загальні втрати контуру з характеристичними кривими продуктивності насоса. Правильний зовнішній опір є дуже важливим. Занадто високий опір призведе до зменшення потоку до охолоджувача і/або контуру водяної сорочки, що спричинить зниження їх ефективності. Якщо опір занадто низький, швидкість рідини може збільшитися і перевищити обмеження швидкості рідини, що може призвести до кавітації/передчасного зносу.

Регулювання температури охолоджуючої рідини

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Двигуни використовують регулятори/термостати температури на вході для забезпечення рівномірної температури охолоджуючої рідини в контурі водяної сорочки та контурі доохолоджувача.

Контур водяної сорочки має два регулятори. Контур доохолоджувача має один регулятор.

Насоси для обробленої води

Двигун має два редукторні відцентрові водяні насоси, встановлені на передньому корпусі. Правий насос (якщо дивитися з боку маховика) є насосом для охолодження кожуха і подає охолоджуючу рідину до масляного охолоджувача, блоку та головок. Лівий насос, який називається насосом SCAC, подає охолоджуючу рідину до паливного охолоджувача та доохолоджувача. Кожен насос оснащений кришками з двома сервісними отворами для вимірювання температури та тиску охолоджуючої рідини на вході насоса, а також одним сервісним отвором на корпусі насоса для вимірювання на виході насоса.

Насос морської води

Насос морської води, що приводиться в дію двигуном, подає морську воду до теплообмінника післяохолоджувача, теплообмінника водяної сорочки та охолоджувача масла редуктора/трансмисії. Це не самозаповнювальний насос морської води.

Морський насос входить до стандартного комплекту обладнання двигунів з охолодженням теплообмінником.

Для допоміжних двигунів є три опції:

Морський насос, встановлений зліва ззаду (якщо дивитися з боку маховика).

Передній насос морської води, що приводиться в дію колінчастим валом за допомогою адаптера приводу гідравлічного насоса.

Без заводського насоса морської води. Клієнт самостійно забезпечує насос морської води.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Опція переднього насоса морської води існує для уникнення проблем з перешкодами для допоміжного обладнання (генератор, насос тощо), встановленого дилером/клієнтом.

Задній насос має співвідношення швидкості насоса до швидкості двигуна 0,933:1. Передній насос має співвідношення швидкості насоса до швидкості двигуна 1:1.

Шунтові баки, встановлені на двигуні, та вентиляція

Шунтові баки, встановлені на двигуні, є стандартним обладнанням для. Кожен шунтовий бак для систем охолодження теплообмінником має оглядове скло, встановлене на зовнішній стороні двигуна. Оглядове скло призначене лише для візуального огляду і не вказує на те, що система заповнена. Не вважайте, що бак заповнений, якщо оглядове скло частково або повністю занурене. Враховуйте відхилення, беручи до уваги кути установки та/або умови експлуатації.

Система охолодження є повною, коли рівень охолоджуючої рідини досягає дна заливної горловини.

Оглядове скло на розширювальному баку водяної сорочки розташоване над датчиком низького рівня, в умовах установки під нульовим кутом різниця між оглядовим склом і датчиком низького рівня становить приблизно 8 літрів охолоджуючої рідини. Оглядове скло охолоджуючої рідини водяної сорочки буде частково занурене, коли рівень охолоджуючої рідини стикається з дном заливної горловини, це нормально.

Оглядове скло на розширювальному баку післяохолоджувача розташоване над датчиком низького рівня в умовах установки під нульовим кутом. Між оглядовим склом і датчиком низького рівня є різниця приблизно 3 літри (3,2 кварта). В умовах установки під нульовим кутом оглядове скло охолоджувача SCAC буде повністю занурене, коли рівень охолоджувача буде в контакті з дном заливної горловини.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Невеликі трубопроводи, що ведуть до верхнього бака SCAC та верхньої частини бака води в кожусі, є вентиляційними трубопроводами.

Двигун з охолодженням теплообмінником були розроблені для компенсації теплового розширення охолоджуючої рідини в закритому контурі двигуна.

Холодний пуск (водяні нагрівачі кожуха)

Для забезпечення холодного пуску та прийнятності навантаження можуть знадобитися водонагрівачі кожуха. Caterpillar пропонує водонагрівачі кожуха 120 В та 240 В для продукту C32 SCAC, обидва варіанти мають потужність 1500 Вт.

