

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: «Проект 4-тактного газового двигуна потужністю 1705 кВт з розробкою технологічного процесу монтажу на судновий фундамент. Прототип Rolls-Royce C26:33L6PG».

Виконав:

студент групи 44-ЕМ-23

_____ Дульдій О.О.
(підпис)

Керівник роботи:

доцент кафедри ІМ та ТМ,

к.т.н., доцент

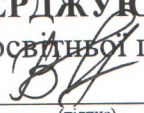
(посада, науковий ступень, вчене звання)

_____ Познанський А.С.
(підпис)

Первомайськ - 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичне машинобудування»
Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування»
Освітня програма «Двигуни внутрішнього згоряння»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми

(підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Дульдієрові Олексієві Олександровичу

1. Тема роботи: «Проект 4-тактного газового двигуна потужністю 1705 кВт з розробкою технологічного процесу монтажу на судновий фундамент. Прототип Rolls-Royce C26:33L6PG».

Керівник роботи к.т.н, доцент Познанський А.С.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 10.02.2025 року за № .

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру 12.05.2025 року.

3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип Rolls-Royce C26:33L6PG потужністю 1705 кВт.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів).

Вступ. 1. Загальний розділ. 2. Конструкторський розділ. 3. Охорона праці та навколишнього середовища. Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1. Поперечний переріз двигуна Rolls-Royce C26:33L6PG. 2. Діаграми динаміки.

3. Схема паливної системи. 4. Монтаж двигуна на судновий фундамент.

6. Консультанти роботи

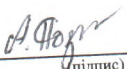
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «10» лютого 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітки
1	Вступ.	24.02.2025	
2	Загальний розділ.	10.03.2025	
3	Конструкторський розділ.	31.03.2025	
4	Охорона праці та навколишнього середовища.	14.04.2025	
5	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.	28.04.2025	
6	Оформлення кваліфікаційної роботи.	12.05.2025	

Студент  Дульдєр О.О.
(підпис)

Керівник роботи  к.т.н, доцент Познанський А.С.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

В дипломному проекті було виконано розрахунок робочого циклу 4 - тактного газового двигуна типу C26:33L6PG потужністю 1705 кВт при 1000 хв^{-1} колінчатого валу. За результатами розрахунку отримано основні параметри робочого циклу і побудовано індикаторну діаграму. Проведено аналіз ефективних показників проектованого двигуна й прототипу. Виконано динамічний розрахунок двигуна та побудовані діаграми динаміки.

В конструкторському розділі виконано розрахунок систем двигуна. Розроблено технологічний процес монтажу двигуна на судновий фундамент.

В роботі розглянуто основні вимоги до експлуатації двигуна, розроблено заходи з охорони праці та розглянуто питання охорони навколишнього середовища.

Дипломний проект виконано українською мовою на 74 аркушах розрахунково-пояснювальної записки. Використано 10 літературних джерел. Графічна частина представлена на 4 кресленнях формату А1.

Ключові слова: параметри робочого циклу, механізм газорозподілу, вібрація, шум.

ABSTRACT

In the work, the calculation of the working cycle of a 4-stroke gas engine of the C26:33L6PG type with a capacity of 1705 kW at a crankshaft speed of 1000 rpm was performed. Based on the results of the calculation, the main parameters of the working cycle were obtained and an indicator diagram was constructed. An analysis of the effective indicators of the designed engine and prototype was carried out. A dynamic calculation of the engine was performed and dynamics diagrams were constructed.

The design part performed calculations of engine systems. The technological process of installing the engine on the ship's foundation was developed.

The paper examines the basic requirements for engine operation, develops occupational safety measures, and considers environmental protection issues.

The thesis is written in Ukrainian on 74 sheets of calculation and explanatory notes. 10 literary sources were used. The graphic part is presented on 4 drawings of A1 format.

Keywords: operating cycle parameters, gas distribution mechanism, vibration, noise.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1 Технічна характеристика двигуна	7
1.2 Опис конструкції двигуна Rolls-Royce C26:33L6PG	9
2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	15
2.1 Розрахунок робочого процесу двигуна	15
2.2 Розрахунок індикаторної діаграми	24
2.3 Аналіз ефективних показників проектного двигуна й прототипу	26
2.4 Динамічний розрахунок двигуна	27
2.5 Розробка систем двигуна	36
2.6 Розробка технологічного процесу монтажу двигуна на судновий фундамент	51
3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	58
3.1 Розробка заходів з охорони праці	58
3.2 Охорона навколишнього середовища	62
ВИСНОВКИ	68
ЛІТЕРАТУРА	69
ДОДАТКИ	70
1. Поперечний переріз двигуна Rolls-Royce C26:33L6PG Ф-А1	
2. Діаграми динаміки Ф-А1	
3. Схема паливної системи Ф-А1	
4. Монтаж двигуна на судновий фундамент Ф-А1	

					ПННІ НУК 142.44.25.06. ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Дульдєєв О.О.			Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевірів		Познанський А.С.					4	74	
Н. контр.		Познанський А.С.				44-ЕМ-23			
Затвердив		Нестеренко В.В.							

ВСТУП

Постійне зростання вимог до екологічних показників роботи суднових дизельних установок з одного боку і підвищення вартості палив з іншого, змушують розробників суднових дизельних двигунів шукати нетрадиційні підходи до вирішення проблеми скорочення шкідливих викидів і зниження експлуатаційних витрат на паливо [6].

На сьогоднішній день більше 40% видобутої нафти переробляють в моторні палива. Близько 50 % зазначеного палива витрачається на наземному, водному і повітряному транспорті, обладнаному двигунами внутрішнього згоряння. За існуючими оцінками в перспективі очікується дефіцит рідкого нафтового моторного палива. Наявні резерви підвищення економічності транспортних ДВЗ не можуть перекрити цей дефіцит тому, що очікуване підвищення експлуатаційної економічності ДВЗ за рахунок їх конструктивного вдосконалення складе не більше 20 %, що вже недостатньо для покриття дефіциту.

Дефіцит рідкого нафтового моторного палива, а також високе забруднення повітря його продуктами викликали необхідність пошуку альтернативних палив. Єдиним економічно виправданим альтернативним паливом наразі визнано газове паливо, яке можна застосовувати в якості моторного палива без будь-якої переробки, крім обов'язкової технологічної стадії видобутку і транспорту газу - промислової підготовки. Ресурси газового моторного палива набагато перебивають ресурси рідкого палива.

За своїми властивостями газове моторне паливо перевершує нафтові палива. При застосуванні його в двигунах забезпечуються високі техніко-економічні показники таких машин, так як газ має хороші антидетонаційні якості, сприятливі умови сумішоутворення і широкі межі займання в суміші з повітрям. Скоріш за все, з цієї причини перші ДВЗ робили для роботи саме на газу [5].

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						5
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

В якості джерел постачання газового моторного палива можна використовувати окремі малі місця добування газу, не включені в систему, а також родовища, що знаходяться на завершальній стадії експлуатації, включаючи й такі, використання яких для видобутку газу стало економічно нераціональним.

Реалізація перелічених передумов за рахунок газу дозволять здійснити перелом у забезпеченні транспорту паливом, зняти обмеження на розвиток морського господарства, що накладаються нестачею важкого і дизельного палива.

Надійна робота, технічні і економічні показники, послужили для вибору газового двигуна Rolls-Royce C26:33L6PG потужністю 1705 кВт в якості прототипу для дипломного проектування.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						6
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Технічна характеристика двигуна

Газовий двигун Bergen Engine С-типу C26:33L6PG – 4-х тактний високообертовий двигун (рис. 1.1), діаметр циліндру – 260 мм, хід поршня – 330 мм.

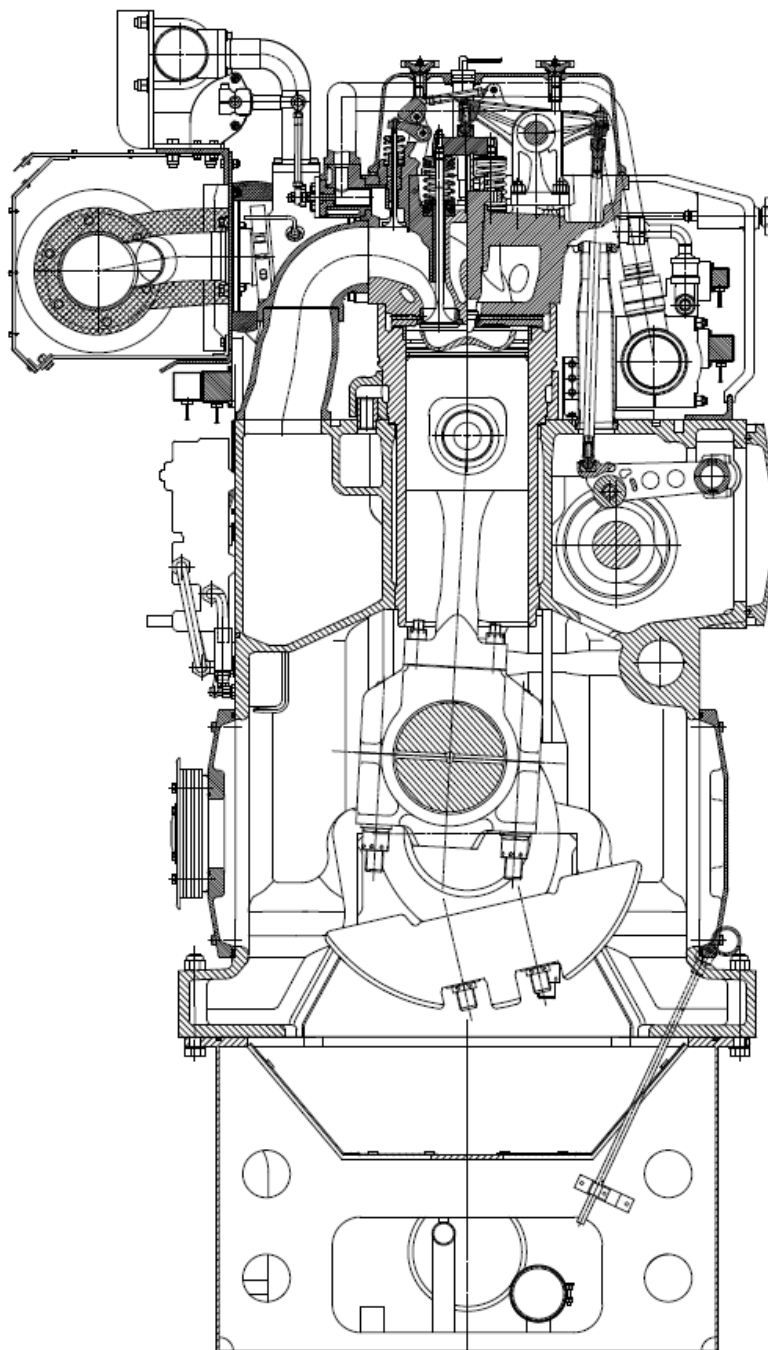


Рис. 1.1 – Поперечний переріз двигуна

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		7

Двигун з турбонаддувом, оснащений двоступінчастими охолоджувачами наддувочного повітря.

Двигуни поставляються як головні двигуни C26:33LPG, або як генераторні двигуни C26:33LAG.

Всі двигуни в С-серії мають однакові компоненти, наскільки це можливо і практично. Габаритні розміри двигуна представлені на рис. 1.2 та в табл. 1.1.

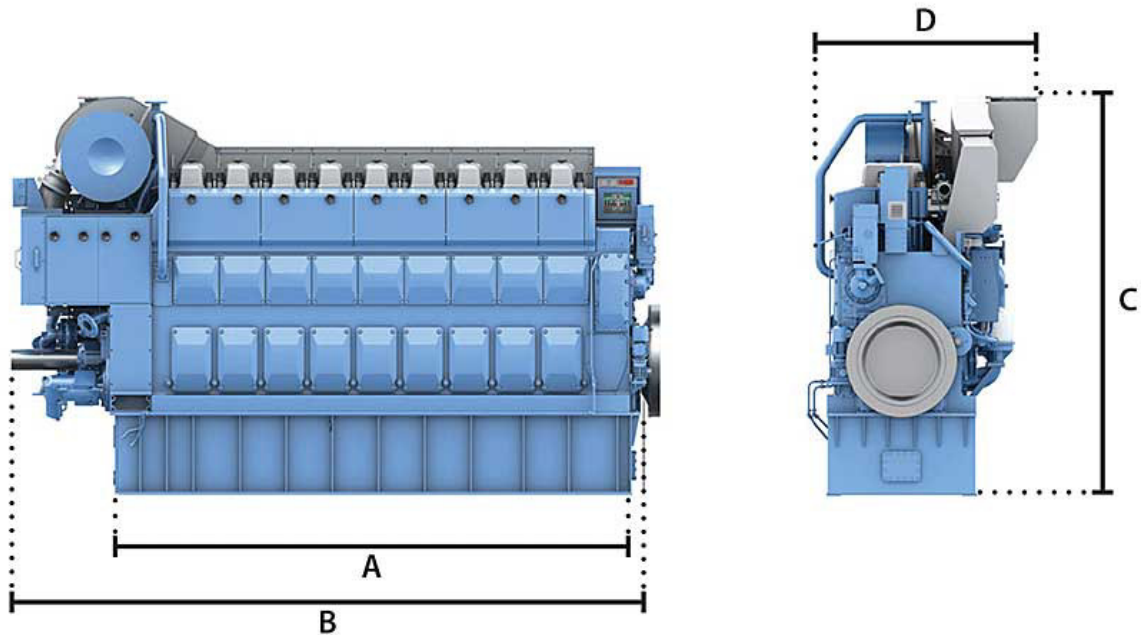


Рис. 1.2 – Габаритні розміри двигуна

Таблиця 1.1 – Габаритні розміри

Тип двигуна	A	B	C	D	Вага сухого
C26:33L6PG	3170	4176	3161	1729	17500 кг

Всі стандартні двигуни обертаються за годинниковою стрілкою. Також можливе обертання проти годинникової стрілки, за потреби. Технічні характеристики двигуна представлені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики двигуна

Тип двигуна	C26:33L6PG
Кількість циліндрів, шт	6
Частота обертання, хв ⁻¹	1000
Середня швидкість поршня, м/с	10/11
Максимальна безперервна потужність, кВт	1705
Середній ефективний тиск, МПа	18,5

1.2. Опис конструкції двигуна Rolls-Royce C26:33L6PG

Блок-картер (рис. 1.3) являє собою моноблочну конструкцію з чавуну з кулястим графітом. Кришки корінних підшипників утримуються шпильками з гідравлічно затягнутими гайками. Горизонтальні болти, проходять через затиск картера кришки головних підшипників.

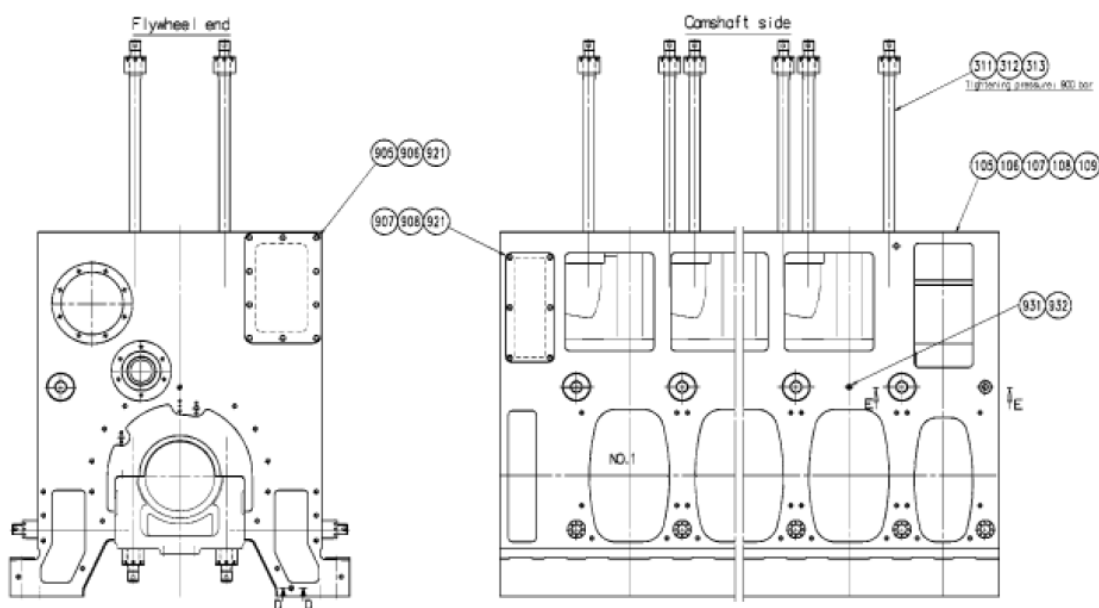


Рис. 1.3 – Блок-картер двигуна

Великі оглядові вікна на кожній стороні картера легко дають доступ для технічного обслуговування. Двигуни встановлені з необхідними запобіжними клапанами в оглядових вікнах картера.

Колінчастий вал (рис. 1.4) – це кована хромомолібденова сталь з противагами на болтах. Встановлено демпфер крутильних коливань на вільному кінці колінчастого валу та розподільних валах.

