

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

Кафедра двигунів  
внутрішнього згоряння,  
установок та технічної  
експлуатації

«Допущений до захисту»  
В.о. завідувача кафедри  
Олексій ГОГОРЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

## **ПОКРАЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ТРАНСПОРТНОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ДИСПЕРГУВАННЯ ПАЛИВА**

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування  
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Борис ТИМОШЕВСЬКИЙ

Здобувач освіти



Владислав ГРУЗІН

Миколаїв 2024

Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ  
Олексій ГОГОРЕНКО

«        »        20        року

# З А В Д А Н Н Я

## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

*Грузін Владислав Віталійович*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Покращення параметрів роботи транспортного двигуна шляхом використання системи диспергування палива

2. Керівник роботи д.т.н., проф. Тимошевський Б. Г.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

(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 – MAN D-0834/36; паливо – дизельне;  
потужність двигуна – 206 кВт, частота обертання колінчастого валу – 2400 хв<sup>-1</sup>

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

*Застосування двигуна MAN D-0834/36 на вантажному автомобілі MAN G90;  
Особливості застосування систем підготовки палива; Аналіз використання  
системи диспергування палива в двигуні MAN D-0834/36; Економічне  
обґрунтування впровадження модернізованого двигуна; Забезпечення вимог  
охорони праці*

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
*Загальний вигляд вантажного автомобіля MAN G90; Поперечний розріз двигуна MAN D-0834/36; Розрахункові діаграми двигуна; Паливна система двигуна; Забірний пристрій*

## 7. Консультанти розділів роботи

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

8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів роботи  | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|----------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Оформлення 1 розділу |                               |          |
| 2     | Оформлення 2 розділу |                               |          |
| 3     | Оформлення 3 розділу |                               |          |
| 4     | Оформлення 4 розділу |                               |          |
| 5     | Оформлення 5 розділу |                               |          |
| 6     | Оформлення креслень  |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |
|       |                      |                               |          |

Здобувач освіти

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
 (підпис)

\_\_\_\_\_  
 (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
 (підпис)

\_\_\_\_\_  
 (прізвище та ініціали)

*Владислав ГРУЗІН*

(прізвище та ініціали)

*Борис ТИМОШЕВСЬКИЙ*

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній розроблений комплекс заходів щодо удосконалення паливної системи транспортного двигуна шляхом використання системи диспергування палива. Розглянуто економічне обґрунтування впровадження модернізації. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 68 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 10 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

*Ключові слова:* диспергування, паливо, ефективність, забірний пристрій.

The qualification work develops a set of measures to improve the fuel system of a vehicle engine by using a fuel dispersion system. The economic justification of the modernization implementation is considered. Measures to ensure labor protection are presented.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 68 pages of explanatory note. 10 sources are used. The graphic part is presented on 5 drawings of format A1

*Key words:* dispersion, fuel, efficiency, intake device.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 2     |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

## ЗМІСТ

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Вступ.....</b>                                                                              | <b>4</b>  |
| <b>Розділ 1. Застосування двигуна MAN D-0834/36 на вантажному автомобілі MAN G90.....</b>      | <b>5</b>  |
| <b>Розділ 2. Особливості застосування систем підготовки палива.....</b>                        | <b>16</b> |
| <b>Розділ 3. Аналіз використання системи диспергування палива в двигуні MAN D-0834/36.....</b> | <b>31</b> |
| <b>Розділ 4. Економічне обґрунтування впровадження модернізованого двигуна.....</b>            | <b>53</b> |
| <b>Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....</b>                                         | <b>57</b> |
| <b>Висновки.....</b>                                                                           | <b>62</b> |
| <b>Список використаної літератури.....</b>                                                     | <b>63</b> |
| <b>Додаток А. Загальний вигляд вантажного автомобіля MAN G90.....</b>                          | <b>64</b> |
| <b>Додаток Б. Поперечний розріз двигуна MAN D-0834/36.....</b>                                 | <b>65</b> |
| <b>Додаток В. Розрахункові діаграми двигуна.....</b>                                           | <b>66</b> |
| <b>Додаток Г. Паливна система двигуна.....</b>                                                 | <b>67</b> |
| <b>Додаток Д. Забірний пристрій .....</b>                                                      | <b>68</b> |

## ВСТУП

Системи очищення палива є важливим компонентом транспортних двигунів, оскільки вони забезпечують видалення домішок, води та частинок, що можуть потрапити в паливо під час зберігання або транспортування. Використання таких систем дозволяє:

- Підвищити надійність двигуна: Запобігають зношуванню та пошкодженню компонентів паливної системи.
- Зменшити витрати на ремонт і обслуговування: Фільтрація палива продовжує термін служби інжекторів, насосів і циліндро-поршневої групи.
- Поліпшити екологічність: Очищене паливо забезпечує повніше згоряння, зменшуючи викиди шкідливих речовин.
- Забезпечити стабільну роботу двигуна: Виключає перебої в роботі, пов'язані із забрудненням або водою в паливі.

Системи очищення палива є ключовим елементом для забезпечення ефективної, довговічної та безпечної експлуатації транспортних засобів.

Мета даної роботи – розробити умови щодо покращення параметрів роботи двигуна вантажного автомобіля шляхом використання системи диспергування палива

Задачі що вирішуються у роботі:

1. Проаналізувати особливості конструкції й експлуатації автомобільного двигуна MAN D-0834/36.
2. Визначити ефективність застосування системи диспергування палива.
3. Оцінити запропоновані рішення, технічні рекомендації та заходи з техніки безпеки.

**Об'єкт дослідження** – система диспергування палива.

**Предмет дослідження** – параметри системи диспергування палива.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 4     |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

# РОЗДІЛ 1

## ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА MAN D-0834/36 НА ВАНТАЖНОМУ АВТОМОБІЛІ MAN G90

MAN G90 (рис. 1.1, 1.2) – це легкий і середньотоннажний вантажний автомобіль, який випускався німецьким виробником MAN Truck & Bus у період з 1979 по 2003 рік. Цей автомобіль був частиною серії G, призначеної для міських і регіональних перевезень, і став популярним завдяки своїй універсальності, надійності та економічності [1].

### *Основні характеристики MAN G90*

MAN G90 належить до категорії легких і середньотоннажних вантажівок, з вантажопідйомністю до 7,5 тонн. Він широко використовувався для доставки товарів у межах міста, перевезення будівельних матеріалів, а також у сільському господарстві [2].

Система приводу, залежно від модифікації, могла бути як задньопривідною, так і повнопривідною (4х4).

Коробка передач механічна, забезпечувала плавне перемикання для комфортної експлуатації.

Кабіна мала класичний дизайн з похилою передньою частиною та невеликим капотом. Це забезпечувало зручний доступ до двигуна для обслуговування.

Компактні габарити робили автомобіль маневровим і зручним для роботи в умовах обмеженого простору, наприклад, у вузьких міських вулицях.

Шасі дозволяло встановлювати різні типи кузовів: тентовані платформи, фургони, самоскиди та інше.

Кабіна оснащувалася базовими елементами комфорту: зручними сидіннями, вентиляцією та оглядовим склом.

Системи безпеки відповідали стандартам свого часу, забезпечуючи надійність роботи навіть в умовах складного дорожнього покриття.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 5     |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |



Рисунок 1.1 – Вантажний автомобіль MAN G90

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           | 6     |

MAN G90 був відомий своєю довговічністю та простотою технічного обслуговування. Завдяки низьким експлуатаційним витратам і надійності він набув популярності серед малого та середнього бізнесу, транспортних компаній і фермерів.

#### *Переваги MAN G90*

- Економічність у використанні пального.
- Надійність і довговічність вузлів і агрегатів.
- Універсальність завдяки можливості встановлення різних типів кузовів.
- Маневровість, що робило його ідеальним для міських умов.

MAN G90 став однією з ключових моделей у сегменті легких вантажівок свого часу. Його універсальність, надійність і доступність забезпечили йому популярність у багатьох країнах Європи та за її межами. Навіть сьогодні ці вантажівки можна зустріти в експлуатації, що свідчить про високу якість та довговічність техніки MAN.

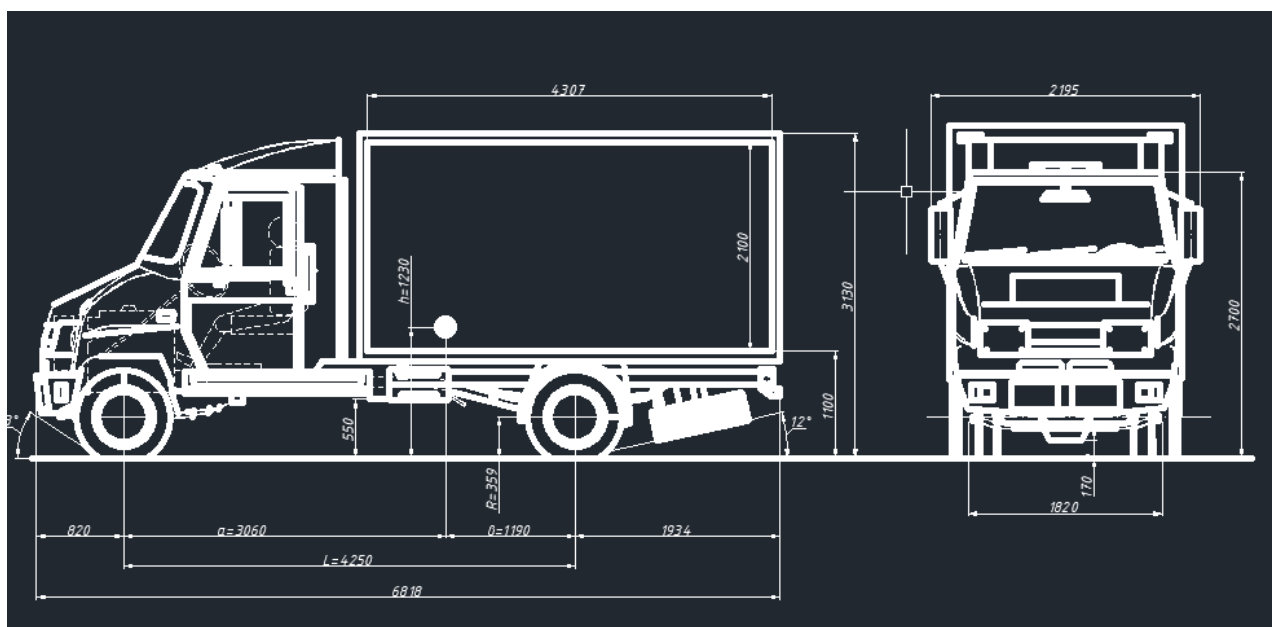


Рисунок 1.2 – Габаритні розміри MAN G90

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           | 7     |

## Опис двигуна MAN D-0834/36

Двигун MAN D-0834/36 [2] – це 4-тактовий рядний двигун із системою водяного охолодження з турбонаддувом на ВГ і повітряним охолоджувачем наддувного повітря. Поперечний розріз зображений на рис. 1.3.