Моніторинг системи

Під час етапу проектування та підготовки важливо передбачити засоби для вимірювання перепадів тиску та температури в основних компонентах системи.

Це дозволяє точно задокументувати стан системи охолодження під час морських випробувань при введенні в експлуатацію. Майбутні проблеми з системою або погіршення стану компонентів (наприклад, забруднення) легше виявити, якщо є базові дані.

Якість води, інгібітори корозії та антифриз

Підтримка якості води є дуже важливою в закритих системах охолодження. Надмірна твердість води призведе до утворення відкладень, забруднення та зниження ефективності компонентів системи охолодження. Компанія Caterpillar пропонує інгібітор охолоджуючої рідини для належного кондиціонування охолоджувальної води. При використанні інгібітору Cat трубопроводи для охолоджувальної води не повинні бути виготовлені з оцинкованого матеріалу, а також не слід використовувати алюміній. Якщо трубопроводи оцинковані, цинк буде реагувати з інгібітором охолоджуючої рідини, що призведе до утворення відкладень у системі обробленої води, що може спричинити забруднення в контурі обробленої води.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Охолоджувальні з'єднання

Caterpillar постачає гнучкі з'єднання як для теплообмінника, так і для двигунів з охолодженням кіля для зовнішніх водопровідних з'єднань. Варіанти фланцевих з'єднань включають стандартні 3-дюймові 4-болтові фланці ANSI English і 80-мм стандартні 8-болтові фланцеві з'єднання DIN.

Також доступні опціональні гнучкі з'єднання зі стандартними європейськими 8-болтовими фланцями ANSI DIN.

Двигуни з охолодженням теплообмінника постачаються з двома гнучкими з'єднаннями (рис. 3.1) для контуру морської води; одне розташоване на вході морського водяного насоса, а інше — на виході теплообмінника оболонки.