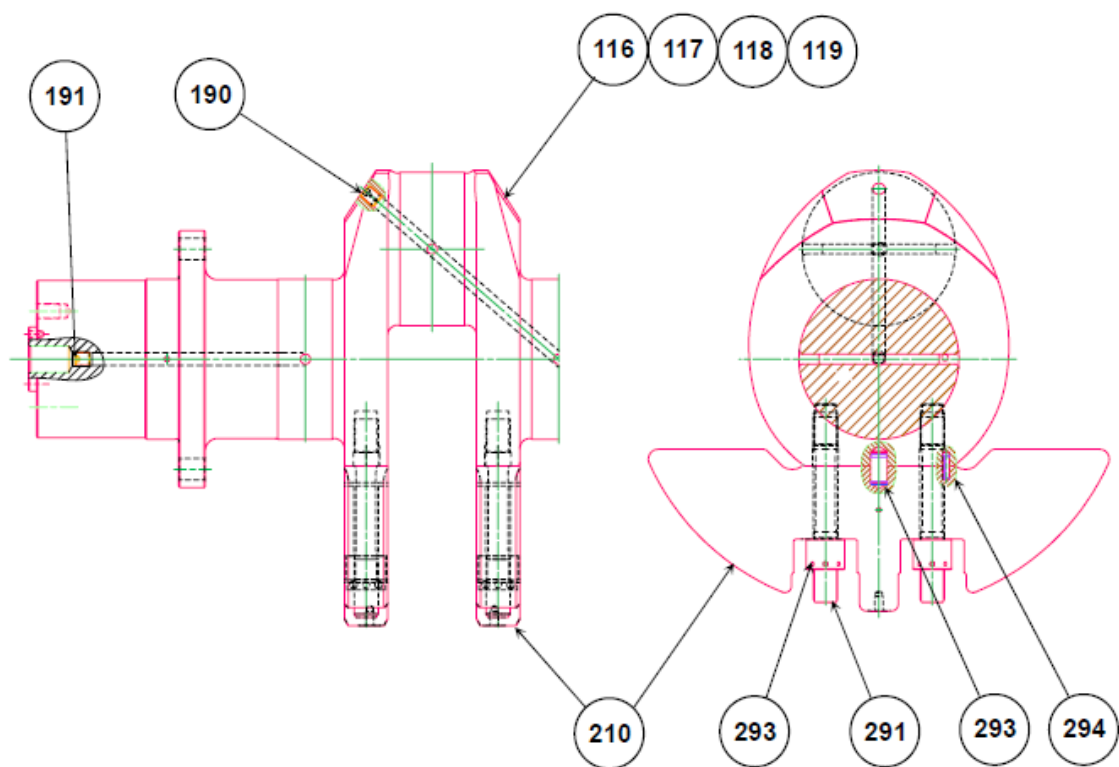


Рис. 1.4 – Колінчастий вал двигуна

Розподільний вал приводиться в рух розрізним зубчастим колесом на кінці маховика. Розподільчий вал (рис. 1.5) складається з двох секцій. Секції скріплені болтами і легко розбираються.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		10

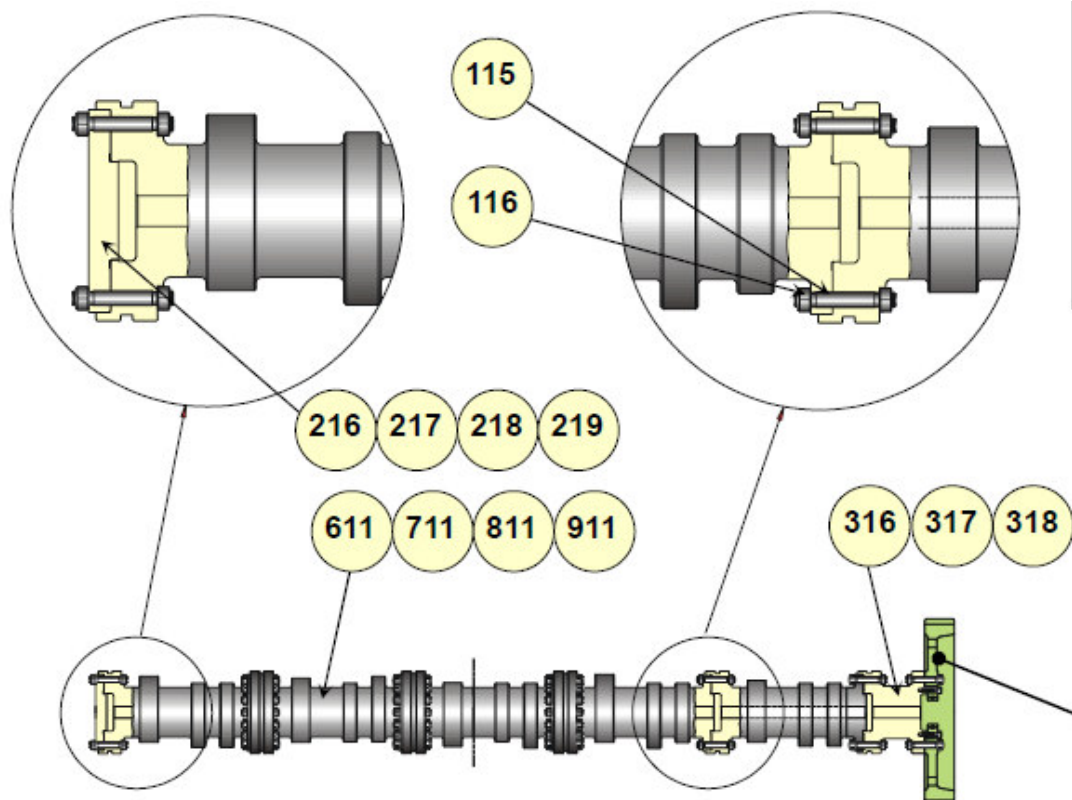


Рис. 1.5 – Розподільчий вал двигуна

Основні та великі кінцеві підшипники – це тонкостінні сталеві оболонки, облицьовані спеціальним олово-алюмінієвим матеріалом. Підшипники виконані з точністю і не потребують спеціального регулювання. Основні несучі підшипники можуть бути зняті без опускання колінчастого валу. Корпуси підшипників можуть бути зняті без вилучення поршня.

Шатун кований зі спеціальної сталі (рис. 1.6). Складається з 3-х частин, та має компактні розміри. Всі болти виготовлені зі спеціальної сталі і гідравлічно затягнуті.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		11

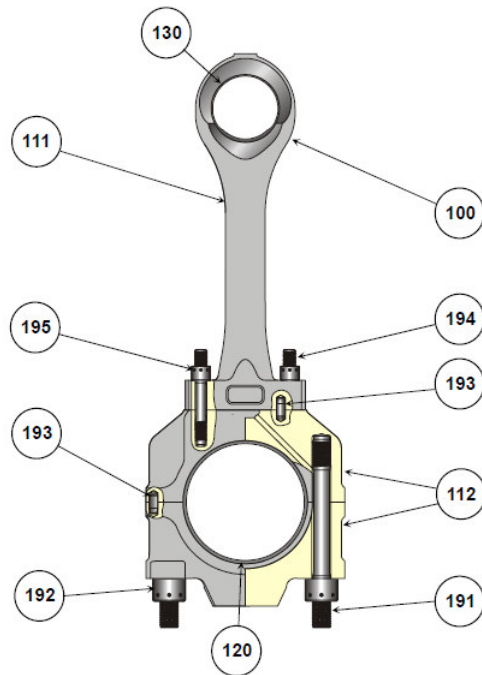


Рис. 1.6 – Шатун

Поршні мають компонований тип (рис. 1.7), з вузловими чавунними юбками і кованими сталевими головками. Їх охолоджують маслом з основної мастильної системи, яке підводиться до поршнів через з'єднальні стержні. Шатунний підшипник має ступінчасту конструкцію, що дає велику опорну поверхню.

Кожен поршень має два компресійних кільця та одне маслоз'ємне, яке спеціально адаптоване для контролю потрапляння масла.

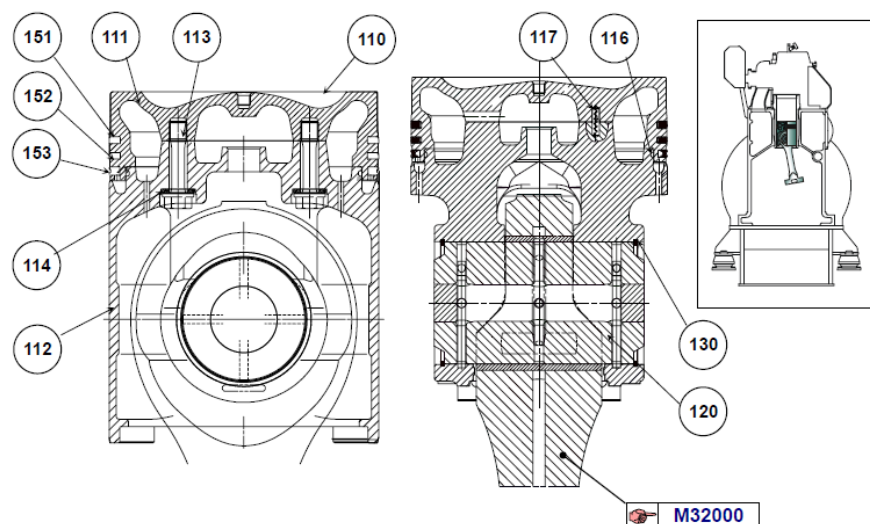


Рис. 1.7 – Поршень

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		12

Поршневі кільця хромовані, перше кільце зі спеціальним хромо-керамічним покриттям для додаткового захисту від зносу.

Втулки циліндрів (рис. 1.8) з охолодженням по центру, відлиті центробіжно зі спеціального зносостійкого залізного сплаву. Поверхні відточені.



Рис. 1.8 – Втулка циліндра

Кришка циліндру (рис. 1.9) з легованого чавуну кріпляться до блоку циліндрів шпильками з гідравлічно затягнутими гайки. Нижня частина головки циліндра міцно складена, щоб витримувати високі тиски від вибухів, і має отвори для охолодження, та має датчики для контролю температури. Кожна головка має два впускних і два випускних клапана, та індикаторний клапан. Сідла і направляючі клапана для впускних і випускних клапанів відлиті із спеціального сплаву чавуну і є термостійкі.

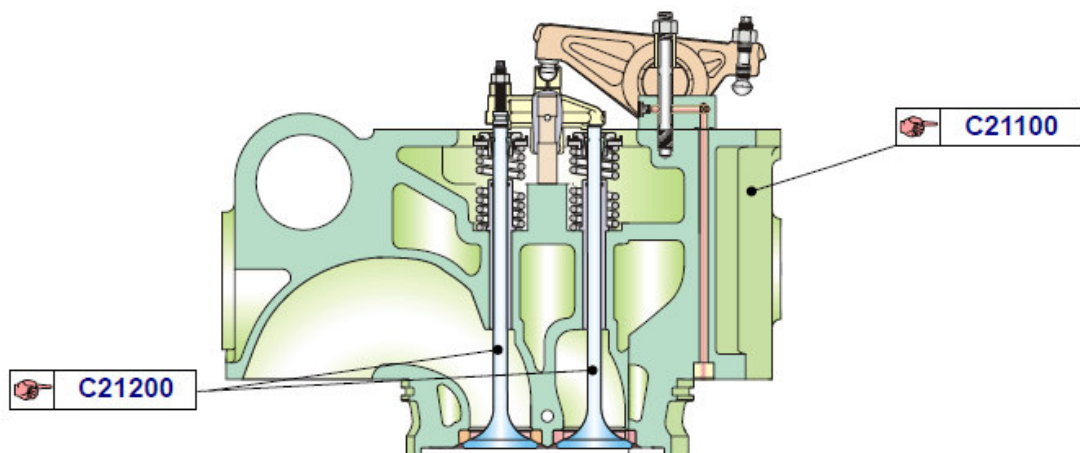


Рис. 1.9 – Кришка циліндра

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		13

Газорозподільний механізм. Впускні і випускні клапани працюють за допомогою поворотних важелів, уздовж розподільчого валу. Ролики переводять обертання кулачка в штовхачі, які в свою чергу активують коромисла, які контролюють впускні і випускні клапани. У ГРМ шарнірний кінець поворотних важелів для впускних клапанів встановлений на центральній частині поздовжнього валу уздовж двигуна. Це розташування дозволяє мати два зумовлених значення для вибору клапану повітряної камери. Один для високого навантаження і один для роботи при низькому навантаженні. Конструкцію полегшує зміна фаз газорозподілу при звичайній роботі двигуна.

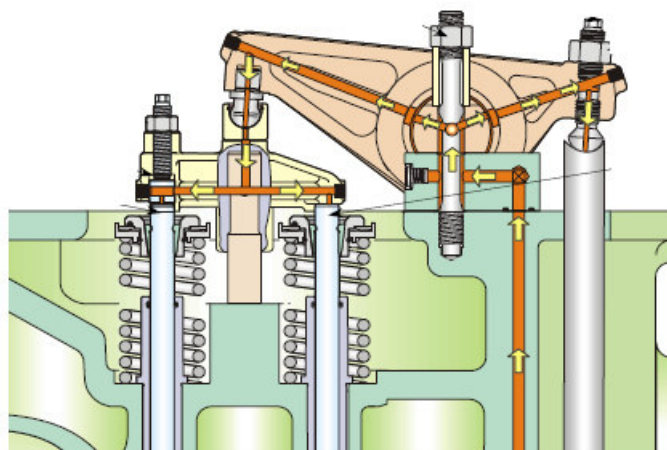


Рис. 1.10 – Газорозподільний механізм

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		14

2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок робочого процесу двигуна

Для забезпечення економічності потрібно звернути увагу на всі параметри, що впливають на витрату палива і мастила [1].

Крім відпрацьовування параметрів робочого циклу двигуна, що забезпечують високий механічний ККД, необхідно раціонально сконструювати системи двигуна, вибрати оптимальний режим охолодження тощо [7].

Надійність двигуна забезпечується раціональною конструкцією, відсутністю погрішності в розрахунках, особливо на міцність. Повинні бути враховані умови роботи двигуна, що можуть виникнути в процесі експлуатації. Припустимий рівень шуму і вібрації забезпечується установкою глушителів шуму, конструктивними заходами зниження шуму у вузлах двигуна. Токсичність вихлопних газів двигуна знижується при правильному виборі параметрів згоряння палива, кута випередження подачі палива, коефіцієнта надлишку повітря [2].

Зниження токсичності парів палива й мастила забезпечується надійною конструкцією паливної і масляної системи. Надійність і безвідмовність системи пуску впливає на рівень надійності двигуна.

При конструюванні варто забезпечити, легкий доступ до основних вузлів двигуна, максимально забезпечити взаємозамінність деталей, забезпечити вільний демонтаж поршня із шатуном через циліндр.

Двигун не повинний бути захаращений трубопроводами, по можливості потрібно уникати навішаних деталей там, де їх можна розташувати окремо. Таким чином, при сукупності конструктивних рішень, ретельного доведення двигуна на іспитах і в процесі експлуатації, можна створити дизель, що стоїть на рівні найвищих сучасних вимог.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						15
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування двигуна в складі дизельної електростанції обумовлює такі параметри, як частота обертання і потужність, вимоги до системи регулювання частоти обертання, особливо жорсткі, тому що необхідно забезпечити згоджену роботу на всіх режимах експлуатації.

Методика розрахунку робочого циклу двигуна

Розрахунковий цикл поршневого двигуна внутрішнього згоряння значно відрізняється від ідеальних циклів. В розрахунковому циклі двигуна внутрішнього згоряння змінюється кількість робочого тіла, його состав і фізичні властивості. Внаслідок кінцевої швидкості згоряння та дисоціації продуктів згоряння прихована в паливі хімічна енергія виділяється не миттєво. В процесі розширення проходять догоряння палива та відновлення дисоційованих газів, з виділенням тепла. В розрахунковому циклі робоче тіло не можна приймати з постійними теплоємностями, так як температура та состав газів в циліндрі значно змінюються. В розрахунковому циклі також маються теплові та аеродинамічні втрати.

Крім розрахункового треба розглядати ще дійсний цикл, котрий здійснюється в працюючому двигуні і в наступний час не може бути точно описаним із за недосконалості розрахункових методик та складності процесів, що протікають в ньому. Чим більш досконала методика теплового розрахунку, тим більш ближче розрахунковий цикл до дійсного [3].

В даному дипломному проекті використовується класична методика теплового розрахунку, розроблена В. І. Гріневецьким і далі вдосконаленого Є. К. Мазінгом.

Метод теплового розрахунку заснований на загально відомих положеннях термодинаміки та термохімії, достатньо повно охоплює сутність теплових явищ, що протікають в робочому циліндрі і представляє собою інженерне аналітичне дослідження.

На його основі можливо:

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						16
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- кількісно оцінити ці явища як при проектуванні так і при дослідженні побудованого двигуна;
- дати уяву про основні параметри циклу та фактори, що впливають на процеси робочого циклу;
- визначити розрахункові значення параметрів стану робочого тіла в характерних точках розрахункового циклу, а також ефективні показники, що характеризують роботу двигуна в цілому.

Метод забезпечує достатню задовільну для практики точність розрахунків, не дивлячись на те, що цикл, що проходить в двигуні описується найпростішими термодинамічними процесами і вводиться ряд опитних коефіцієнтів, які оцінюють реальні умови протікання робочих процесів в двигуні.

Розрахунок робочого циклу зроблений за допомогою персонального комп'ютера в програмі *Mathcad*.

Температура навколишнього повітря T_0 . Приймаємо $T_0 = 297$ К (стандартні умови застосування).

Тиск навколишнього повітря p_0 . Варто приймати $p_0 = 0,103$ МПа (стандартні умови застосування).

Ступінь стиску ε . При призначенні ступеня стиску варто враховувати розміри циліндра і спосіб сумішоутворення. Приймаємо $\varepsilon = 14$.

Коефіцієнт надлишку повітря α . Цей коефіцієнт також залежить від розмірів циліндра і способу сумішоутворення. Цей параметр при підвищенні зменшує питому витрату пального, водночас зменшуючи середній ефективний тиск та потужність. Відповідно його слід підбирати з кількох спроб розрахунку з урахуванням одночасного досягнення заданої потужності і найкращої можливої економічності. Вибір остаточного значення α робиться з вибором оптимального значення $П_k$. З урахуванням переліченого встановлюємо $\alpha = 1,72$.

Показник адіабати повітря $k_s = 1,4$.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						17
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Коефіцієнт залишкових газів γ_r . Вплив на значення цього коефіцієнту завдають тип двигуна, особливості повітропостачання і газообміну. Приймаємо $\gamma_r = 0,02$.

Коефіцієнт використання теплоти в точці z (ξ_z), та в точці b (ξ_b). Ця величина змінюється в широких межах і залежить від ступеня досконалості двигуна. Найкраще ці величини призначати після аналізу теплового балансу двигунів, близьких до проектного.

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

Ступінь підвищення тиску при згорянні λ . Приймаємо $\lambda = 1,2$.

Підігрів заряду від стінок циліндру ΔT_a . Ця величина складає: (5 – 45) К – для ДВЗ з наддувом та (10 – 20) К – для ДВЗ без наддуву.

Приймаємо $\Delta T_a = 10$ К.

Коефіцієнт скруглення індикаторної діаграми ζ . Величину цього коефіцієнту вибирають на підставі дослідних даних, звертають увагу на тип двигуна та особливості системи газообміну.

Приймаємо $\zeta = 0,98$.

Механічний ККД двигуна η_m .

Приймаємо $\eta_m = 0,92$.

Зменшення тиску у повітроохолоджувачі ΔP_{ox} . Повітроохолоджувач являє собою опір на шляху повітря, тому у ньому відбувається зменшення тиску повітря. У числовому виразі $\Delta P_{ox} = 0,003$ МПа.

Температура залишкових газів T_r .

Приймаємо $T_r = 800$ К.

Коефіцієнт тактності Z – являє собою кількість робочих ходів поршня, що припадають на один оберт колінчастого валу, тоді для 4-тактних двигунів $Z = 0,5$.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						18
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Ступінь підвищення тиску в компресорі Π_k . Для даного типу компресора приймаємо $\Pi_k = 3,3$.

Частка ходу поршня втраченого на продувку φ_n . Для 4-тактних двигунів $\varphi_n = 0$.

Розрахунок процесу наповнення

Температура повітря за компресором, К

$$T_k = T_0 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 297 \times \left[1 + \frac{\left(\frac{0,28}{0,103} \right)^{0,286} - 1}{0,8} \right] = 463,2$$

Температура повітря перед двигуном, К

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 419,926 - 0,85 \times (419,926 - 297) = 315,438$$

Температура заряду наприкінці процесу наповнення, К

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{315,438 + 10 + 0,02 \times 800}{1 + 0,02} = 342,4$$

Тиск повітря перед двигуном, МПа

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0,28 - 0,004 = 0,277$$

Тиск заряду наприкінці процесу наповнення, МПа

$$P_a = 0,975 \times P_s = 0,965 \times 0,316 = 0,271$$

Коефіцієнт наповнення

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \varphi_n) = \frac{15}{15 - 1} \times \frac{0,271}{0,277} \times \frac{315,438}{342,4} \times \frac{1}{1 + 0,02} \times (1 - 0) = 0,9768$$

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						19
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок процесу стиску

У реальному двигуні теплоємність заряду в циліндрі змінюється залежно від температури, тому що, відбувається теплообмін зі стінками циліндра. Так само на характер протікання процесу впливають витік газів через нещільності клапанів і поршневих кілець, дозарядка циліндра до закриття впускного клапана, випару палива, згоряння палива наприкінці стиску. У зв'язку із цим точний термодинамічний опис процесу стиску в реальному двигуні утруднено.

На практиці вважають, що процес стиску відбувається по політропі з показником n_1 величина якого забезпечує одержання такої ж роботи в процесі стиску, як і при змінному показнику у дійсному процесі.

