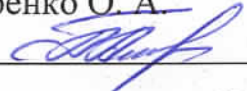


Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра двигунів
внутрішнього згоряння,
установок та технічної
експлуатації

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


« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

РОЗРАХУНОК АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ТИПУ 6ЧН 11,5/12,5
(IVECO C78ENT)

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



В. С. Наливайко

Здобувач освіти



Б. М. Оруджев

Миколаїв 2025

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

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

« » 20 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Оруджев Бібігулу Мехманович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок автомобільного двигуна типу 6ЧН 11,5/12,5 (IVECO C78ENT)

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 20 року №

3. Строк подання здобувачем роботи

4. Вихідні дані до роботи Двигун прототип – 6ЧН 11,5/12,5 (IVECO C78ENT),
потужність двигуна – 243 кВт; частота обертання колінчатого валу – 2000 хв⁻¹;
паливо – дизельне

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис конструкції двигуна 6ЧН 11,5/12,5; Розрахунок робочого циклу та динамічних зусиль двигуна 6ЧН 11,5/12,5; Розробка паливної системи двигуна 6ЧН 11,5/12,5; Забезпечення вимог охорони праці

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Поперечний переріз двигуна 6ЧН 11,5/12,5; Індикаторна діаграма та діаграми
динаміки; Паливна система двигуна 6ЧН 11,5/12,5

7. Консультанти розділів роботи

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

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач освіти

Керівник роботи

_____	_____
(підпис)	/Б. М. Оруджев/
	(прізвище та ініціали)
_____	_____
(підпис)	/В. С. Наливайко/
	(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі наведені результати розрахунку автомобільного дизельного двигуна 6ЧН 11,5/12,5, потужністю 234 кВт та 2000 хв⁻¹.

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

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

Ключові слова: автомобільний двигун, блок-картер, паливо, насос-форсунка.

The qualification work presents the results of calculations for the automotive diesel engine 6ЧН 11,5/12,5 with a power of 234 kW and 2000 rpm.

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

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

Key words: automotive engine, block-crankcase, fuel, pump-injector.

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1. Опис конструкції двигуна 6ЧН 11,5/12,5.....	6
Розділ 2. Розрахунок робочого циклу та динамічних зусиль двигуна 6ЧН 11,5/12,5.....	15
Розділ 3. Розробка паливної системи двигуна 6ЧН 11,5/12,5.....	28
Розділ 4. Забезпечення вимог охорони праці.....	38
Висновки.....	44
Список використаної літератури.....	45
Додаток А. Поперечний переріз двигуна 6ЧН 11,5/12,5.....	46
Додаток Б. Індикаторна діаграма та діаграми динаміки.....	47
Додаток В. Паливна система двигуна 6ЧН 11,5/12,5.....	48

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку автотранспортної галузі особливого значення набуває підвищення ефективності та надійності двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), які залишаються основним джерелом енергії для більшості транспортних засобів. Одним із актуальних напрямів є технічне вдосконалення дизельних двигунів шляхом оптимізації їх конструкційних параметрів та режимів роботи з урахуванням вимог до економічності, екологічності та довговічності [1].

Дизельний двигун типу 6ЧН 11,5/12,5 (IVECO C78ENT), який належить до багатоциліндрових чотиритактних рідинноохолоджуваних силових установок із наддувом, широко застосовується в автотранспорті, сільському господарстві, промисловості, а також у якості енергетичних агрегатів. Його популярність зумовлена високою питомою потужністю, економною витратою палива, надійністю у тривалій експлуатації та пристосованістю до роботи в різноманітних умовах.

Розрахунок двигуна 6ЧН 11,5/12,5 передбачає виконання комплексу інженерних задач, пов'язаних з визначенням основних геометричних параметрів, термодинамічних характеристик робочого циклу, теплових навантажень, навантаження на механічні вузли та паливної економічності. Такий розрахунок дозволяє не лише глибше зрозуміти внутрішні процеси, що відбуваються в ДВЗ, а й виявити потенційні напрямки удосконалення конструкції або режимів роботи двигуна.

Метою даної дипломної роботи є виконання повного технічного розрахунку двигуна типу 6ЧН 11,5/12,5 на базі технічних характеристик реального зразка – двигуна IVECO C78ENT, з урахуванням сучасних вимог до потужності, економічності та екологічності. У процесі дослідження буде проведено аналіз конструктивних особливостей двигуна, виконано розрахунки індикаторних і ефективних показників, проаналізовано тепловий та

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ІІЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

газодинамічний стан системи, а також обґрунтовано вибір основних параметрів.

Об’єктом дослідження у роботі є автомобільний дизельний двигун типу 6ЧН 11,5/12,5 (IVECO C78ENT).

Предметом дослідження виступають процеси, що відбуваються в дизельному двигуні під час його роботи, а також методики розрахунку та оцінки його основних конструктивних, енергетичних і техніко-економічних параметрів.

Отримані результати можуть бути використані як основа для подальших досліджень у сфері модернізації дизельних двигунів, а також у навчальному процесі для підготовки фахівців у галузі енергетичного машинобудування.

					КРБ.142.4227ст.25.16.00.ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ДВИГУНА 6ЧН 11,5/12,5

Двигун типу 6ЧН 11,5/12,5 (С78 ENT) є 4-тактним дизельним двигуном із турбонаддувом та проміжним охолодженням (рис. 1.1 - 1.3). Вприскування палива здійснюється безпосередньо. Усі модифікації мають шість циліндрів, розташованих у ряд. Діаметр циліндра становить 115 мм, а хід поршня – 125 мм. Загальний робочий об'єм двигуна дорівнює 7790 см³.

Ступінь стиснення залежить від модифікації: у моделі М30 він становить $16,5 \pm 0,8$ до 1, тоді як у моделях М50 і М55 – $16 \pm 0,8$ до 1. Напрямок обертання двигуна (зі сторони маховика) – проти годинникової стрілки. Мінімальна частота обертання на холостому ході становить 600 ± 25 об/хв. Максимальна частота обертання без навантаження для модифікації М30 – 2160 ± 25 об/хв, а для моделей М50 і М55 – 2800 ± 25 об/хв.

Двигун допускає роботу з нахилом у поздовжньому напрямку до $+20^\circ$ та у поперечному напрямку – до $\pm 22^\circ 30'$ в умовах безперервної експлуатації (враховуючи статичні та динамічні навантаження). Для перевірки рівня масла за допомогою щупа дозволяється поздовжній нахил від 0 до $+10^\circ$.

Система наддуву реалізована за допомогою турбокомпресора з водяним охолодженням корпусу.

З двигунами серії 6ЧН 11,5/12,5 (С78) компанія IVECO MOTORS-FPT досягла неперевершених стандартів у потужності для промислового, морського та автомобільного використання. Двигуни С78 є результатом безперервного процесу досліджень, спрямованих на вдосконалення продукції, і не мають жодних елементів попередніх силових агрегатів. Вони використовують найбільш раціональні та ефективні рішення, щоб досягти, за допомогою двигунів з меншим робочим об'ємом, потужності, характерної для більших і важчих двигунів [2].

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

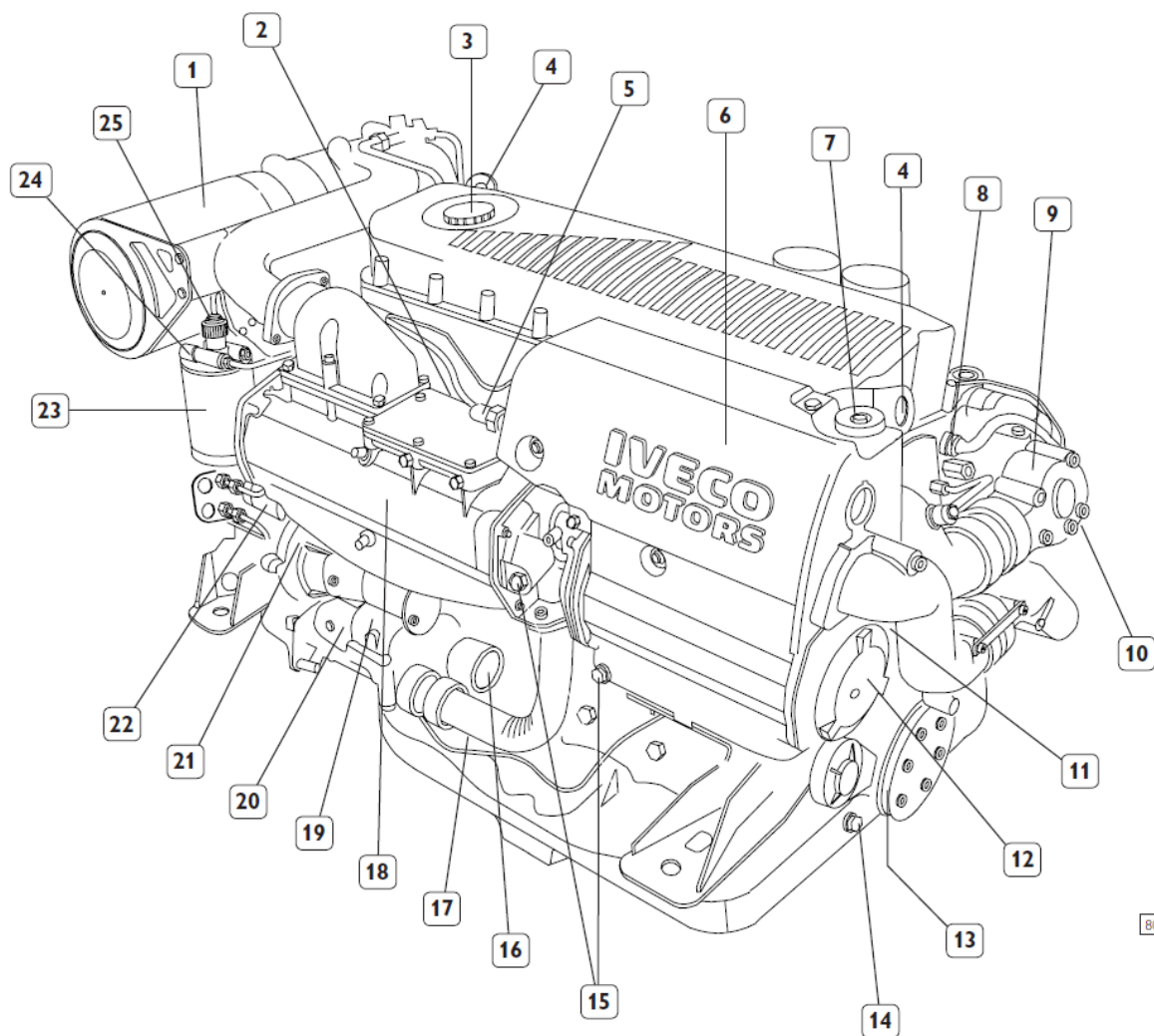


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд двигуна 6ЧН 11,5/12,5 (вид справа):

1 – вільтр впускного повітря; 2 – розташування датчиків тиску і температури впускного повітря; 3 – кришка для доливання масла; 4 – підйомні кільця; 5 – датчик рівня охолоджуючої рідини; 6 – бак охолоджуючої рідини двигуна; 7 – кришка для доливання охолоджуючої рідини; 8 – роз'єм електромагнітного клапана форсунки; 9 – розташування термостатичного клапана; 10 – фланець виходу охолоджуючої рідини двигуна; 11 – розташування генератора; 12 – теплообмінник з трубним пучком для охолоджуючої рідини; 13 – допоміжний шків; 14 – заглушка зливного отвору масла; 15 – жертвні аноди; 16 – вхід води; 17 – пробка зливу морської води; 18 – теплообмінник повітря/вода; 19 – насос; 20 – електричний стартер; 21 – шестерня насоса; 22 – насос перекачування палива; 23 – паливний фільтр; 24 – датчик засмічення фільтра; 25 – датчик температури палива.