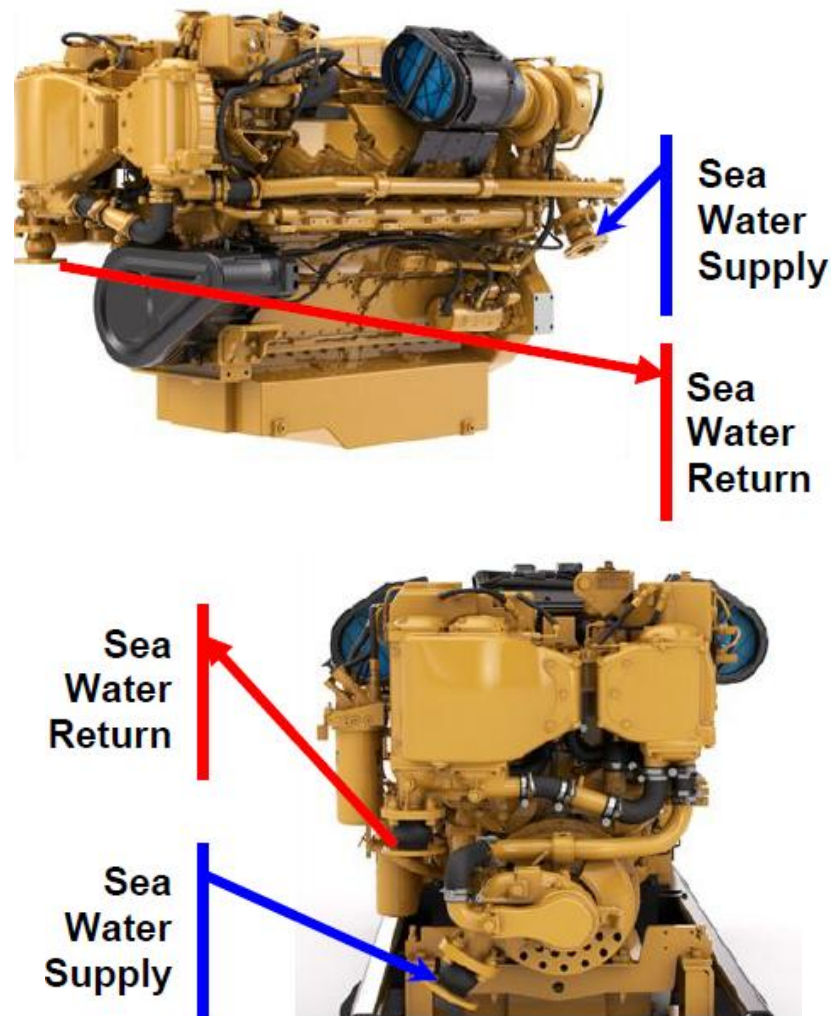


Рисунок 3.1 – Розташування трубопроводів

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

Охолодження масла редуктора

У морських силових установках система охолодження двигуна може використовуватися для охолодження масла редуктора/трансмисії замовника. Деякі морські редуктори мають вбудовані маслоохолоджувачі, що постачаються виробником трансмісії, а деякі вимагають встановлення окремих дистанційних маслоохолоджувачів. У будь-якому випадку для відведення тепла від масла трансмісії може використовуватися охолоджувальна вода, що подається від двигуна [7].

Для двигуна з охолодженням використовується необроблена морська вода для забезпечення потоку охолоджувальної води через охолоджувач. Контур морської води двигуна на цьому двигуні C32 SCAC може використовуватися двома різними способами для забезпечення потоку необробленої води через охолоджувач редуктора. Він може бути налаштований як частковий потік або повний потік.

Частковий потік (перед теплообмінниками двигуна)

Для охолоджувачів редукторного масла, що вимагають відведення тепла до 30 кВт, частковий потік морської води до охолоджувача редукторного масла може бути направлений з порту, розташованого на випуску морського водяного насоса, як показано на рис. 3.2. Це слід налаштувати, знявши заглушку і підключивши вхідну сторону охолоджувача редукторної оливи до показаного випускного порту морського водяного насоса. Повертальна сторона охолоджувача редукторного масла повинна бути підключена до повертального трубопроводу морської води за бортом і не повинна бути підключена назад до контуру морської води двигуна в будь-якому місці вище теплообмінників, встановлених на двигуні.

Повний потік (після теплообмінників двигуна)

Для охолоджувачів трансмісійної оливи, що вимагають відведення тепла понад 30 кВт, слід забезпечити повний потік морської води від

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

теплообмінників двигуна до вхідної сторони охолоджувача трансмісійної оливи, як показано на рисунку 15.

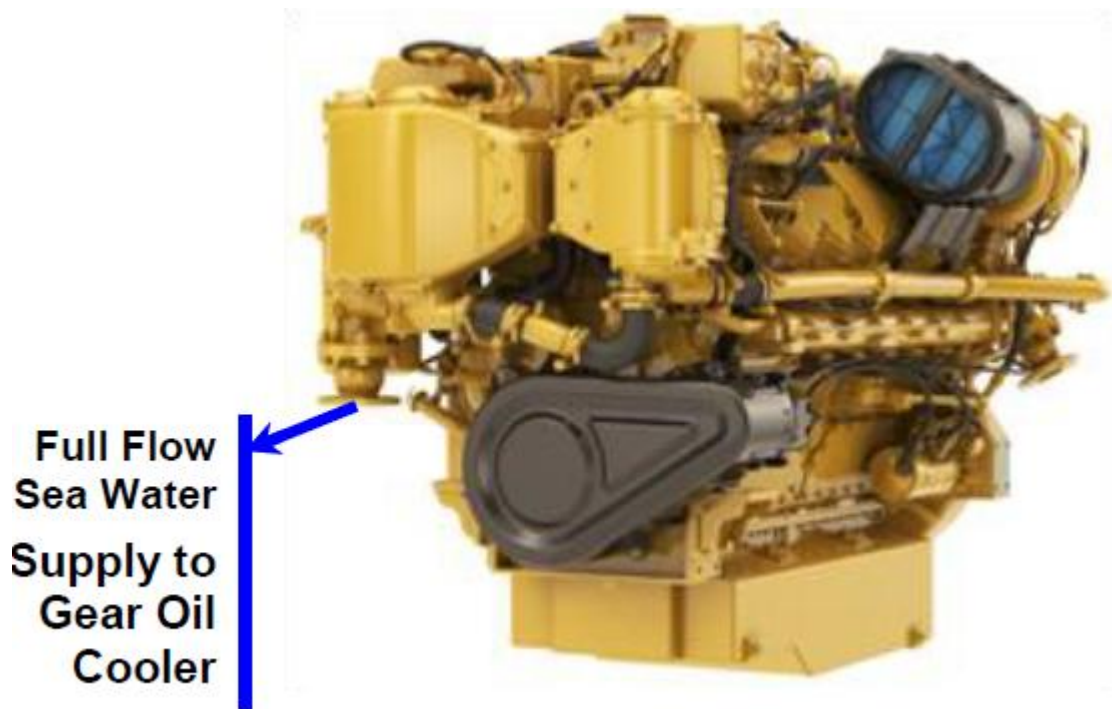


Рисунок 3.2 – Часткове подавання морської води до масляного охолоджувача редуктора