Двигуни працюють за принципом багатоструменевого прямого впорскування в камеру згоряння, що легко переміщується до середини поршня.

Рециркуляція відпрацьованих газів у двигунах D 08 EURO 3 відрізняється від широко розповсюджених зовнішніх рішень, за яких одна частина згорілих ОГ подається у всмоктувальний канал. Відмінність полягає в тому, що ця частина ОГ затримується в циліндрі. При цьому завдяки оптимізації фаз газорозподілу досягається порівнянний ефект. Внутрішня система AGR за рахунок цього є більш ефективним рішенням.

Двигуни розраховані таким чином, що дають змогу забезпечити відносно великий корисний діапазон частоти обертання і, водночас, збільшення частоти обертання більш ніж на 25 %. Це веде до вдосконалення здатності двигуна розвивати високий крутний момент у широкому діапазоні частоти обертання (висока «еластичність»).

Новий картер (рис. 1.4) з удосконаленою конструкцією виготовляється методом лиття з сірого чавуну і являє собою разом з блоком циліндрів одне ціле.

Завдяки з'єднанню трубок циліндра в поздовжньому напрямку методом лиття, а також завдяки структурі з міцною формою та використанню спеціального різьблення для голівки циліндрів, забезпечується гарна округлість циліндричних трубок. А це є важливою передумовою для тривалої та безперебійної експлуатації при досягненні високої економічності.

6 просвердлених каналів для охолоджувальної рідини, розташовані між циліндрами, забезпечують хороше відведення тепла, а також рівномірний розподіл температури по поверхні циліндрів.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 8     |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

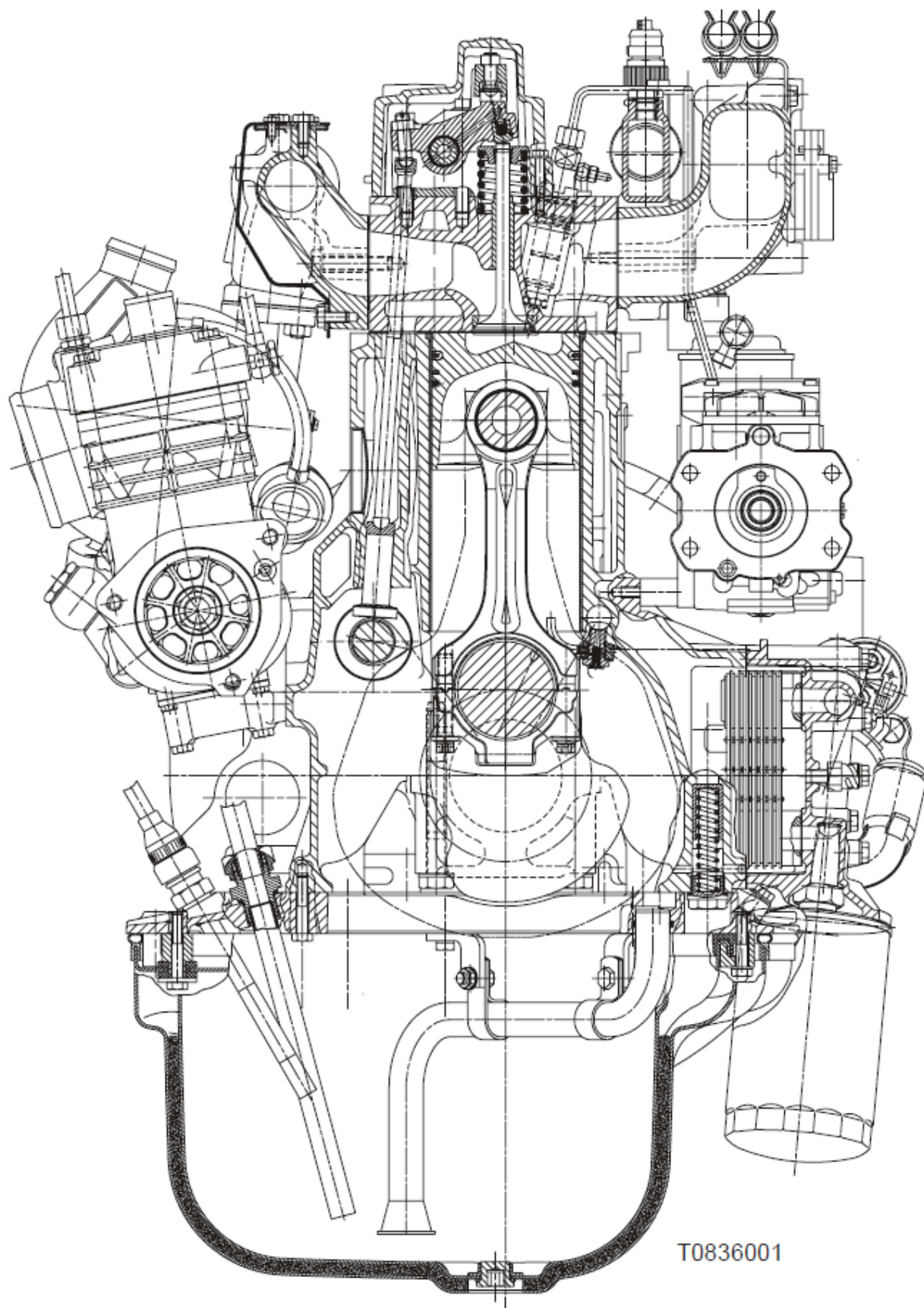


Рисунок 1.3 – Поперечний розріз двигуна MAN D-0834/36

|     |      |             |        |      |
|-----|------|-------------|--------|------|
|     |      |             |        |      |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |

KPM.142.6221м.24.04.00.ПЗ

Аркуш

9

Оребрення нових проміжних пластин з алюмінію дає змогу забезпечити високу міцність і меншу генерацію шуму.

Блок-картери 6 циліндрових двигунів потужністю 206 КВТ (280кВт/с) і 180кВт (245кВт/с) мають змінні, сухі (slip fit) гільзи зі спеціального відцентрового лиття, що має високу міцність до зношування.

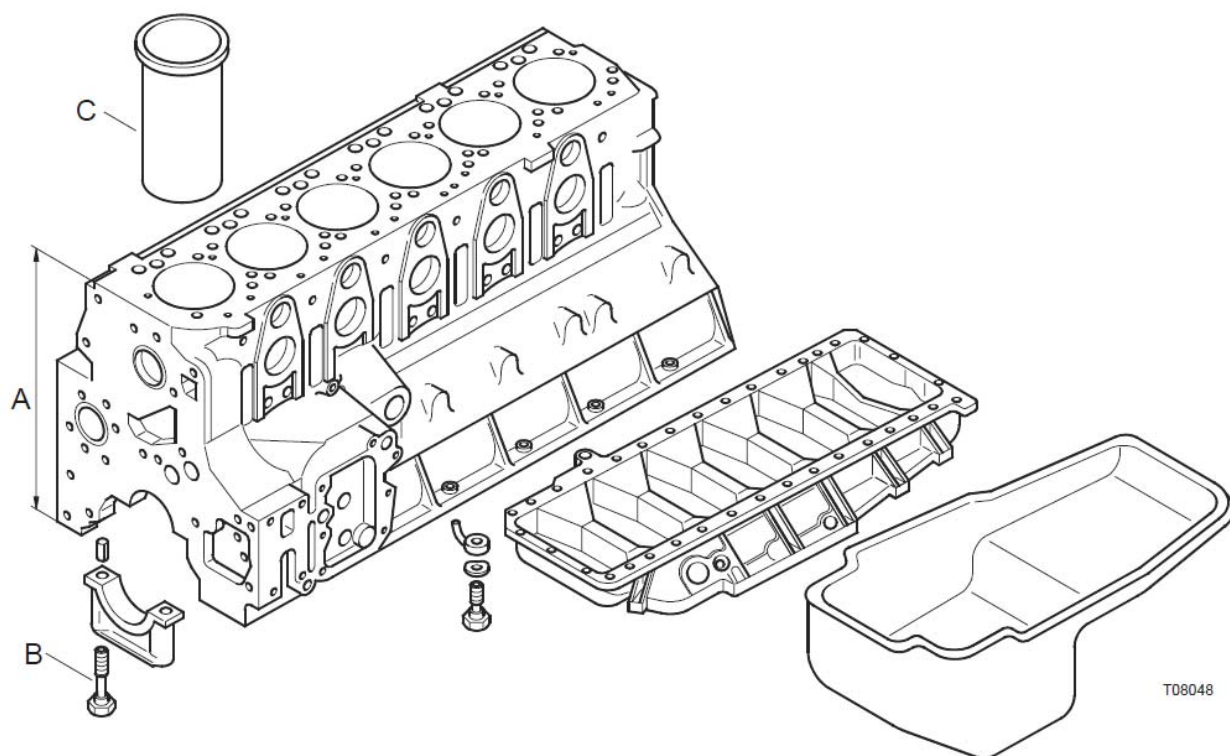


Рисунок 1.4 – Картер двигуна

Двигуни потужністю понад 220 л.с. оснащені змінними сухими гільзами (рис. 1.5) (SLIP-FIT) зі спеціального відцентрового лиття, що має високу міцність до зношування.

При проведенні ремонтних робіт можуть встановлюватися інші гільзи (> 0,5 мм).