При виборі величини n_1 , необхідно враховувати наступне: зі збільшенням частоти обертання колінчатого валу n_1 збільшується; при підвищенні середньої температури процесу стиску n_1 зменшується; зі зменшенням інтенсивності охолодження двигуна n_1 збільшується; зі зменшенням відносини поверхні охолодження до об'єму циліндра n_1 збільшується; для дизелів з нерозділеними камерами згоряння $n_1 = 1,32 \dots 1,42$, приймаємо в розрахунку:

$$n_1 = 1,370$$

Тиск в кінці процесу стиску, МПа

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_1} = 0,271 \times 14^{1,370} = 10,103$$

Температура в кінці процесу стиску, К

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_1-1} = 342,4 \times 14^{1,370-1} = 910,2$$

Розрахунок процесу згоряння

Дійсна кількість повітря для згоряння, кмоль/кг

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1,72}{0,21} \times \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,13}{4} + \frac{0}{32} - \frac{0}{32} \right) = 0,859$$

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						20
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,13 + 0}{32 \times 0,859} = 0,9997$$

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{0,9997 + 0,02}{1 + 0,02} = 0,9$$

Доля палива, що згоріла в точці z

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

Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z

$$\beta_z = 1 + \left(\frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \times x_z = 1 + \left(\frac{0,9997 - 1}{1 + 0,02} \right) \times 0,968 = 0,999$$

Максимальна температура згоряння, К

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

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

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

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

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

Це рівняння розв'язується методом послідовних наближень, для чого у першому наближенні приймаємо $T_z = 1800$ К. Після вирішення декількох рівнянь отримуємо:

$$T_z = 1832$$

Максимальний тиск згоряння, МПа

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,1 \times 12,776 = 12,124$$

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						21
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок процесу розширення

Ступінь попереднього розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{0,999}{1,2} \times \frac{2032}{910,2} = 1,380$$

Ступінь подальшого розширення

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{14}{1,860} = 7,527$$

Розрахунок параметрів процесу розширення ведеться з умовно постійним показником політропи розширення n_2 . Для дизелів $n_2 = 1,18 \dots 1,3$. Варто пам'ятати, що показник політропи залежить від режиму роботи двигуна, розмірів циліндра, способу охолодження й ряду інших факторів. У всіх випадках, коли збільшується тривалість догорання палива, знижуються відносний теплообмін і витоки газів, n_2 зменшується. Виходячи з вищесказаного приймемо:

$$n_2 = 1,263$$

Температура в кінці процесу розширення, К

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2-1}} = 2032 \times \frac{1}{7,527^{1,263-1}} = 1191$$

Тиск в кінці процесу розширення, МПа

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{12,124}{7,527^{1,263}} = 0,945$$

Визначення індикаторних і ефективних показників роботи ДВЗ

Теоретичний середній індикаторний тиск, МПа

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

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						22
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$= \frac{10,103}{14-1} \times \left[1,2 \times (1,860 - 1) + \frac{1,2 \times 1,860}{1,263 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{7,527^{1,263-1}} \right) - \frac{1}{1,370 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{14^{1,370-1}} \right) \right] = 2,2080$$

Дійсний середній індикаторний тиск, МПа

$$P_i = P_i' \times \zeta \times (1 - \varphi_n) = 2,2080 \times 0,98 \times (1 - 0) = 2,163$$

Індикаторна питома витрата газу, м.куб/(кВт*год)

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_n}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,277 \times 0,976}{2,72 \times 0,495 \times 323,2 \times 2,163} = 0,22$$

Індикаторний ККД

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_n} = \frac{3600}{0,22 \times 42700} = 0,464$$

Середній ефективний тиск, МПа

$$P_e = P_i \times \eta_m = 2,163 \times 0,92 = 1,947$$

Ефективний ККД двигуна

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,464 \times 0,92 = 0,417$$

Питома ефективна витрата газу, м.куб/(кВт*год)

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,22}{0,92} = 0,24$$

Ефективна потужність двигуна, кВт

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,26^2 \times 0,33 \times 0,5 \times 1,947 \times 1000 \times 6 = 1707,3$$

Перевірка заданої потужності.

$$\Delta N = \frac{N_e - N_e'}{N_e} \times 100\% = \frac{1707,3 - 1705}{1707,3} \times 100\% = 0,134\%$$

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						23
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

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

2.2 Розрахунок індикаторної діаграми

Розрахункову індикаторну діаграму будують по даним розрахунку робочого циклу. Надалі ця діаграма є вхідними даними для динамічного розрахунку та розрахунку на міцність двигуна. Побудову діаграми виконують аналітичним способом, так як графічні методи побудови дають великі похибки [4].

Ординати точок політропи стиснення та розширення обчислюють за наступними формулами:

– для процесу стиснення:

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

– для процесу розширення:

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

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

Для розрахунку та побудови індикаторної діаграми необхідно ввести наступні дані, які приведені в табл. 2.1. Результати розрахунків для побудови індикаторної діаграми наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Основні дані для побудови індикаторної діаграми

Показник політропи стиснення n_1	1,3705
Показник політропи розширення n_2	1,2638
Тиск кінця стиснення p_c , МПа	10,104
Максимальний тиск згоряння p_z , МПа	12,124
Ступінь попереднього розширення ρ	1,38
Ступінь стиснення ε	14

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків для побудови індикаторної діаграми

V/V_c	$p_{ст}$	$p_{розш}$
1,00	12,12	
1,00	10,10	12,12
1,38	6,50	12,12
2,01	3,88	7,53
2,64	2,67	5,34
3,27	1,99	4,07
3,90	1,56	3,26
4,54	1,27	2,70
5,17	1,06	2,29
5,80	0,91	1,98
6,43	0,79	1,73
7,06	0,69	1,54
7,69	0,62	1,38
8,32	0,55	1,25
8,95	0,50	1,14
9,58	0,46	1,05
10,21	0,42	0,97
10,85	0,39	0,90
11,48	0,36	0,83
12,11	0,33	0,78
12,74	0,31	0,73
13,37	0,29	0,69
14,00	0,27	0,65
14,00		0,27

Індикаторна діаграма двигуна представлена на рис. 2.1.

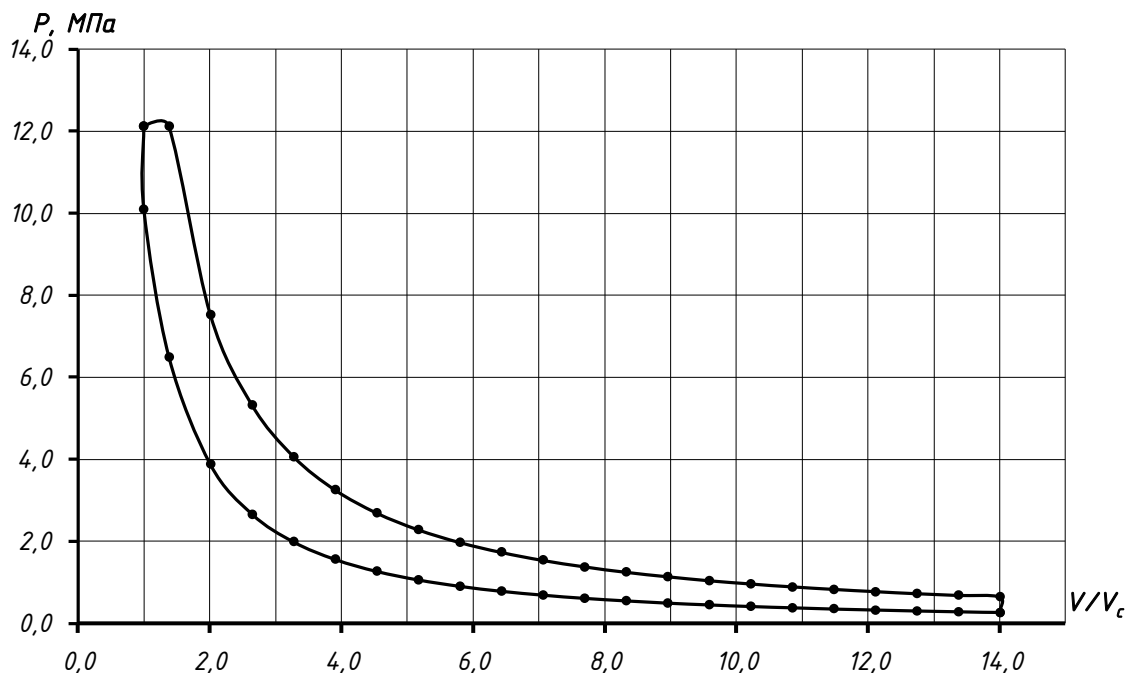


Рис. 2.1 – Індикаторна діаграма

2.3 Аналіз ефективних показників проектного двигуна й прототипу

В результаті розрахунків отримана математична модель циклу двигуна типу C26:33LPG, який має основні параметри, що надаються у табл. 2.3.

Згідно з значенням тиску наддуву ($P_k = 2,8$) двигун належить до машин с середнім тиском наддуву.

Згідно з середнім ефективним тиском ($P_e = 1,9475$ МПа) двигун має середнє значення форсування по цьому параметру [8].

Згідно з значенням ($\eta_e = 0,4176$) двигун відповідає помірний рівень економічності, йому ж відповідає отримане значення ($g_e = 0,24$ м³/кВт•год).

По величині максимального тиску при згорянні ($P_z = 12,124$ МПа) двигун відповідає звичайному рівню цього параметра для двигунів невеликого форсування по P_k , тож його конструкція відповідає умові працездатності.

По величині максимальної температури циклу ($T_z = 1832$ К) двигун задовольняє умовам екологічності та термічної стійкості звичайної конструкції.

По величині температури газів перед турбіною (759 К) конструкція відповідає умовам нормальної роботи турбіни для таких двигунів.

Таким чином, робочий цикл двигуна характеризується середнім рівнем форсування по наддуву і середньому ефективному тиску, двигун відповідає вимогам щодо економічності та екологічності, він задовольняє вимогам до працездатності конструкції.

Таблиця 2.3 – Основні параметри двигуна типу C26:33LPG

Ефективна потужність	N_e	кВт	1705
Середній ефективний тиск	P_e	МПа	1,9475
Тиск робочого тіла в точці z	P_z	МПа	12,124
Тиск газів перед турбіною	P_t	МПа	0,238
Тиск наддуву	P_k	МПа	0,28
Температура повітря в ресивері	T_s	К	323,2
Температура робочого тіла в точці z	T_z	К	1832
Температура газів перед турбіною	T_t	К	759,237
Коефіцієнт надлишку повітря	α		1,72
Питома витрата палива	g_e	м ³ /кВт·год	0,24
Ефективний ККД	η_e		0,42

2.4 Динамічний розрахунок двигуна

При вивченні динамічних явищ у ДВЗ у першу чергу розглядають сили від тиску газів P_g і сили інерції P_j . Сумарна сила є рушійна сила [9]:

$$P_{руш} = P_g + P_j.$$

При повороті колінчастого валу сумарна сила може бути розкладена на складові (рис. 2.2).

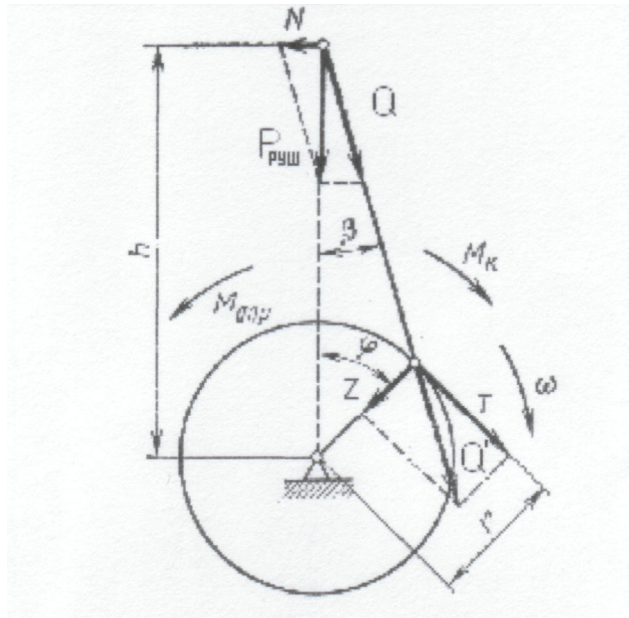


Рис. 2.2 – Схема сил, що діють у кривошипно-шатунному механізмі

Сили інерції зворотно-поступальних рухомих мас обчислюють за формулою:

$$P_j = -m_j \cdot \omega^2 \cdot r \cdot (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi)$$

Сила інерції обертових мас діє по радіусу кривошипа і визначається по формулі:

$$P_r = -m_j \cdot \omega^2 \cdot r$$

Сили тиску газів в циліндрі двигуна залежно від ходу поршня визначають по індикаторній діаграмі, побудованій за даними теплового розрахунку або отриманій експериментально.

Сила тиску газів на поршень, яка діє по осі циліндра, дорівнює:

$$P_r^s = (P_x - P_0) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

Сила, яка діє по осі кривошипа, дорівнює:

$$Z = P_w \cdot \cos(\varphi + \beta) = \frac{P}{\cos \beta} \cdot \cos(\varphi + \beta)$$

Дотична сила визначається формулою:

$$T = P_w \cdot \sin(\varphi + \beta) = \frac{P}{\cos \beta} \cdot \sin(\varphi + \beta)$$

Добуток сили T на радіус r називають крутним моментом двигуна:

$$M_k = T \cdot r = r \cdot \frac{P}{\cos \beta} \cdot \sin(\varphi + \beta)$$

У табл. 2.4 представлені необхідні параметри для динамічного розрахунку двигуна.

Розрахунок виконаний за допомогою програми *Excel* і представлений в табл. 2.5 – 2.6. За даними розрахунку будуються діаграми зображені на рис. 2.3 – 2.5.

На рис. 2.3 P_r – сила тиску газів на поршень; P_j – сила інерції одного циліндра двигуна; P_{dv} – рушійна сила (вертикальна сила, що діє на центр поршневого пальця).

На рис. 2.4 N – нормальна сила, яка притискує поршень до втулки; Z – сила, що діє по осі кривошипа; T – дотична сила.

На рис. 2.5 T_E – сумарні дотичні сили, T^{cp}_E – середнє значення сумарних дотичних сил.

Таблиця 2.4 – Вхідні дані по розрахунку діючих зусиль

Діаметр поршня	м	D	0,26
Частота обертання КВ	хв ⁻¹	n	1000
Максимальний тиск згоряння	МПа	P_z	12,124
Тиск на початку стиску	МПа	P_a	0,271
Тиск наддуву	МПа	P_k	0,28
Тиск залишкових газів	МПа	P_Γ	0,4
Кривошипно-шатуне відношення		λ	0,249
Маса деталей, що рухаються возвратно-поступово	кг	m	70
Радіус кривошипа	м	r	0,165
Ступінь стиснення		ε	14
Показник політропи стиснення		n_1	1,3705
Показник політропи розширення		n_2	1,2638
Ступінь попереднього розширення		ρ	1,38
Кількість циліндрів		i	6

Таблиця 2.5 – Результати динамічного розрахунку

φ°	Pr	Pj	Pdv	N	Z	T
0	0,2800	-2,9781	-2,6981	0,0000	-2,6981	0,0000
10	0,2800	-2,9061	-2,6261	-0,1136	-2,5665	-0,5679
20	0,2800	-2,6954	-2,4154	-0,2062	-2,1992	-1,0199
30	0,2800	-2,3618	-2,0818	-0,2605	-1,6726	-1,2665
40	0,2800	-1,9297	-1,6497	-0,2663	-1,0925	-1,2644
50	0,2800	-1,4296	-1,1496	-0,2220	-0,5689	-1,0233
60	0,2800	-0,8953	-0,6153	-0,1348	-0,1909	-0,6003
70	0,2800	-0,3607	-0,0807	-0,0192	-0,0095	-0,0824
80	0,2800	0,1439	0,4239	0,1061	-0,0309	0,4358
90	0,2800	0,5937	0,8737	0,2222	-0,2222	0,8737
100	0,2800	0,9720	1,2520	0,3133	-0,5259	1,1785
110	0,2800	1,2703	1,5503	0,3695	-0,8775	1,3305
120	0,2800	1,4891	1,7691	0,3875	-1,2201	1,3383
130	0,2800	1,6358	1,9158	0,3699	-1,5148	1,2298
140	0,2800	1,7235	2,0035	0,3234	-1,7426	1,0400
150	0,2800	1,7681	2,0481	0,2563	-1,9019	0,8021
160	0,2800	1,7858	2,0658	0,1764	-2,0015	0,5408
170	0,2800	1,7903	2,0703	0,0896	-2,0544	0,2713
180	0,2710	1,7907	2,0617	0,0000	-2,0617	0,0000
190	0,2730	1,7903	2,0633	-0,0893	-2,0474	-0,2704
200	0,2791	1,7858	2,0649	-0,1763	-2,0007	-0,5406
210	0,2898	1,7681	2,0579	-0,2575	-1,9110	-0,8059
220	0,3060	1,7235	2,0294	-0,3276	-1,7652	-1,0535
230	0,3290	1,6358	1,9648	-0,3794	-1,5535	-1,2612
240	0,3610	1,4891	1,8501	-0,4052	-1,2760	-1,3996
250	0,4053	1,2703	1,6756	-0,3994	-0,9484	-1,4380
260	0,4669	0,9720	1,4388	-0,3601	-0,6045	-1,3545
270	0,5540	0,5937	1,1477	-0,2918	-0,2918	-1,1477
280	0,6798	0,1439	0,8237	-0,2061	-0,0600	-0,8470
290	0,8672	-0,3607	0,5065	-0,1207	0,0598	-0,5173
300	1,1563	-0,8953	0,2610	-0,0572	0,0810	-0,2546
310	1,6205	-1,4296	0,1909	-0,0369	0,0945	-0,1700
320	2,3950	-1,9297	0,4654	-0,0751	0,3082	-0,3567
330	3,7136	-2,3618	1,3518	-0,1692	1,0861	-0,8224
340	5,8576	-2,6954	3,1622	-0,2700	2,8791	-1,3352
350	8,6022	-2,9061	5,6961	-0,2464	5,5668	-1,2318
360	10,0864	-2,9781	7,1083	0,0000	7,1083	0,0000
370	12,1240	-2,9061	9,2179	0,3988	9,0086	1,9934
380	11,0353	-2,6954	8,3398	0,7120	7,5934	3,5214
390	7,2488	-2,3618	4,8870	0,6116	3,9265	2,9732

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		30

400	4,8374	-1,9297	2,9078	0,4694	1,9257	2,2287
410	3,3741	-1,4296	1,9446	0,3755	0,9623	1,7310
420	2,4717	-0,8953	1,5764	0,3453	0,4892	1,5378
430	1,8957	-0,3607	1,5350	0,3659	0,1812	1,5676
440	1,5145	0,1439	1,6584	0,4150	-0,1207	1,7053
450	1,2540	0,5937	1,8477	0,4698	-0,4698	1,8477
460	1,0710	0,9720	2,0430	0,5113	-0,8583	1,9232
470	0,9400	1,2703	2,2103	0,5268	-1,2510	1,8968
480	0,8449	1,4891	2,3339	0,5112	-1,6097	1,7656
490	0,7755	1,6358	2,4113	0,4656	-1,9066	1,5479
500	0,7254	1,7235	2,4488	0,3953	-2,1300	1,2712
510	0,6899	1,7681	2,4580	0,3076	-2,2825	0,9626
520	0,6664	1,7858	2,4522	0,2093	-2,3759	0,6420
530	0,6529	1,7903	2,4432	0,1057	-2,4245	0,3202
540	0,6486	1,7907	2,4393	0,0000	-2,4393	0,0000
550	0,4000	1,7903	2,1903	-0,0948	-2,1735	-0,2870
560	0,4000	1,7858	2,1858	-0,1866	-2,1178	-0,5722
570	0,4000	1,7681	2,1681	-0,2713	-2,0133	-0,8491
580	0,4000	1,7235	2,1235	-0,3428	-1,8470	-1,1023
590	0,4000	1,6358	2,0358	-0,3931	-1,6097	-1,3068
600	0,4000	1,4891	1,8891	-0,4138	-1,3029	-1,4291
610	0,4000	1,2703	1,6703	-0,3981	-0,9454	-1,4334
620	0,4000	0,9720	1,3720	-0,3433	-0,5764	-1,2915
630	0,4000	0,5937	0,9937	-0,2527	-0,2527	-0,9937
640	0,4000	0,1439	0,5439	-0,1361	-0,0396	-0,5592
650	0,4000	-0,3607	0,0393	-0,0094	0,0046	-0,0401
660	0,4000	-0,8953	-0,4953	0,1085	-0,1537	0,4832
670	0,4000	-1,4296	-1,0296	0,1988	-0,5095	0,9165
680	0,4000	-1,9297	-1,5297	0,2469	-1,0131	1,1724
690	0,4000	-2,3618	-1,9618	0,2455	-1,5762	1,1935
700	0,4000	-2,6954	-2,2954	0,1960	-2,0900	0,9692
710	0,4000	-2,9061	-2,5061	0,1084	-2,4492	0,5420
720	0,2800	-2,9781	-2,6981	0,0000	-2,6981	0,0000