Потім зворотна сторона охолоджувача трансмісійного масла повинна бути підключена до зворотного трубопроводу морської води за бортом.

Heat Exchanger Schematic

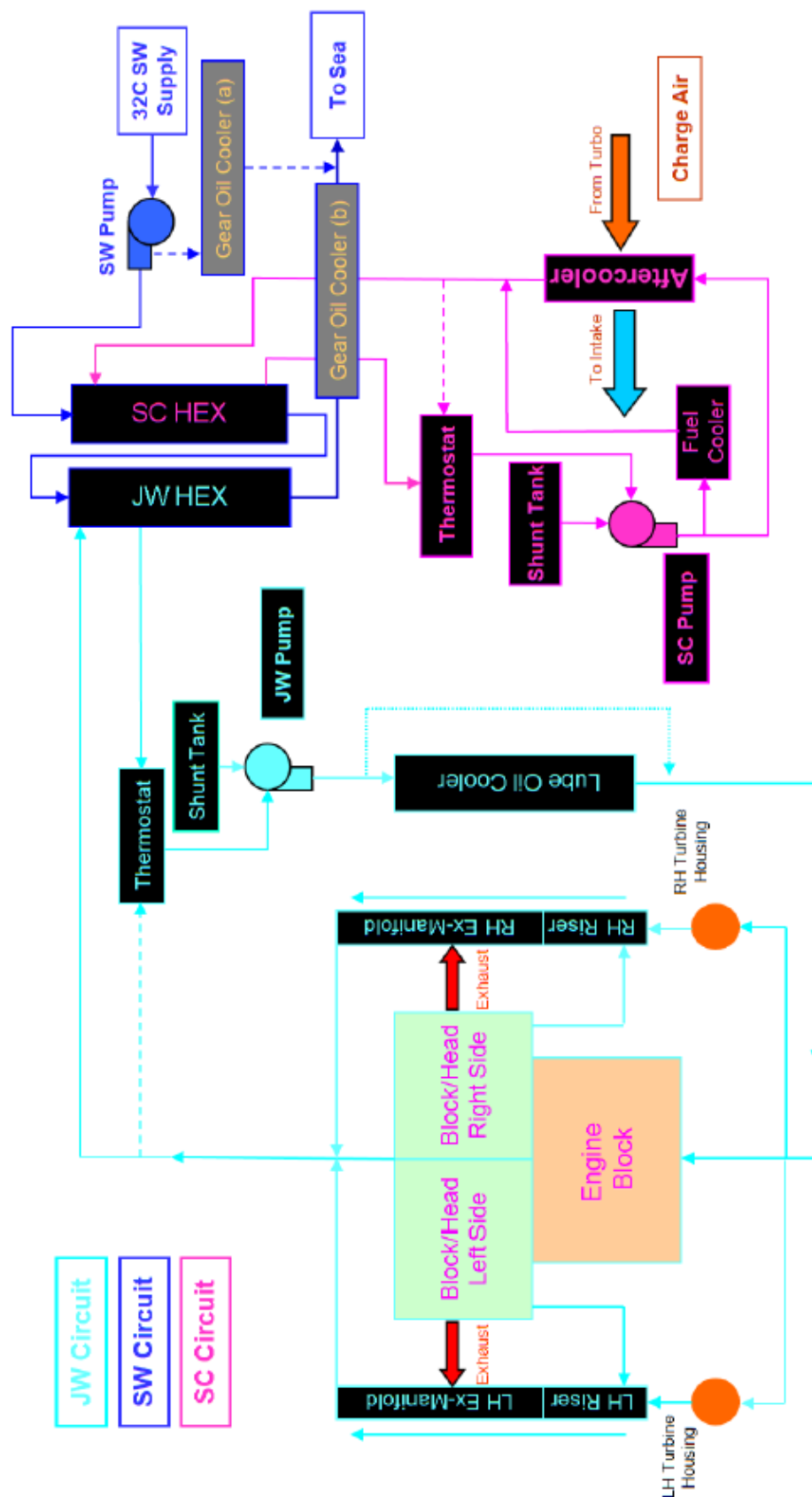


Рисунок 3.3 – Схема теплообміну

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ

Аркуш

36

Розрахунок системи охолодження

№	Параметр	Формула	Значення
1	Продуктивність насоса внутрішнього контуру, м ³ /год	$W_{ек} = K_3 \frac{Q_e}{c_{не} \cdot \rho_{не} \cdot \Delta t_e}$	21,713
	Коефіцієнт запасу подачі води	$K_3 = 1,2 \dots 1,3$	1,2
	Питома теплоємність прісної води, кДж/(кг·К)	$c_{не}$	4,19
	Щільність прісної води, кг/м ³	$\rho_{не}$	1000,0
	Різниця температур води на виході і вході в двигун, К	$\Delta t_e = 10 \dots 12$	12
	Кількість теплоти, яка відводиться водою внутрішнього контуру, кДж/год	$Q_{ек} = \alpha_e \cdot g_e \cdot N_e \cdot Q_{нр}$	909755,95
	Питома ефективна витрата палива, кг/кВт·год	g_e	0,190
	Номинальна потужність двигуна, кВт	N_e	746,0
	Доля теплоти, що відводиться водою	$\alpha_e = 0,12 \dots 0,17$	0,15
2	Нижча теплота згоряння палива, кДж/кг	$Q_{нр}$	42700,000
	Потужність, яка споживається насосом внутрішнього контуру, м ³ /год	$N_{ек} = 0,272 \frac{W_{ек} \cdot H \cdot \rho_{не}}{\eta}$	3,150
	Напір насоса, м	H	40
3	ККД насосу	η	0,75
	Площа теплопередаючої поверхні водо-водяного охолоджувача, м ²	$F_o = \frac{Q_{ек}}{k \cdot \Delta t}$	4,55
	Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м ² ·К)	k	5000
4	Температурний напір, К	Δt	40,0
	Продуктивність насоса заборотної води, м ³ /год	$W_{нз} = K_3 \frac{Q_{ек}}{c_{зе} \cdot \rho_e \cdot \Delta t_{зе}}$	26,892
	Коефіцієнт запасу подачі води	$K_3 = 1,2 \dots 1,3$	1,200
	Питома теплоємність заборотної води, кДж/(кг·К)	$c_{зе}$	3,980
	Щільність заборотної води, кг/м ³	$\rho_{не}$	1020,0