Гільза повинна повністю встати в гніздо, перед монтажем необхідно провести її очищення. Бурт гільзи не повинен прилягати за зовнішнім діаметром.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 10    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

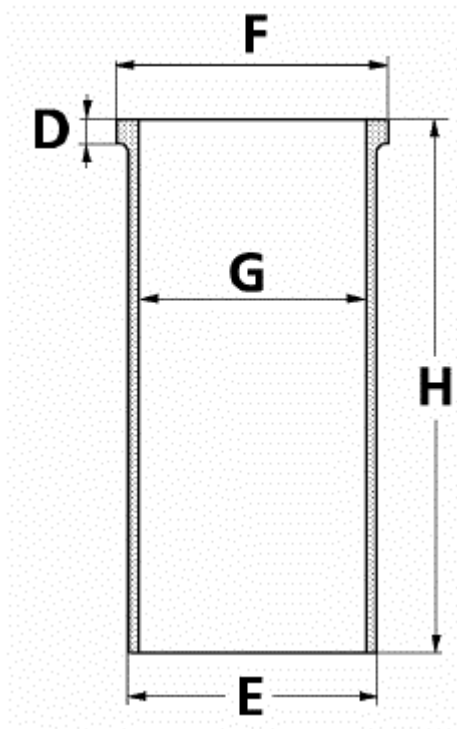


Рисунок 1.5 – Гільза

Колінчастий вал (рис. 1.6) із противагами виконаний методом штампування у вигляді однієї деталі. Колінчастий вал 4-циліндрового двигуна має п'ять підшипників в опорі, а 6-циліндрового двигуна - сім.

Шийки корінного і шатунного підшипників піддані загартуванню індуктивним методом. Можливе здійснення 4-ох кратного додаткового шліфування без додаткового загартування. Осьовий підшипник встановлено між циліндрами 3 і 4.

На передньому кінці колінчастого вала за допомогою 6 високоміцних болтів із внутрішнім шестигранником закріплено гумовий гаситель крутильних коливань із прокладкою зі спеціальної гуми. Завдяки цьому зменшується негативний вплив крутильних коливань і навантаження на колінчастий вал.

Шатунний і корінний підшипник, а також отвір штовхача в серійному виконанні мають два розміри. Для кожного наступного етапу обробки передбачено маркування, що наноситься фарбою, а для кожного наступного

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 11    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

етапу монтажу на типову табличку і колінчастий вал повинні наноситися відповідні позначення.

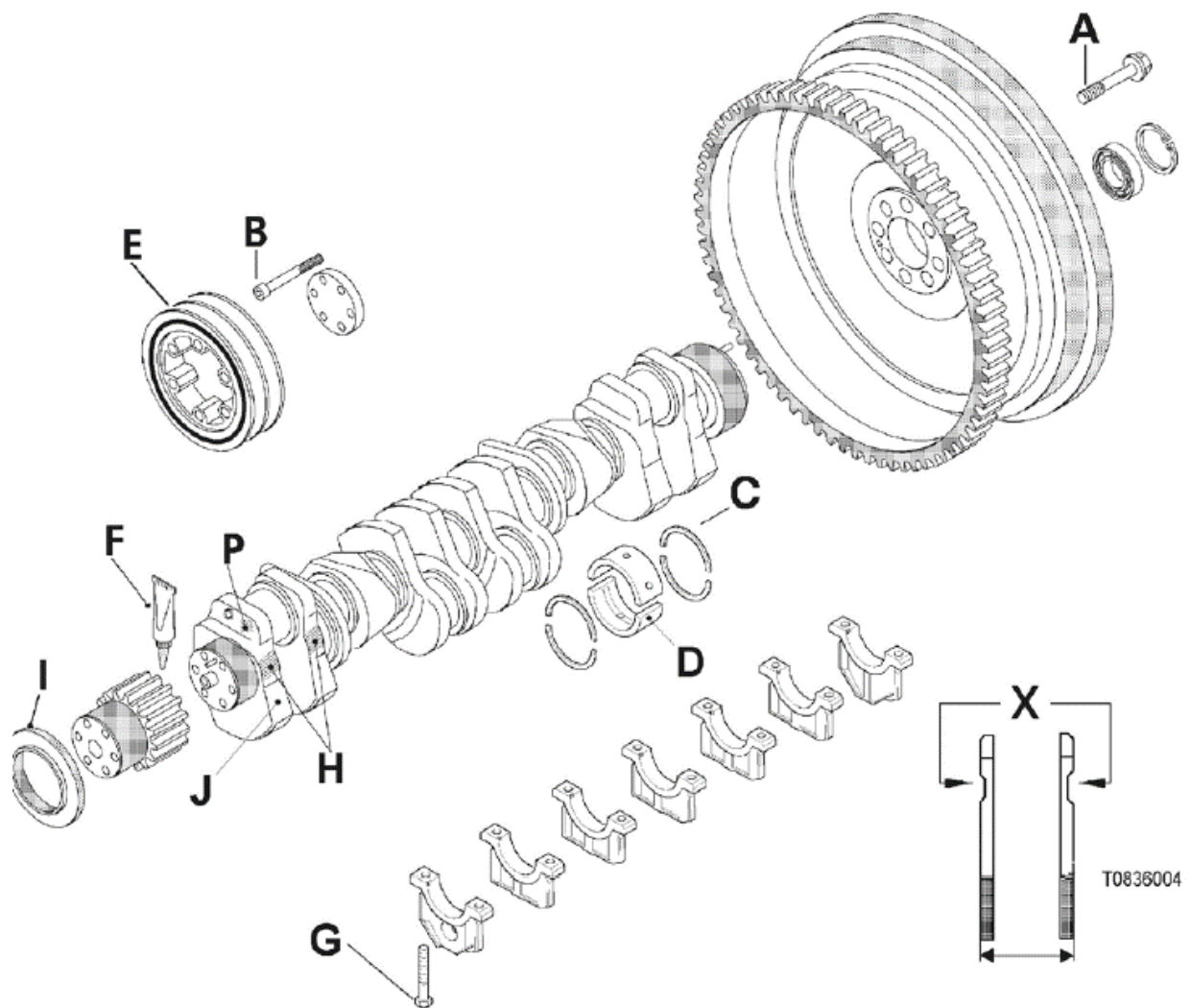


Рисунок 1.6 – Колінчастий вал

Шатун (рис. 1.7), вдосконалений за довжиною і ваговими характеристиками, виконаний методом штампування. Кришка і штанга закріплені за допомогою пазів і пружин.

Різниця у вазі шатуна на один комплект досягає макс. 50 г.

Довжина шатуна розмір G = 196 мм (Euro 3).

Гільза поршневого пальця після запресовування піддається тонкому обточуванню.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           | 12    |

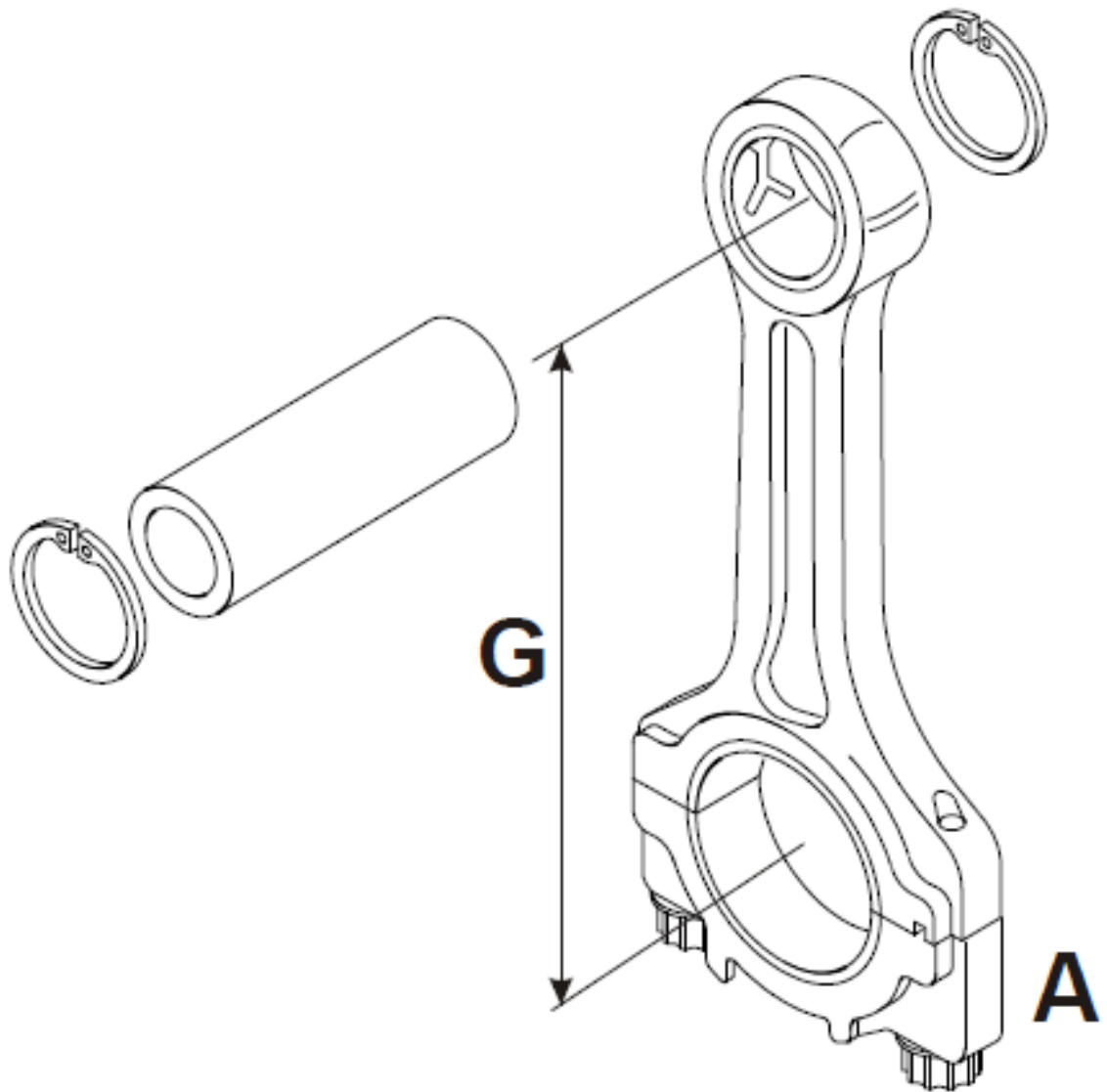


Рисунок 1.7 – Шатун

Поршні (рис. 1.8) виготовлені з алюмінієвого сплаву методом лиття і несуть 3 поршневі кільця, водночас верхнє кільце ущільнювача розміщене у зміцнювальній вставці.