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку сумарних дотичних сил

φ°	T_E						T_E	T_{cp}
	Номер циліндра							
	1	2	3	4	5	6		
0	0,0000	1,3383	-1,3996	0,0000	1,7656	-1,4291	0,2753	1,1048
10	-0,5679	1,2298	-1,4380	1,9934	1,5479	-1,4334	1,3318	1,1048
20	-1,0199	1,0400	-1,3545	3,5214	1,2712	-1,2915	2,1668	1,1048
30	-1,2665	0,8021	-1,1477	2,9732	0,9626	-0,9937	1,3299	1,1048
40	-1,2644	0,5408	-0,8470	2,2287	0,6420	-0,5592	0,7409	1,1048
50	-1,0233	0,2713	-0,5173	1,7310	0,3202	-0,0401	0,7417	1,1048
60	-0,6003	0,0000	-0,2546	1,5378	0,0000	0,4832	1,1662	1,1048
70	-0,0824	-0,2704	-0,1700	1,5676	-0,2870	0,9165	1,6743	1,1048
80	0,4358	-0,5406	-0,3567	1,7053	-0,5722	1,1724	1,8440	1,1048
90	0,8737	-0,8059	-0,8224	1,8477	-0,8491	1,1935	1,4376	1,1048
100	1,1785	-1,0535	-1,3352	1,9232	-1,1023	0,9692	0,5799	1,1048
110	1,3305	-1,2612	-1,2318	1,8968	-1,3068	0,5420	-0,0306	1,1048
120	1,3383	-1,3996	0,0000	1,7656	-1,4291	0,0000	0,2753	1,1048

Сили P_r , P_j , P_{dv} в МПа

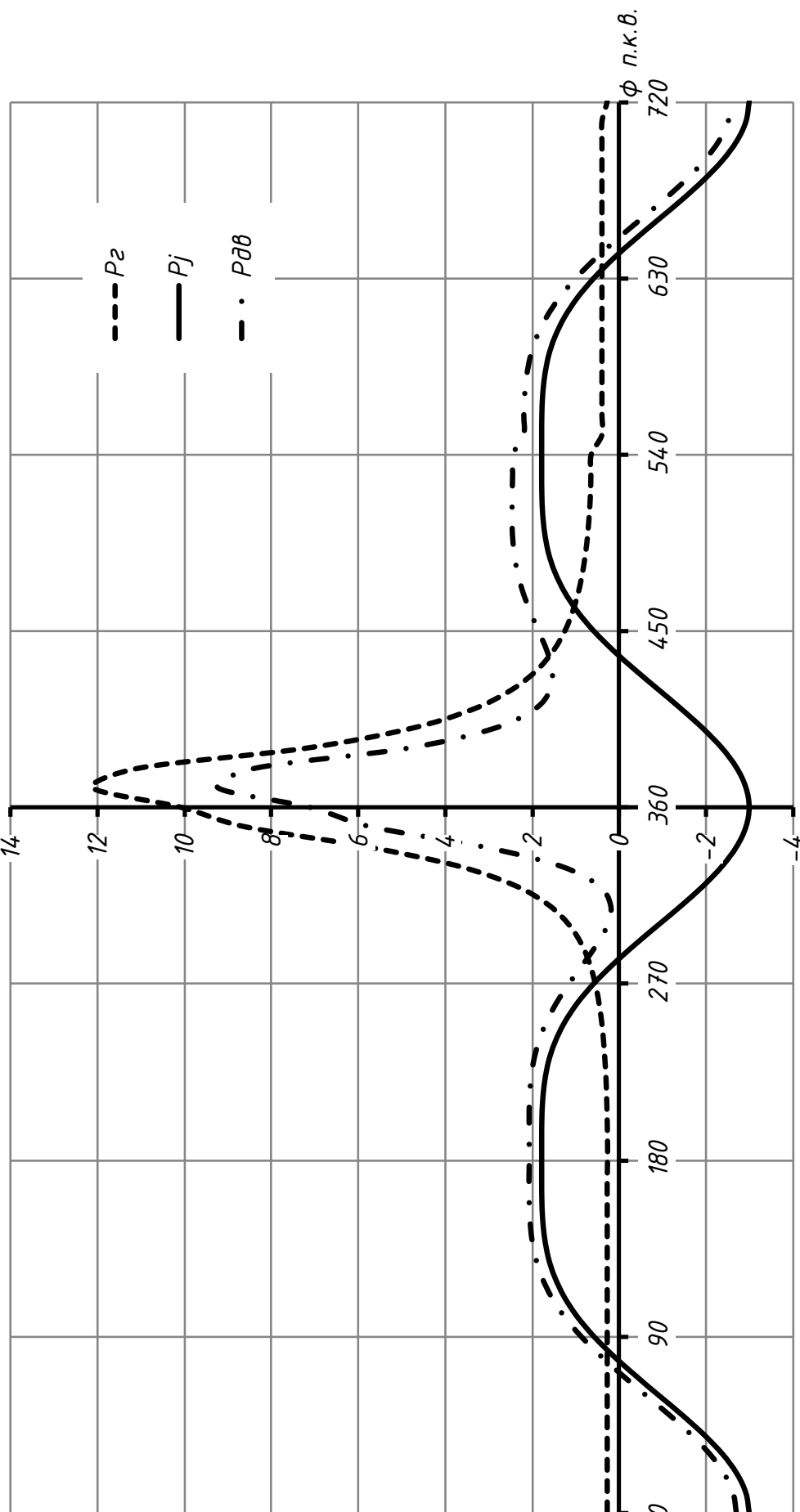


Рис. 2.3 – Зміна сил P_r , P_j , P_{dv} від кута повороту колінчастого валу

Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ

Аркуш

33

Сили N , Z , T в МПа.

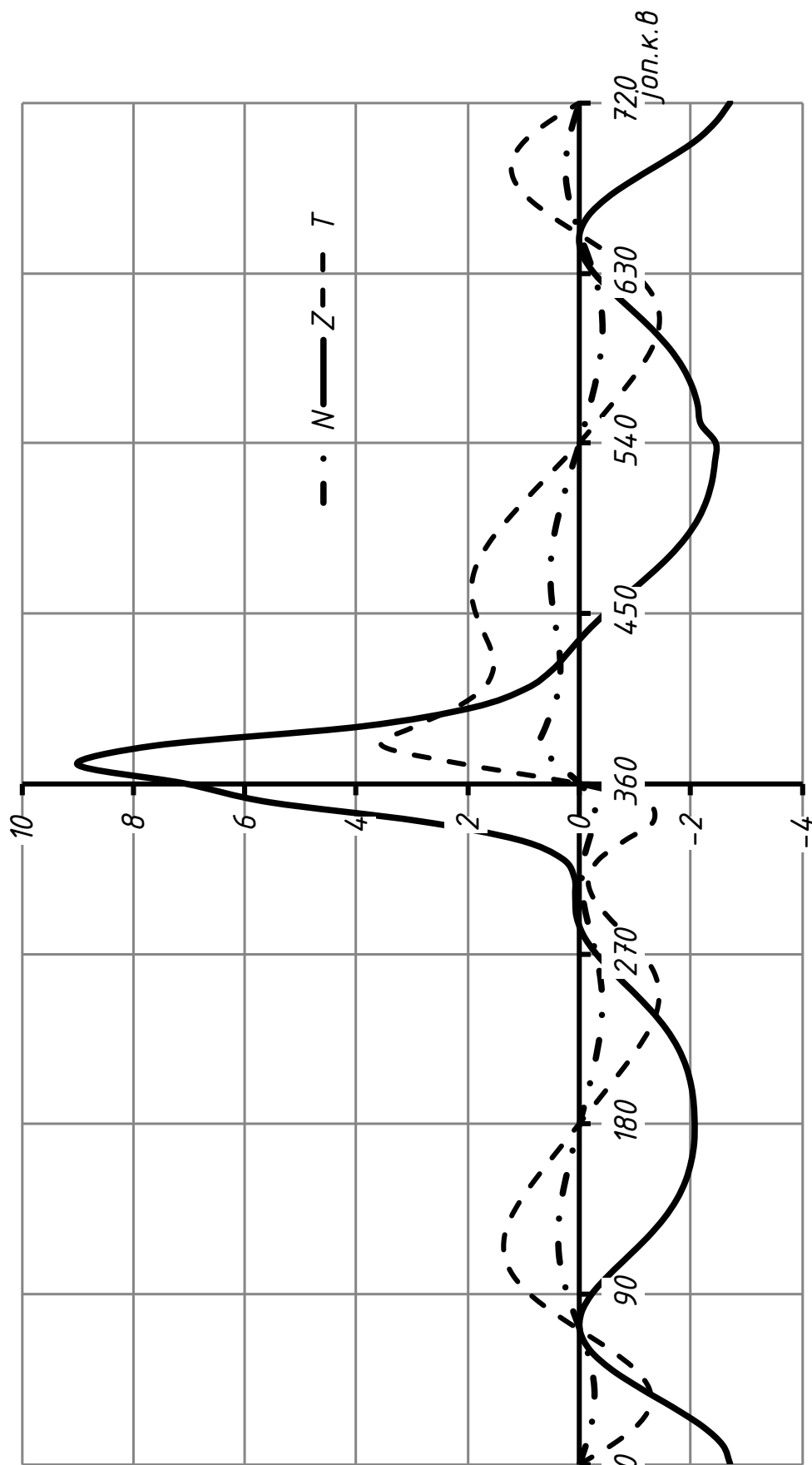


Рис. 2.4 – Зміна сил N , Z , T від кута повороту колінчастого валу

Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ

Аркуш

34

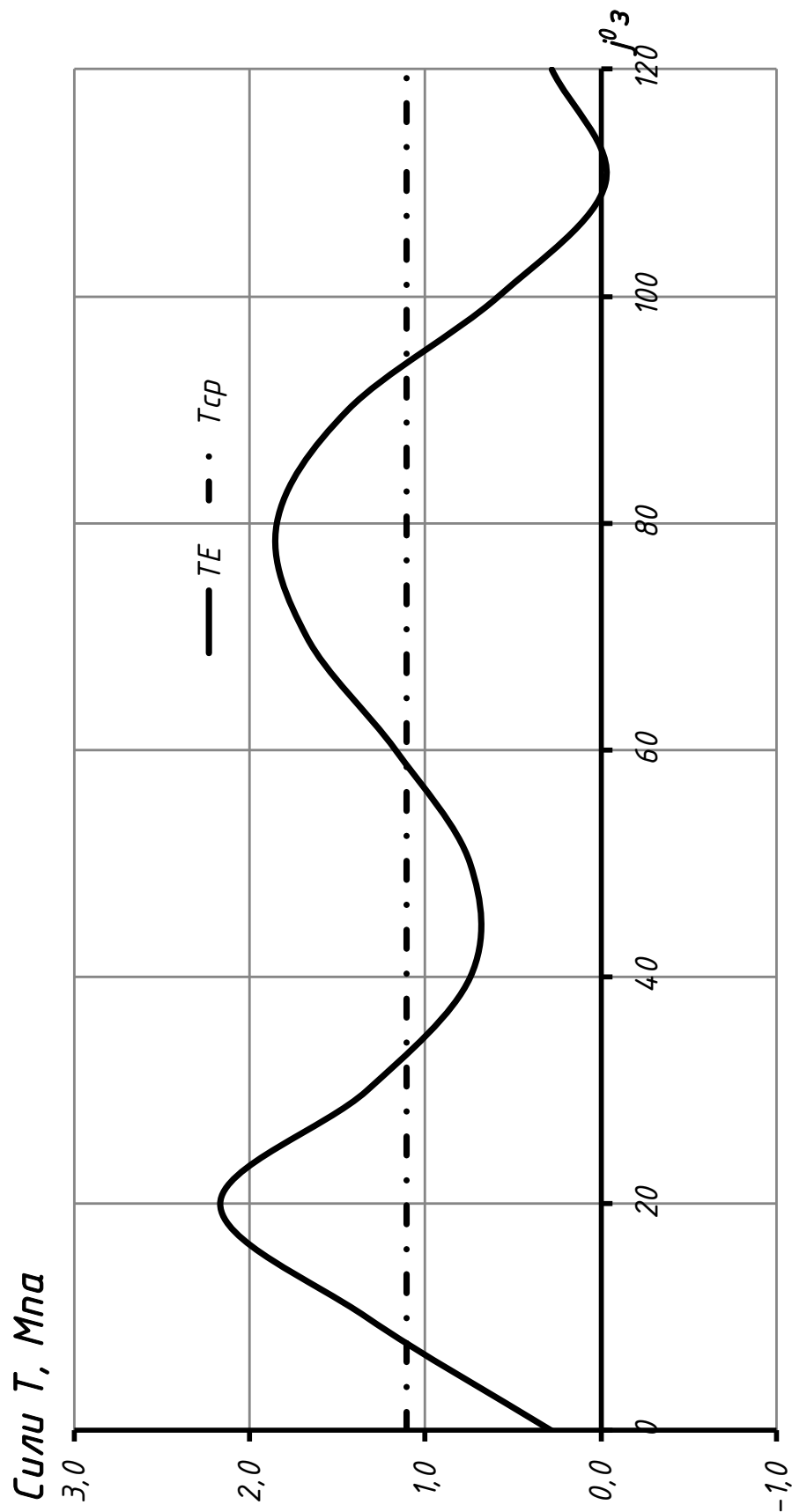


Рис. 2.5 – Зміна сумарних дотичних сил T від кута заклинки колінчастого валу

2.5 Розробка систем двигуна

Паливна система

Газовий двигун C26:33L6PG працює за циклом з іскровим запалюванням на збідненому паливі, тобто бідна суміш газу і повітря стискається і запалюється електричною системою.

Двигун працює з коефіцієнтом надлишку повітря, що дорівнює 1,7 і вище, як показано на рис. 2.6, це підвищує потужність, ефективність і знижує викиди NOx.

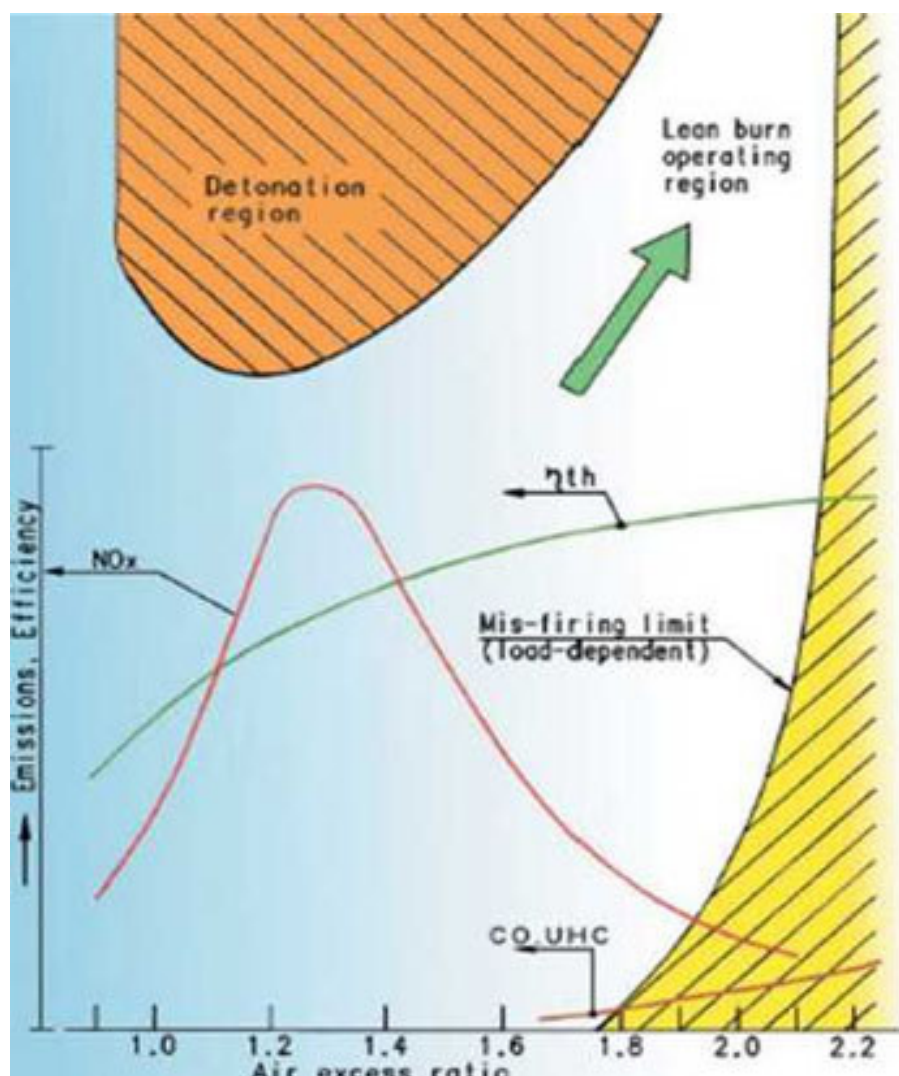


Рис. 2.6 – Режими роботи газового двигуна C26:33L6PG

Щоб досягти цього, була розроблена спеціальна система запалювання, яка дає сильне збільшення енергії запалювання та здатна надійно спалювати такі збіднені суміші. Паливна система двигуна представлена на рис. 2.7.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		36

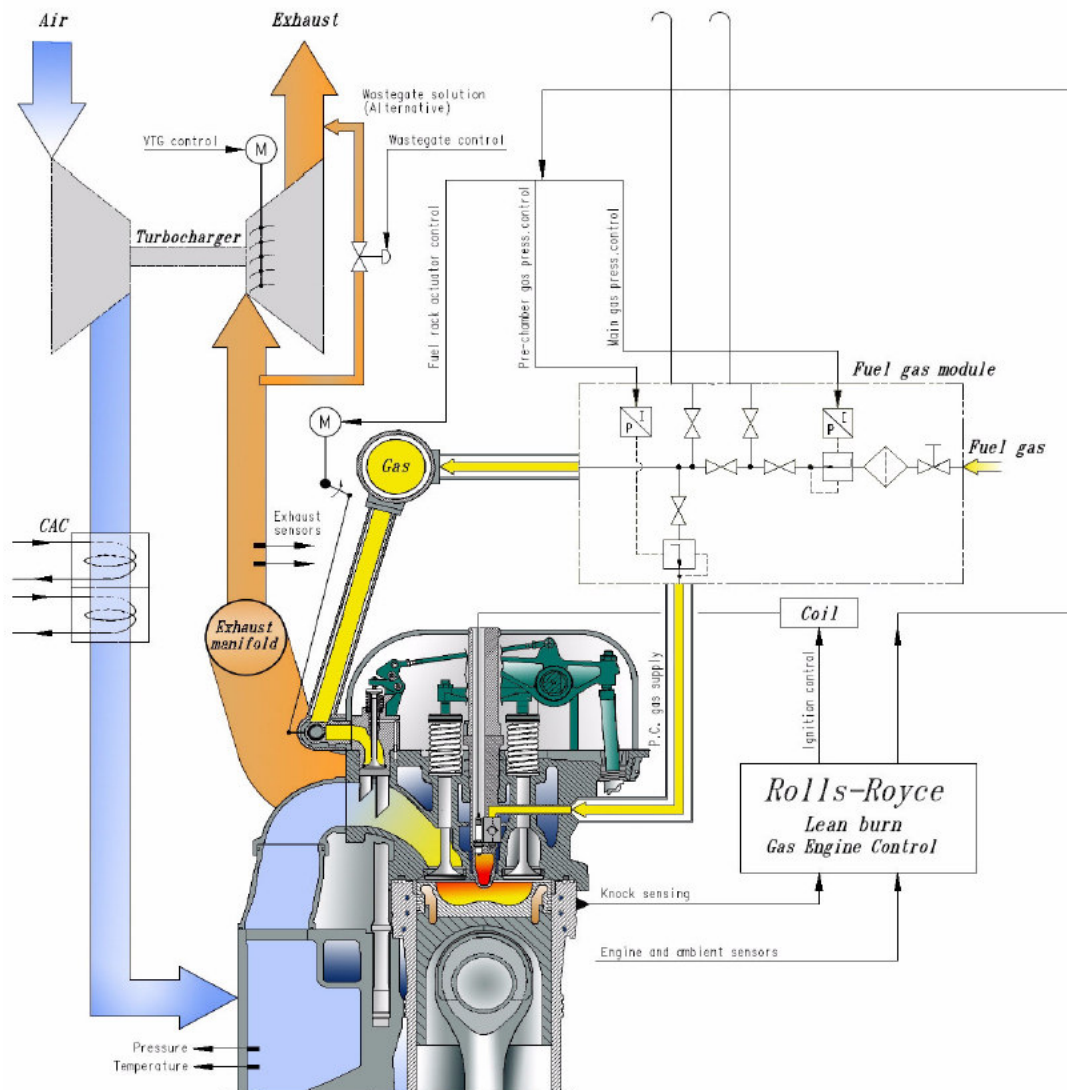


Рис. 2.7 – Паливна система

Принцип дії паливної системи: повітря всмоктується турбокомпресором, через охолоджувач наддувочного повітря в циліндр. Механічний газовий клапан з встановленим часом впорскує газ під надлишковим тиском у вхідний повітряний потік, щоб забезпечити однорідну суміш повітря і газу. Потік повітря регулюється змінною геометрією турбіни VTG, а потік газу контролюється механічними клапанами перед кожним циліндром.