5	Різниця температур заборотної води на вході і виході, К	$\Delta t_{зе} = 5 \dots 20$	10,0
	Ємність розширювального бака, м ³	$V_{рб} = (0,1 \dots 0,15) \frac{N_e}{1000}$	0,1119

РОЗДІЛ 4

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Під час експлуатації, технічного обслуговування та ремонту системи охолодження дизельного двигуна 12ЧН 14,5/16,2 (Caterpillar C32) необхідно суворо дотримуватись вимог охорони праці для запобігання травматизму, отруєнь, опіків та інших виробничих небезпек [8].

1. Загальні вимоги безпеки

Допуск до робіт

До виконання робіт із системою охолодження допускаються лише особи, які:

пройшли первинний, повторний та позаплановий інструктаж з охорони праці;

мають відповідну кваліфікацію, посвідчення та пройшли медичний огляд;

ознайомлені з технічною документацією виробника (Caterpillar) щодо експлуатації системи охолодження.

Заборона на виконання робіт без дозволу

Самовільне відкривання елементів системи, яка перебуває під тиском або працює при високій температурі, категорично заборонено. Усі дії повинні проводитися лише після зупинки двигуна, зниження тиску до атмосферного та охолодження рідини до безпечного рівня.

Вимоги до технічного стану обладнання

Роботи не дозволяється проводити, якщо:

система охолодження має явні ознаки пошкодження (тріщини, корозія, витік рідини);

несправні контрольні прилади (манометри, температурні датчики);

відсутні або несправні запірні клапани, зливні пристрої або захисні кожухи.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Контроль середовища та умов праці

Робоче місце повинно бути:

добре освітленим і вентиляльованим;

вільним від сторонніх предметів, пально-мастильних матеріалів або речовин, які можуть спричинити ковзання;

оснащеним засобами колективного захисту (наприклад, витяжна вентиляція, обмежувальні огорожі).