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

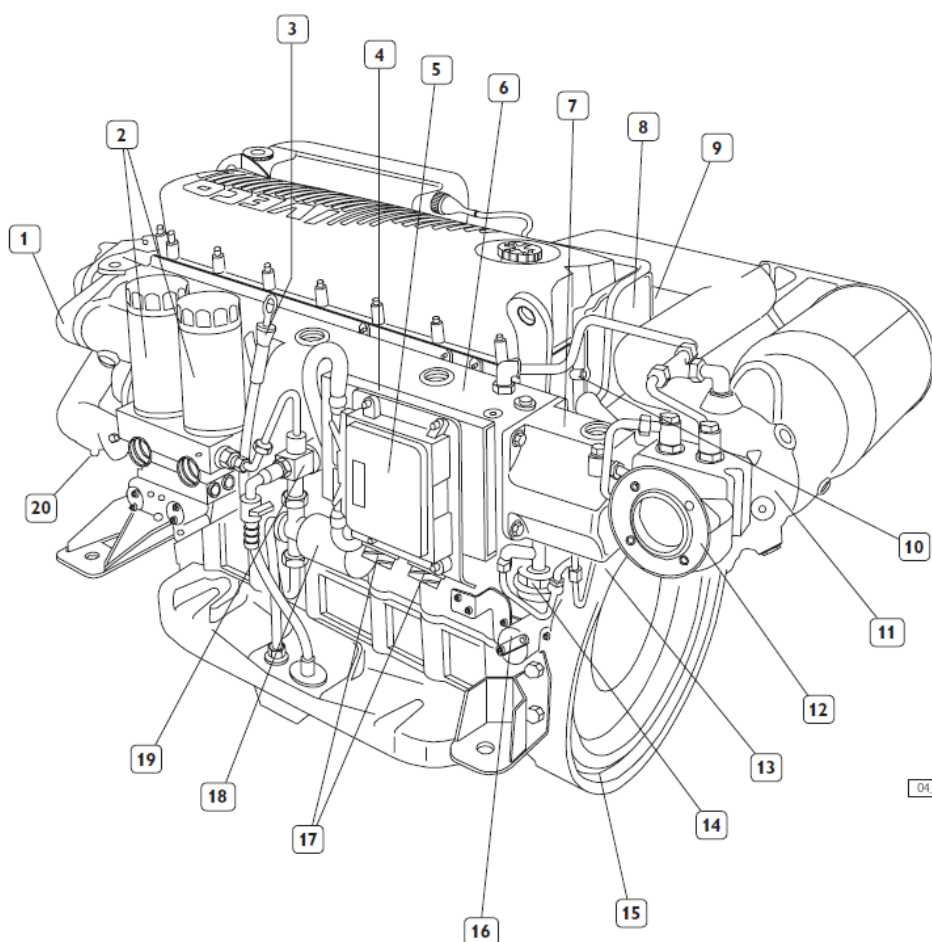


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд двигуна 6ЧН 11,5/12,5 (вид злива):
 1 – подача охолоджуючої рідини до випускного колектора; 2 – фільтри мастила; 3 – масляний щуп; 4 – ізольована опора; 5 – електронний центральний блок; 6 – охолоджуваний випускний колектор; 7 – вхідний патрубок турбокомпресора; 8 – механізм регулювання фаз і кришка фільтра масляних парів; 9 – розташування датчика фази синхронізації; 10 – індикатор засмічення фільтра продукції; 11 – охолоджуваний турбокомпресор; 12 – фланець виходу вихлопних газів; 13 – розташування датчика фаз та обертання валу двигуна; 14 – привід клапана перепускної труби; 15 – оглядовий отвір фаз розподілу; 16 – потенціометр датчика положення дросельної заслінки; 17 – роз'єми електрообладнання; 18 – електричний насос для заправки/попереднього змащування маслом; 19 – електромагнітний клапан електричного насоса для заправки/попереднього змащування маслом; 20 – кришка для зливу та рециркуляції охолоджуючої рідини двигуна

Електронне управління, поширене на всі функції, забезпечує надійну і довговічну роботу, пропонуючи важливі переваги з точки зору продуктивності та використання.

Внесок IVECO MOTORS-FPT у захист навколишнього середовища наочно демонструється екологічними характеристиками двигунів CURSOR: викиди та рівень шуму значно нижчі за діючі нормативні вимоги, а відповідність майбутнім обмеженням була метою всієї конструкторської роботи [3].

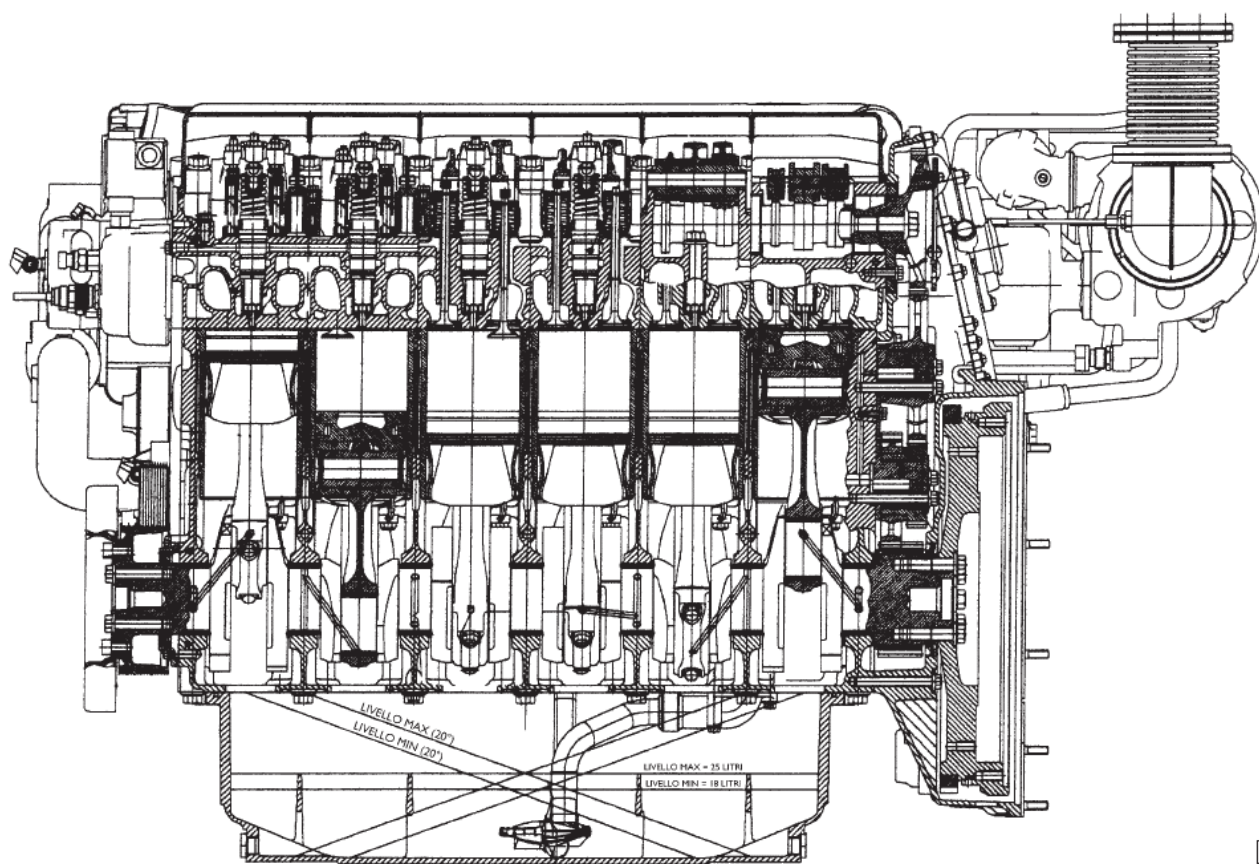


Рисунок 1.3 – Продольний розріз двигуна 6ЧН 11,5/12,5

24-клапанна головка циліндрів з розподільним валом із сімома опорами включає в себе впускний колектор і трубопроводи для охолоджувальної та мастильної рідини, а також для подачі палива.

Верхній розподільний вал з роликівими коромислами безпосередньо активує як клапани, так і EUI (електричний інжектор) (рис. 1.4).

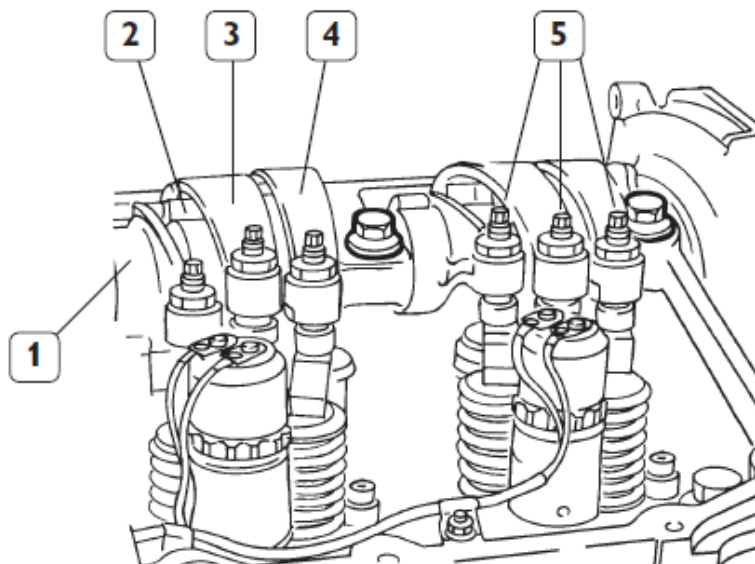


Рисунок 1.4 – Механізм газорозподілу:

1 – вал коромисла; 2 – коромисло впускного клапана; 3 – коромисло насос-форсунки; 4 – коромисло выпускного клапана; 5 – калібрувальний гвинт

Регулювання фаз знаходиться ззаду, щоб зменшити крутильні ефекти, і воно побудоване з використанням гвинтових зубчастих коліс для зменшення шуму.

Блок-картер (рис. 1.5) утворює жорстку конструкцію, що зменшує вібрацію і шум та фіксує приводний вал за допомогою семи опор.

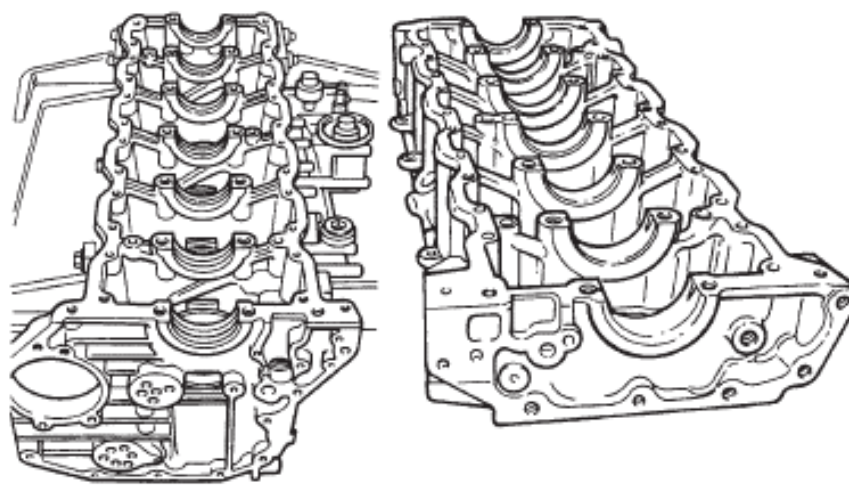


Рисунок 1.5 – Блок-картер

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ

Аркуш

10

Алюмінієві поршні (рис. 1.6) забезпечують ефективне відведення тепла.

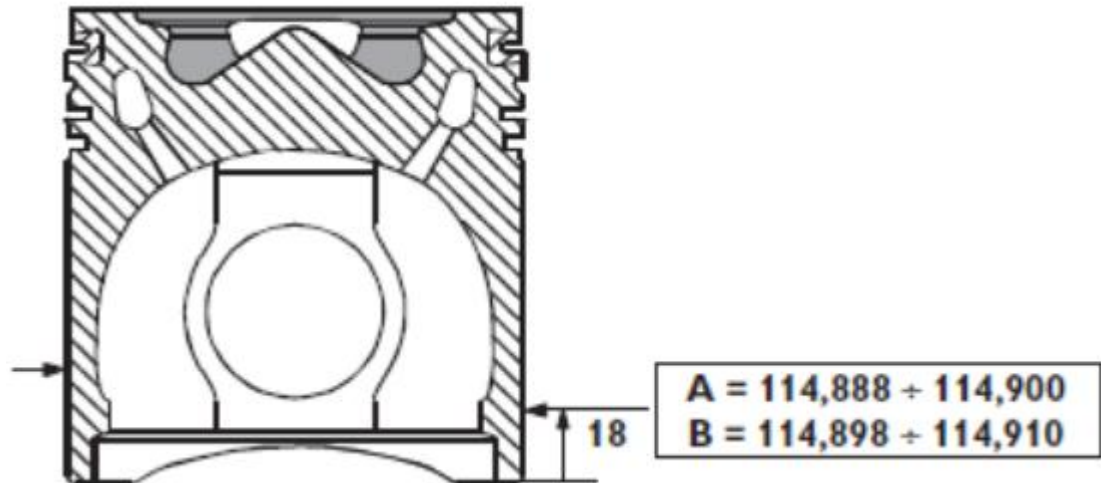


Рисунок 1.6 – Поршень

Система повітропостачання та газовідводу (рис. 1.7). Повітря, що всмоктується і стискається турбокомпресором, проходить через теплообмінник разом з водою. Остання, знижуючи температуру, дозволяє збільшити об'ємну ефективність двигуна.

Щільність повітря на вході впускного колектора вимірюється двома датчиками тиску і температури, що дозволяє ЕБУ системи EDC розрахувати дозування палива відповідно до фактичної кількості повітря, доступного для згоряння.

Пари мастила, що не конденсуються в сепараторі, подаються до впускного отвору двигуна через отвір з вимірювачем, розташований за повітряним фільтром.

Вихлопні гази, що виштовхуються двигуном, проходять через охолоджений випускний колектор і надходять до ротора турбокомпресора після проходження через клапан перепускної системи, де, залежно від досягнутого тиску наддуву, вони можуть бути переключені на випуск, щоб обмежити тягу, що діє на ротор турбокомпресора, і утримати тиск, що створюється компресором, в межах максимального номінального значення.

Випускний колектор, клапан перепускної системи та корпус турбокомпресора охолоджуються за допомогою контуру прісної води.