Тиск газу встановлюється електронним способом за допомогою клапана регулювання тиску на модулі подачі паливного газу перед двигуном.

Повітряна заслінка для кожного циліндра обмежує подачу повітря під час запуску і роботи при низькому навантаженні.

Оскільки тиск в циліндрі низький, газ надходить в форкамери - по одній в кожній головці циліндра, з електронним управлінням блоку тиску попередньої камери.

Під час стиснення збіднений заряд в циліндрі частково проштовхується в форкамеру, де він змішується з чистим газом, утворюючи багату суміш, яка легко запалюється від свічки запалювання. Ця потужна енергія запалювання з форкамери забезпечує швидке і повне згоряння основного заряду в циліндрі.

Вдосконалене електронне управління двигуном забезпечує налаштування і оптимізацію робочих параметрів двигуна відносно один одного.

Система встановлює оптимальний тиск газу в основній і форкамерній камерах, AFR (співвідношення повітря / паливо), положення паливної рейки під час запалювання і положення дросельної заслінки.

Частина системи сигналізації та моніторингу має безліч вбудованих функцій безпеки. Він поєднує в собі безпечну роботу з високою доступністю, захищаючи двигун і сигналізуючи про будь-яку несправність. Включає в себе систему виявлення пропуску запалювання, засновану на аналізі різних робочих параметрів, і систему виявлення детонації. Система виявляє та усуває детонацію окремо для кожного циліндра.

Повна система управління, контролю і управління двигуном розташовується в шафу поруч з двигуном і з'єднується з системою управління за допомогою одного простого кабелю.

Основною складовою системи подачі паливного газу є газорегулювальний блок (ГРБ).

Він встановлюється окремо від двигуна, але довжина труби та діаметр труби повинні бути в межах, визначених BEAS. Зазвичай максимальний

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						38
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

діаметр 10 мм. Кожен двигун має окремий газорегуляторний блок з регулятором тиску газу.

Газорегулюючий пристрій повинен забезпечувати подачу запального газу з правильним тиском і чистотою на двигун, а також забезпечувати необхідні функції безпеки відключення.

Тиск газу регулюється електронним регулятором, встановленим всередині корпусу керування двигуном. Сигнал 4...20 мА подається від регулятора і перетворюється на I/P на пневматичний сигнал (повітряний контролер). Повітря регулює клапан регулювання тиску за допомогою приводу, щоб отримати бажаний тиск газу. Клапан керування тиском визначає тиск газу за допомогою окремих ліній вимірювання та повернення (зворотного зв'язку).

Керуюче повітря подається через 25-мікронний фільтр, перш ніж його розподіляють для контролю споживачів повітря.

Регулятор тиску газу і двигун захищені тонким фільтром перед регулятором тиску.

Витратомір використовується для вимірювання масової витрати паливного газу. У той же час система вимірює щільність рідини і температуру рідини.

Всі види паливних газів є легкозаймистими і мають діапазон концентрацій, в якому може виникнути вибух, і тому їх слід використовувати обережно.

Система газопроводів

Система газових трубопроводів має подвійну стінку, а звідси - «концепція, яка по суті є безпечною для газу».

Труби з нержавіючої сталі повинні використовуватися в системі подачі паливного газу між газовим блоком і двигуном.

З метою запобігання надмірних втрат тиску в системі трубопроводів, швидкість газу не повинна перевищувати 10 м/с до і після регулятора тиску.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						39
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

До блокової системи ГРУ включена система «Блок і зневоднення» (VnB). Завданням систем VnB є очищення газопроводів і газового колектора від паливних газів, а також припинення надходження паливного газу в трубу подачі з ГРУ, під час і після вимикання двигуна. Середній час, коли система VnB вимикає подачу пального газу з ГРУ, останній цикл двигуна використовується для відкачування будь-якого залишкового паливного газу, який потрапив між клапанами управління потоком газу та вхідними портами.

Нормальна процедура вимикання двигуна, як описано вище, є достатньою для того, щоб запобігти потраплянню будь-яких паливних газів у приймач двигунів, а також для запобігання будь-якому паливному газу, що просочується повз компресорного колеса і входить в машинне відділення судна.

Використовується система «подвійний блок» та «випуск» з 2 пневматично закритими газовими запірними клапанами які розташовані послідовно, а також 2 випускними клапанами.

Пневмоприводи запобіжного клапана мають вбудовані електромагнітні клапани 24V DC для дистанційного керування. Клапани вентиляції також дистанційно керовані електромагнітними клапанами 24V DC.

Нормальний робочий тиск 7 бар подається на повітряні приводи запірної арматури.

Газорегулюючий блок має клемні коробки в nonEX версії для всіх електричних з'єднань.

Система змащення

Система змащення (рис. 2.8) призначена для подачі мастила до тертьових частин двигуна, що зменшує їх тертя і передчасний знос, а також для часткового відводу тепла, що виділяється при терті. Також в розглянутому двигуні масляна система виконує роль охолодження

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						40
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

поршневої групи. Надійна і якісна робота системи змащення багато в чому визначає моторесурс двигуна.

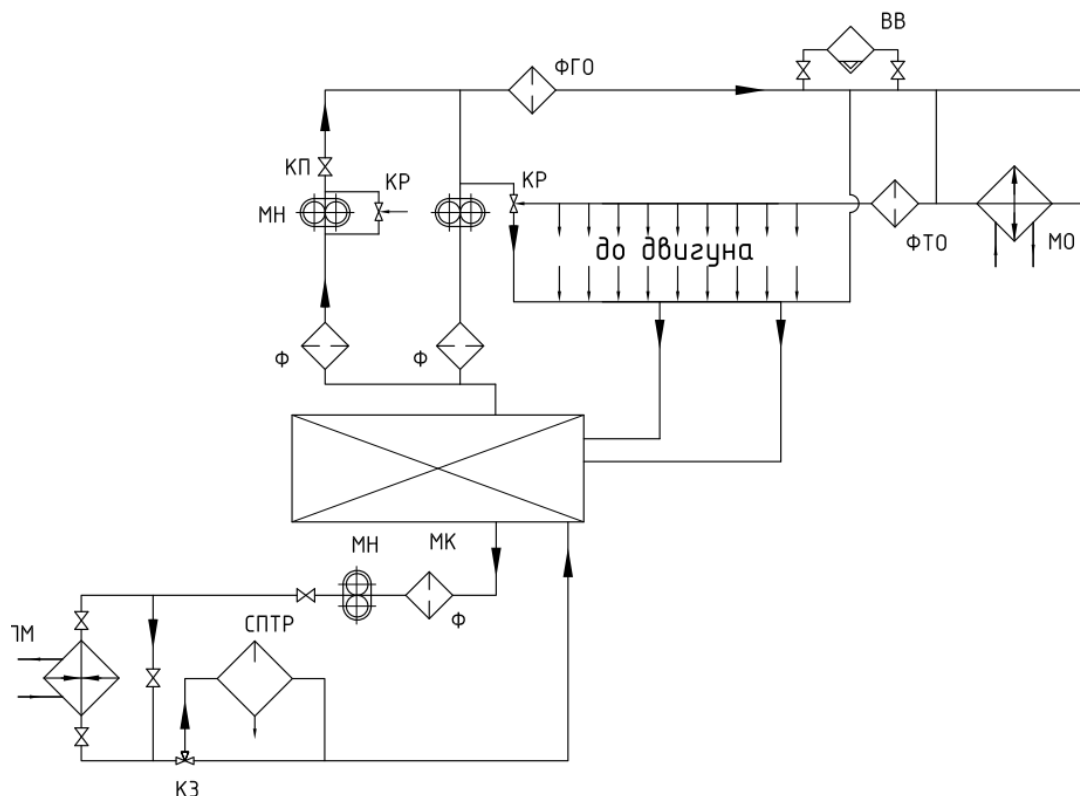


Рис. 2.8 – Масляна система:

МН – масляний насос; МО – масляний охолоджувач; МК – масляний картер; ПМ – підігрівач масла; КЗ – клапан трьохходовий; КП – клапан прохідний; КР – клапан регулюючий; ВВ – водовіддільник з автоматичним запуском конденсату; СПРТ – сепаратор; Ф – фільтр на всмоктувальній лінії; ФГО – фільтр грубої очистки; ФТО – фільтр тонкої очистки.

Двигун має примусову систему змащення з сухим картером. Змащування рухомих деталей кривошипно-шатунного механізму та поршневої групи двигуна здійснюється наступним чином. Мастило після грубої фільтрації поступає в охолоджувач з якого надходить до фільтру тонкої очистки. Після обробки воно подається до системи ГРМ та колінчастий вал. Мастило надходить з корінного підшипника через отвори в колінчастому валі на підшипник нижньої головки і далі, через отвір в шатуні, поршневий палець і спідницю поршня, вгору на охолоджуючу сорочку,

звідки потім зливається назад в масляний піддон (картер). З метою вирівнювання температур головки поршня в неї заливається масло і охолодження здійснюється збовтуванням. Картер має вбудовані випускні отвори, через які мастило зливається в основну масляну цистерну.

До складу системи входять: масляні насоси (рис. 2.9), фільтр грубої очистки мастила (2.10), фільтри тонкої очистки (рис. 2.11), охолоджувачі мастила (рис. 2.12).

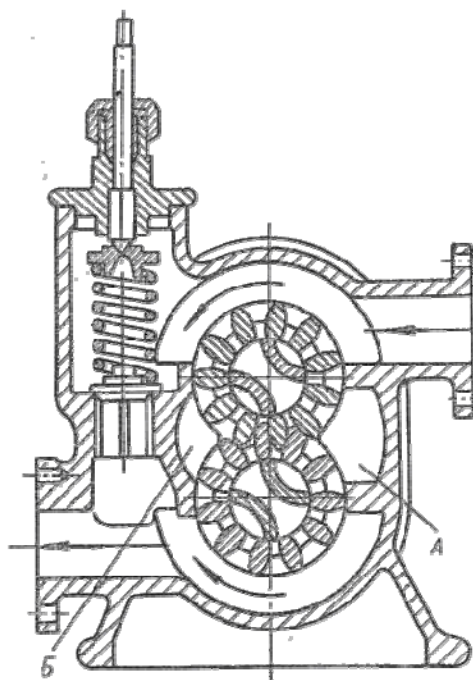


Рис. 2.9 – Принципова схема шестерінчастого масляного насоса.

Для відкачки мастила з картеру та цистерни, та для нагнітання його в системи використовуються насоси шестерінчастого типу. Насоси мають золотники, що забезпечують подачу мастила в одному напрямку. Роль золотників виконують шестерні, в яких відфрезеровані канали, що зв'язують всмоктуючий патрубок насоса з порожниною А, а нагнітаючий – з порожниною Б.

За ступенем очищення масляні фільтри діляться на дві групи: фільтри грубої та тонкої очистки.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		42

Фільтр грубої очистки використовується для очищення мастила від крупних забруднюючих елементів. Для розглянутого двигуна можливе використання сітчастого фільтра грубої очистки.

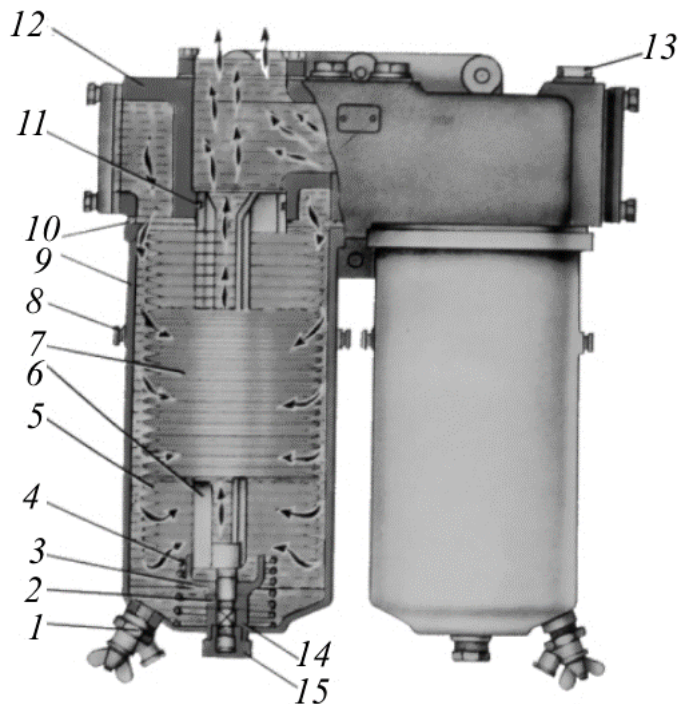


Рис. 2.10 – Фільтр грубої очистки мастила:

1 – пробка; 2 – гайка; 3 – опора; 4 – пружина; 5 – фільтруючий елемент; 6 – стрижень; 7 – фільтруючий пакет; 8 – цапфа; 9 – корпус фільтра; 10, 11 – ущільнюючі кільця; 12 – кришка; 13 – пробка; 14 – втулка; 15 – гайка

Великі частинки розміром аж до 100 мкм залишаються на сітці фільтра грубої очистки. Невелика кількість відкладень на сітці складається з високомолекулярних поліароматичних сполук (асфальтенов). Через високу клейкість вони діють як сполучний матеріал, викликаючи прилипання кристалів сульфату кальцію до сітки. Тому вони не можуть бути видалені в процесі зворотної промивки фільтра.

Фільтри тонкої очистки здатні затримувати забруднюючі елементи в мастилі розміром до 1 мкм. Зазвичай в таких фільтрах використовуються паперові фільтруючі елементи.

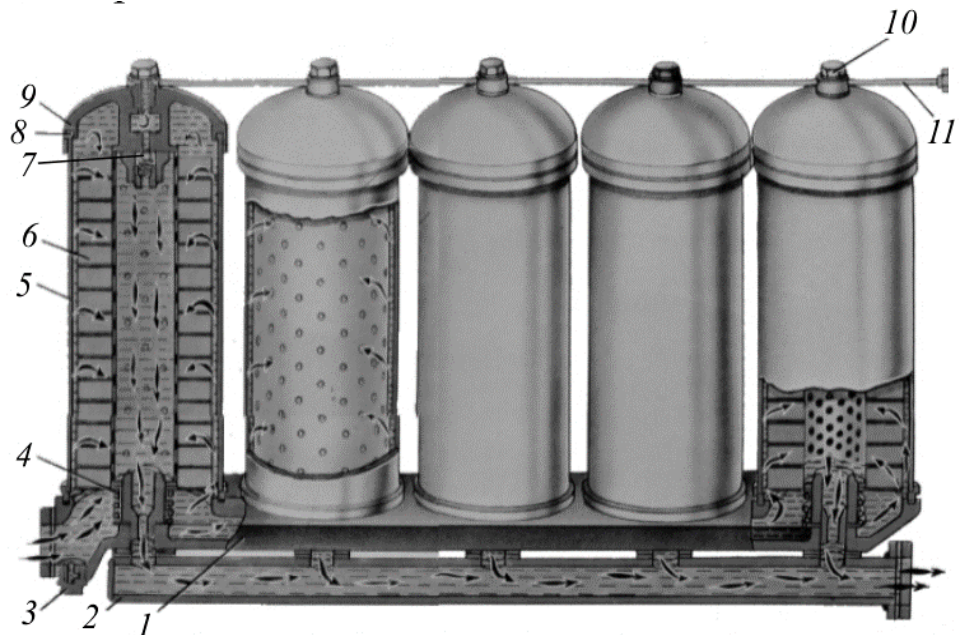


Рис. 2.11 – Фільтр тонкої очистки мастила:

1 – корпус; 2 – труба; 3 – пробка; 4 – пружина; 5 – корпус фільтра;
6 – фільтруючий елемент; 7 – шарик; 8 – прокладка; 9 – кришка;
10 – болт; 11 – трубка

Для охолодження мастила для даного двигуна використовується пластинчастий охолоджувач, який в зрівнянні з кожухотрубними охолоджувачами має наступні переваги:

високу поверхневу густину;

передача більшої кількості тепла на 1 м² і на 1 кг маси апарата завдяки виготовлення пластин з тонкого матеріалу;

невеликі питомі габарити і вагу;

зручність зберігання запасних частин (прокладок і декількох пластин);

легкість обслуговування (пакет пластин, стиснений болтами, відкривають за кілька хвилин, пошкоджена пластина легко і швидко замінюється без будь-яких спеціальних інструментів), так як висока турбулентність потоку зменшує ймовірність забруднення;

підвищення або зменшення продуктивності установки на 30% додаванням або подовженням пластин.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		44

Пластинчастий охолоджувач складається з двох основних елементів – рами і набору пластин.

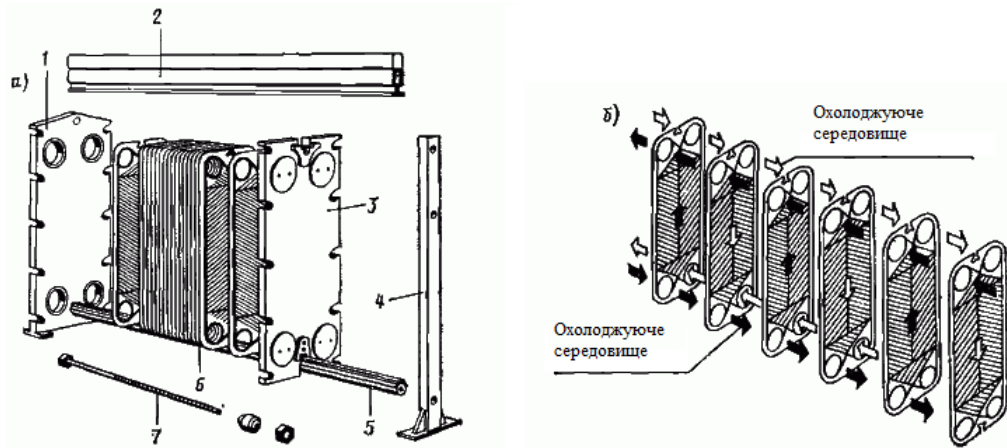


Рис. 2.12 – Охолоджувач мастила: *а* – пристрій; *б* – напрям руху охолоджуючого та охолоджуваного середовищ; 1 – нерухома плита; 2 – верхня направляюча штанга; 3 – рухома плита; 4 – опорна стійка; 5 – нижня направляюча штанга; 6 – пакет пластин; 7 – стяжний болт

Пакет пластин притиснутий рухомою натискною плитою до нерухомої бокової плити-станини за допомогою горизонтальних несучих стрижнів і затискних бічних болтів (два або більше з кожного боку). Стислі пластини, що утворюють теплопередаючі перегородки, підвішені до верхнього несучого стрижня і зафіксовані за допомогою нижнього. Канали, що чергуються, забезпечують протитечію для кращої ефективності теплопередачі. Всі канали для кожного середовища з'єднані паралельно так, щоб вхідні та вихідні отвори були розташовані на закріпленому (нерухомому) кінці станини. Всі пластини мають однакову форму і розміри, при цьому кожна друга пластина перевертається, щоб вийшла система каналів, що чергуються.