Дотримання режимів праці та відпочинку

Тривала робота в умовах підвищеної температури або в обмеженому просторі потребує регламентованих перерв, а працівники мають бути забезпечені питною водою та можливістю тимчасового відпочинку в безпечному середовищі.

Використання ЗІЗ

Кожен працівник зобов'язаний використовувати засоби індивідуального захисту:

термостійкі рукавиці та спецодяг;

захисні окуляри або щиток для запобігання потраплянню гарячої рідини;

респіратор – за необхідності роботи із засобами для очищення системи.

2. Організаційні заходи

Розробка інструкцій і технічної документації

Підприємство повинно забезпечити наявність і актуальність:

інструкцій з охорони праці для персоналу, який обслуговує систему охолодження;

регламентів технічного обслуговування та ремонту, розроблених відповідно до документації виробника (Caterpillar);

інструкцій з дій у разі аварій або виявлення несправностей.

Проведення інструктажів та навчання

До виконання робіт допускаються тільки працівники, які пройшли:

вступний, первинний та періодичний інструктажі з охорони праці;

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

цільовий інструктаж перед виконанням небезпечних робіт (наприклад, заміни радіатора, промивки системи);

навчання та перевірку знань з безпечної експлуатації системи охолодження відповідного типу.

Призначення відповідальних осіб

При виконанні робіт на системі охолодження повинна бути призначена відповідальна особа, яка контролює:

дотримання технологічного процесу;

безпечне виконання робіт згідно з затвердженим планом;

наявність необхідних ЗІЗ та справність обладнання.

Оформлення дозвільної документації

На виконання ремонтних чи обслуговувальних робіт на системі охолодження обов'язково оформлюється:

наряд-допуск або акт-дозвіл;

журнал обліку виконаних робіт;

контрольний список заходів безпеки перед початком робіт.

Організація безпечного робочого простору

Забезпечується:

очищення робочої зони від сторонніх предметів та зайвих матеріалів;

маркування і тимчасове огороження місця проведення робіт;

наявність засобів пожежогасіння та аптечки першої допомоги у безпосередній доступності.

Регламентування порядку виконання робіт

Забороняється працювати одноосібно без нагляду при виконанні ремонтів у замкнутих просторах або при високій температурі.

Забезпечується ротація працівників у разі тривалого контакту з гарячими елементами або агресивними рідинами.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Технічні заходи безпеки

Зниження тиску та температури перед обслуговуванням

Усі ремонтні або обслуговувальні операції дозволено виконувати лише після повного зупинення двигуна.

Перед демонтажем елементів системи необхідно повністю стравити тиск і переконатися, що температура охолоджувальної рідини не перевищує допустимі значення (рекомендовано нижче +45 °C).

Відкривати кришки розширювального бачка або зливні крани можна лише після повного охолодження.

Використання справного обладнання

Роботи виконуються із застосуванням справного і сертифікованого інструменту.

Шланги, патрубки, прокладки та інші елементи охолоджувальної системи повинні відповідати технічним умовам та замінюватися у разі зносу, тріщин або деформацій.

При виявленні корозії, мікротріщин або витoku – система виводиться з експлуатації до усунення дефекту.

Застосування запірної і запобіжної арматури

На всіх ділянках системи повинні бути справні запірні клапани, що дозволяють локалізувати обсяг рідини під час обслуговування.

Встановлення запобіжних клапанів, манометрів, термодатчиків є обов'язковим для контролю параметрів тиску й температури під час роботи системи.

Контроль електроживлення допоміжного обладнання

Перед обслуговуванням електронасосів, вентиляторів або автоматики охолоджувальної системи необхідно знеструмити відповідні лінії живлення і вивісити попереджувальні таблички («Не вмикати — працюють люди!»).

Електрообладнання повинно мати заземлення, герметизацію контактів і захист від вологи.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

Запобігання розливам і опікам

При зливі охолоджувальної рідини обов'язково використовуються герметичні тари.

У місцях можливого витоку встановлюються піддони або лотки.

У зоні обслуговування слід уникати розбризкування гарячої рідини, а поверхні, які можуть спричинити опік, повинні мати термоізоляцію або попереджувальні знаки.