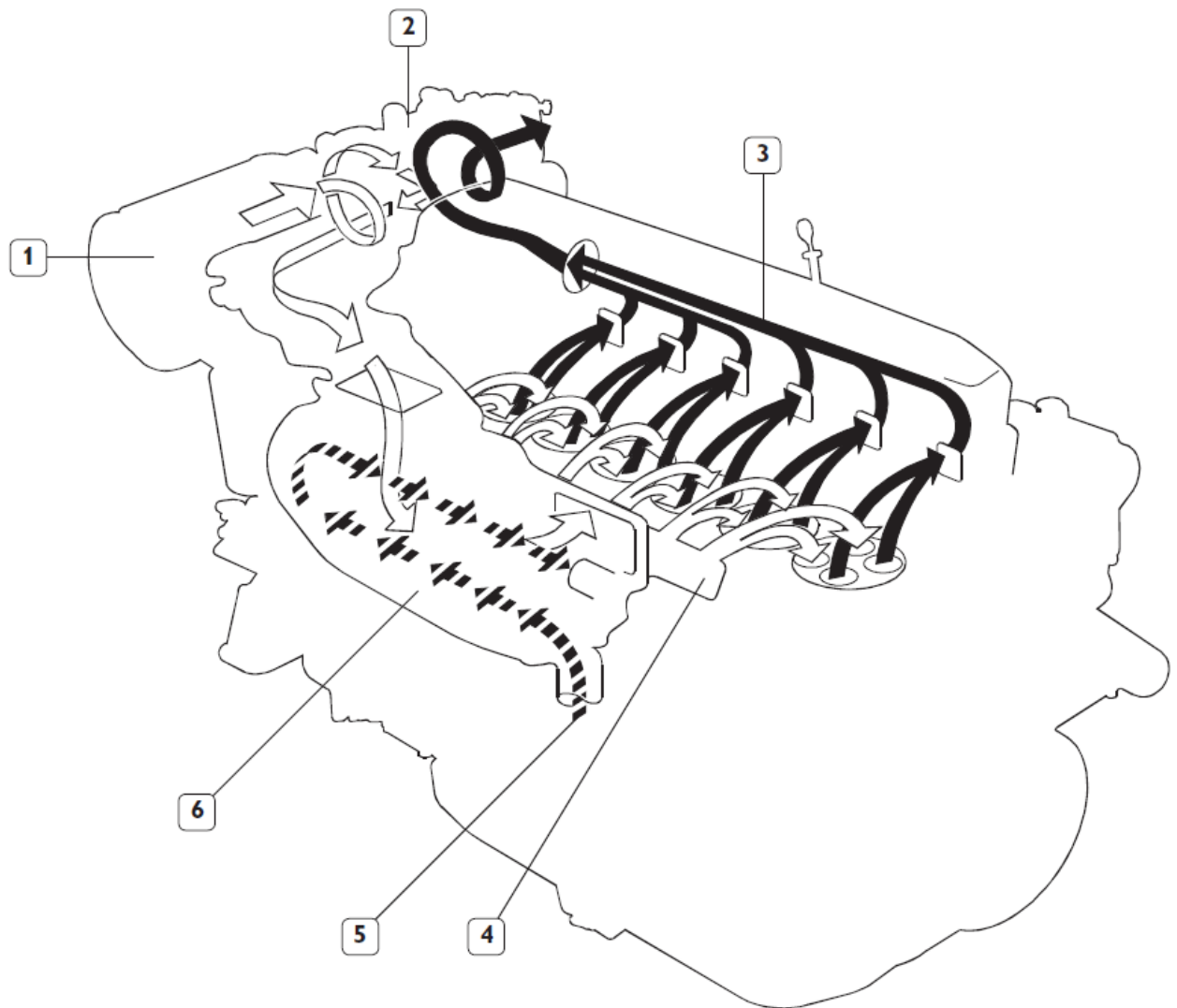


Рисунок 1.7 – Система повітропостачання та газовідводу:

1 – металевий сітчастий повітряний фільтр; 2 – турбокомпресор;
3 – випускний колектор; 4 – впускний колектор; 5 – вхід води від насоса; 6 – охолоджувач наддувного повітря

Система змащення (рис. 1.8). Шестерний насос, що обертається шестернями в задній частині маховика, подає масло безпосередньо до теплообмінника, який вбудований в блок і охолоджується охолоджувальною рідиною, знижуючи температуру для підтримки оптимальної мастильної здатності. Термостатичний клапан, що регулює потік масла, розташований на

вході теплообмінника і відкриває обвідну трубу, якщо температура падає нижче каліброваної температури [4].

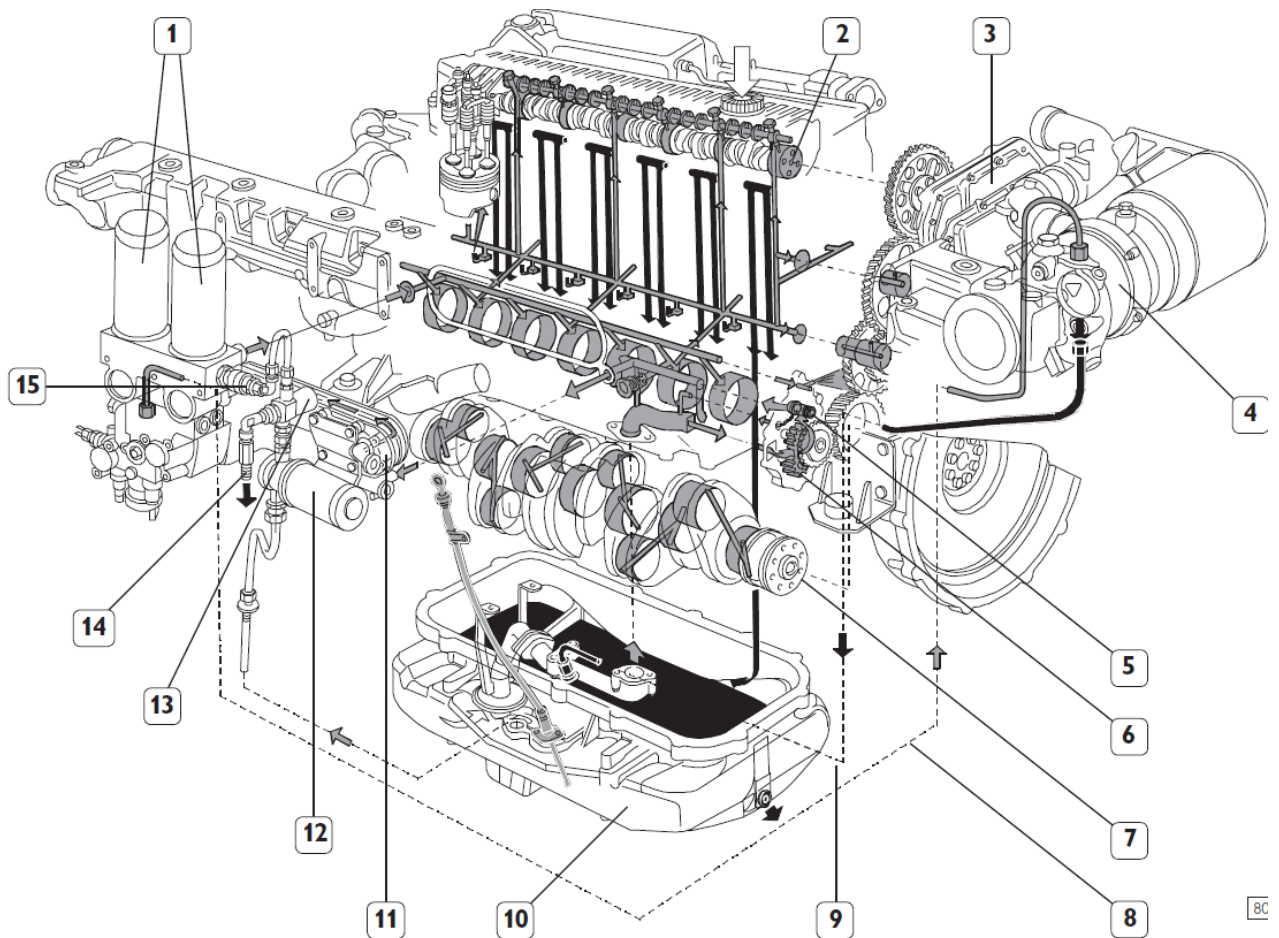


Рисунок 1.8 – Система змащення:

1 – масляні фільтри; 2 – розподільний вал на головці циліндрів;
 3 – конденсатор масляних парів і фільтр (видування); 4 – турбокомпресор;
 5 – запобіжний клапан масляного насоса; 6 – масляний насос; 7 – приводний вал; 8 – маслопровід турбокомпресора; 9 – повернення масла з турбокомпресора; 10 – масляний піддон; 11 – теплообмінник з охолоджувальною рідиною; 12 – електричний насос для попереднього змащування та наповнення/зливу масла; 13 – електромагнітний клапан для перемикання між функціями попереднього змащування або наповнення/зливу масла; 14 – з'єднання для зливу масла; 15 – односторонній клапан попереднього змащування

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

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

Робота електричного насоса попереднього змащення автоматично контролюється електронним блоком ECU.

Ця система за допомогою електромагнітного клапана перемикає потік також дозволяє спорожнити і наповнювати масляний піддон.

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ТА ДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ ДВИГУНА 6ЧН 11,5/12,5

Методика розрахунку робочого циклу двигуна

Методика розрахунку робочого циклу двигуна за Гріневецьким–Мазингом – це спрощений напівемпіричний метод термодинамічного аналізу циклу двигуна внутрішнього згоряння, який дозволяє оцінити основні параметри процесу згоряння та побудувати індикаторну діаграму на основі розрахункових залежностей. Метод є особливо цінним для попередніх інженерних розрахунків, коли повномасштабне моделювання ще не проводиться.

Методика заснована на розрахунку показників робочого циклу ДВЗ (в основному дизельного) у межах ідеалізованої або близької до реальної моделі із врахуванням процесів:

- Стиснення
- Згоряння (ізохорно-ізобарний або політермічний процес)
- Розширення
- Випуск

Ключовою особливістю методу є поетапне розбиття процесу згоряння на окремі ділянки з відповідним математичним описом – це дозволяє наблизити теоретичний цикл до реального.

Переваги методу:

- Простота розрахунку без складних обчислювальних засобів;
- Можливість моделювати різні типи згоряння (швидке, уповільнене, комбіноване);
- Підходить для оцінки ефективності і оптимізації фаз газорозподілу.

					<i>КРБ.142.4227см.25.16.00.ІІЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

Недоліки:

- Метод не враховує деталі хімічної кінетики згоряння;
- Не враховуються динамічні ефекти (наприклад, турбулентність, затримка займання);
- Орієнтований більше на дизельні двигуни (але може бути адаптований для бензинових).

У кваліфікаційній роботі було використано надійний метод теплового аналізу, розроблений В. І. Гріневецьким і удосконалений Є. К. Мазінгом [5]. Ця методика, заснована на законах термохімії та термодинаміки, дозволяє комплексно моделювати теплові процеси в циліндрі двигуна. Розрахунки виконувалися в програмному середовищі Mathcad, що забезпечило високу точність і наочне представлення результатів.

Вхідні параметри для розрахунку робочого циклу двигуна

У табл. 2.1 представлені вхідні параметри для розрахунку робочого циклу.

Таблиця 2.1 – Вхідні параметри для розрахунку

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Ефективна потужність	N_e	кВт	234
Частота обертання	n	хв^{-1}	2000
Тиск навколишнього середовища	P_0	МПа	0,1013
Температура навколишнього середовища	T_0	К	303
Тиск наддуву	P_k	МПа	0,3
Коефіцієнт продувки	ϕ_a		1,05
Коефіцієнт залишкових газів	γ_r		0,04
Коефіцієнт використання тепла в точці Z	ϵ_z		0,92
Коефіцієнт використання тепла в точці b	ϵ_b		0,95
Ступінь стиснення	ϵ		16,5
Ступінь підвищення тиску при згорянні	λ		1,4
Підігрів заряду від стінок циліндра	ΔT_a	К	20

Частка ходу поршня втрачена на продувку	ϕ_n		0
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми	ζ		0,98
Механічний ККД двигуна	η_m		0,85
Адіабатний ККД компресора	$\eta_{k.ad}$		0,842
Втрата тиску в повітроохолоджувачі	ΔP_{ox}	МПа	0,004
ККД системи охолодження	η_0		0,95
Температура залишкових газів	T_r	К	800
Масовий склад палива	C	кг	0,87
	H	кг	0,126
	S	кг	0
	O	кг	0,004
Нижча теплота згоряння палива	Q_H	(кДж / кг)	42700
Кількість циліндрів	i		6
Діаметр циліндра	D_c	м	0,115
Хід поршня	S_c	м	0,125
Коефіцієнт тактності	z		0,5
Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння	α		2,09
Показник адіабати повітря	k_e		1,41
Механічний ККД турбіни	$\eta_{t.m}$		0,98
Адіабатний ККД турбіни	$\eta_{t.ad}$		0,74
Коефіцієнт втрати тиску на впуску	ε_a		0,955
Ставлення тиску за компресором до тиску перед турбіною р	ψ_t		0,815'

Розрахунок робочого циклу двигуна

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

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку робочого циклу

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Результати розрахунку процесу наповнення			
Температура повітря за компресором	T_k	К	434,031
Температура повітря в ресивері	T_s	К	309,552