Друге кільце - це комбіноване кільце ущільнювача-маслоз'ємне кільце, а третє виконує функцію тільки маслоз'ємного кільця.

Камера згоряння, що міститься винятково в поршні, охолоджується знизу мастилом, що надходить із розпилювачів.

Поршні можна вийняти разом із шатуном у напрямку вгору.

Різниця у вазі поршнів на один двигун у комплекті становить макс. 40 г.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 13    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

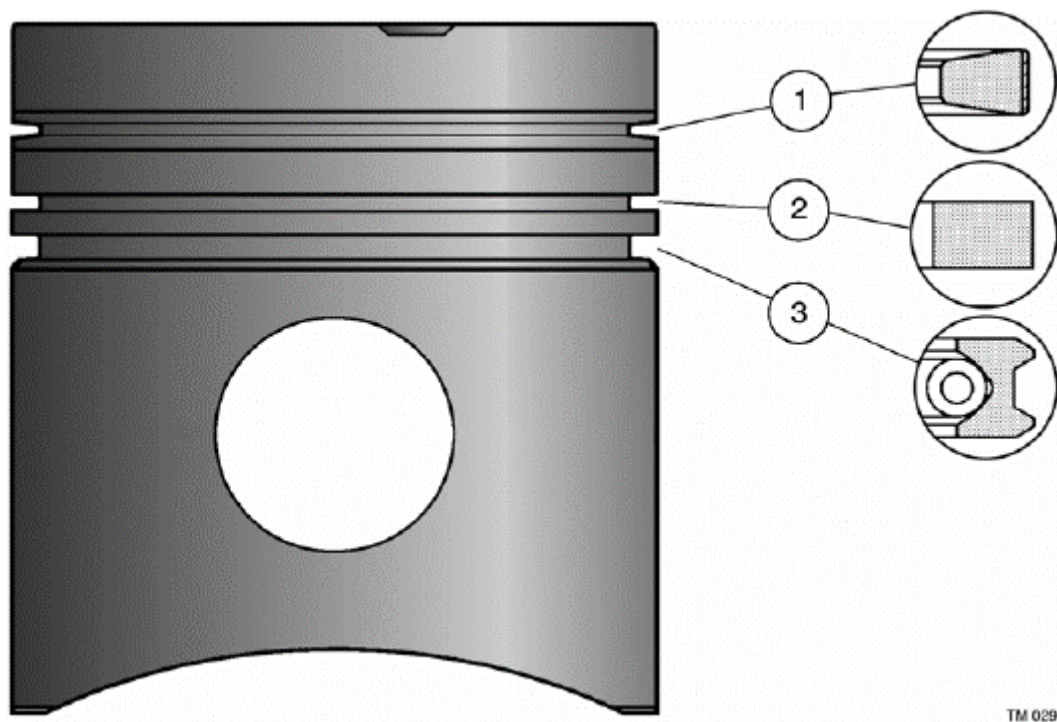


Рисунок 1.8 – Поршень

Головки циліндрів (рис. 1.9) двигунів Euro 2 і Euro 3 мають відмінності. Три здвоєні головки циліндрів виготовлені з легованого сірого чавуну з влитими вихровими впускними і випускними каналами, розташованими діаметрально протилежно. Головка циліндра Euro 3 має різні завихрення. Усаджені фаски впускних і випускних каналів і запресовані напрямні втулки клапанів, головка кріпиться за допомогою чотирьох гвинтів з буртами, розподілених рівномірно по діаметру циліндра.

Кришка клапанної коробки, виконана з алюмінієвого чавуну і покрита всередині масою для шумоізоляції, закриває голівку циліндра разом з елементами регулювання.

Всмоктувальна труба з каналами для падаючих потоків, що зумовлює незначні втрати в тиску, розташована на лівому боці головки циліндра, а випускний колектор - на правому боці. Поруч із всмоктувальною трубою на лівій стороні головки гвинтами прикріплено збірну трубу системи рідинного охолодження, що має випускні отвори, по одному на циліндр.

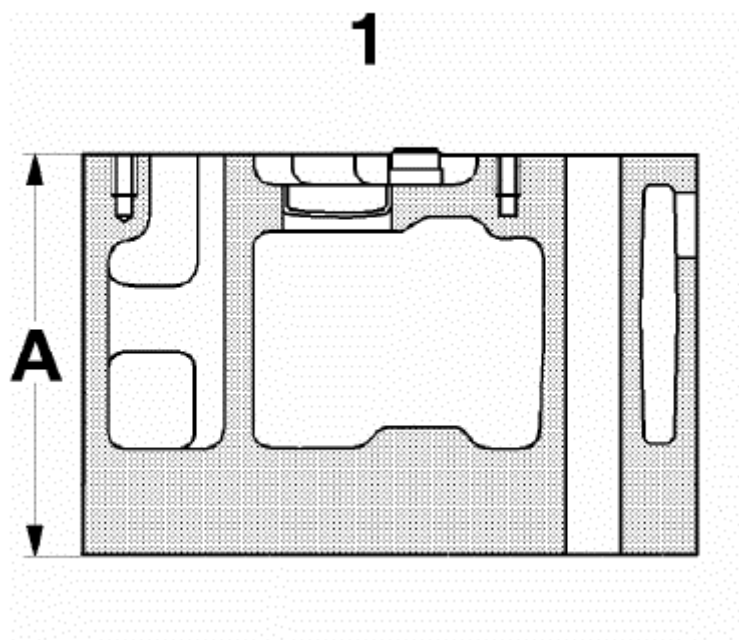


Рисунок 1.9 – Головка циліндрів

## РОЗДІЛ 2

### ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ПІДГОТОВКИ ПАЛИВА

Системи підготовки палива в автомобільних двигунах відіграють важливу роль у забезпеченні стабільної та ефективної роботи двигуна. Вони призначені для очищення, транспортування та подачі палива у відповідній кількості та якості, що забезпечує оптимальні умови згоряння [3].

#### Основні особливості застосування систем підготовки палива

##### 1. Очищення палива

Очищення палива є ключовим елементом систем підготовки палива в автомобільних двигунах. Забруднення, які можуть потрапити у паливо під час його зберігання, транспортування або заправки, здатні негативно впливати на роботу паливної системи, спричиняючи зношування компонентів, зниження ефективності роботи двигуна та збільшення витрат пального.

##### *Значення очищення палива*

###### 1. Захист паливної системи

Забруднення у вигляді механічних частинок, води чи мікроорганізмів можуть пошкодити форсунки, паливні насоси або клапани. Системи очищення захищають ці компоненти, продовжуючи термін їх експлуатації.

###### 2. Покращення згоряння палива

Очищене паливо забезпечує більш рівномірне та ефективне згоряння, що позитивно впливає на потужність двигуна, знижує рівень шкідливих викидів і забезпечує економію пального.

###### 3. Профілактика поломок

Видалення води та інших домішок запобігає корозії паливних систем, закупорюванню форсунок і засміченню паливопроводів, що зменшує ризик аварійних ситуацій.

##### *Етапи очищення палива*

###### 1. Фільтри грубого очищення

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 16    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

Використовуються для видалення великих частинок бруду та механічних домішок. Розташовуються перед паливним насосом для запобігання його пошкодженню.

## 2. Фільтри тонкого очищення

Видаляють дрібні частинки забруднень, що залишилися після грубого очищення. Забезпечують подачу чистого палива до форсунок або інжекторів.

## 3. Відокремлення води

Більшість сучасних фільтрів оснащені сепараторами для видалення води, яка може накопичуватися в паливі через конденсацію або низьку якість зберігання.

## 4. Ультратонке очищення

У сучасних системах прямого впорскування (наприклад, Common Rail) застосовуються фільтри ультратонкого очищення, здатні видаляти частинки розміром до декількох мікронів, що необхідно для забезпечення стабільної роботи високотехнологічних систем.

### *Використання очищення палива в різних типах двигунів*

- Дизельні двигуни: Особливо чутливі до забруднень через складну систему уприскування палива. Якісне очищення палива забезпечує стабільну роботу та продовжує термін служби форсунок.
- Бензинові двигуни: Вимогливі до очищення через необхідність підтримання стабільного згоряння і уникнення засмічення інжекторів.
- Гібридні системи: Очищення необхідне для забезпечення стабільної роботи ДВЗ у комбінації з електричною системою приводу.

**Очищення палива є критично важливою особливістю систем підготовки палива, що забезпечує захист паливної системи, економічність роботи двигуна та зниження рівня шкідливих викидів. Використання ефективних фільтрів і систем сепарації дозволяє гарантувати стабільну роботу транспортного засобу навіть в умовах низької якості пального.**

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 17    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

## **2. Підігрів палива**

Підігрів палива є важливою складовою систем підготовки палива, особливо для дизельних двигунів, що працюють в умовах низьких температур. Ця функція спрямована на забезпечення належної в'язкості палива, його транспортування та ефективного згоряння.

### *Значення підігріву палива*

#### **1. Запобігання загущенню палива**

За низьких температур дизельне паливо може утворювати парафінові кристали, що призводить до його загущення. Це може викликати засмічення паливопроводів, фільтрів та інжекторів, що ускладнює або унеможливорює запуск двигуна.

#### **2. Забезпечення стабільної роботи двигуна**

Підігрів палива дозволяє підтримувати його оптимальну температуру, забезпечуючи рівномірне надходження пального до системи уприскування, що важливо для стабільної роботи двигуна.

#### **3. Захист паливної системи**

Попередження утворення кристалів і згустків знижує зношування компонентів паливної системи, таких як форсунки та насоси високого тиску.