Стічно-циркуляційна цистерна служить сховищем мастила, що циркулює в системі змащення. Цистерни циркуляційного мастила можуть бути розташовані в другому днищі або просто нижче картера двигуна. Для запобігання попадання мастила в двигун через зливну систему в разі

ураження днищевої обшивки цистерн на зливних трубах встановлюють безповоротні чи запорні клапани.

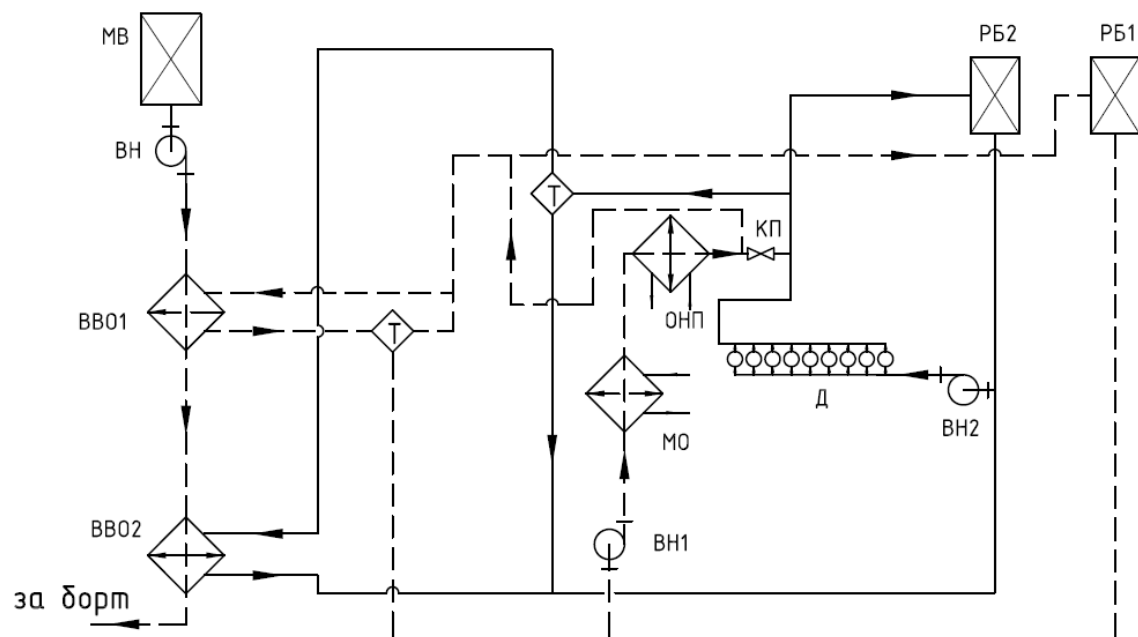
На судах днище цистерни виконують з нахилом в корму, де накопичуються відстій і бруд, які періодично видаляють. Всередині цистерна розділена поперечними перегородками з отворами в нижній частині для стікання відстія в грязьовий колодязь. Цистерна обладнана пристроями для заміру мастила, осушення, вентиляції та підігріву, а також горловинами для огляду, очистки і ремонту.

Трубопроводи злива та прийому мастила розташовують в різних кінцях. Зливний патрубок максимально зближують до днища, щоб зменшити піноутворення. Приймальний патрубок має фільтруючу сітку.

Система охолодження

Система охолодження (рис. 2.13) представляє собою групу систем, що призначаються для подачі робочої рідини на охолодження деталей, механізмів, приборів, пристроїв та робочих середовищ (води, мастила, повітря, пару, газу, палива) в теплообмінних апаратах. В якості охолоджуючого середовища використовується оброблена прісна вода. Вода порівняно з іншими охолоджуючими середовищами має велику теплоємність та високий коефіцієнт тепловіддачі. Прісна вода допускає нагрів в системах охолодження при атмосферному тиску до 80-90 градусів, а при підвищеному - і більш. Прісна вода циркулює у внутрішньому контурі, проходить попередню обробку з метою зниження вмісту солі, жорсткості і видалення різних домішок. У неї вводять інгібітори - сповільнювачі корозії.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						46
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		



Познач.	Назва
РБ	Розширювальний бачок
ВН	Водяний насос
ОНП	Охолоджувач наддувочного повітря
Д	Двигун
МО	Охолоджувач масла
Т	Термостат
КП	Клапан прохідний
ВВ0	Водоводяний охолоджувач
МВ	Морська вода

Рис. 2.13 – Система охолодження

Для охолодження даної установки використовують замкнуту систему охолодження, в якій для охолодження двигуна використовують прісну воду, яка циркулює по замкнутому контуру. Так як в процесі охолодження деталей двигуна прісна вода нагрівається, для підтримки необхідного температурного режиму її пропускають через охолоджувач, що прокачується забортною водою.

В системі охолодження даної дизельної установки використовують доцентровий насос з частотою обертання $1500 - 2500 \text{ хв}^{-1}$, який має відносно високий ККД, надійність, термін служби, помірні показники по масі та габаритам, невелику шумність, просту конструкцію, зручний в обслуговуванні. Однак доцентрові насоси не мають здатності до самозасмоктування. Тому їх або встановлюють нижче рівня перекачуваної

рідини, або передбачають заповнення приймального трубопроводу рідиною перед запуском насоса.

Характеристики доцентрового насосу дозволяють затверджувати, що якщо частота його обертання змінюється пропорційно частоті обертання гвинта, продуктивність на всіх режимах виявляється достатньою.

Для постійної продуктивності насосу, використовують автономний привід від електродвигуна. Система з автономним приводом відрізняється значно більшою живучістю; крім того, можливе живлення декількох об'єктів охолодження от одного насоса та швидкий перехід на резервний насос. Недоліком системи охолодження з автономним приводом є її залежність від електроживлення в мережі, а також підвищена витрата енергії, що витрачається на перекачку одиниці маси рідини.

Теплообмінники в системі охолодження використовуються приблизно такого ж типу, що і в мастильній системі – пластинчасті. Температура охолоджуючої речовини повинна бути нижче температури охолоджуваної не менше ніж на 10-12°.

Оскільки двигун має відносно невелику потужність, то в контурі встановлюється лише один холодильник.

Циркуляційна цистерна контуру охолодження поршнів розраховують виходячи з кратності циркуляції.

Розширююча цистерна встановлюється на рівні, що перевищує найвищу точку двигуна, що охолоджується прісною водою. Об'єм рідини в ній повинен складати 10-20% загального об'єму рідини в системі. Об'єм розширюючої цистерни приймається на 30% більше об'єму залитої в неї води.

Прокладка паровідвідних труб повинна забезпечувати безперервний підйом води і пари до розширюючої цистерни. Переріз труби, що з'єднує цистерну зі всмоктуючою порожниною насоса повинна бути в 1,5 – 2 рази більше перерізу усіх паровідвідних труб. Це забезпечує безперервну

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						48
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

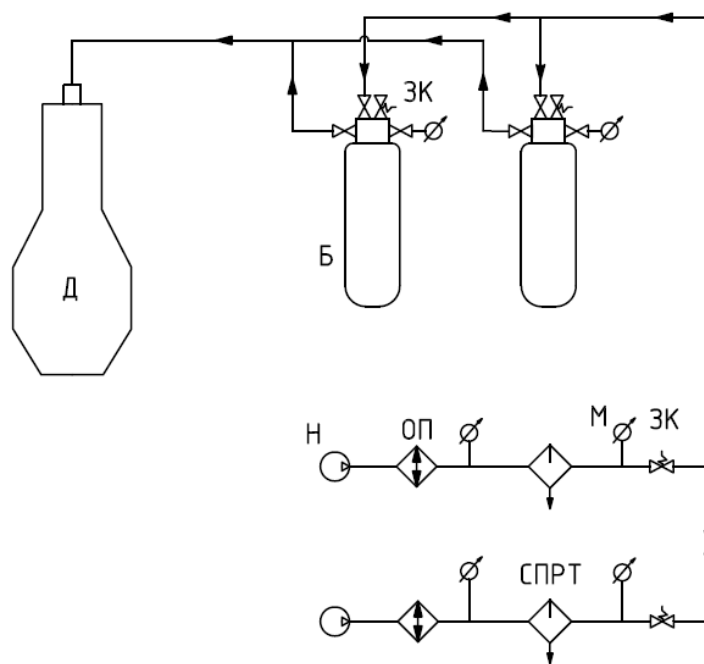
циркуляцію часті води, що знаходиться в контурі, через розширюючий бак, звідки і відбувається видалення пару.

Система пуску стисненим повітрям

Система пуску (рис. 2.14) забезпечує стисненим повітрям необхідного тиску пуск та реверс двигуна. Вона складається з двох електрокомпресорів, масловодо-відділювачів, і як правило, двох балонів – сховищ стисненого повітря для запуску двигуна. Кожний з компресорів має продуктивність, що забезпечує заповнення балонів двигуна протягом однієї години, починаючи з тиску, при котрому є можливим останній запуск і маневр, до робочого.

За величиною тиску система належить до системи середнього тиску (робочий тиск системи – 3 МПа).

За технологією виробництва стисненого повітря система належить до об'ємних.



Познач.	Назва
Д	Двигун
Н	Насос
ОП	Охолоджувач повітря
СПРТ	Сепаратор
М	Манометр
ЗК	Запобіжний клапан
Б	Балон

Рис. 2.14 – Система пуску стисненим повітрям

Для наповнення балонів повітрям використовують зазвичай поршневі двоступінчасті компресори, приводом яких служать електродвигуни. Частота обертання компресорів $600 - 900 \text{ хв}^{-1}$. Компресори зазвичай використовують з кількістю циліндрів 1–4. Принципова схема двоступінчастого компресора представлена на рис. 2.15.

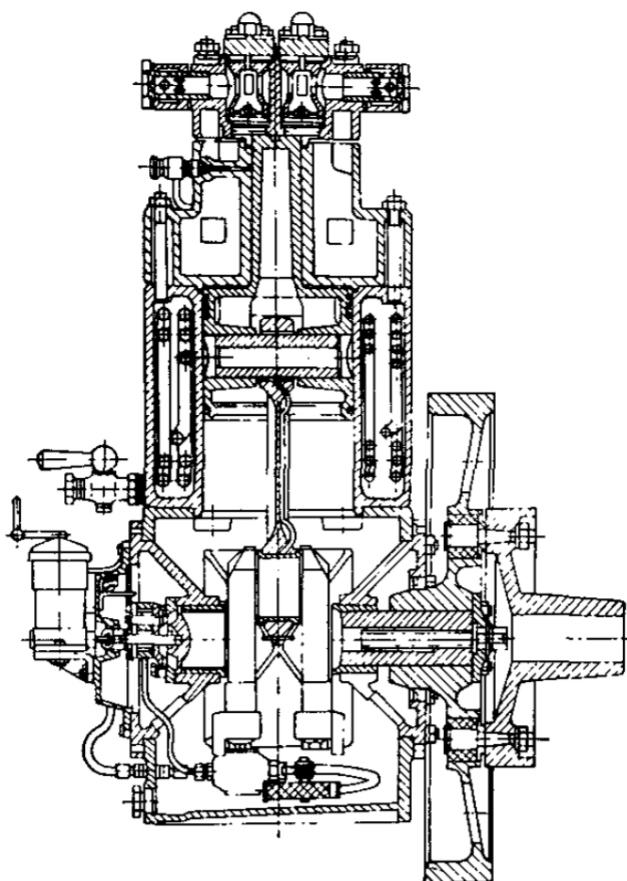


Рис. 2.15 – Принципова схема двоступінчастого компресора

Редукційна установка призначена для зниження і підтримання на постійному рівні тиск повітря в системі. Для підтримання тиску в системі та балонах використовуються редукційні запобіжні клапани для випуску з системи надлишкового повітря. Ці клапани встановлюються з балонами стисненого повітря по одному на балон і спрацьовують при перевищенні тиску більше максимального робочого значення балона (3 МПа).

Балони стисненого повітря виконують сталевими, зварного типу. Робочий тиск – 3 МПа. Конструктивно балони такого типу представляють

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		50

собою циліндр з двома випуклими денцями, в яких зроблені лази. На балонах вмонтовані запірні клапани для заповнення і забору повітря, клапани до манометрів, запобіжні клапани і клапани продувки балона. Кількість повітря в балонах повинна забезпечити 12 пусків-реверсів двигуна.

Для перекриття повітряного постачання та регулювання витрати повітря в системі використовують запірні прохідні клапани чи вентилі. Вони встановлюються за компресорами та на балонах стисненого повітря. Клапани виконуються як ручного так і електроприводу.

2.6. Розробка технологічного процесу монтажу двигуна на судновий фундамент

Обґрунтування способу монтажу двигуна

Монтаж головного двигуна можна здійснювати блоковим або агрегатним способом.

Дизеля мають велику масу і габарити, які не дозволяють транспортувати їх в зборі, тому як навантаження так і центрування виконують тільки окремого блоку. Після центрування і кріплення на фундаменті необхідно виконати трудомісткий і точний загальний збір дизеля із забезпеченням повторюваності стендових допусків. Недоліком блочного монтажу є вплив деформацій корпусу судна недостатня жорсткість кістяка дизеля, обмежена транспортування монтажних блоків і відсутність кранів достатньої вантажопідйомності.

На відміну від блокового способу монтажу, агрегатний не потребує трудомісткої і точного складання двигуна в умовах судна, що будується. Економічна ефективність в тому що знижується трудомісткість монтажу за рахунок перенесення складальних операцій з судна до цеху. Однак недоліком агрегатного монтажу, як і блочного, є вплив деформацій корпусу

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						51
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

судна, недостатня жорсткість кістяка дизеля обмежена транспортування монтажних блоків і відсутність кранів достатньої вантажопідйомності.

З огляду на перелічені переваги і недоліки, також беручи до уваги досвід монтажу СОД, приймаю агрегатний спосіб монтажу ГД.

Центрування механізмів може здійснюватися оптичним методом або виконуватися по зламів і зсувів осей валів.

Центрування механізмів по зламів і зсувів осей валів - це метод визначення положення одного механізму по відношенню до другого - базовому. Головні двигуни центрують по фланця першого проміжного валу. Перевага цього методу в тому що ГД можна монтувати після спуску судна на воду. Недоліком методу є необхідність в наявності базового механізму (проміжного валу).

Центрування механізмів оптичним методом проводиться за допомогою візирної труби по двох мішенях, які матеріалізують плазмові точки теоретичної осі валопроводу.

Перевага методу у відсутності необхідності в наявності базового механізму та безпосередньо механізму, що монтується (використання макета - кондуктора), забезпечує меншу, на відміну від інших методів, похибка вимірювань. Таким чином вибираю центрування оптичним методом.

Установку ГД виконаємо на пластмасових підкладках, так як це дозволяє виключити такі трудомісткі операції як обробка опорних поверхонь фундаменту, виготовлення і підгін за місцем настановних підкладок а також не потребує застосування дорогих переносних металообробних верстатів.

Монтаж судових механізмів виробляють не безпосередньо на опорних поверхнях фундаментів, а на компенсуючих ланках, тобто на підкладках. Це відбувається через труднощі взаємної пригонки великих опорних поверхонь фундаментів і корпусів встановлюються механізмів, а

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						52
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

також часто через необхідність співвісного монтажу взаємопов'язаних механізмів. Підкладки повинні забезпечувати надійне кріплення та мінімальну трудомісткість монтажу механізму. Також при виборі матеріалу основне значення має незмінюваність механічних характеристик і форми підкладок під навантаженням при різних умовах експлуатації.

У розвитку способів кріплення суднових механізмів можна виділити такі основні етапи:

- кріплення на підкладках з твердого дерева;
- кріплення без підкладок;
- кріплення на металевих підкладках;
- кріплення із застосуванням пластмас.

Перші парові машини ставилися головним чином на підкладки з твердого дерева (бакаут, бук, дуб, тик, ясен), і тільки великі машини, потужністю в кілька тисяч к.с., ставилися на металеві клини. Тривалий досвід експлуатації важких машин, встановлених на дерев'яних підкладках, показав, що після кількох років експлуатації дерев'яні підкладки сідають, фундаментні болти слабшають і виникають тріщини в чавунних фундаментних рамах.

Ця обставина спонукала абсолютно відмовитися від установки машин навіть середніх потужностей на дерев'яні підкладки і до тридцятих років минулого століття такий вид кріплення був рідкісним винятком.

Проте, дерев'яні підкладки продовжують застосовуватися при установці допоміжних нецентруємих механізмів і механізмів, що мають кріплення до вертикальних і стельових фундаментів, а також в якості тимчасових при монтажі головних двигунів. Цей спосіб дешевий, простий і не вимагає обробки фундаментів. Спроби їх виключення з ОСТ5Р.4110-2003 не увінчалися успіхом. Для захисту від загнивання дерев'яні підкладки перед остаточною установкою проварюють в оліфі, а для більш щільного

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		53

прилягання дерев'яну підкладку встановлюють на парусині, просоченої залізним суриком.

Опис обладнання, яке використовується при монтажі двигуна

Для навантаження ГД застосовують траверсу. Траверса являє собою зварену балку з двох швелерів. Між швелерами на кінцях балки встановлено по блоку для тросів. До осях блоків підвішені тяги, які закінчуються вантажний скобою.

Для центрування головних двигунів і пробивання осі валопровода використовують візирні труби марки ВТ-3 і ВТ-4, а також трубу прецизійного нівеліра марки НА-1. Візирні труби марки ВТ-3 і ВТ-4 є переустановлення труби теодоліта марки ТТ-50 і Т-5, рівноцінні за якістю і точності спостереження.

Для кріплення візирної труби на фланці валу головного двигуна застосовують спеціальні кронштейни.

Всі роботи по монтажу, експлуатації та ремонту арматури повинні виконуватися в умовах, що забезпечують безпеку обслуговуючого персоналу, монтажних і ремонтних робочих. З цією метою розробляються і застосовуються - відповідні виробничі інструкції, що передбачають обов'язкове виконання певних правил поведінки з обладнанням та інструментом, а також поведінки людей при виконанні відповідальних робіт, застосування запобіжних пристроїв, попереджувальних написів і т. д. Кожен вид роботи з арматурою (монтаж, експлуатація та ремонт) пов'язаний з рядом специфічних операцій і характерний своїми умовами їх виконання.