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Температура повітря в кінці наповнення	T_a	К	347,646
Тиск повітря в ресивері двигуна	P_s	МПа	0,296
Тиск в кінці наповнення	P_a	МПа	0,283
Коефіцієнт наповнення	η_a		0,87
Результати розрахунку процесу стиснення			
Показник політропи стиснення	n_1		1,36
Тиск у кінці стиснення	P_c	МПа	12,807
Температура в кінці стиснення	T_c	К	954,561
Результати розрахунку процесу згоряння			
Дійсна кількість повітря для згоряння	L	кмоль/кг	1,034
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	β_0		1,0306
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	β		1,0294
Частка палива, що вигоріла до точки z	x_z		0,968
Коефіцієнт молекулярної зміни у точці z	β_z		1,028
Максимальна температура згоряння	T_z	К	1952
Максимальний тиск згоряння	P_z	МПа	17,93
Результати розрахунку процесу розширення			
Ступінь попереднього розширення	ρ		1,502
Ступінь подальшого розширення	δ		10,985
Показник політропи розширення	n_2		1,277
Температура в кінці процесу розширення	T_b	К	1004
Тиск у кінці процесу розширення	P_b	МПа	0,84
Результати визначення індикаторних показників			
Теоретичний середній індикаторний тиск	P'_i	МПа	2,165
Дійсний середній індикаторний тиск	P_i	МПа	2,121
Питома індикаторна витрата пального	g_i	кг/(кВт*год)	0,164
Індикаторний ККД	η_i	-	0,513
Результати визначення ефективних показників			
Середній ефективний тиск	P_e	МПа	1,803
Ефективний ККД	η_e	-	0,436
Питома ефективна витрата пального	g_e	кг/(кВт*год)	0,1932

Ефективна потужність двигуна	N_e	кВт	234,284
Результати визначення дійсного P_k компресора			
Витрата повітря через компресор	G	кг/год	0,395
Витрата газів через турбіну	G_t	кг/год	0,408
Тиск газів перед турбіною	P_r	МПа	0,244
Температура газів	T_t	К	768,103
Кількість робочого тіла	M_s	кмоль/кг	1,066
Універсальна газова стала для відпрацьованих газів	R_t	кДж/кг*К	287,367
Показник адіабати розширення газу в турбіні	k_t		1,375
Дійсна ступінь підвищення тиску у компресорі	P_k		2,963
Розрахунковий тиск наддуву	P_{kd}	МПа	0,3001

Розрахунок та побудова індикаторних діаграм

Графічне представлення процесів у вигляді розрахункових діаграм сформовано на основі результатів моделювання робочого циклу, виконаного у середовищі MathCad. Ці діаграми надалі слугують основою для динамічного аналізу та розрахунків на міцність окремих конструктивних елементів двигуна. Аналітичне побудування графіків здійснювалося із застосуванням програмного пакету Excel. Обчислення координатних значень для процесів стиснення та розширення, що описуються політропними залежностями, проводилося за такими формулами [5]:

– для процесу стиснення:

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

– для процесу розширення:

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

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

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ІІЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

значення ступеня стиснення.

Для розрахунку індикаторної діаграми використовуємо вхідні дані:

Показник політропи стиснення n_1	1,36
Показник політропи розширення n_2	1,276
Тиск кінця стиснення p_c , МПа	12,807
Максимальний тиск згоряння p_z , МПа	17,93
Ступінь попереднього розширення ρ	1,502
Ступінь стиснення ε	16,5

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків для побудови індикаторної діаграми

V/V_c	$P_{ст}$	$P_{розш}$
1,00	17,93	
1,00	12,81	17,93
1,50	7,37	17,93
2,25	4,25	10,69
3,00	2,87	7,41
3,75	2,12	5,58
4,50	1,66	4,42
5,25	1,34	3,63
6,00	1,12	3,06
6,75	0,95	2,63
7,50	0,83	2,30
8,25	0,73	2,04
9,00	0,65	1,83
9,75	0,58	1,65
10,50	0,52	1,50
11,25	0,48	1,37
12,00	0,44	1,26
12,75	0,40	1,17
13,50	0,37	1,09
14,25	0,35	1,02
15,00	0,32	0,95
15,75	0,30	0,89
16,50	0,28	0,84
16,50		0,28

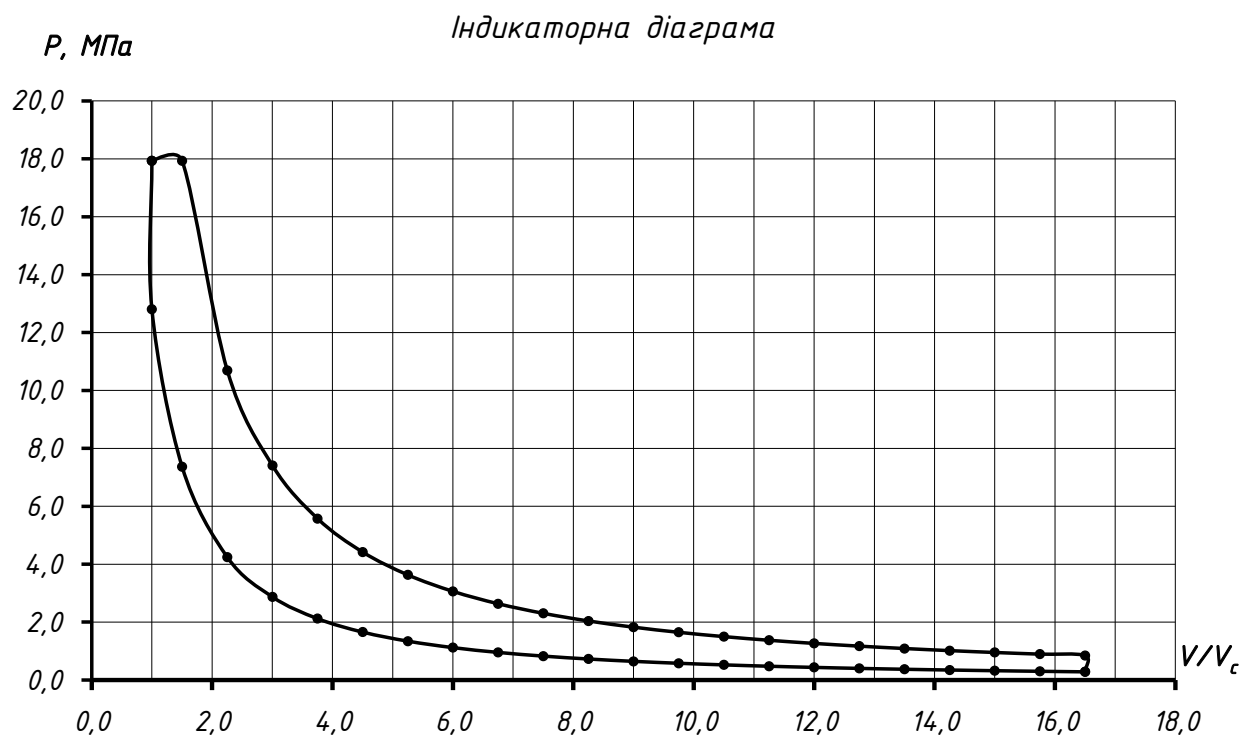


Рисунок 2.1 – Індикаторна діаграма

Розрахунок динамічних зусиль діючих у КШМ

Графіки динамічних процесів використовуються для визначення навантажень, що виникають у колінчастому валу під час його обертання на будь-якому куті. Вони є важливою основою для оцінювання міцності ключових елементів валу, а також аналізу його балансування. Побудова таких графіків базується на параметрах, отриманих у результаті теплового аналізу робочого циклу, із врахуванням змін зовнішніх та внутрішніх сил протягом обертального руху вала [6].

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

- P_g – сила газового тиску, що діє на поршень;
- P_j – сила інерції мас, які переміщуються поступально;
- P_{dv} – вертикальна сила, прикладена до осі поршневого пальця (так звана рушійна сила);
- N – нормальна сила, що притискає поршень до втулки циліндра;
- Q – сила, що передається вздовж шатуна;

- T – дотична сила, спрямована по дузі обертання кривошипа;
- Z – сила, орієнтована вздовж осі кривошипа.

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

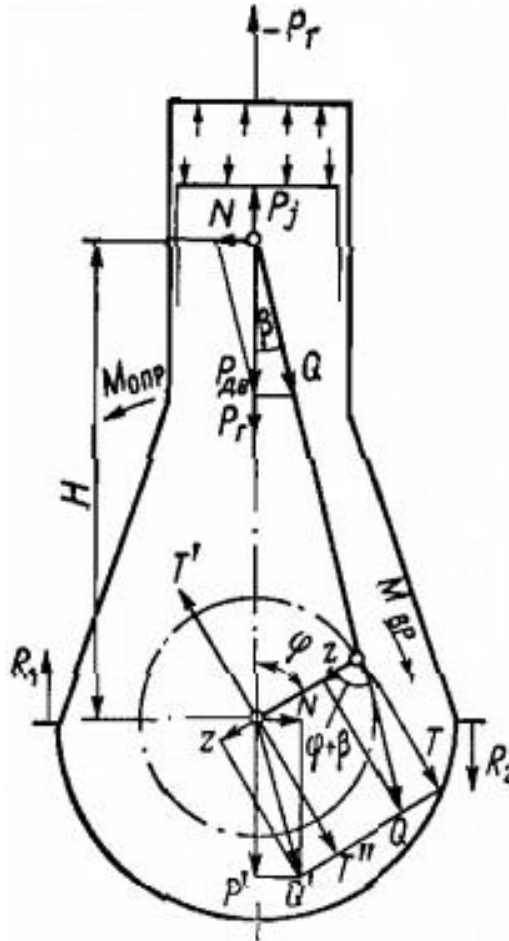


Рисунок 2.2 – Схема сил в КШМ

Вихідні дані, використані для проведення динамічного аналізу, подано в таблиці 2.4. Результати обчислень наведено у таблицях 2.5 та 2.6, на основі яких побудовано відповідні діаграми, що подані на рисунках 2.3–2.5.

На рисунку 2.3 зображено:

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

Рисунок 2.4 демонструє:

- N – нормальну силу взаємодії поршня з втулкою циліндра;
- Z – осьове зусилля, що виникає в кривошипі;
- T – дотичну складову сили.

На рисунку 2.5 представлено:

- $T\Sigma$ – сумарні дотичні сили, що впливають на кривошипно-шатунний механізм;
- $T_{ср}\Sigma$ – середнє значення сумарного дотичного навантаження.

Таблиця 2.4 – Вхідні дані для розрахунку

Діаметр поршня	м	D	0,115
Частота обертання КВ	хв^{-1}	n	2000
Максимальний тиск згоряння	МПа	P_z	17,93
Тиск на початку стиску	МПа	P_a	0,283
Тиск наддуву	МПа	P_k	0,3
Тиск залишкових газів	МПа	P_r	0,5
Кривошипно-шатунне відношення		λ	0,319
Маса деталей, що рухаються возвратно-поступово	кг	m	4
Радіус кривошипа	м	r	0,0625
Ступінь стиснення		ϵ	15
Показник політропи стиснення		n_1	1,36
Показник політропи розширення		n_2	1,277
Ступінь попереднього розширення		ρ	1,502
Кількість циліндрів		i	6

Таблиця 2.5 – Результати динамічного розрахунку

φ°	P_r	P_j	P_{dv}	N	Z	T
0	0,3000	-1,3919	-1,0919	0,0000	-1,0919	0,0000
10	0,3000	-1,3555	-1,0555	-0,0585	-1,0293	-0,2409
20	0,3000	-1,2495	-0,9495	-0,1040	-0,8566	-0,4225
30	0,3000	-1,0822	-0,7822	-0,1258	-0,6145	-0,5001
40	0,3000	-0,8668	-0,5668	-0,1179	-0,3584	-0,4546
50	0,3000	-0,6198	-0,3198	-0,0798	-0,1445	-0,2963
60	0,3000	-0,3593	-0,0593	-0,0168	-0,0151	-0,0598

70	0,3000	-0,1030	0,1970	0,0609	0,0102	0,2059
80	0,3000	0,1331	0,4331	0,1407	-0,0634	0,4509
90	0,3000	0,3366	0,6366	0,2103	-0,2103	0,6366
100	0,3000	0,4996	0,7996	0,2598	-0,3947	0,7423
110	0,3000	0,6188	0,9188	0,2840	-0,5811	0,7662
120	0,3000	0,6959	0,9959	0,2824	-0,7425	0,7213
130	0,3000	0,7367	1,0367	0,2585	-0,8644	0,6280
140	0,3000	0,7499	1,0499	0,2184	-0,9446	0,5076
150	0,3000	0,7456	1,0456	0,1682	-0,9896	0,3771
160	0,3000	0,7337	1,0337	0,1132	-1,0101	0,2472
170	0,3000	0,7229	1,0229	0,0567	-1,0172	0,1218
180	0,2830	0,7186	1,0016	0,0000	-1,0016	0,0000
190	0,2849	0,7229	1,0078	-0,0559	-1,0022	-0,1200
200	0,2907	0,7337	1,0244	-0,1122	-1,0010	-0,2449
210	0,3008	0,7456	1,0464	-0,1683	-0,9904	-0,3774
220	0,3162	0,7499	1,0662	-0,2217	-0,9592	-0,5155
230	0,3383	0,7367	1,0751	-0,2681	-0,8964	-0,6512
240	0,3692	0,6959	1,0651	-0,3020	-0,7941	-0,7714
250	0,4120	0,6188	1,0308	-0,3186	-0,6519	-0,8597
260	0,4720	0,4996	0,9715	-0,3157	-0,4796	-0,9019
270	0,5571	0,3366	0,8937	-0,2952	-0,2952	-0,8937
280	0,6807	0,1331	0,8138	-0,2644	-0,1191	-0,8473
290	0,8658	-0,1030	0,7628	-0,2358	0,0393	-0,7974
300	1,1537	-0,3593	0,7944	-0,2252	0,2022	-0,8006
310	1,6215	-0,6198	1,0017	-0,2498	0,4525	-0,9279
320	2,4166	-0,8668	1,5498	-0,3223	0,9800	-1,2431
330	3,8110	-1,0822	2,7289	-0,4390	2,1438	-1,7446
340	6,1854	-1,2495	4,9360	-0,5407	4,4534	-2,1963
350	9,4162	-1,3555	8,0606	-0,4470	7,8606	-1,8399
360	11,2531	-1,3919	9,8612	0,0000	9,8612	0,0000
370	17,9300	-1,3555	16,5745	0,9191	16,1631	3,7832
380	17,1850	-1,2495	15,9355	1,7456	14,3774	7,0906
390	10,9058	-1,0822	9,8236	1,5803	7,7174	6,2804
400	7,1105	-0,8668	6,2436	1,2985	3,9482	5,0081
410	4,8886	-0,6198	4,2687	1,0644	1,9285	3,9542
420	3,5513	-0,3593	3,1920	0,9050	0,8123	3,2169
430	2,7122	-0,1030	2,6092	0,8064	0,1346	2,7276
440	2,1638	0,1331	2,2969	0,7463	-0,3361	2,3916
450	1,7926	0,3366	2,1292	0,7032	-0,7032	2,1292
460	1,5342	0,4996	2,0338	0,6608	-1,0039	1,8881
470	1,3505	0,6188	1,9693	0,6087	-1,2455	1,6423
480	1,2181	0,6959	1,9141	0,5427	-1,4270	1,3863
490	1,1223	0,7367	1,8591	0,4636	-1,5501	1,1262