### *Принципи роботи систем підігріву палива*

#### **1. Електричний підігрів**

- Використовує нагрівальні елементи, що працюють від бортової електромережі.
- Найчастіше встановлюється у паливних фільтрах або поблизу паливного бака.

#### **2. Теплообмінний підігрів**

- Використовує тепло від охолоджувальної рідини двигуна.
- Нагріта рідина циркулює через спеціальний теплообмінник, підігріваючи паливо перед його подачею в систему уприскування.

#### **3. Комбіновані системи**

|     |      |             |        |      |                                  |       |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | <i>KPM.142.6221м.24.04.00.ПЗ</i> | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                                  | 18    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                  |       |

- Поєднують електричний і теплообмінний підігрів для забезпечення максимальної ефективності у будь-яких умовах.

#### *Використання підігріву палива в різних умовах*

##### 1. Низькі температури

- Забезпечує роботу двигуна в умовах сильного холоду, характерного для зимових періодів або північних регіонів.

##### 2. Погана якість палива

- Допомогає покращити властивості пального із підвищеним вмістом парафінів чи домішок.

##### 3. Екстремальні умови експлуатації

- Використовується в комерційних транспортних засобах, що працюють у складних кліматичних умовах.

#### *Переваги використання підігріву палива*

- Забезпечує надійний запуск двигуна за низьких температур.
- Підвищує ефективність згоряння, що сприяє економії палива.
- Зменшує ризик поломок паливної системи.
- Підвищує екологічність, знижуючи кількість шкідливих викидів.

**Підігрів палива є необхідною особливістю систем підготовки палива, яка забезпечує стабільну роботу двигуна в умовах низьких температур і складного клімату. Використання сучасних систем підігріву підвищує надійність та довговічність роботи транспортного засобу, забезпечуючи його ефективність і безпеку.**

#### **3. Регулювання тиску та подачі**

Регулювання тиску та подачі палива є важливим аспектом роботи систем підготовки палива автомобільних двигунів. Це завдання забезпечує точність та стабільність подачі палива у відповідності до вимог двигуна, що є ключовим для досягнення оптимального згоряння, ефективності роботи та мінімізації викидів [4].

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 19    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

### *Значення регулювання тиску та подачі*

#### 1. Стабільність роботи двигуна

Забезпечення постійного рівня тиску в паливній системі гарантує рівномірний потік палива до форсунок чи інжекторів, що дозволяє двигуну працювати без перебоїв.

#### 2. Ефективність згоряння

Оптимальний тиск і обсяг подачі палива сприяють повнішому згорянню, що підвищує потужність двигуна та знижує витрати пального.

#### 3. Захист компонентів системи

Надмірний тиск або його коливання можуть пошкодити форсунки, паливні насоси чи інші компоненти системи. Регулювання запобігає таким проблемам, забезпечуючи довговічність паливної системи.

### *Принципи регулювання тиску та подачі*

#### 1. Паливні насоси високого та низького тиску

- Насос низького тиску подає паливо до системи підготовки, забезпечуючи базовий рівень тиску.

- Насос високого тиску забезпечує тиск, необхідний для впорскування палива у камеру згоряння.

#### 2. Регулятори тиску

- Спеціальні клапани або регулятори автоматично підтримують необхідний рівень тиску в системі. Вони коригують подачу палива залежно від навантаження на двигун і його режиму роботи.

#### 3. Датчики та електронні системи

- Сучасні системи підготовки палива оснащені датчиками, які контролюють тиск і обсяг подачі в реальному часі. Електронний блок управління (ECU) аналізує ці дані та регулює роботу насосів і клапанів для досягнення оптимальних параметрів.

### *Особливості застосування*

#### 1. Інжекторні двигуни

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 20    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

У системах із прямим впорскуванням (наприклад, Common Rail) регулювання тиску є критично важливим, оскільки забезпечує точну подачу палива під високим тиском для кожного циклу роботи двигуна.

## 2. Традиційні паливні системи

У карбюраторних чи механічних системах регулятори тиску забезпечують подачу палива в стабільному обсязі для підтримки потрібного співвідношення повітря та пального.

## 3. Екстремальні умови експлуатації

Для транспортних засобів, що працюють у складних умовах (високі температури, велике навантаження), системи регулювання забезпечують адаптацію до змінних параметрів для уникнення перегріву чи збоїв у роботі двигуна.

### *Переваги регулювання тиску та подачі*

- Ефективність: Зниження витрат пального через точну подачу.
- Надійність: Зменшення ризику поломок і пошкоджень компонентів системи.
- Екологічність: Зменшення викидів завдяки оптимальному згорянню палива.
- Продуктивність: Підтримка потужності двигуна в усіх режимах роботи.

**Регулювання тиску та подачі палива є необхідною особливістю систем підготовки палива, яка забезпечує ефективність, стабільність та надійність роботи автомобільного двигуна. Завдяки сучасним технологіям контролю та управління, ці системи дозволяють досягати високих показників продуктивності та екологічності транспортних засобів.**

## 4. Дегазація палива

Дегазація палива є важливою функцією сучасних систем підготовки палива, спрямованою на видалення повітряних і газових домішок з паливної

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 21    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

системи. Цей процес дозволяє забезпечити стабільну роботу двигуна, знизити ризик пошкоджень і підвищити ефективність використання пального.

#### *Значення дегазації палива*

##### 1. Запобігання перебоєм у роботі двигуна

Наявність повітря або газів у паливопроводах може викликати перебої у подачі палива до форсунок або інжекторів, що негативно впливає на роботу двигуна, призводить до зниження його потужності або навіть до повного зупинення.

##### 2. Захист паливної системи

Повітряні бульбашки можуть викликати кавітацію в насосах, що призводить до їх передчасного зношування або пошкодження. Дегазація допомагає уникнути цих проблем.

##### 3. Оптимізація роботи інжекторів

У системах високого тиску, таких як Common Rail, навіть невелика кількість повітря може викликати неправильне розпилення палива форсунками. Дегазація забезпечує точність роботи інжекторів, що важливо для ефективного згоряння.

#### *Принципи дегазації палива*

##### 1. Сепарація газів

- У спеціальних дегазаційних пристроях паливо проходить через камери, де знижується тиск або створюється вихровий потік. Це сприяє виділенню повітря та газів із рідини.

- Виділені гази виводяться з паливної системи через спеціальні клапани або повертаються в паливний бак.

##### 2. Вакуумна дегазація

- Створення вакууму у визначеній зоні паливопроводу дозволяє ефективно видаляти розчинені гази. Ця технологія особливо ефективна у високоточних системах підготовки палива.

##### 3. Використання дегазаційних фільтрів

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 22    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

- Деякі паливні фільтри оснащені функцією дегазації, що дозволяє одночасно видаляти механічні домішки та повітряні бульбашки.

#### *Застосування дегазації в різних типах двигунів*

##### 1. Дизельні двигуни

- Особливо чутливі до наявності повітря у системі, оскільки це може викликати перебої у роботі насосів високого тиску та форсунок.

##### 2. Бензинові двигуни

- У системах з прямим упорскуванням дегазація забезпечує стабільну роботу інжекторів і точність подачі палива.

##### 3. Гібридні двигуни

- Дегазація допомагає адаптувати систему підготовки палива до змінних умов роботи, характерних для гібридних транспортних засобів.

#### *Переваги дегазації палива*

- Забезпечує стабільність роботи двигуна в усіх режимах.
- Захищає паливні насоси та форсунки від пошкоджень.
- Підвищує ефективність згоряння палива, знижуючи витрати пального.
- Зменшує рівень шкідливих викидів завдяки оптимальному згорянню.

**Дегазація палива є важливою особливістю систем підготовки палива, яка забезпечує ефективну роботу двигунів, особливо у високотехнологічних системах упорскування. Вона сприяє підвищенню надійності паливної системи, зниженню витрат на обслуговування та забезпечує комфортну та безпечну експлуатацію транспортних засобів.**

#### **5. Захист паливної системи**

Захист паливної системи є ключовою функцією сучасних систем підготовки палива. Він спрямований на зменшення впливу забруднень, запобігання пошкодженням компонентів і забезпечення стабільної та довготривалої роботи двигуна. Ця особливість набуває особливого значення в

|     |      |             |        |      |                                  |       |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | <i>KPM.142.6221м.24.04.00.ПЗ</i> | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                                  | 23    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                  |       |

умовах експлуатації транспортних засобів, де якість палива може бути недостатньо високою [5].

#### *Значення захисту паливної системи*

##### 1. Продовження терміну служби компонентів

Паливна система складається з чутливих елементів, таких як насоси, форсунки та інжектори, які можуть швидко зношуватися під впливом забруднень. Захист системи знижує ризик їх поломки та подовжує термін служби.

##### 2. Запобігання корозії

Вода або хімічні домішки в паливі можуть викликати корозію металевих частин системи. Системи підготовки палива оснащені фільтрами та сепараторами, які видаляють ці шкідливі домішки.

##### 3. Стабільна робота двигуна

Забруднення або перепади тиску у паливній системі можуть призводити до перебоїв у роботі двигуна. Захист забезпечує стабільну подачу палива, підтримуючи ефективність згоряння та потужність двигуна.

#### *Елементи системи захисту паливної системи*

##### 1. Паливні фільтри

- Фільтри грубого очищення видаляють великі частинки бруду, піску та іржі.
- Фільтри тонкого очищення затримують дрібні частинки та забезпечують максимальну чистоту палива перед його подачею у форсунки.

##### 2. Сепаратори води

- Забезпечують відокремлення та видалення води з палива, яка може потрапляти до системи через конденсацію або недостатньо якісне паливо.

##### 3. Регулятори тиску

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 24    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

- Контролюють стабільність тиску в системі, запобігаючи пошкодженню насосів та інших компонентів через надмірний тиск або його перепади.

#### 4. Датчики та системи моніторингу

- Сучасні системи оснащені датчиками, які контролюють стан палива, рівень забруднень і тиск у системі. У разі виявлення відхилень система може автоматично коригувати роботу або попереджати про необхідність обслуговування.