Технічне обслуговування за графіком

Система охолодження підлягає регулярному плановому огляду згідно з графіком ТО, затвердженим технічним керівництвом.

Оцінюється ступінь зносу насосів, герметичність з'єднань, наявність осаду у радіаторах або теплообмінниках.

4. Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

Обов'язкові засоби індивідуального захисту:

Захисний спецодяг

Вогнетривкий або термостійкий комбінезон, виготовлений з матеріалів, стійких до хімічної дії охолоджувальних рідин (етиленгліколь, пропіленгліколь, антикорозійні присадки).

Щільне прилягання до тіла для виключення потрапляння рідини на шкіру.

Рукавиці

Маслостійкі та термостійкі рукавиці з подвійним шаром захисту.

Використовуються при відкручуванні гарячих елементів (фланців, хомутів, кришок).

Захист очей і обличчя

Захисні окуляри або прозорий щиток із полікарбонату для захисту від розбризкування гарячої охолоджувальної рідини.

Обов'язкові при зливі рідини, демонтажі шлангів та роботі з реагентами для очищення системи.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Захисне взуття

Промислові черевики з неслизькою, маслобензостійкою підошвою та металевим підноском для захисту від падіння інструментів або деталей.

Засоби захисту органів дихання

Респіратори або маски з фільтрами — у випадках роботи з випарами охолоджувальної рідини, особливо в обмежених приміщеннях без вентиляції.

Необхідні при застосуванні хімічних засобів для очищення радіаторів, теплообмінників, трубопроводів.

Засоби індивідуального захисту голови

Захисна каска при виконанні робіт у приміщеннях з підвищеним ризиком удару по голові (машинні відсіки, відсіки з трубопроводами та підйомним обладнанням).

5. Профілактичні заходи

Регулярно проводиться плановий огляд трубопроводів, з'єднань, насосів та радіаторів на наявність течій, корозії, механічних пошкоджень.

Ведеться журнал обліку технічного обслуговування із зазначенням усіх виконаних робіт, використаних матеріалів та виявлених несправностей.

Працівники щорічно проходять повторний інструктаж з охорони праці та протипожежної безпеки.

Забезпечується наявність первинних засобів пожежогасіння (вогнегасників, водяних кранів), аптечки з антисептичними засобами, нейтралізаторами хімічних речовин.

Система охолодження двигуна С32 працює під тиском і при високих температурах, тому недотримання правил охорони праці під час її обслуговування становить реальну загрозу для персоналу. Комплексне забезпечення безпеки – через організаційні, технічні, профілактичні заходи та застосування ЗІЗ – дозволяє ефективно знизити ризики виробничого травматизму та забезпечити надійну експлуатацію двигуна.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У межах роботи було виконано повний техніко-аналітичний розрахунок допоміжного суднового дизельного двигуна типу 12ЧН 14,5/16,2 (Caterpillar С32), призначеного для використання як джерело енергії на морських судах. У ході роботи були досліджені основні конструктивні характеристики двигуна, проведено тепловий та індикаторний розрахунок, розроблено графіки динамічних процесів та здійснено оцінку навантажень, що діють на основні елементи кривошипно-шатунного механізму.

Особливу увагу приділено побудові індикаторної діаграми робочого циклу за методом Гріневцького–Мазинга, який дав змогу визначити основні термодинамічні параметри процесів згоряння, стиску та розширення. На основі отриманих результатів було змодельовано силові навантаження, які виникають у колінчастому валі та шатуні впродовж одного циклу, що дозволило виявити граничні точки напруження та визначити умови для динамічного балансування.

Крім того, у роботі приділено увагу питанням охорони праці. Розглянуто комплекс організаційних, технічних і профілактичних заходів безпеки при експлуатації, обслуговуванні та ремонті системи охолодження двигуна, а також сформульовано вимоги до засобів індивідуального захисту персоналу.

У результаті проведених досліджень підтверджено працездатність двигуна в заданих умовах експлуатації та доцільність застосування розрахункової методики для оцінки його технічних і теплотехнічних характеристик. Отримані результати можуть бути використані під час модернізації суднових енергетичних установок, проєктування нових дизельних агрегатів або в навчальному процесі підготовки фахівців із енергетичного машинобудування.

					КРБ.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						44
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.142.4227зст.25.01.00.ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		