500	1,0534	0,7499	1,8034	0,3750	-1,6225	0,8719
510	1,0051	0,7456	1,7507	0,2816	-1,6570	0,6314
520	0,9732	0,7337	1,7069	0,1870	-1,6679	0,4081
530	0,9550	0,7229	1,6779	0,0930	-1,6686	0,1997
540	0,9491	0,7186	1,6677	0,0000	-1,6677	0,0000
550	0,7000	0,7229	1,4229	-0,0789	-1,4150	-0,1694
560	0,6000	0,7337	1,3337	-0,1461	-1,3033	-0,3189
570	0,5000	0,7456	1,2456	-0,2004	-1,1789	-0,4493
580	0,5000	0,7499	1,2499	-0,2599	-1,1246	-0,6043
590	0,5000	0,7367	1,2367	-0,3084	-1,0312	-0,7492
600	0,5000	0,6959	1,1959	-0,3391	-0,8916	-0,8662
610	0,5000	0,6188	1,1188	-0,3458	-0,7076	-0,9330
620	0,5000	0,4996	0,9996	-0,3248	-0,4934	-0,9280
630	0,5000	0,3366	0,8366	-0,2763	-0,2763	-0,8366
640	0,5000	0,1331	0,6331	-0,2057	-0,0926	-0,6592
650	0,5000	-0,1030	0,3970	-0,1227	0,0205	-0,4150
660	0,5000	-0,3593	0,1407	-0,0399	0,0358	-0,1418
670	0,5000	-0,6198	-0,1198	0,0299	-0,0541	0,1110
680	0,5000	-0,8668	-0,3668	0,0763	-0,2320	0,2942
690	0,5000	-1,0822	-0,5822	0,0937	-0,4574	0,3722
700	0,5000	-1,2495	-0,7495	0,0821	-0,6762	0,3335
710	0,5000	-1,3555	-0,8555	0,0474	-0,8343	0,1953
720	0,3000	-1,3919	-1,0919	0,0000	-1,0919	0,0000

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку сумарних дотичних сил

Кут заклинки			φ_3°	120				
φ°	T_E						T_E	T_{cp}
	Номер циліндра							
	1	2	3	4	5	6		
0	0,000	0,721	-0,771	0,000	1,386	-0,866	0,470	2,222
10	-0,241	0,628	-0,860	3,783	1,126	-0,933	3,504	2,222
20	-0,422	0,508	-0,902	7,091	0,872	-0,928	6,218	2,222
30	-0,500	0,377	-0,894	6,280	0,631	-0,837	5,059	2,222
40	-0,455	0,247	-0,847	5,008	0,408	-0,659	3,702	2,222
50	-0,296	0,122	-0,797	3,954	0,200	-0,415	2,767	2,222
60	-0,060	0,000	-0,801	3,217	0,000	-0,142	2,215	2,222
70	0,206	-0,120	-0,928	2,728	-0,169	0,111	1,827	2,222
80	0,451	-0,245	-1,243	2,392	-0,319	0,294	1,330	2,222
90	0,637	-0,377	-1,745	2,129	-0,449	0,372	0,567	2,222
100	0,742	-0,515	-2,196	1,888	-0,604	0,333	-0,352	2,222
110	0,766	-0,651	-1,840	1,642	-0,749	0,195	-0,636	2,222
120	0,721	-0,771	0,000	1,386	-0,866	0,000	0,470	2,222
							26,669	

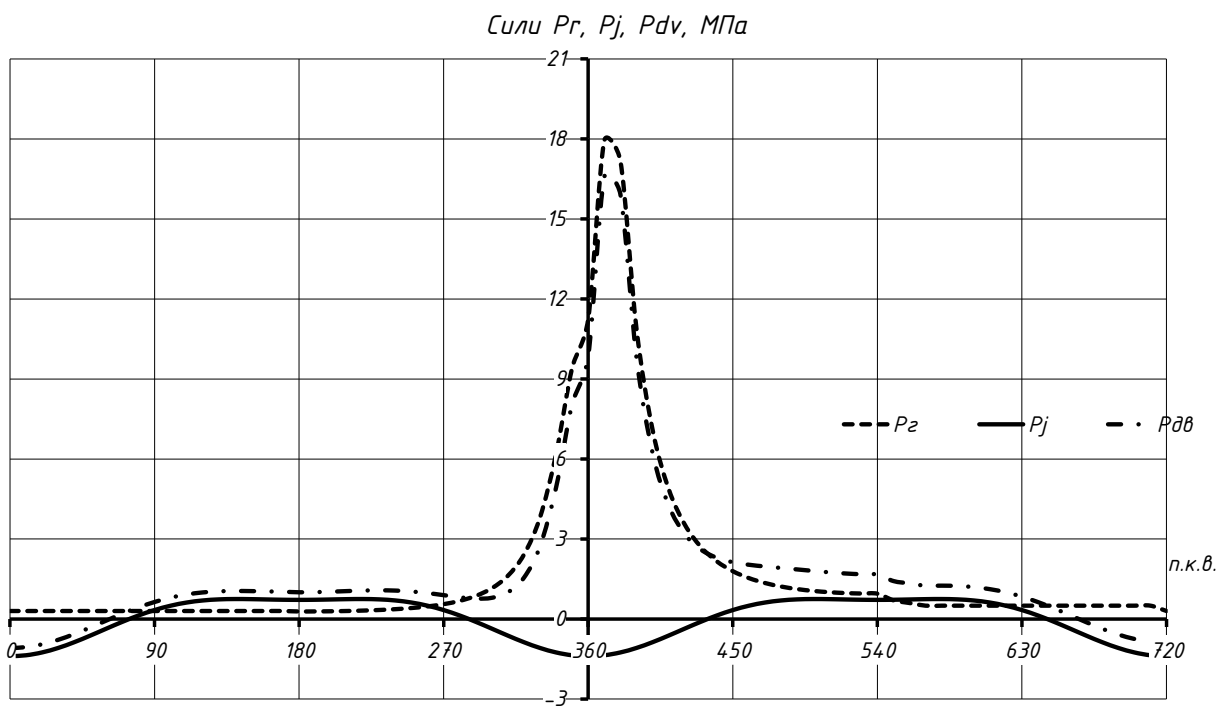


Рисунок 2.3 – Зміна сил P_r , P_j , P_{dv} від кута повороту колінчастого валу

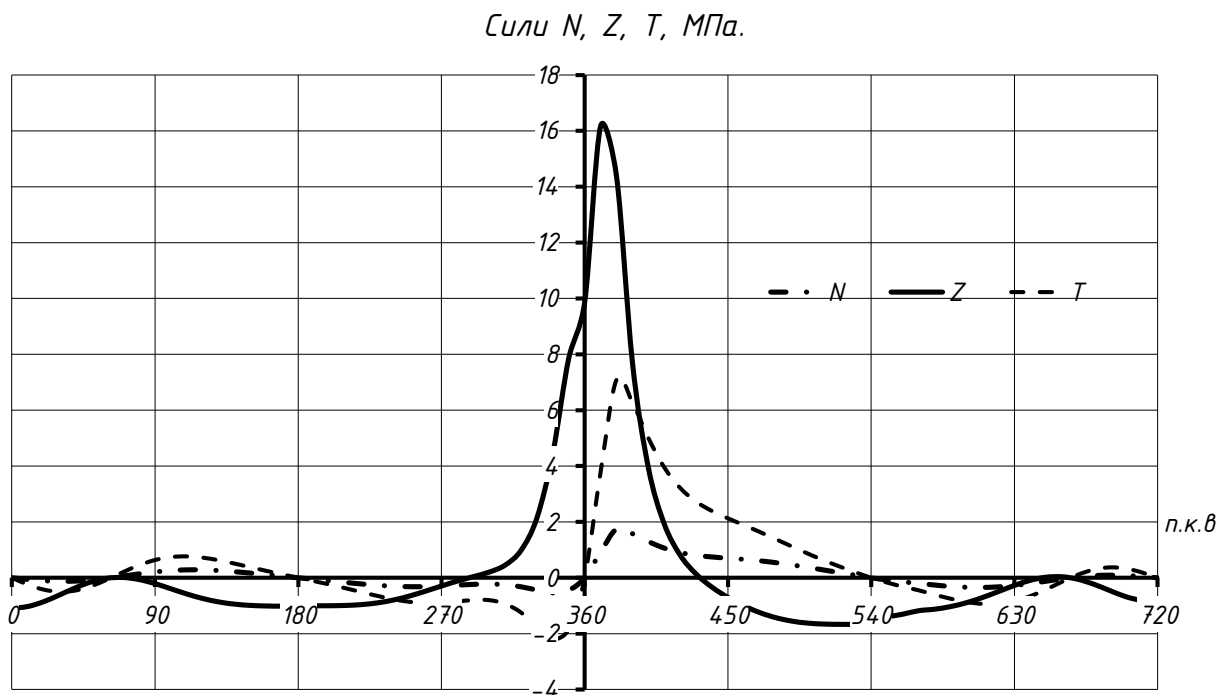


Рисунок 2.4 – Зміна сил N , Z , T від кута повороту колінчастого валу

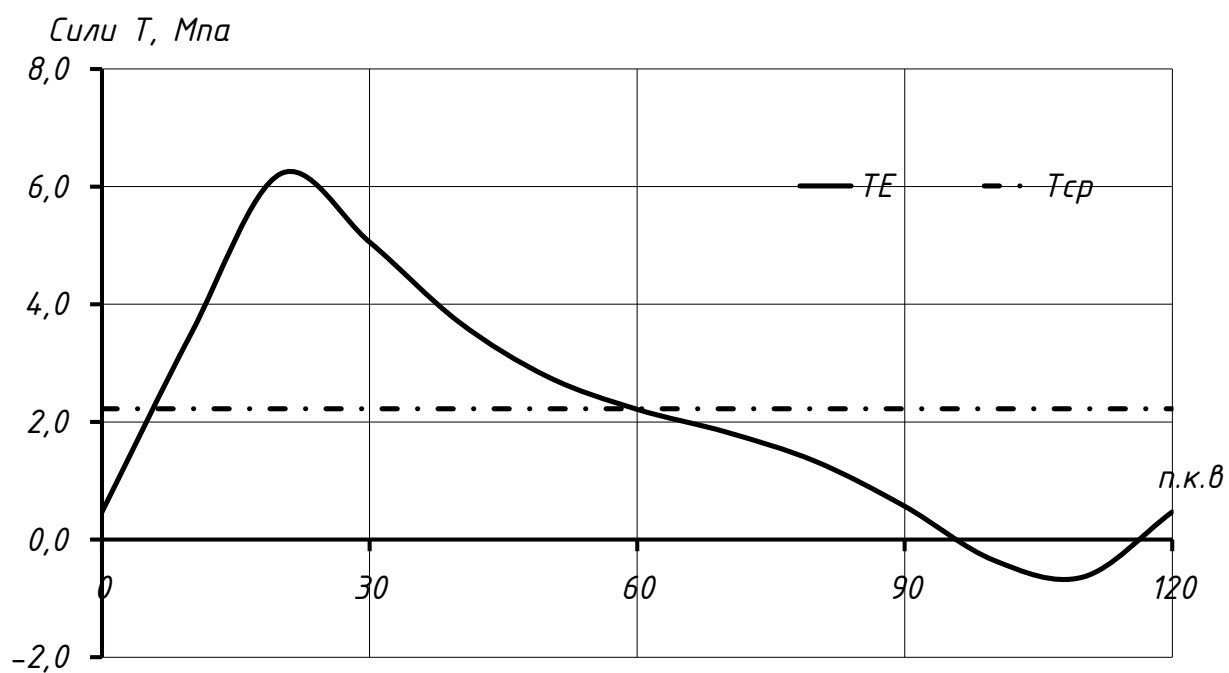


Рисунок 2.5 – Зміна сумарних дотичних сил T від кута заклинки колінчастого валу

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДВИГУНА 6ЧН 11,5/12,5

Паливна система двигуна 6ЧН 11,5/12,5 представлена на рис. 3.1-3.2. Паливо подається під низьким тиском за допомогою шестерневого насоса, закріпленого на ковпаку маховика. Коли двигун працює, насос (3) забирає паливо з бака через попередній фільтр (2) і направляє його через головний фільтр (6) до вхідного з'єднання на головці циліндра; там перший поздовжній канал (10) подає паливо через серію поперечних каналів до насос-форсунок «EUI». Другий поздовжній канал, оброблений в центрі головки, транспортує через корпуси інжекторів потік палива, яке не було впорскуване, щоб дозволити йому вийти.