### *Особливості застосування захисту у різних типах двигунів*

#### 1. Дизельні двигуни

Більш вимогливі до чистоти палива через складну конструкцію форсунок і насосів високого тиску. Захист запобігає їх засміченню та зношуванню.

#### 2. Бензинові двигуни

Хоч менш чутливі до домішок, все ж потребують захисту для забезпечення рівномірної подачі палива і запобігання пошкодження інжекторів.

#### 3. Гібридні системи

Вимагають особливої уваги до захисту паливної системи, оскільки паливо може залишатися в баку тривалий час, збільшуючи ризик утворення домішок.

### *Переваги захисту паливної системи*

Надійність: Зменшує ризик поломок і аварій.

Ефективність: Підвищує продуктивність і економічність роботи двигуна.

Екологічність: Знижує викиди шкідливих речовин завдяки ефективному згорянню.

Зниження витрат: Скорочує витрати на ремонт і обслуговування.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 25    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

Захист паливної системи є важливою особливістю застосування систем підготовки палива. Він забезпечує стабільну, надійну та ефективну роботу двигуна, подовжує термін служби компонентів та знижує витрати на експлуатацію транспортного засобу. Впровадження сучасних технологій захисту є необхідним для забезпечення якості та довговічності роботи паливних систем.

#### **6. Адаптація до різних видів палива**

Сучасні транспортні засоби часто працюють у різних умовах та з використанням різних видів пального. Адаптація систем підготовки палива до таких умов є важливою особливістю, яка забезпечує ефективність і надійність роботи двигуна незалежно від якості чи типу пального.

##### *Значення адаптації до різних видів палива*

#### **1. Розширення можливостей транспортного засобу**

Системи, які можуть працювати з різними типами пального (традиційними, альтернативними чи змішаними), дозволяють адаптувати транспорт до різних ринків і умов експлуатації.

#### **2. Забезпечення стабільної роботи двигуна**

Навіть при використанні пального низької якості чи нестандартного складу системи підготовки палива дозволяють мінімізувати негативний вплив на двигун.

#### **3. Підвищення екологічності**

Можливість використання біопалива, синтетичного пального чи їхніх сумішей сприяє зниженню викидів шкідливих речовин та зменшенню залежності від традиційних видів палива.

##### *Типи пального, до яких адаптуються системи підготовки*

#### **1. Традиційне паливо**

- Бензин і дизельне паливо залишаються основними джерелами енергії для більшості двигунів. Системи підготовки адаптуються до різного октанового числа, в'язкості та рівня домішок.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 26    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

## 2. Біопаливо

- Біодизель (B5, B20, B100) або етанол (E10, E85) потребують особливих матеріалів і налаштувань, щоб уникнути корозії та зношування компонентів.

## 3. Синтетичне паливо

- Розроблене на основі переробки вуглецю чи відновлюваних джерел енергії, синтетичне паливо має інші фізико-хімічні властивості, що вимагає спеціальних налаштувань системи підготовки.

## 4. Суміші пального

- Використання змішаних видів палива (наприклад, дизеля з домішками біопального) потребує гнучкої роботи фільтрів, насосів і датчиків.

## 5. Газоподібне паливо

- Системи, адаптовані до зрідженого природного газу (LPG) чи стисненого природного газу (CNG), забезпечують контроль тиску, температури та точну подачу.

*Особливості систем підготовки для адаптації до різного пального*

### 1. Матеріали стійкі до впливу агресивних домішок

- Використовуються спеціальні покриття та ущільнення, що запобігають корозії та пошкодженням.

### 2. Регулювання параметрів подачі

- Системи підготовки автоматично налаштовуються на різні в'язкість, щільність і калорійність пального, забезпечуючи його оптимальне згоряння.

### 3. Фільтрація та очищення

- Для різних видів пального застосовуються специфічні фільтри, які враховують розмір часток і хімічний склад домішок.

### 4. Електронне управління (ECU)

- Сучасні системи оснащені блоками управління, які аналізують склад і якість палива, автоматично коригуючи параметри роботи двигуна.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 27    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

### *Переваги адаптації до різних видів палива*

- Економічність: Можливість використання альтернативного чи дешевшого пального.
- Екологічність: Зниження шкідливих викидів при використанні біо- чи синтетичного палива.
- Гнучкість: Двигуни можуть працювати в будь-яких регіонах, незалежно від якості доступного пального.
- Надійність: Системи знижують негативний вплив пального низької якості на компоненти двигуна.

**Адаптація до різних видів палива є важливою особливістю сучасних систем підготовки палива, що дозволяє забезпечити стабільну та ефективну роботу двигуна в умовах змінних джерел енергії. Ця функція підвищує гнучкість, довговічність та екологічність транспортних засобів, роблячи їх більш універсальними та придатними для експлуатації в сучасному світі.**

### **7. Енергоефективність та екологічність**

Системи підготовки палива відіграють ключову роль у забезпеченні енергоефективності та екологічності роботи транспортних засобів. Вони спрямовані на оптимізацію використання пального, підвищення його ефективного згоряння та зниження рівня шкідливих викидів в атмосферу.

#### *Енергоефективність систем підготовки палива*

##### **1. Оптимальне використання пального**

Системи підготовки забезпечують точну подачу пального до камери згоряння, регулюючи його кількість відповідно до режиму роботи двигуна. Це дозволяє зменшити перевитрати пального та підвищити економічність.

##### **2. Покращене згоряння**

Завдяки попередній підготовці (очищенню, дегазації, підігріву), паливо згорає рівномірніше та повніше, що підвищує ККД двигуна і зменшує втрати енергії.

|     |      |             |        |      |                                  |       |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | <i>КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ</i> | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                                  | 28    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                  |       |

### 3. Скорочення втрат енергії в системі

Сучасні системи мінімізують втрати енергії при транспортуванні та впорскуванні палива, знижуючи тертя, витоки та втрати тепла.

### 4. Адаптація до умов експлуатації

Системи автоматично налаштовуються на зміни навантаження, температури та якості пального, забезпечуючи максимальну ефективність у будь-яких умовах.

#### *Екологічність систем підготовки палива*

#### 1. Зниження викидів шкідливих речовин

Оптимізоване згоряння палива сприяє зменшенню утворення шкідливих газів, таких як оксиди азоту (NOx), чадний газ (CO) і тверді частки (PM).

#### 2. Використання альтернативного пального

Завдяки адаптації до біопалива, синтетичного пального чи змішаних видів, системи сприяють зменшенню вуглецевого сліду та переходу на більш екологічні джерела енергії.

#### 3. Зменшення утворення відходів

Системи очищення палива запобігають утворенню відходів у вигляді осаду чи корозійних домішок у двигуні, що сприяє тривалій експлуатації компонентів без додаткового ремонту чи заміни.

#### 4. Контроль рівня викидів

Сучасні системи підготовки палива оснащені датчиками та електронними блоками управління (ECU), які аналізують роботу двигуна та викиди, автоматично оптимізуючи параметри для відповідності екологічним стандартам.

#### *Приклади енергоефективних та екологічних рішень*

#### 1. Системи Common Rail

Забезпечують точне впорскування палива під високим тиском, що підвищує енергоефективність і знижує рівень викидів.

#### 2. Фільтри тонкого очищення

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 29    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

Забезпечують чистоту палива, що знижує утворення шкідливих домішок у процесі згоряння.

### 3. Технології рекуперації тепла

Використовують теплову енергію двигуна для підігріву палива, що зменшує енергетичні втрати.

#### *Переваги енергоефективності та екологічності*

- Економія пального: Зниження витрат на експлуатацію транспортного засобу.
- Довговічність компонентів: Зменшення зношування завдяки оптимальній роботі двигуна.
- Зниження впливу на довкілля: Менше викидів парникових газів та шкідливих речовин.
- Відповідність екологічним стандартам: Можливість використання транспортних засобів у регіонах із суворими екологічними вимогами.

**Енергоефективність та екологічність є важливими особливостями систем підготовки палива, які дозволяють зробити роботу двигунів більш економічною, екологічною та надійною. Використання сучасних технологій у цих системах сприяє зниженню впливу транспорту на навколишнє середовище та забезпечує ефективне використання енергетичних ресурсів.**

Системи підготовки палива автомобільних двигунів є невід'ємною частиною сучасних транспортних засобів. Їх правильне застосування та обслуговування забезпечують надійну роботу двигуна, знижують витрати пального, підвищують екологічність транспорту та продовжують термін служби його компонентів.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 30    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

### РОЗДІЛ 3

## АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ДИСПЕРГУВАННЯ ПАЛИВА В ДВИГУНІ MAN D-0834/36

### Розрахунок робочого циклу двигуна MAN D-0834/36

У кваліфікаційній роботі використано класичну методику теплового розрахунку, розроблену В. І. Гріневецьким і вдосконалену Є. К. Мазінгом.

Класична методику теплового розрахунку двигунів внутрішнього згоряння, створена В. І. Гріневецьким, є однією з основоположних у галузі теплотехніки. Вона спрямована на визначення основних характеристик теплового циклу двигуна, таких як температура, тиск і об'єм робочого тіла в різних фазах його роботи. Завдяки вдосконаленням, внесеним Є. К. Мазінгом, ця методику стала більш точною та універсальною для аналізу різних типів двигунів.

Методику ґрунтується на ідеях циклу Карно та аналізі реальних термодинамічних процесів, які відбуваються в двигунах внутрішнього згоряння. Основні етапи включають:

1. Розрахунок ізобарного, ізохорного та адіабатичного процесів. Визначення теплових і механічних параметрів у межах кожної фази циклу.

2. Облік втрат тепла та нерівномірності процесів. Гріневецький впровадив поправки для реальних умов роботи двигуна, включаючи втрати через теплопровідність і неідеальність згоряння.

3. Тепловий баланс двигуна. Аналіз співвідношення отриманого тепла та його використання для виконання роботи, відведення до системи охолодження та втрат в оточуюче середовище.

Є. К. Мазінг модернізував підхід, розширивши його застосування та підвищивши точність результатів. Серед основних вдосконалень:

1. Розробка математичних моделей.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 31    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

Мазінг запровадив детальніші рівняння для опису фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час згоряння палива.