Всі машини, механізми та засоби механізації, що застосовуються в монтажному виробництві, можна розділити на п'ять груп:

- механізований і ручний інструмент, пристосування та інші засоби малої механізації (електрифіковані, пневматичні і піротехнічні інструменти, слюсарно-монтажний та ріжучий інструмент, монтажні інвентарні пристосування);

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						54
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

- зварювальне обладнання (зварювальні трансформатори та генератори постійного струму, напів-автомати для дугового зварювання в середовищі захисних газів, обладнання для газового зварювання і різання);
- спеціалізовані автомашини і автопричепи і пересувні майстерні;
- металообробні верстати і механізми, зосереджені головним чином в майстернях на поточних технологічних лініях і в ремонтних цехах (ножиці, преси, шінотрубогіби, вальці, листозгинальні, свердлильні, обдирні, заточувальні, токарні, фрезерні та стругальні верстати);
- монтажні механізми для розвантажувально-навантажувальних і монтажних робіт (автомобільні крани, крани на пневмоколісному ході, трубоукладчики і тракторні крани, гідропіднімачів і телескопічні вишки, бурові та бурильно-кранові машини, кран балки і електроталі, акумуляторні і автомобільні навантажувачі, баштові крани і крани-навантажувачі, талі і лебідки, блоки і поліспасти), а також

Весь інструмент повинен бути виправлений і відповідати вимогам правил техніки безпеки. Інструмент, що не задовольняє цим вимогам, повинен бути вилучений, відремонтовано або списаний за актом. В окремому відсіку інструментальної зберігають захисні засоби, що видаються ремонтному персоналу при проведенні робіт в небезпечних місцях, монтажні пояси, протигази, респіратори, гумові рукавиці, гумові фартухи, захисні окуляри.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						55
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічний процес монтажу двигуна

ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА ЗБОРКИ №				Найменування до кресл. виробу				Найменування складальної операції				№ крес. складальної операції		Аркуш											
														Всього аркушів											
Цех №				ОБЛАДНАННЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ												Допоміжні матеріали									
Маршрут																Найменування		Один. виміру		Кільк.					
Кіл. складальних одиниць на вироб				Вільна трудомісткість на складальну одиницю																					
				Ручні н/год				Всього				Верстатні н/год													
Вага складальної одиниці				Роз.	Столярна	Зварка	Всього					Зварки	Всього												
№ кресл. або матер.				№ дет.				Кіл. на склад. один.				№ опер				ЗМІСТ ОПЕРАЦІЙ				Додаткове обладнання, оснастка, інструменти		Кільк. робочих і розряд		Норма часу у н/год	
														00	Встановити мішені, що матеріалізують положення пазових точок осі валопровода				Шергер, мішені, штанговий рівень, рулетка		1/4		3		
														05	Перевірити стан опорних поверхонь під фундаментну раму дизеля				Струна з натяжним пристроєм, сталева рулетка		1/5		2		
														010	Обробити фундамент (чорнова та чистова обробки), зачистити окалини та інших включень				Пневматична машина зі шліфувального круга		1/4 1/3		8		
														015	Візуально перевірити наявність розмічальних рисок на фундаменті				---		1/5		0.5		
														020	Розпакувати ящик. Розконсервувати опорну поверхню двигуна. Оглянути арматуру. Ознайомитись з технічною документацією.				Ганчір'я, гас		1/4		3		
														025	Зняти деталі і арматуру, що заважають навантаженні. Вставити заглушки.				Гайкові ключі		1/5 1/4		5		
														030	Розконсервувати опорні поверхні і вихідний фланець двигуна. Перевірити їх стан.				Ганчір'я, гас		1/3		2		
														035	Застропувати двигун згідно з розробленою вантажною картою, і завантажити на судновий фундамент на дерев'яні бруси в МО.				Троси, дев'яні бруси		1/5 1/4		5		

			040	Підняти двигун, встановити його на фундамент згідно з координат креслення на віджимні болти.	Гідропакет, віджимні пристосування	1/5 1/3	4
			045	Встановити кронштейн і прилад для центрування двигуна з теоретичною віссю валопроводу.	Гайкові ключі	1/4	6
			050	Перевірити центрування ГД за теоретичною віссю.	Нівелір, штихмас	1/5	4
			055	Визначити товщину прокладок	Сталева рулетка	1/4 1/3	2
			060	Отримати сферичні прокладки. Підрізати згідно вимірам.	Макрометр	1/4 1/3	3
			065	Встановити прокладки, прихватити зваркою	Зварювальний апарат	1/5 1/3	2
			070	Через отвори в фундаментної рами зробити свердління отворів в судновому фундаменті і розточити їх, та підрізати під болти.	Свердильна машина УСМ-50	1/3	3
			075	Завести болти з самоустановлюваними шайбами і гайками	---	1/3	2
			080	Обжати болти	Гідродомкрат, шуп	1/4	2
			085	Перевірити центрування двигуна, та пригвинчення болтів та гаєк до лап фундаменту.	Пристрій для дистанційного визначення радіальних зазорів. Гідродомкрат	1/5 1/3	3
			090	Зняти прилади центрування	Гайкові ключі	1/5	2
			095	Встановити деталі і арматуру, зняті при вантаженні	Гайкові ключі	1/4	5
			105	Здати монтаж головного двигуна ВТК і представнику Регістру	---	1/5 1/3	1
			110	Пофарбувати кріплення згідно з фарбовоговеною відомістю	Грунт, ганчір'я, пензл.	1/3	2
				Всього			69.5 н/год
Склав				Перевірив	Нормував		

3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

3.1 Розробка заходів з охорони праці

Охорона праці – це система законів і норм, спрямованих на забезпечення безпеки праці і відповідних їм соціально – економічних, організаційних, технічних і санітарно – гігієнічних заходів.

Задачі охорони праці – звести до мінімуму можливі поранення і захворювання працюючих, з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Небезпечним виробничим фактором називається такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого у визначених умовах приведе до захворювання чи зниженню працездатності.

Між небезпечним і шкідливим факторами не завжди можна провести чітку границю. Той самий фактор може привести до нещасного випадку чи до зниження продуктивності праці.

При роботі ДВЗ, а також різних систем і механізмів, що обслуговують дизель, виникає ряд виробничих факторів небезпечних для життя і здоров'я людей. Ці фактори регламентовані ДСТУ 12.0.003 – 83.

Пари палива та мастила

Пари палива та мастила проникають в організм людини, подразнююче діють і можуть призвести до виникнення хронічних захворювань легких і дихальних шляхів.

За ДСТ 12.1.005 – 88 установлені припустимі границі концентрації пар дизельного палива – 100 мг/м^3 – у повітрі виробничих приміщень.

При роботі двигуна також виділяється велика кількість шкідливих речовин у результаті згоряння палива й мастила.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						58
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

По БудНіПу 245 – 71 величина припустимої границі концентрації окси-ду вуглецю не повинна перевищувати 20 мг/м³.

Висока температура відкритих частин двигуна (випускний колектор, газова турбіна, глушник) здатна заподіяти людині шкоду, що виражається в опіках. Для того щоб запобігти цьому треба всі гарячої частини двигуна покривати теплоізоляційними матеріалами.

Пожежна безпека

Причиною пожеж є: несправні електроприлади, самозаймання промасленого дрانتя, несправність запірної арматури, знос і корозія елементів паливної апаратури, застосування відкритого вогню, недотримання норм пожежної безпеки при роботі з легко займистими речовинами.

Електробезпечність

Проходячи через тіло, струм впливає:

1. Термічно. Виражається в опіках, нагріванні кровоносних судин, нервів і інших тканин, гіперскорочення м'язових тканин.
2. Електрично. Виражається в зміні фізико – хімічного складу крові й інших рідин.
3. Біологічно. Виражається в подразненні і руйнуванні тканин організму, а також у порушенні внутрішніх процесів.

Вентиляція

У результаті порушення герметичності з'єднань деталей двигуна можуть з'являтися токсичні сполуки (CO; SO₂; CH). Щоб запобігти підвищення концентрації шкідливих речовин, необхідна система вентиляції.

Система вентиляції призначена для створення нормальних метеорологічних умов повітряного середовища в приміщенні машинного відділення.

Система вентиляції розроблена відповідно до вимог і норм БудНіП .

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		59

Для ефективної роботи систем вентиляції важливо щоб були виконані наступні технічні і санітарно – гігієнічні вимоги:

1. Кількість приточного повітря повинне відповідати кількості вилученого, різниця між ними повинна бути мінімальною.
2. Система вентиляції не повинна створювати шум на робочих місцях, що перевищує припустимі норми.
3. Система вентиляції повинна бути електробезпечна, пожежобезпечна і вибухобезпечна, проста в пристрої, надійна в експлуатації й ефективна.

Шум

Шум значно погіршує продуктивність праці. Впливає на людину, при інтенсивному рівні шуму тривалий час спостерігається втома слухового апарату, що може привести до часткового чи навіть до повної втрати слуху.

Вібрація

Вібрація виникає через динамічну невідновленість мас кривошипно-шатунного механізму ДВЗ. Локальна вібрація викликає спазми судин і погіршує кровообіг. Загальна вібрація з частотою 0,7 Гц викликає морську хворобу, з частотою 4 – 30 Гц може викликати ушкодження плечового пояса, більшості внутрішніх органів через резонансні явища.

Рівень шуму має припустимі значення. Для зниження аеродинамічного шуму, створеного двигуном, використовуються глушники різних конструкцій. Використання глушників дозволяє знизити загальний рівень шуму на 10 – 12 Дб.

Для зниження повітряного шуму, випромінюваного зовнішніми поверхнями двигуна, використовуються звукоізолюючі чи кожухи бокси, що дозволяють знизити загальний рівень шуму на 10 – 15 Дб, а додатково на 20 Дб і вище.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						60
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зниження механічного шуму необхідно зменшити зазори між деталями і вузлами, виготовляти конструкції з матеріалів з великим внутрішнім тертям і шумопоглинальними покриттями.

Дуже ефективним і важливим способом зменшення шкідливого впливу шуму на людський організм є використання індивідуальних способів захисту від шуму: пробок і навушників, гермошоломів і касок у сукупності з проб-ками, звукоізолюючих кабін з який провадиться управління двигуном. Способи індивідуального захисту в залежності від їхньої конструкції і частоти шуму дозволяє зменшити сприйнятий людиною звук на 15 – 20 Дб.

До роботи на дизелі допускаються люди, що пройшли спеціальну технічну підготовку і мають посвідчення по техніці безпеки з правил експлуатації ДВЗ.

Більшість нещасних випадків при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті двигуна викликані недотриманням основних правил і пересторіг техніки безпеки. Часто нещасного випадку можна уникнути, розпізнаючи можливу небезпеку до того, як відбудеться аварія. Будьте готові до можливої небезпеки . Крім того, слід мати необхідну підготовку, навички і засоби для безпечного ведення всіх робіт.

Крім того, при роботі з двигуном, обслуговуванні або ремонті виникають небезпеки пов'язані з відкритими рухомими деталями, високими температурами від двигуна та висока шумність. Задля нормальної безпечної праці, необхідно дотримуватись правил, затвердженні чинним законодавством про охорону праці.

Недотримання нормативного порядку експлуатації, змащування, технічного обслуговування або ремонту цього виробу може становити небезпеку і приводити до нещасних випадків, в тому числі і зі смертельним результатом.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						61
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Охорона навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища – це система законодавчих актів, що забезпечує нормальне функціонування біосфери при впливі на неї природних або антропогенних факторів.

Однією з необхідних умов здорової і високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря і нормальних метеорологічних умов у робочій зоні приміщень.

Запобігання впливу таких шкідливих виробничих факторів як газ, пара, пил, надлишкова температура і вологість і створення здорового повітряного простору є важливою народногосподарською задачею, що повинна здійснюватися комплексно, одночасно з вирішенням основних питань виробництва.

Шкідливі речовини проникають в організм людини головним чином через дихальні шляхи, а також через шкіру і з їжею. Більшість цих речовин відносяться до небезпечних і шкідливих виробничих факторів, оскільки вони впливають на організм людини [6].

У процесі експлуатації дизель знаходиться у взаємозв'язку з навколишнім середовищем: для роботи споживається повітря і вода, викидаються в атмосферу вихлопні гази.

Розглянемо характер впливу компонентів, що містяться в ВГ двигунів на організм людини. За цією ознакою вони поділяються гігієністами на 6 груп.

У першу групу входять речовини, що не роблять безпосереднього шкідливого впливу на людину і біосферу в цілому: це азот N_2 , кисень O_2 , водень H_2 , водяна пара H_2O , а також вуглекислий газ CO_2 .

До другої групи відноситься CO – окис вуглецю чи чадний газ – безбарвний газ, без запаху і смаку, легше повітря (щільність складає 0,97 стосовно повітря). Практично нерозчинний у воді. Горючий (утворює з повітрям вибухові суміші). Потрапляючи в легені людини, а відтіля в кров,

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						62
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

витісняє з крові кисень, оскільки має в 200 разів більшу, ніж кисень, розчинність у ній (зниження змісту кисню в крові приводить до задущія). Шкідливий вплив окису вуглецю на організм людини пояснюють також тим, що червоні кров'яні тільця – еритроцити, захоплюють CO і втрачають здатність брати участь у газообміні організму. У результаті в людини настає кисневе голодування, зв'язаний з ним розлад центральної нервової системи, а у важких випадках смерть. При невеликих концентраціях у повітрі приведе до запаморочення і нудоти. Оскільки оксид вуглецю практично має ту ж щільність, що і повітря (28 проти 28,7), то самотійно випаровується з приміщень дуже погано.

Вплив окису вуглецю залежить від його концентрації в атмосфері. До 0,0016 % по обсязі концентрація нешкідлива, при 0,01 – хронічне отруєння при тривалому перебуванні, 0,05 – легке отруєння через 1 годину, 1,0 % – утрата свідомості після декількох вдихів і смерть, якщо людини не винести з повітряного обсягу з такою концентрацією окису вуглецю і не надати йому необхідну допомогу [10].

У третю групу входять окисли азоту, головним чином окис (оксид) NO і двоокис (диоксид) азоту NO_2 . Оксид азоту NO – безбарвний газ, погано розчинний у воді, на повітрі окисляється до NO_2 . Диоксид азоту NO_2 – газ червонясто – бурого кольору з характерним різким запахом, важчий за повітря. При рівних кількостях окисли азоту значно токсичніші, ніж CO . Потрапляючи в організм людини і вступаючи в реакцію з водою, вони утворюють у дихальних шляхах азотну й азотисту кислоти і їхні з'єднання, що руйнують легеневу тканину, викликаючи хронічні захворювання, необоротні зміни в серцево – судинній системі. Вони також викликають захворювання слизоватих оболонок верхніх дихальних шляхів, хронічні бронхіти, нервові розлади. У з'єднанні з вуглеводнями утворюють токсичні *нитроолефіни*. Наслідки отруєння мають схований період, коли отруєний відчуває себе добре, але потім важко занедужує.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		63

У залежності від об'ємної концентрації в повітрі ($y\%$) вплив NO_2 на людський організм наступне: 0,00001 – абсолютний поріг впливу; до 0,0003 – поріг сприйняття запаху; 0,0013 – поріг роздратування слизуватих; до 0,002 – утворення *метагемоглобіна*; 0,004 – 0,008 – набряк легень. Крім того, окисли азоту беруть участь у фотохімічних реакціях утворення смогу.

До *четвертої групи*, самої численної, відносяться різні вуглеводні (з'єднання типу C_nH_m), що є представниками всіх гомологічних рядів: алкенів, алкадиєнів, цикланів, а також ароматичних з'єднань, у тому числі канцерогенів. Мають неприємний запах, викликають багато хронічних захворювань, роблять загально токсичний і дратівний вплив.

У *п'яту групу* входять альдегіди. Вони мають різкий запах (особливо – формальдегід). При визначених дозах викликають роздратування дихальних шляхів і слизуватих оболонок носа й око. Дія на організм людини характеризується дратівним і загально токсичним ефектом на центральну нервову систему, поразкою внутрішніх органів. У газах, що відробили, присутні в основному формальдегід і акролеїн.

У *шосту групу* виділяють сажу. Сажа являє собою дрібні частки вуглецю - від часток мікрона до десятків мікронів; самі дрібні (не більш 10 мкм) здатні по кілька діб витати в повітрі. Як всякий аерозоль, сажа забруднює повітря, погіршує видимість і може дратувати дихальні шляхи. Вуглець як хімічна речовина не представляє безпосередньої небезпеки для організму людини. Головна небезпека сажі полягає в тім, що вона є переносником канцерогенних речовин, причому бензпирен, адсорбований поверхнею сажі, діє на живі клітки сильніше, ніж у чистому виді. Бензпирен виявлений не тільки в сажі дизелів, але й у сажі бензинових двигунів, що містить у 200 разів більше цієї речовини. Однак самої сажі в газах дизелів, що відробили, міститься значно більше, ніж у газах бензинових двигунів.

До складу газів дизелів, що відробили, при використанні сірчистих палив входять також неорганічні гази, що представляють собою з'єднання

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		64

сірки. Вони мають різкий запах, викликають роздратування верхніх дихальних шляхів, порушення білкового обміну в організмі. В основному це сірчистий ангідрид SO_2 і сірководень H_2S . Сірчистий ангідрид – безбарвний газ з гострим запахом, важче повітря (питома вага по повітрю 2,264), добре розчиняється у воді, утворює сірчисту кислоту. Вплив SO_2 на організм людини в залежності від об'ємного змісту його в повітрі, %, викликає такі наслідки: 0,0007 – 0,001 – роздратування в горлі; 0,0017 – роздратування очей, кашель; 0,04 – отруєння через 3 хв; 0,01 – отруєння через 1 хв.

Склад газів двигунів, що відробили, на 99,0 – 99,9 % складається з продуктів повного згоряння (углерода вуглецю і пари води), залишкового кисню й азоту повітря. Але саме частина ВГ, що залишилася (не більш 1% від загальної витрати ВГ, практично рівного витраті повітря) визначає екологічний рівень двигунів, тобто ступінь шкідливого впливу на навколишнє середовище: рослинний і тваринний світ, людину, архітектурні будівлі.

Основними шкідливими компонентами вихлопних газів дизельних двигунів є *окисли азоту, сажа, а також сірчисті з'єднання*.

Для бензинових двигунів такими є *окис вуглецю, вуглеводні, окисли азоту, а також з'єднання свинцю (для етильованих бензинів)*. Вуглеводні, виділювані в повітря бензиновими двигунами, попадають туди як з вихлопними газами так і з картерними газами, а також у виді випарів з карбюратора і бензобака. Для дизелів виділення вуглеводнів звичайно зв'язують тільки з виходом що відробили (вихлопних) газів. У бензинових двигунах загальна кількість токсинів в ВГ у середньому більш високе, чим у дизельних двигунах. При цьому має місце й інша пропорція між основними токсинами в ВГ бензинових двигунів і дизелів.

Крім шкідливих речовин до складу ВГ входить азот як баласт, що міститься у вихідних і відповідно в кінцевих продуктах згоряння, і вуглекислий газ CO_2 . Щодо азоту можна відзначити, що при власній

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		65

нешкідливості для людини, він є джерелом утворення шкідливих окислів у циліндрі двигуна.

Діоксид вуглецю не створює відчутної шкоди людині в умовах відкритих провітрюваних приміщень. Він до останнього часу не вважався шкідливим компонентом ВГ двигунів. У той же час утворення вуглекислого газу з викопних вуглецевих палив веде до збільшення кількості цього газу в атмосфері. Вуглекислий газ входить у число так званих парникових газів атмосфери. Парникові гази здатні уловлювати довгохвильове теплове випромінювання Землі, що не затримується іншими компонентами атмосфери. До парникових газів відносяться водяна пара, метан, фреони і деякі інші з'єднання. Молекули парникових газів сприймають кванти енергії довгохвильового випромінювання, збуджуються, і самі випромінюють. Це випромінювання спрямоване в усі сторони, у результаті половина енергії направляється в космос, а половина повертається на Землю. Дія парникових газів забезпечує підтримку в атмосфері Землі і на її поверхні визначених рівноважних температур (для атмосфери середня річна температура приземного шару $+14^{\circ}\text{C}$), що є результуючими теплового балансу в системі Сонце – Земля – Космос. Збільшення кількості вуглекислого газу веде до збільшення так називаного парникового ефекту, що може вплинути на зміну клімату планети. При існуючому темпі зростання кількості цього газу в атмосфері (а його масова частка зросла від 0,00012 у 1912р. до 0,00038 до початку нового століття) можливе підвищення середньої річної температури приземних шарів атмосфери на 2 – 4 К в найближчі 100 – 200 років. Це грозить інтенсивним таненням льодовиків планети, підвищенням рівня світового океану на 6 – 16 м і поруч супутніх катаклізмів кліматичного характеру.

Одним із проявів негативного впливу транспорту на навколишнє середовище є *смог*. Цей термін широко використовується для позначення

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						66
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

видимого забруднення повітря будь-якого характеру (не тільки від транспорту).

Розрізняють три основних типи смогу:

- *смог крижани (аляскинського типу)* – сполучення газоподібних забруднювачів, пилових часток і кристалів льоду, що виникають при замерзанні крапель тумана і пари опалювальних систем;
- *просто смог (лондонського типу)* – сполучення газоподібних забруднювачів (в основному сірчистого ангідриду), пилових часток і крапель тумана;
- *смог фотохімічний (лос – анжельського типу, сухий)* – вторинне забруднення повітря, що виникає в результаті розкладання забруднюючих речовин під впливом сонячних променів, особливо ультрафіолетових.

Головний отрутний компонент смогу – озон (O_3). Додатковими складовими смогу служать чадний газ (оксид вуглецю), оксиди азоту, перекис ацетилнітрата, азотна кислота і деякі інші. Основним джерелом смогу цього типу є транспорт.