Уздовж цієї ділянки контуру паливо проходить промивку для усунення будь-яких слідів парів, що утворилися в результаті перегріву палива під час фаз перекачування в інжекторах [6].

Щоб обмежити кількість палива, яке повертається в бак, паливо, що витікає з головки, повертається до насоса і частково використовується повторно. Вихідний патрубок насоса оснащений клапаном, відкаліброваним на тиск 0,35 МПа, що дозволяє підтримувати в контурі подачі інжектора мінімальний тиск, необхідний для заповнення інжекторів. Паливо, яке не використовується насосом, повертається до бака через калібрований отвір і односторонній клапан, що запобігає спорожненню, калібрований на тиск 0,2 бара.

Тиск у контурі подачі палива до форсунок зростає із збільшенням обертів двигуна; тому необхідно обмежити його максимальне значення до 0,5 МПа за допомогою клапана, розташованого в корпусі шестерневого насоса.

Фітинги для вентиляції контуру розташовані на опорі попереднього фільтра, на опорі фільтра та в передній частині головки циліндра поблизу електричного роз'єму контуру форсунки EUI.

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ІІЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

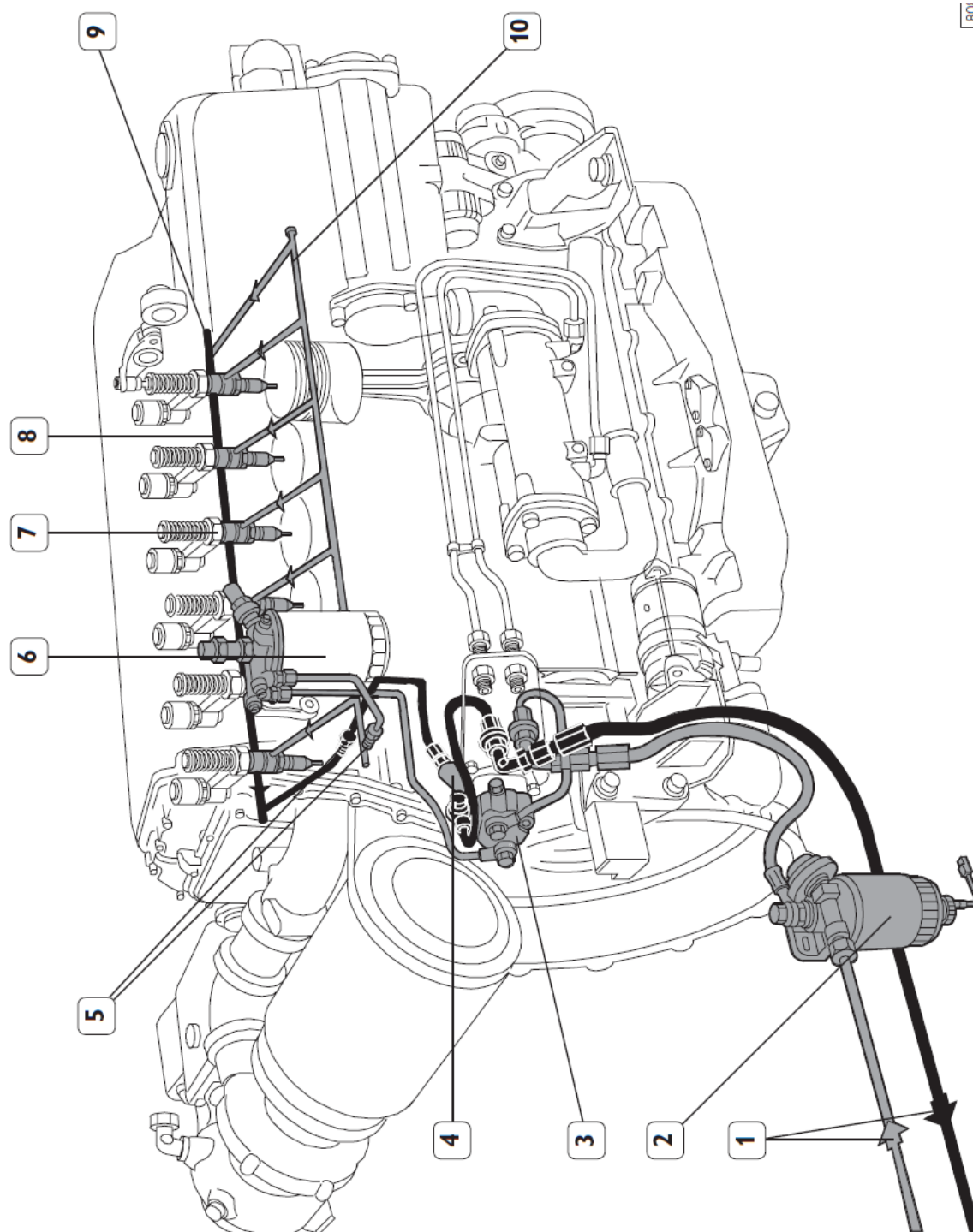


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд паливної системи:

1 – потоки рециркуляції та всмоктування з бака; 2 – попередній фільтр;
 3 – подаючий насос; 4 – клапани регулювання тиску; 5 – входні та вихідні
 фітинги з головки циліндра; 6 – фільтр; 7 – насосний інжектор; 8 – канал
 збору рециркуляції; 9 – точка вентиляції головки циліндра; 10 – канал збору
 для впуску до інжекторів

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ

Аркуш

29

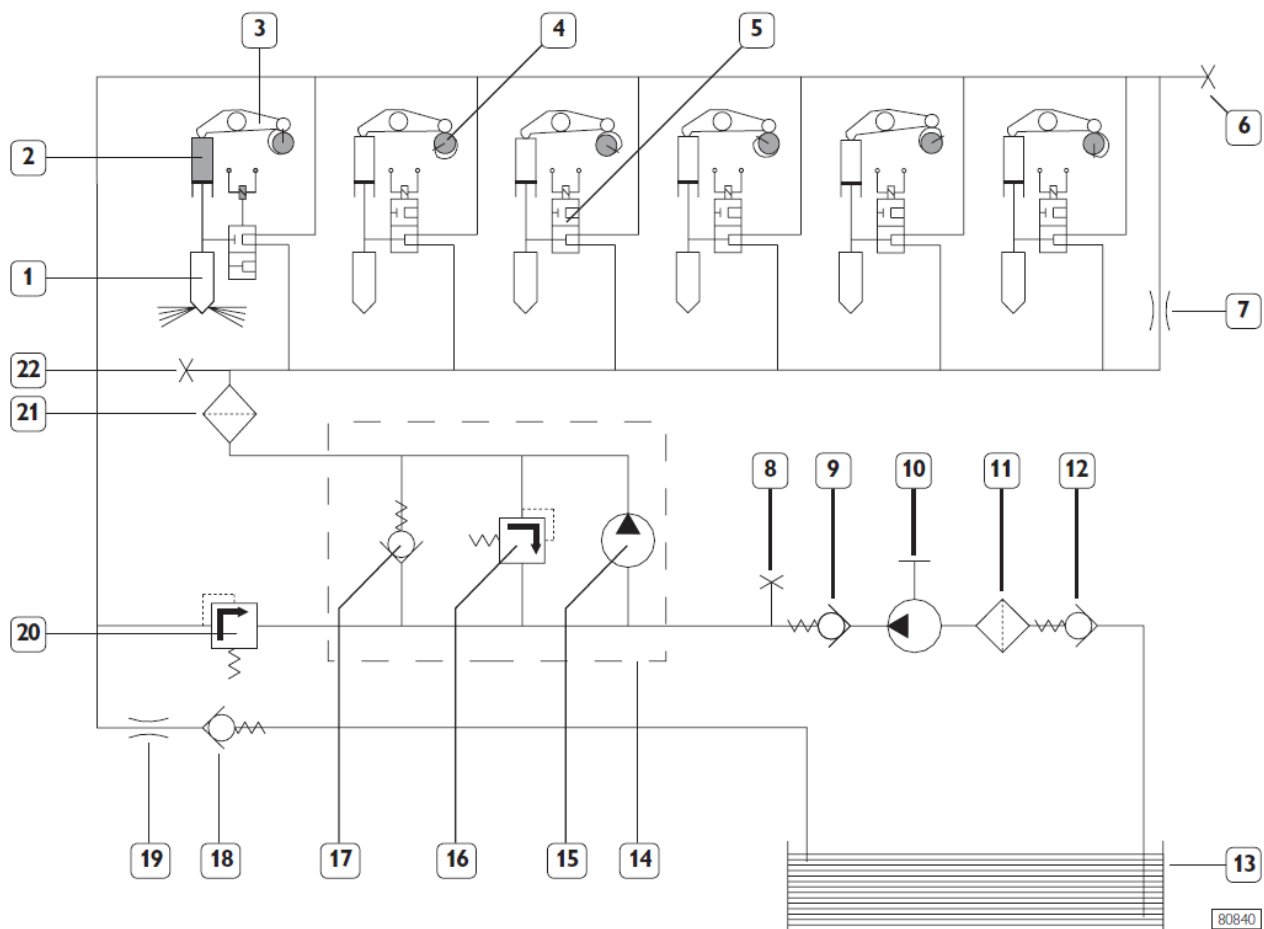


Рисунок 3.2 – Схема паливної системи двигуна:

- 1 – інжектор EUI; 2 – насоси EUI; 3 – колесо; 4 – кулачок приводу;
 5 – електромагнітний клапан EUI; 6 – вентиляційний патрубок на головці
 циліндра; 7 – калібрований отвір; 8 – вентиляційний патрубок на
 попередньому фільтрі; 9 – односторонній клапан; 10 – ручний насос;
 11 – попередній фільтр палива; 12 – односторонній клапан; 13 – паливний
 фільтр; 14 – зубчастий насос у зборі; 15 – зубчастий насос подачі палива;
 16 – клапан обмежувача тиску (початковий тиск відкриття 5 бар);
 17 – односторонній клапан; 18 – односторонній клапан; 19 – калібрований
 отвір; 20 – клапан регулювання тиску (початковий тиск відкриття 3,5 бар);
 21 – паливний фільтр; 22 – вентиляційний фітинг на опорі паливного фільтра

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ

Аркуш

30

Двигун оснащується сучасною системою впорскування, яка приводить в дію електрично керовані насос-форсунки, або EUI (Electric Unit Injector). Цей компонент забезпечує швидке подавання палива, надзвичайно малі втрати тиску та тиху роботу, навіть якщо тиск впорскування перевищує 160 МПа.

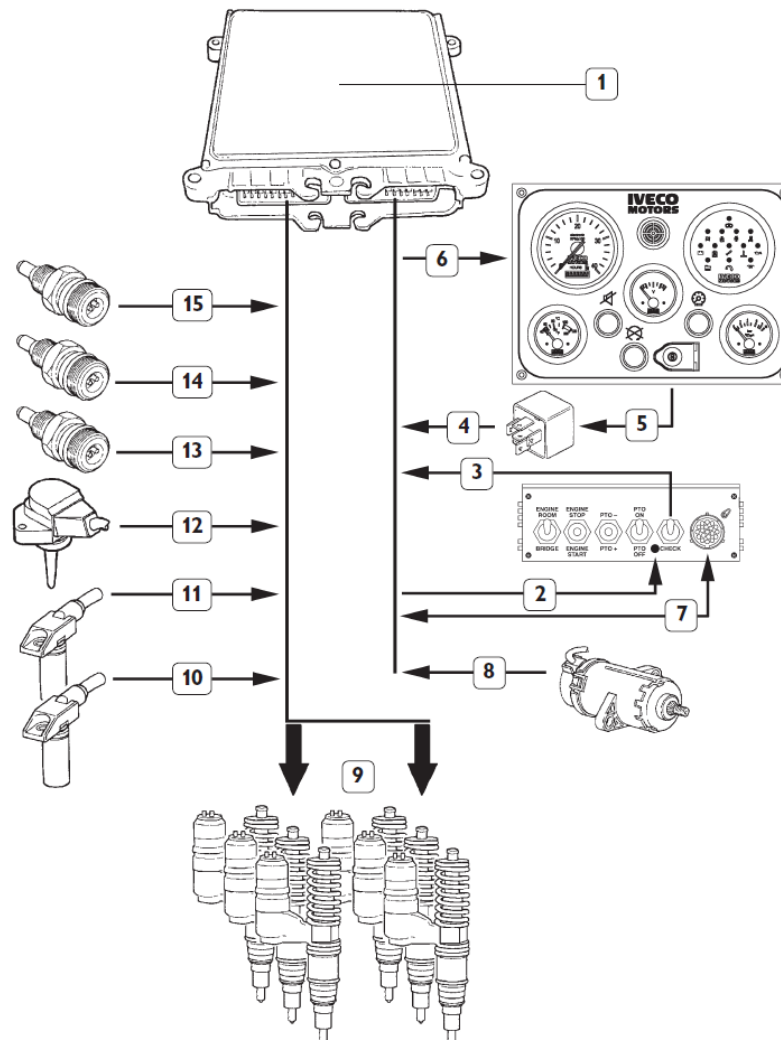


Рисунок 3.3 – Електронне управління дизельним двигуном EDC:

- 1 – центральний електронний блок ECU з датчиком атмосферного тиску;
- 2 – індикатор несправності; 3 – кнопка запиту коду мигання; 4 – головне реле;
- 5 – кнопка управління; 6 – датчик оборотів; 7 – діагностичний роз'єм;
- 8 – датчик положення дросельної заслінки; 9 – насос-форсунки з електричним управлінням, EUI;
- 10 – Датчик фаз газорозподілу; 11 – датчик маховика;
- 12 – датчик тиску повітря в камері згоряння; 13 – датчик температури палива;
- 14 – датчик температури охолоджуючої рідини двигуна; 15 – датчик температури повітря в камері згоряння

Застосування верхнього розподільного вала та роликових коромисел для приведення в дію клапанів двигуна та інжекторів надає всьому двигуну інноваційних характеристик, роблячи його компактним та забезпечуючи високе співвідношення потужності та ваги.