## 2. Облік динаміки згоряння.

Методика Мазінга враховує швидкість згоряння палива та особливості поширення полум'я у камері згоряння, що дозволяє більш точно прогнозувати температурні та тискові параметри.

## 3. Врахування властивостей робочого тіла.

Удосконалення включають аналіз змін фізичних і хімічних властивостей газів, що утворюються під час згоряння палива.

## 4. Моделювання теплових втрат.

Мазінг розробив підхід для детального обліку втрат тепла через стінки камери згоряння та інші елементи двигуна, що значно підвищило точність розрахунків.

### Практичне значення методики

#### 1. Проектування двигунів.

Методика використовується для оптимізації теплових параметрів двигуна на етапі його проектування.

#### 2. Аналіз ефективності.

Дозволяє визначати ступінь ефективності використання палива та тепла в різних умовах роботи двигуна.

#### 3. Модернізація та вдосконалення двигунів.

Використання теплового розрахунку допомагає у впровадженні інноваційних рішень для зменшення теплових втрат і підвищення екологічності двигунів.

Методика теплового розрахунку В. І. Гріневецького, вдосконалена Є. К. Мазінгом, залишається актуальною та широко використовується в сучасному двигунобудуванні. Її універсальність і точність дозволяють ефективно оцінювати роботу двигунів та знаходити шляхи для їх оптимізації, забезпечуючи високу продуктивність і енергоефективність [6].

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 32    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

Вибір й обґрунтування вихідних даних для теплового розрахунку

Температура навколишнього повітря  $T_0$ . Приймаємо  $T_0 = 303$  К (погіршені умови застосування).

Тиск навколишнього повітря  $p_0$ . В усіх випадках варто приймати  $p_0 = 0,1$  МПа (стандартні атмосферні умови).

Ступінь стиску  $\varepsilon$ . При призначенні ступеня стиску варто враховувати розміри циліндра і спосіб сумішоутворення. При нерозділеній камері згоряння для ВОД  $\varepsilon = 15 \dots 18$ . Приймаємо  $\varepsilon = 15$ .

Коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$ . 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  $\alpha$  робиться з вибором оптимального значення  $\Pi_k$ . З урахуванням переліченого встановлюємо  $\alpha = 2,055$ .

Показник адіабати повітря  $k_s = 1,41$ .

Механічний ККД турбіни  $\eta_{\text{мех}} = 0,98$ .

Адіабатний ККД турбіни  $\eta_{\text{мад}} = 0,72$ .

Коефіцієнт залишкових газів  $\gamma_r$ . Вплив на значення цього коефіцієнту завдають тип двигуна, особливості повітропостачання і газообміну. У ВОД  $\gamma_r = 0,02 - 0,08$ . Приймаємо  $\gamma_r = 0,04$ .

Коефіцієнт використання теплоти в точці  $z$  ( $\xi_z$ ), та в точці  $b$  ( $\xi_b$ ). Ця величина змінюється в широких межах і залежить від ступеня досконалості двигуна. Найкраще ці величини призначити після аналізу теплового балансу двигунів, близьких до проектного. Для ВОД  $\xi_z = 0,75 - 0,94$ ;  $\xi_b = 0,86 - 0,98$  [5]. Приймаємо  $\xi_z = 0,92$ ;  $\xi_b = 0,95$ .

Ступінь підвищення тиску при згорянні  $\lambda$ . Для високо форсованих двигунів  $\lambda = 1,3 \dots 2,0$  [1]. Приймаємо  $\lambda = 1,4$ .

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

Приймаємо  $\Delta T_a = 20$  К.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 33    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

Коефіцієнт скруглення індикаторної діаграми  $\zeta$ . Величину цього коефіцієнту вибирають на підставі дослідних даних, звертають на тип двигуна та особливості системи газообміну. Приймаємо  $\zeta = 0,98$ .

Зменшення тиску у повітроохолоджувачі  $\Delta P_{ox}$ . Повітроохолоджувач представляє собою опір на шляху повітря, тому у ньому відбувається зменшення тиску повітря. Приймаємо  $\Delta P_{ox} = 0,004$  МПа.

Температура залишкових газів  $T_x$ . Для двигунів такого типу  $T_x$  знаходиться у межах 700...900 К. Приймаємо  $T_x = 800$  К.

Хімічний склад палива. Розрахунок проводиться для двигуна, який працює на дизельному пальному. Масовий склад пального:

Вуглець – С = 0,87 кг;

Водень – Н = 0,126 кг;

Сірка – S = 0 кг;

Кисень – О = 0,004 кг.

Нижча теплота згоряння палива  $Q_{zd}$ . Для дизельного пального приймаємо  $Q_{zd} = 42700$  кДж/кг.

Коефіцієнт тактності Z. Це кількість робочих ходів поршня за один оберт колінчатого валу. Z = 0,5.

*Розрахунок робочого циклу*

Розрахунок процесу наповнення

$$T_k = T_0 \times \left[ 1 + \frac{\left( \frac{P_k}{P_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right] = 303 \times \left[ 1 + \frac{\left( \frac{0,25}{0,1013} \right)^{0,286} - 1}{0,842} \right] = 409,09$$

$$T_s = T_k - \eta_o \times (T_k - T_0) = 409,09 - 0,95 \times (409,09 - 303) = 308,305$$

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{308,305 + 20 + 0,04 \times 800}{1 + 0,04} = 346,447$$

$$P_s = P_k - \Delta P_{ox} = 0,25 - 0,004 = 0,246$$

$$P_a = 0,97 \times P_s = 0,955 \times 0,246 = 0,235$$

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 34    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_a}{P_s} \times \frac{T_s}{T_a} \times \frac{1}{1 + \gamma_r} \times (1 - \phi_n) = \frac{15}{15 - 1} \times \frac{0,235}{0,246} \times \frac{308,305}{346,447} \times \frac{1}{1 + 0,04} \times (1 - 0) = 0,876$$

#### Розрахунок процесу стиску

$$n_I = 1,362$$

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_I} = 0,235 \times 15^{1,362} = 9,383$$

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_I - 1} = 346,447 \times 15^{1,362 - 1} = 922,476$$

#### Розрахунок процесу згоряння

$$L = \frac{\alpha}{0,21} \times \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{2,055}{0,21} \times \left( \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} + \frac{0}{32} - \frac{0,004}{32} \right) = 1,016$$

$$\beta_0 = 1 + \frac{8 \times H + O}{32 \times L} = 1 + \frac{8 \times 0,126 + 0,004}{32 \times 1,016} = 1,0311$$

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,0299 + 0,04}{1 + 0,04} = 1,0299$$

$$x_z = \frac{\xi_z}{\xi_b} = \frac{0,85}{0,88} = 0,966$$

$$\beta_z = 1 + \left( \frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \times x_z = 1 + \left( \frac{1,0311 - 1}{1 + 0,04} \right) \times 0,968 = 1,029$$

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

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

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

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

$$C = \frac{\xi_z \times Q_n}{\alpha \times L_0} + \left[ (19,26 + 0,003 \times T_c) + 8,314 \times \lambda + \gamma_r \times ((20,47 + 0,0031 \times T_c) + 8,314 \times \lambda) \right] \times T_c$$

$$T_z = 1937$$

$$P_z = \lambda \times P_c = 1,4 \times 9,383 = 13,136$$

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 35    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

### Розрахунок процесу розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \times \frac{T_z}{T_c} = \frac{1,029}{1,4} \times \frac{1937}{922,476} = 1,543$$

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{15}{1,543} = 9,72$$

$$n_2 = 1,276$$

$$T_b = T_z \times \frac{1}{\delta^{n_2-1}} = 1937 \times \frac{1}{9,72^{1,276-1}} = 1034,0$$

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \frac{13,136}{9,72^{1,276}} = 0,722$$

### Визначення індикаторних показників

$$P'_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \times \left[ \lambda \times (\rho - 1) + \frac{\lambda \times \rho}{n_2 - 1} \times \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \times \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] =$$
$$= \frac{9,383}{15-1} \times \left[ 1,4 \times (1,543 - 1) + \frac{1,4 \times 1,543}{1,276-1} \times \left( 1 - \frac{1}{9,72^{1,276-1}} \right) - \frac{1}{1,362-1} \times \left( 1 - \frac{1}{15^{1,362-1}} \right) \right] = 1,798$$

$$P_i = P'_i \times \zeta \times (1 - \phi_n) = 1,798 \times 0,98 \times (1 - 0) = 1,762$$

$$g_i = 433 \times \frac{P_s \times \eta_n}{\alpha \times L_0 \times T_s \times P_i} = 433 \times \frac{0,246 \times 0,876}{2,055 \times 0,495 \times 308,305 \times 1,762} = 0,169$$

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \times Q_n} = \frac{3600}{0,169 \times 42700} = 0,5$$

### Визначення ефективних показників

$$P_e = P_i \times \eta_m = 1,762 \times 0,85 = 1,498$$

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_m = 0,5 \times 0,85 = 0,425$$

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,169}{0,85} = 0,1985$$

$$N_e = 13,1 \times D_c^2 \times S_c \times z \times P_e \times n \times i = 13,1 \times 0,108^2 \times 0,125 \times 0,5 \times 1,498 \times 2400 \times 6 = 206,018$$

$$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e} \times 100\% = \frac{206,018 - 206}{206,018} = 0,00854\%$$

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 36    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

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

Визначення дійсного  $P_k$  компресора на даному режимі роботи двигуна

Універсальна газова стала  $R = 287$  Дж/кг\*К

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

$$= \left( \frac{3,14 \times 0,108^2}{4} \right) \times 0,125 \times \left( \frac{0,246 \times 10^6}{287 \times 308,305} \right) \times 0,5 \times 6 \times 0,5 \times \left( \frac{2400}{60} \right) \times 1 = 0,351$$

$$G_t = G + g_e \times \frac{N_e}{3600} = 0,351 + 0,1985 \times \frac{206,018}{3600} = 0,363$$

$$P_r = \psi_t \times P_k = 0,815 \times 0,25 = 0,204$$

$$T_t = T_b \times \left( \frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{n_2-1}{n_2}} = 1034,0 \times \left( \frac{0,204}{0,722} \right)^{\frac{1,276-1}{1,276}} = 786,851$$