Усі зазначені речовини (крім сажі) при досягненні визначеної концентрації в повітрі можуть привести до смертельного результату. Хоча, звичайно, ступінь шкідливості цих речовин різна і відповідно різна припустима концентрація їх у повітрі. Їхній постійний вплив на людину, тварин і рослини може привести до мутацій на генетичному рівні і до різкої спадкоємної зміни організмів, що змінює їхні морфологічні (зовнішня і внутрішня будівля) і (чи) фізіолого – поведінкові ознаки.

Вплив газів ДВЗ, що відробили, на рослинність обумовлено влученням ВГ як на поверхню рослин, так і в клітки (із ґрунтовими водами). Особливо рослини чуттєві до оксидів сірки, оксидам азоту, а також до з'єднань оксидів азоту з вуглеводнями.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						67
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В дипломному проекті було виконано розрахунок робочого циклу 4 - тактного газового двигуна типу C26:33L6PG потужністю 1705 кВт при 1000 хв⁻¹ колінчатого валу. За результатами розрахунку отримано основні параметри робочого циклу і побудовано теоретичну індикаторну діаграму та діаграми динаміки.

В конструкторському розділі виконано розрахунок систем двигуна. Розроблено технологічний процес монтажу двигуна на судновий фундамент.

В роботі розглянуто основні вимоги до експлуатації двигуна, розроблено заходи з охорони праці та розглянуто питання охорони навколишнього середовища.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						68
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

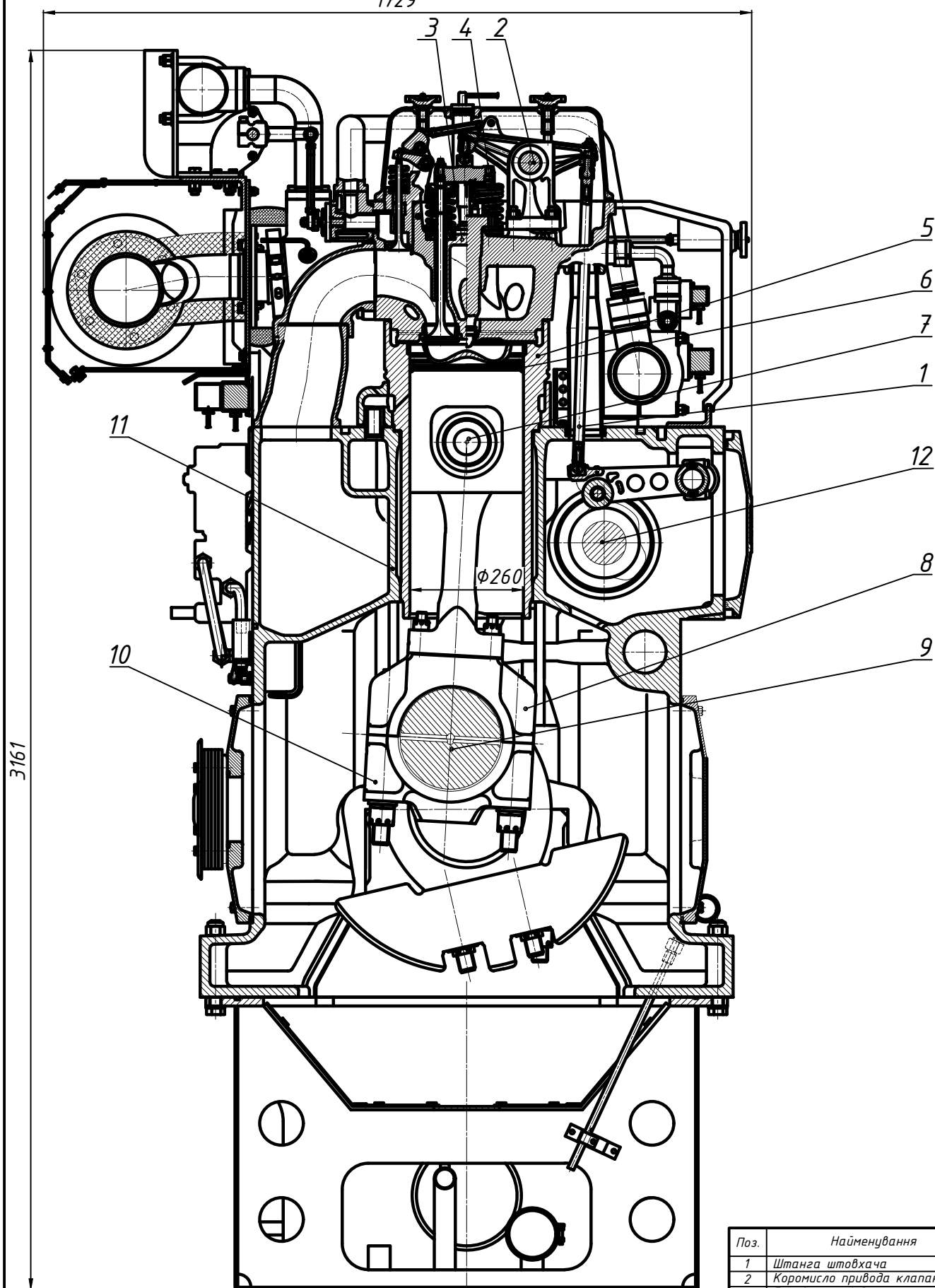
ЛІТЕРАТУРА

1. Марченко А.П., Парсаданов І.В., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., ШЕХОВЦОВ А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння. Т.5 «Екологізація ДВЗ». – Харків: «Прапор», 2004.
2. Горбов В.М., Шаповалов Ю.О., Ратушняк І.О. Головні двигуни сучасних транспортних суден: Учбовий посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 1999. – 74 с.
3. Долганов К. Є., Лісовал А. А., Мержиєвська Л. П. Тепловий розрахунок поршневих двигунів внутрішнього згоряння на ПЕОМ: навчальний посібник. Київ: УТУ, 1999. 76 с.
4. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу дизельного двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ» // Доценко С.М., Діденко О.В - Первомайськ ППІ НУК, 2012. – 40с.
5. Використання рослинної олії в якості палив в середньо оборотному дизельному двигуні. Швець І., Грабовенко О., Доценко С., Нестеренко В. Двигуни внутрішнього згоряння. – 2021. № 2. С.79–86.
6. Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г. Екологія на транспорті: навчальний посібник. Київ: Арістей, 2006. 292 с.
7. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Теорія двигунів внутрішнього згоряння» Доценко С.М. – Первомайськ ППІ НУК, 2014.
8. Двигуни внутрішнього згоряння [Електронний ресурс]: Серія підручників у 6 томах. Т.1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. Харків: Видавн. центр НТУ "ХПІ", 2004. – 492 с.
9. Шапко В. Ф. Основи теорії та характеристики поршневих ДВЗ: навчальний посібник. Харків: Точка. 2014, 148 с.
10. Білявський Г.О. Основи загальної екології : підручник / Г.О. Білявський, М.М. Падун, Р.С. Фурдуй. – 2-е вид. зі змінами. – К. : Либідь, 1995. – 368 с.

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		69

ДОДАТКИ

					ПННІ НУК 142.44.25.06.ПЗ	Аркуш
						70
Зм	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		



Потужність, кВт

1705

Частота обертання колінчастого валу, хв^{-1}

1000

Середній ефективний тиск, МПа

1,947

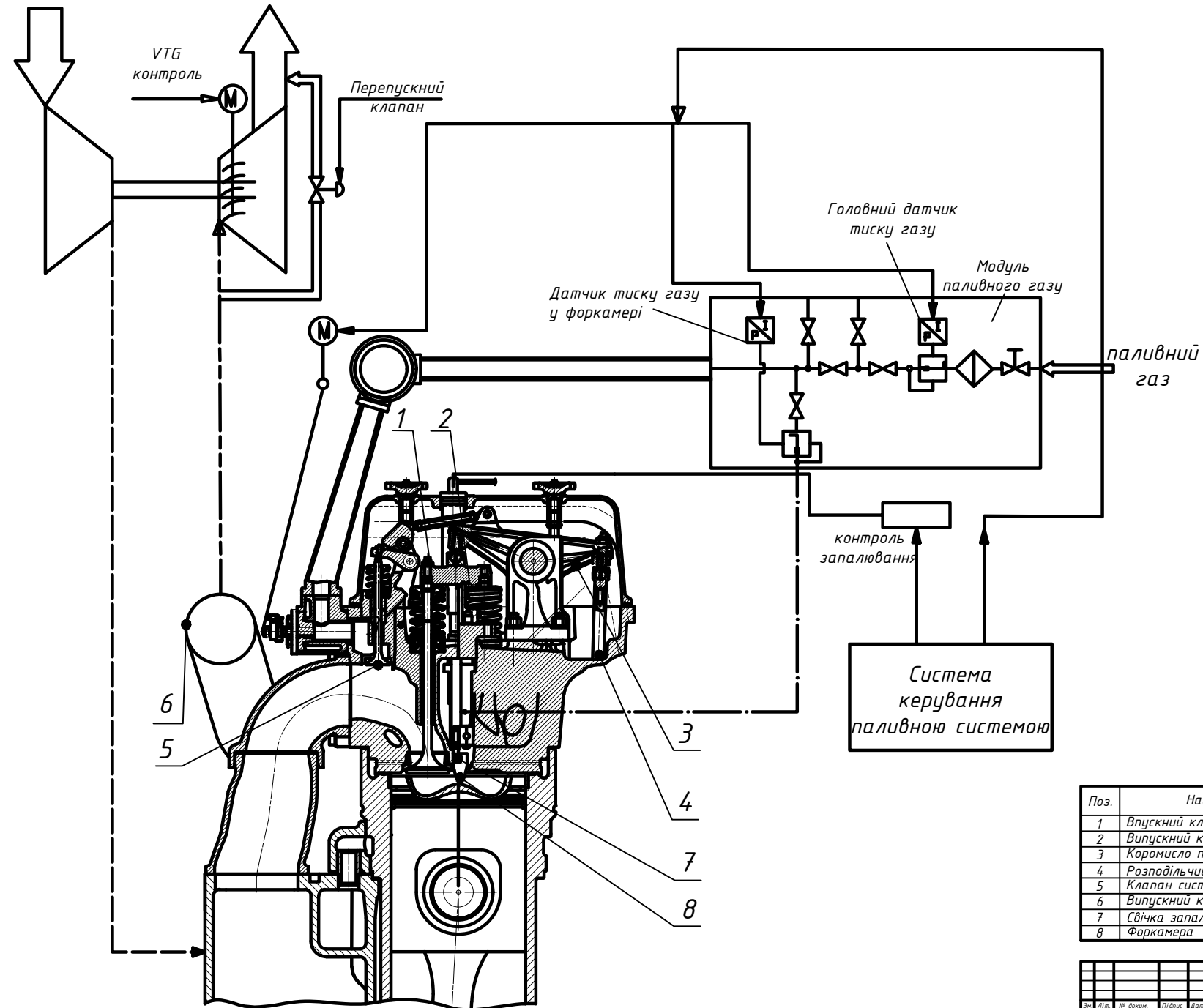
Питома ефективна витрата газ.палива, $\text{кг}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$

0,22

Поз.	Найменування	Кіл	Примітки
1	Штанга штовхача	12	
2	Коромисло привода клапанів	12	
3	Головка циліндра	6	
4	Впускний клапан	12	
5	Втулка циліндру	6	
6	Поршень	6	
7	Поршневий палець	6	
8	Шатун	6	
9	Колінчастий вал	1	
10	Нижня головка шатуна	6	
11	Блок-картер	1	
12	Розподільчий вал	1	

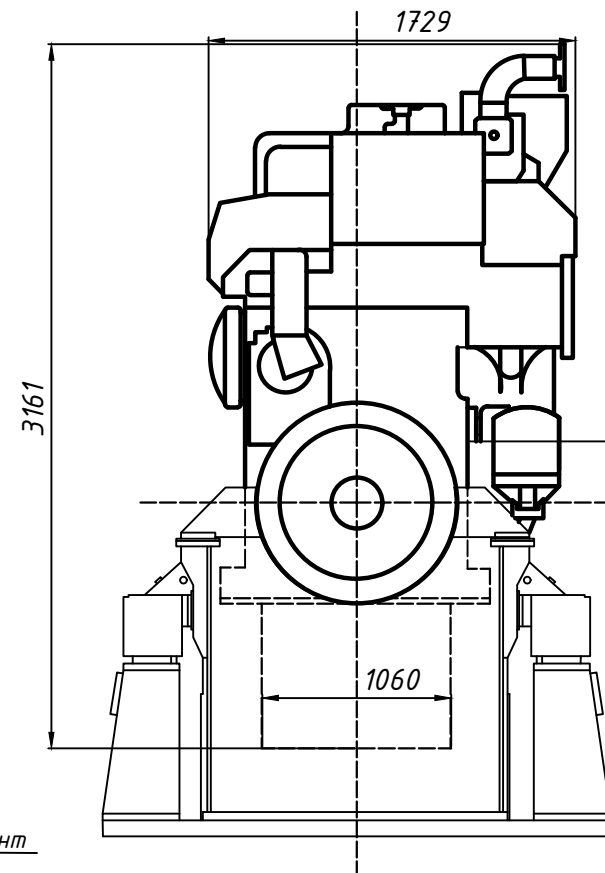
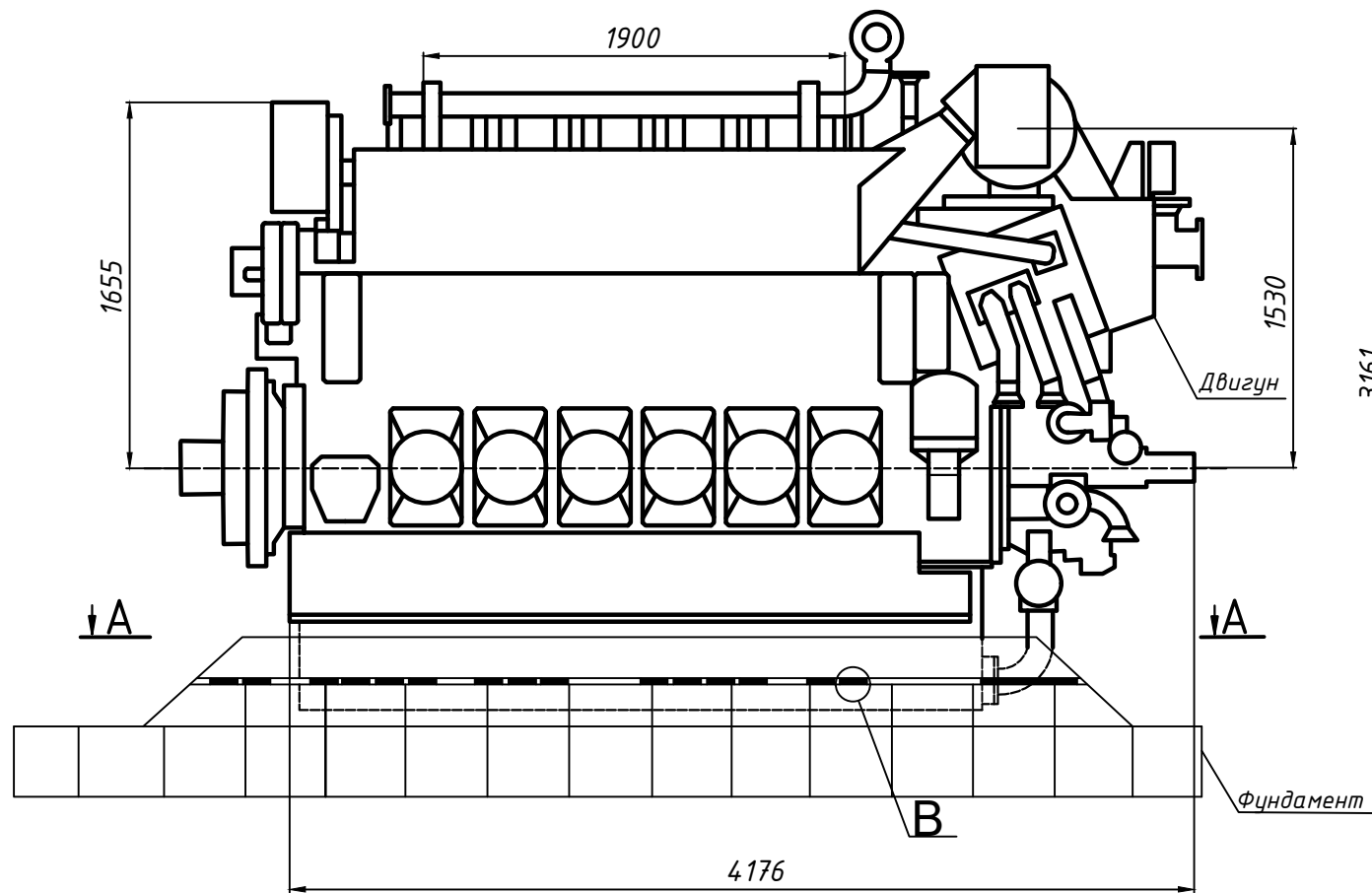
				ПННІ НУК 142.44.25.06.01		
Зв	Лист	№ докум.	Підпис	Лист		
Ректор	Виконав	В.В.		Поперечний переріз		
Прорах.	Конструктор	А.С.		двигуна Rolls-Royce		
				C26:33L6PG		
Н. конст.	Технічний А.С.			Лист		
Замовник	Виконав	В.В.		Лист		

Відхідні гази

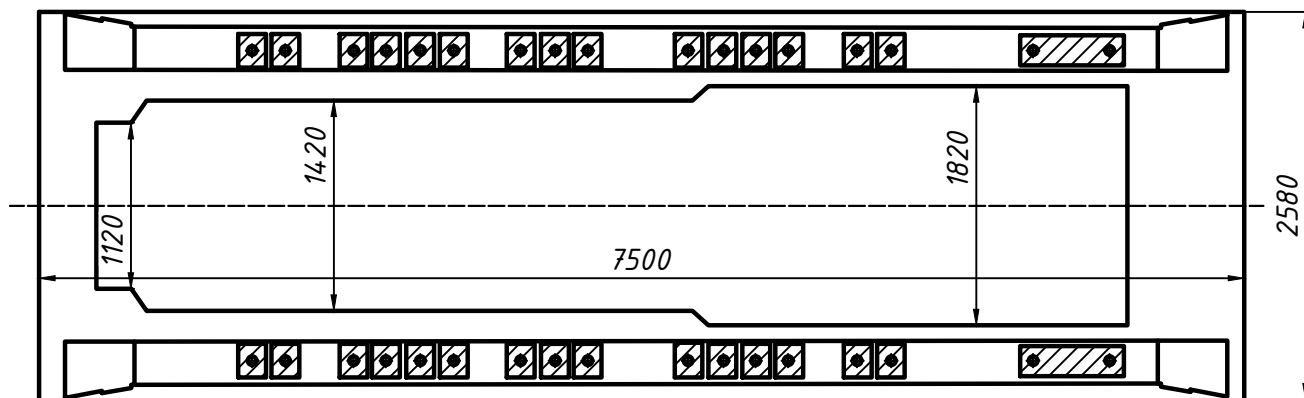
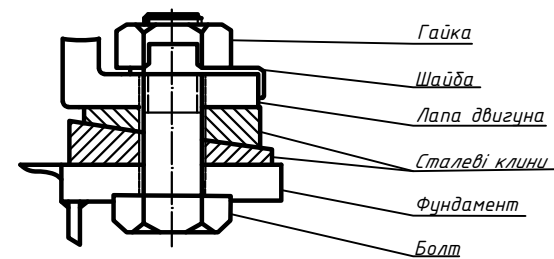


Поз.	Найменування	Кіл	Примітки
1	Впускний клапан	1	
2	Випускний клапан	1	
3	Коромисло привода клапанів	1	
4	Розподільчий вал	1	
5	Клапан системи паливного газу	1	
6	Випускний колектор	1	
7	Свічка запалювання	1	
8	Форкамера	1	

[illegible]



B 1:5



ЛННН НУК 142.44.25.06.04						Лист		
Вид	Лист	№ докум.	Підпис	Печат	Масштаб	Лист	Масштаб	Масштаб
Розробник	Бурлаков О.О.					1	1:10	
Перевірив	Возницький А.С.					2		
Л. кат.	Возницький А.С.					3		
Затвердив	Васильченко В.В.					4		

Монтаж двигуна на судновий фундамент