Загальне поліпшення характеристик було досягається завдяки значно вищим тискам впорскування, ніж ті, що досягаються за допомогою традиційних насосів впорскування, а також завдяки повністю електронному управлінню всіма функціями впорскування та надзвичайній точності інжекторів.

Наявність окремих насосних елементів дозволяє незалежно контролювати, «циліндр за циліндром», тривалість та випередження впорскування, які обчислюються та оптимізуються в кожен момент центральним блоком відповідно до параметрів двигуна, виміряних датчиками.

Електрично керована насос-форсунка EUI (рис. 3.4)

Насос-форсунка складається з форсунки з власним насосним елементом, що приводиться в дію, як і клапани двигуна, розподільним валом. Дозування палива здійснюється за допомогою електромагнітного клапана, який, контролюючи потік подачі форсунки під час фази насосу, встановлює час початку і закінчення впорскування.

Технологічне рішення щодо інтеграції насоса та інжектора не є новим у галузі двигунобудування; ще в 50-х роках насосні інжектори з механічним регулюванням дозування використовувалися в двигунах для морських, промислових та важких транспортних засобів.

Сьогодні компактність цієї системи впорскування та переваги, що впливають з відсутності трубопроводів високого тиску, з відповідним усуненням опору потоку та затримок спрацьовування, підсилюються наявністю електронного управління, здатного з надзвичайною точністю контролювати тривалість та час початку, з безпрецедентною точністю

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ІІЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

підлаштовуючи впорскування навіть до найкритичніших умов експлуатації, вимірюваних датчиками, встановленими на двигуні.

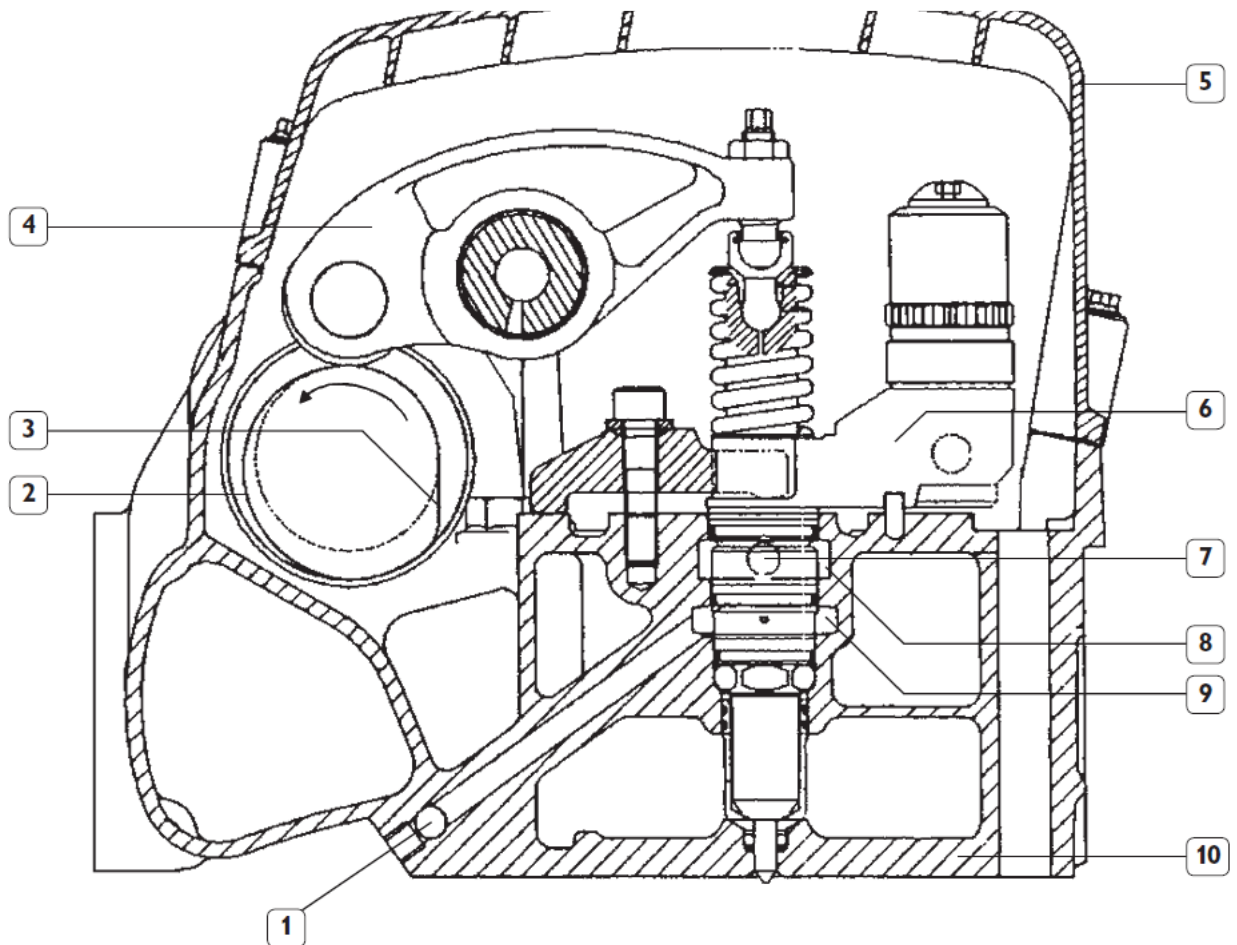


Рисунок 3.4 – Розташування насос-форсунки:

1 – канал подачі палива (з видом на ділянку поздовжнього колектора);
 2 – кулачок приводу: профіль наповнення форсунки; 3 – кулачок приводу:
 профіль насоса впорскування; 4 – коромисло; 5 – кришка розподільного
 механізму; 6 – насос-форсунка; 7 – секція каналу рециркуляційного колектора
 палива; 8 – випускна камера; 9 – камера подачі; 10 – головка циліндра

Елементи насос-форсунки вставляються у відповідні гнізда, виточені в головці циліндра, і забезпечуються паливом низького тиску, що протікає по трубопроводах у виливці. Нижній канал подачі інжектора забезпечується паливом від перекачувального насоса, а верхній канал, колектор рециркуляції

палива, транспортує паливо для промивання та охолодження інжектора, а також паливо, що не використовується для впорскування.

Для перетворення роботи насос-форсунки використовується ролик коромисла. Воно приводиться в рух третім кулачком, розташованим між кулачками для впускних і випускних клапанів. Особливий профіль кулачка відповідає вимогам щодо створення швидкого ходу насоса для швидкого досягнення необхідного тиску впорскування, а також повільного, постійного зворотного ходу насоса, щоб уникнути раптового падіння тиску в трубопроводах подачі, що супроводжується ризиком утворення пари [7].

Коли насос, штовханий коромислом, починає рух вниз, ефект насоса не виникає до моменту включення електромагнітного клапана, оскільки паливо циркулює під низьким тиском через форсунку до двох трубопроводів припливу та рециркуляції; тільки після включення електромагнітного клапана тиск всередині форсунки підвищується. Це, після досягнення значення відкриття сопла, запускає впорскування.

Коли електричний сигнал до електромагнітного клапана припиняється, рідина під тиском, яка може витікати через канали всередині форсунки, спричиняє падіння тиску впорскування і, таким чином, закриття сопла, припиняючи впорскування.

Обмежувальний клапан 0,5 МПа, розташований у перекачувальному насосі, та односторонній випускний клапан, відкалібрований на 0,35 МПа, дозволяють тиску подачі до форсунки постійно залишатися в цьому діапазоні.

Під час зворотного ходу насоса, коли електромагнітний клапан знеструмлений, заслінка знаходиться в положенні спокою і дозволяє паливу низького тиску протікати через канали всередині форсунки, щоб наситити насосну камеру. Насос, приводиться в рух коромислом, починає рух вниз. Оскільки електромагнітний клапан знеструмлений, ефект впорскування відсутній, оскільки паливо виходить з насосної камери через сідло заслінки, повертаючись у камери подачі та випуску. Коли електромагнітний клапан

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ІІЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

збуджується, заслінка закриває вихід насосної камери, дозволяючи тиску в камері підвищитися. Як тільки тиск перевищує значення калібрувальної пружини, голка форсунки піднімається, починаючи впорскування.

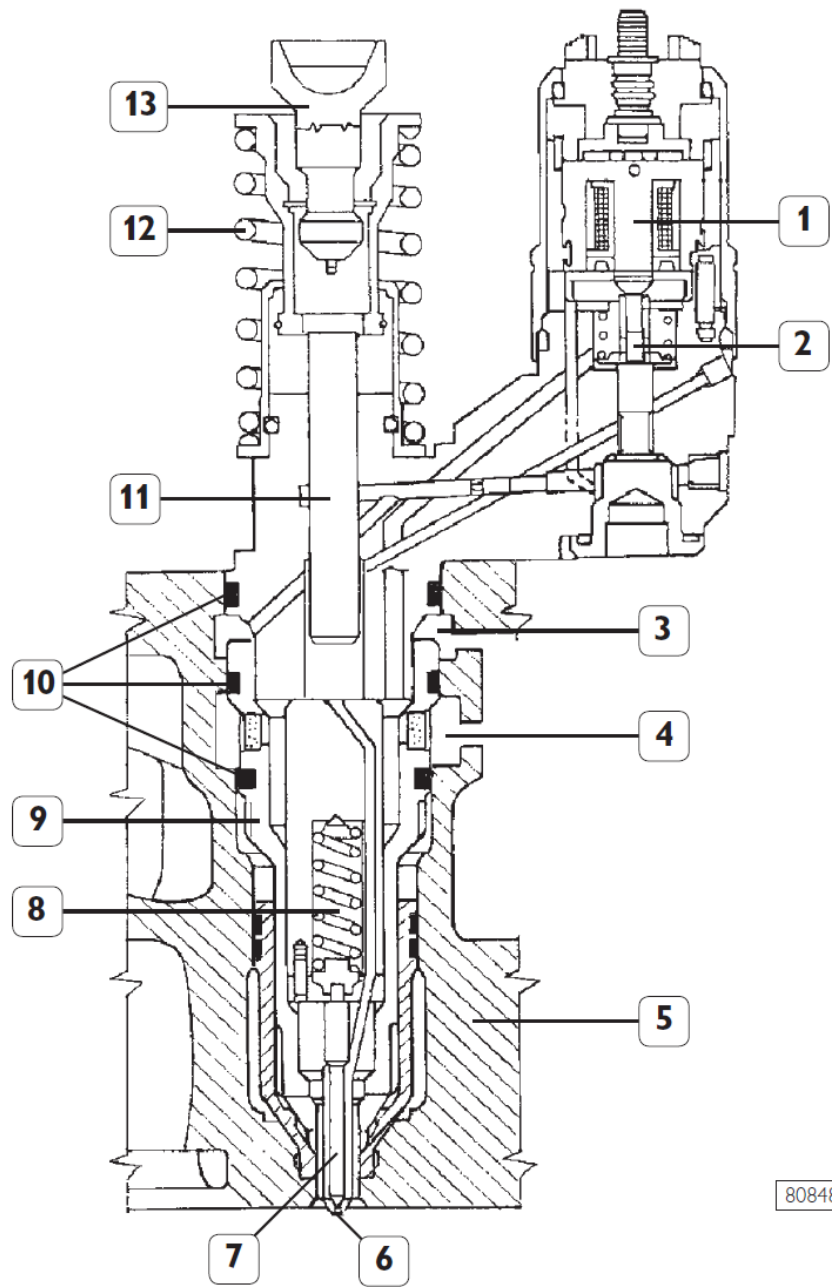


Рисунок 3.5 – Насос-форсунка:

1 – електромагнітний клапан; 2 – заслінка; 3 – випускна камера в головці
циліндра; 4 – подаюча камера в головці циліндра; 5 – головка циліндра;
6 – розпилювальне сопло; 7 – голка сопла; 8 – калібрувальна пружина;
9 – корпус сопла; 10 – ущільнювальні кільця; 11 – насос; 12 – поворотна
пружина насоса; 13 – контрольний штовхач

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ

Аркуш

35

Як тільки електромагнітний клапан перестає отримувати електричний сигнал, заслінка повертається у вихідне положення, дозволяючи паливу під тиском витікати у напрямку вхідного та випускного каналів. Внаслідок цього падіння тиску калібрована пружина підіймається, і голка форсунки повертається у положення, в якому вона закриває отвори для впорскування; впорскування закінчується.

Під час фаз спокою, а також під час впорскування, паливо, що надходить від перекачувального насоса до подавальних трубопроводів, циркулює в каналах форсунки, охолоджуючи її внутрішні частини і змушуючи паливо, що не впорскується і перегрівається під час стиснення, швидко витікати в випускну камеру. Підвищення тиску понад 160 МПа спричиняє значне нагрівання палива, створюючи умови, що сприяють її випаровуванню. Тому промивання та охолодження необхідні для уникнення утворення парових кишень у паливі, які можуть перешкоджати подачі правильної кількості паливної оливи, що призведе до нерівномірної роботи двигуна.

Розрахунок паливної системи

№	Параметр	Формула	Значення
1	Добовий запас палива, кг/доб	$G_n = 24 \cdot K_m \cdot g_e \cdot N_e$	698,04
	Питома ефективна витрата палива, кг/кВт·год	g_e	0,193
	Номінальна потужність двигуна, кВт	N_e	137
	Коефіцієнт запасу, який враховує можливе збільшення витрати палива	$K_m = 1,1 \dots 1,2$	1,10
2	Місткість витратної цистерни, м ³	$V = \frac{G_n}{\rho_n} \cdot K_1 \cdot K_2$	0,88
	Щільність палива при максимальній температурі в секції, кг/м ³	ρ_n	850,00
	Коефіцієнт захарашення цистерни елементами конструкції	$K_1 = 1,01 \dots 1,05$	1,03
	Коефіцієнт, що враховує мертвий об'єм цистерни	$K_2 = 1,03 \dots 1,05$	1,04
3	Продуктивність паливопідкачувального насоса, м ³ /год	$W_{nn} = \frac{K_3 \cdot g_e \cdot N_e}{\rho_n}$	0,06
	Коефіцієнт запасу подачі палива	$K_3 = 1,5 \dots 2,0$	2,00
4	Потужність привода паливопідкачувального насоса, кВт	$N_{nn} = \frac{W_{nn} \cdot K_4 \cdot p \cdot 10^3}{3600 \cdot \eta_{nn}}$	0,02
	Тиск нагнітання палива, МПа	p	0,50
	Коефіцієнт запасу потужності	$K_4 = 1,1 \dots 1,5$	1,30
	ККД поршневих паливопідкачувальних насосів	$\eta = 0,6 \dots 0,7$	0,70

9	Хід плунжера ПНВТ, мм	$h_r = 1 \dots 1,5 \cdot d_r$	12,60
		приймаємо	13,00
10	Діаметр плунжера, мм	$d_r = 16,9 \cdot g_{y \max}^{0,303}$	8,20
		приймаємо	9,00
		$d_r = 35 + 0,04 \cdot (g_{y \max} - 10)$	
	Максимальна циклова подача палива, г/цикл	$g_{y \max} = 1,25 \cdot \frac{g_e \cdot (N_e / i)}{60 \cdot n \cdot z}$	0,09
	Кількість циліндрів	i	6,00
	Частота обертання, об/хв	n	2000,00
	Коефіцієнт тактності	z	0,50
11	Внутрішній діаметр паливопроводу високого тиску, мм	2 при $d_r < 10$ мм 2,5-2,6 при $d_r = 11 \dots 14$ мм 3 при $d_r = 15 \dots 20$ мм $3 + 0,218(d_r - 20)$ при $d_r > 20$ мм	2,00
		приймаємо	2,00
12	Діаметр одного соплового отвору, мм	0,25 при $D < 100$ мм 0,3 при $D = 105 \dots 200$ мм при $D = 205 \dots 250$ мм $+ 0,0012(D - 250)$ при $D > 250$ мм	0,25
		приймаємо	0,25
	Діаметр циліндра, мм	D	115,00
13	Кількість соплових отворів	$i_c = 4 \dots 8$	6,00
14	Довжина соплового отвору, мм	$l_c = (3 \dots 4) \cdot d_c$	1,50

РОЗДІЛ 4

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

З метою забезпечення безпеки працівників під час обслуговування паливної системи автомобільного дизельного двигуна впроваджується комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на зниження ризиків ураження, отруєння або виникнення пожежонебезпечних ситуацій [8].

1. Організаційні заходи.

До основних організаційних заходів належать:

Проведення інструктажів та навчання персоналу

- Вступний, первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі з охорони праці для працівників, що виконують обслуговування паливної системи.

- Організація періодичного навчання та перевірки знань з питань безпечного виконання робіт.

- Забезпечення ознайомлення працівників із технічною документацією та інструкціями з експлуатації.

Допуск до робіт лише кваліфікованого персоналу

- Роботи з паливною системою дозволено виконувати лише працівникам, які мають відповідну професійну підготовку, пройшли медичний огляд та інструктаж.

- Контроль за наявністю посвідчень або записів у журналі інструктажів.

Організація робочого місця відповідно до вимог безпеки

- Визначення спеціально обладнаних зон для обслуговування паливної системи.

- Забезпечення наявності системи вентиляції, освітлення, засобів пожежогасіння та аптечки першої допомоги.

- Контроль за порядком на робочому місці, наявністю необхідного інструменту та засобів індивідуального захисту.

					<i>КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		38

Розробка та затвердження нормативних документів

- Впровадження положень, інструкцій та процедур з охорони праці, що регламентують порядок обслуговування паливної системи.
- Підготовка та затвердження нарядів-допусків на виконання робіт підвищеної небезпеки (за потреби).

Контроль за дотриманням правил охорони праці

- Проведення внутрішнього контролю та періодичних перевірок умов праці, технічного стану обладнання та систем безпеки.
- Ведення обліку інцидентів, аналіз причин порушень і реалізація запобіжних заходів.

2. Технічні заходи.

До основних технічних заходів належать:

Облаштування робочого місця засобами пожежної безпеки

- Наявність сертифікованих вогнегасників (порошкових або вуглекислотних), ящиків з піском, азбестових полотен.
- Встановлення пожежної сигналізації та систем автоматичного пожежогасіння на станціях технічного обслуговування.

Забезпечення ефективної вентиляції

- Встановлення примусової або природної вентиляції в приміщеннях, де проводяться роботи з паливною системою, для видалення парів палива та зниження концентрації вибухонебезпечних сумішей.

Ізоляція та захист електрообладнання

- Використання вибухозахищеного електроінструменту та освітлення.
- Обов'язкове знеструмлення автомобіля перед розбиранням елементів паливної системи, щоб уникнути іскроутворення.

Використання спеціального обладнання та інструменту

- Застосування інструментів із антиіскровим покриттям.
- Використання діагностичних приладів для контролю тиску, герметичності, роботи форсунок без необхідності демонтажу.

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Контроль за герметичністю системи

- Регулярне проведення випробувань і перевірок стану паливопроводів, з'єднань, фільтрів і насосів на предмет витоків.
- Оперативне усунення виявлених дефектів і заміна зношених деталей.

Організація безпечного зберігання пального

- Зберігання палива в металевих, щільно закритих ємностях у спеціально відведених приміщеннях із дотриманням протипожежних норм.
- Забезпечення наявності ємностей для збору злитого або відпрацьованого пального.

Впровадження автоматизованих систем контролю

- Використання датчиків витоку, тиску, температури, що дозволяють вчасно виявляти відхилення від норми та запобігати аварійним ситуаціям.

3. Засоби індивідуального захисту.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) є критично важливими для забезпечення безпеки працівників, які здійснюють обслуговування паливної системи автомобільного дизельного двигуна. Під час виконання таких робіт можливий контакт з легкозаймистими, токсичними речовинами, а також з деталями під високим тиском, що становить потенційну небезпеку для здоров'я та життя персоналу.

Основні типи ЗІЗ, що застосовуються при обслуговуванні паливної системи:

Захисний одяг (спецодяг)

- Виготовляється з вогнетривких, антистатичних та хімічностійких матеріалів.
- Забезпечує захист шкіри від пального, мастил та механічних пошкоджень.
- Повинен мати довгі рукави, міцні застібки та відсутність відкритих частин тіла.

					<i>КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ</i>	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Захисні рукавички

- Маслобензостійкі або хімічностійкі рукавички із гуми, нітрилу чи іншого стійкого матеріалу.
- Захищають руки від потрапляння дизельного палива та механічних поранень при роботі з інструментом.

Захисні окуляри або щитки

- Призначені для запобігання потраплянню бризок пального або бруду в очі.
- Особливо необхідні при відкручуванні паливопроводів або зливі пального.

Респіратори або протигази

- Застосовуються при роботі в умовах недостатньої вентиляції або при наявності парів палива.
- Фільтрувальні респіратори захищають дихальні шляхи від токсичних випарів дизельного палива.

Захисне взуття

- Повинне бути маслобензостійким, із антиковзкою підошвою та жорстким носком.
- Запобігає травмуванню ніг та контакту з пролитим паливом.

Захисні навушники (при потребі)

- Застосовуються у випадках, коли обслуговування супроводжується підвищеним рівнем шуму, наприклад, під час діагностики паливних насосів високого тиску.

Вимоги до використання ЗІЗ:

Працівники повинні бути забезпечені сертифікованими засобами індивідуального захисту згідно з вимогами чинного законодавства.

ЗІЗ повинні бути підібрані відповідно до характеру виконуваних робіт, справними, чистими та придатними до використання.

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ІІЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Працівники мають бути навчені правильному використанню, зберіганню та утилізації засобів захисту.

4. Профілактичні заходи.

Профілактичні заходи мають на меті попередження виникнення небезпечних ситуацій та зниження рівня професійного ризику під час обслуговування паливної системи автомобільного дизельного двигуна. Вони передбачають регулярний контроль технічного стану обладнання, оцінку потенційних ризиків і своєчасне усунення відхилень від нормальних умов експлуатації.

Основні профілактичні заходи:

Планове технічне обслуговування паливної системи

- Проведення регламентних перевірок стану паливопроводів, фільтрів, форсунок, паливного насоса та з'єднувальних елементів.

- Заміна зношених ущільнень, шлангів, клапанів та прокладок до виникнення аварійних ситуацій.

- Контроль тиску в системі й герметичності з'єднань.

Регулярна перевірка вентиляційних систем

- Оцінка ефективності роботи витяжної вентиляції в місцях обслуговування паливної системи.

- Очищення та технічне обслуговування вентиляційного обладнання для запобігання накопиченню вибухонебезпечних парів.

Періодичний огляд та випробування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

- Перевірка цілісності, відповідності умовам експлуатації та термінів придатності ЗІЗ.

- Ведення обліку та заміна непридатних засобів захисту.

Контроль за дотриманням правил безпеки

- Проведення періодичних перевірок дотримання інструкцій з охорони праці під час виконання робіт.

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– Використання контрольних листів (чек-листів) для фіксації виконання заходів безпеки.

Профілактика забруднення та витоків пального

– Організація робочих місць із використанням піддонів, ємностей для збору пального, протипроливних килимків.

– Оперативне прибирання місць розливу пального з використанням абсорбентів.

Медичні огляди та моніторинг стану здоров'я працівників

– Проведення попередніх та періодичних медичних оглядів для своєчасного виявлення ознак професійного впливу шкідливих факторів.

– Надання працівникам інформації щодо ознак отруєння парами пального та правил надання першої допомоги.

Навчання та підвищення обізнаності персоналу

– Регулярне проведення занять, тренувань та семінарів з питань безпечного обслуговування паливної системи.

– Ознайомлення з наслідками недотримання правил безпеки на прикладі реальних випадків виробничого травматизму.

Реалізація вищезазначених заходів дозволяє мінімізувати ризики професійних небезпек, підвищити рівень безпеки праці та забезпечити надійне функціонування паливної системи автомобільного дизельного двигуна.

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконаної кваліфікаційної роботи досягнуто поставлену мету – проведено повний технічний розрахунок автомобільного дизельного двигуна типу 6ЧН 11,5/12,5 на основі реального зразка – двигуна IVECO C78ENT. Робота включала комплексне дослідження основних параметрів, що визначають ефективність, надійність і придатність двигуна до експлуатації у важких умовах.

Проведено аналіз конструктивних особливостей двигуна, описано його основні вузли: блок-картер, система змащення, система впорскування палива, система наддуву. Підтверджено високий рівень технічних рішень, реалізованих у двигуні C78ENT.

Виконано розрахунок робочого циклу за методом Гріневецького–Мазинга. Отримано індикаторну діаграму, обчислено основні термодинамічні параметри та інші ключові характеристики робочого процесу.

Здійснено динамічний аналіз навантажень, які виникають у кривошипно-шатунному механізмі. Побудовано графіки зміни газових та інерційних сил, а також дотичних складових моментів, що дає змогу оцінити роботу силової установки в динамічному режимі.

Розроблено та проаналізовано паливну систему двигуна з урахуванням особливостей електронно-керованих насос-форсунок типу EUI. Визначено схему подачі, очищення та рециркуляції пального, а також принцип дії системи керування подачею палива.

Розглянуто заходи охорони праці при обслуговуванні паливної системи. Запропоновано організаційні, технічні та профілактичні заходи, що дозволяють знизити ризики при роботі з горючими рідинами.

					КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. / О. М. Артюх та ін. Запо-ріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 264 с.
2. Lakshminarayanan P. A., Avinash Kumar Agarwal. Design and Development of Heavy Duty Diesel Engines. Springer, 2020. – 912 p.
3. Bennett S. Modern Diesel Technology: Light Duty Diesels. New York: Delmar, 2012. – 412 p.
4. Grieshabe, H., Raatz, T. (2014). Basic principles of the diesel engine. In: Reif, K. (eds) Diesel Engine Management. Bosch Professional Automotive Information. Springer Vieweg, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-03981-3_3/
5. Дяченко В. Г. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія : підручник. Харків : НТУ “ХПІ”, 2008. – 488 с.
6. Challen B., Baranescu R. Diesel Engine Reference Book. Second edition Butter-worth-Heinemann, 1999. – 675 p.
7. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах / за редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ “ХПІ”, 2004. Т. 1: Розробка конструкцій форсо-ваних двигунів наземних транспортних машин. 493 с.
8. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 151 с.

					<i>КРБ.142.4227см.25.16.00.ПЗ</i>	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		