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

$$= \left( \frac{0,87}{12} \right) + \left( \frac{0,126}{2} \right) + [0,21 \times (2,055 - 1) \times 0,495] + (0,79 \times 2,055 \times 0,495) = 1,049$$

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

$$= \frac{1}{\frac{0,87}{12 \times 1,049 \times 189} + \frac{0,126}{2 \times 1,049 \times 461,6} + \frac{0,21 \times (2,055 - 1) \times 0,495}{1,049 \times 259,8} + \frac{0,79 \times 2,055 \times 0,495}{1,049 \times 296,8}} = 287,353$$

$$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \times T_t) + 8,314}{a_{vb} + b_b \times T_t} = \frac{(19,87 + 0,0031 \times 786,851) + 8,314}{19,87 + 0,0031 \times 786,851} = 1,376$$

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 37    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

$$\begin{aligned}
 \Pi_k &= \left[ 1 + \frac{\left( \frac{k_t}{k_t - 1} \right) \times R_t \times T_t \times \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{P_r}{P_0} \right)^{\frac{k_t - 1}{k_t}}} \right] \times \eta_{t.m} \times \eta_{t.ad} \times G_t}{G \times R \times T_0 \times \left( \frac{k_e}{k_e - 1} \right) \times \frac{1}{\eta_{k.ad}}} \right]^{\frac{1}{0,286}} \\
 &= \left[ 1 + \frac{\left( \frac{1,373}{1,373 - 1} \right) \times 287,353 \times 786,851 \times \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{0,175}{0,1} \right)^{\frac{1,373 - 1}{1,373}}} \right] \times 0,98 \times 0,72 \times 0,363}{0,363 \times 287 \times 303 \times \left( \frac{1,41}{1,41 - 1} \right) \times \frac{1}{0,842}} \right]^{\frac{1}{0,286}} = 2,47
 \end{aligned}$$

$$P_{kd} = \Pi_k \times P_0 = 2,47 \times 0,1013 = 0,2502$$

$$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}} \times 100\% = \frac{0,2502 - 0,25}{0,2072} = 0,084\%$$

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

#### *Розрахунок та побудова індикаторної діаграми*

Розрахункову індикаторну діаграму створюють на основі даних, отриманих у процесі розрахунку робочого циклу. Надалі ця діаграма слугує вихідними даними для проведення динамічного аналізу та розрахунків на міцність двигуна. Побудову діаграми здійснюють аналітичним методом, оскільки графічні способи мають значні похибки.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 38    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

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

Для розрахунку та побудови індикаторної діаграми необхідно ввести наступні дані, які приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 2.1 – Основні дані для побудови індикаторної діаграми

|                                        |        |
|----------------------------------------|--------|
| Показник політропи стиснення $n_1$     | 1,362  |
| Показник політропи розширення $n_2$    | 1,276  |
| Тиск кінця стиснення $p_c$ , МПа       | 9,383  |
| Максимальний тиск згоряння $p_z$ , МПа | 13,136 |
| Ступінь попереднього розширення $\rho$ | 1,543  |
| Ступінь стиснення $\epsilon$           | 15     |

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків для побудови індикаторної діаграми

| $V/V_c$ | $p_{ст}$ | $p_{розш}$ |
|---------|----------|------------|
| 1,00    | 13,14    |            |
| 1,00    | 9,38     | 13,14      |
| 1,54    | 5,20     | 13,14      |
| 2,22    | 3,17     | 8,28       |
| 2,89    | 2,21     | 5,90       |
| 3,56    | 1,66     | 4,52       |
| 4,23    | 1,31     | 3,62       |

|       |      |      |
|-------|------|------|
| 4,91  | 1,08 | 3,00 |
| 5,58  | 0,90 | 2,55 |
| 6,25  | 0,77 | 2,20 |
| 6,93  | 0,67 | 1,93 |
| 7,60  | 0,59 | 1,72 |
| 8,27  | 0,53 | 1,54 |
| 8,94  | 0,47 | 1,40 |
| 9,62  | 0,43 | 1,27 |
| 10,29 | 0,39 | 1,17 |
| 10,96 | 0,36 | 1,08 |
| 11,64 | 0,33 | 1,00 |
| 12,31 | 0,31 | 0,93 |
| 12,98 | 0,29 | 0,87 |
| 13,65 | 0,27 | 0,81 |
| 14,33 | 0,25 | 0,76 |
| 15,00 | 0,23 | 0,72 |
| 15,00 |      | 0,23 |

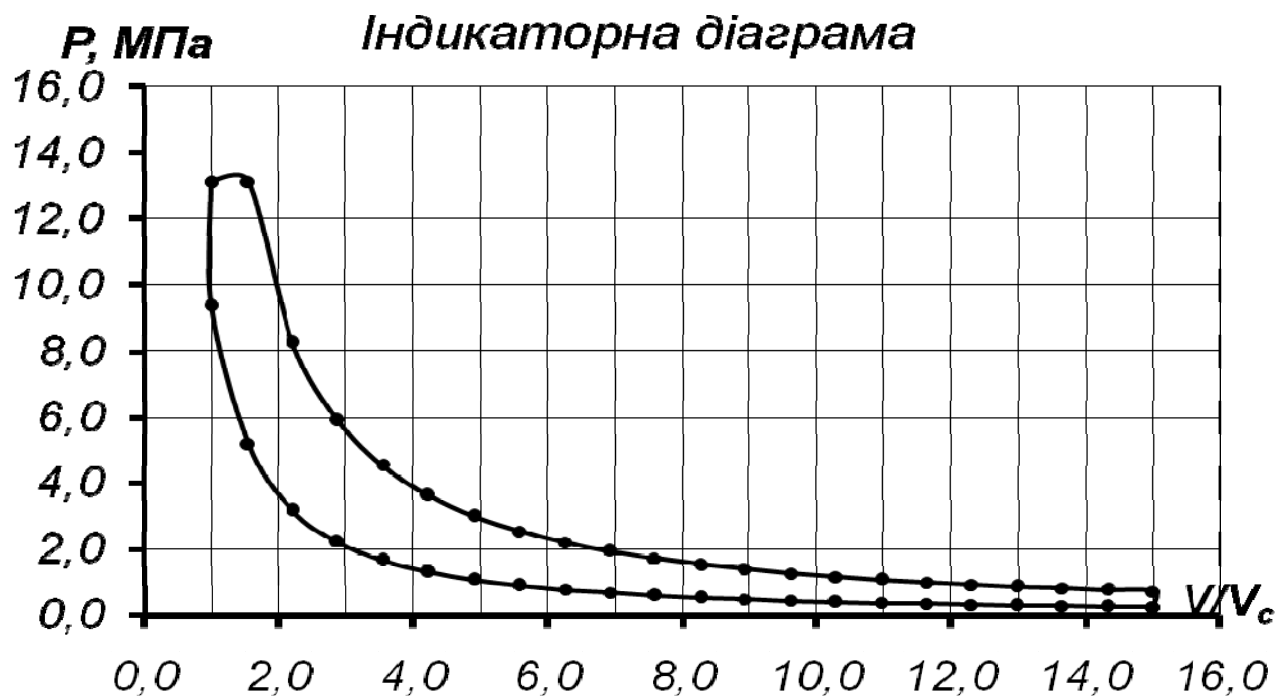


Рисунок 3.1 – Індикаторна діаграма

## Перевірочний розрахунок динаміки двигуна MAN D-0834/36

Діаграми динаміки використовуються для визначення сил у кривошипно-шатунному механізмі (КШМ) на будь-якому куті обертання колінчастого валу. Вони застосовуються під час розрахунків міцності основних деталей КШМ і аналізу їх врівноваженості. Ці діаграми створюються на основі розрахунку робочого циклу з урахуванням змін у діях сил, що виникають під час руху колінчастого валу. Сили, які діють у КШМ, поділяються на такі компоненти [7]:

$P_g$  – сила від тиску газів на поршень,

$P_j$  – сила інерції мас, що здійснюють поступальний рух,

$P_{дв}$  – сила, яка рухає механізм,

$N$  – нормальна сила, що притискає поршень до втулки,

$Q$  – сила, що діє вздовж шатуна,

$T$  – дотична сила (сила, дотична до кривошипа),

$Z$  – радіальна сила, що діє вздовж кривошипу.

Всі ці сили відображені на рисунку 3.2.

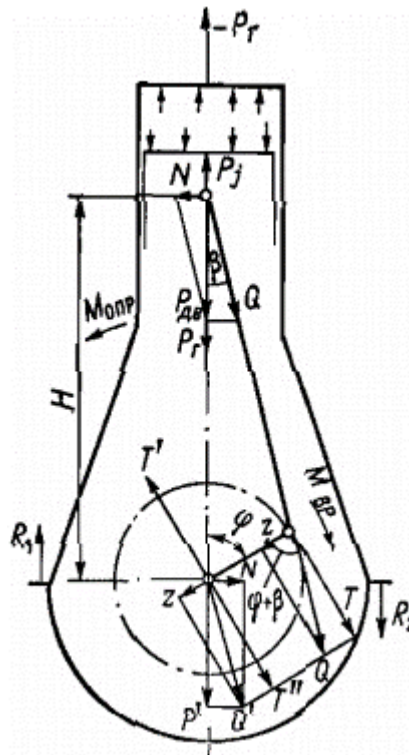


Рисунок 3.2 – Схема дії сил в КШМ

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 41    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для побудови діаграм динаміки

|                                                  |                     |               |        |
|--------------------------------------------------|---------------------|---------------|--------|
| Діаметр поршня                                   | мм                  | $D$           | 108    |
| Частота обертання КВ                             | хв <sup>-1</sup>    | $n$           | 2400   |
| Максимальний тиск згоряння                       | МПа                 | $P_z$         | 13,136 |
| Тиск на початку стиску                           | МПа                 | $P_a$         | 0,235  |
| Тиск наддуву                                     | МПа                 | $P_k$         | 0,25   |
| Тиск залишкових газів                            | МПа                 | $P_r$         | 0,3    |
| Кривошипно-шатунне відношення.                   |                     | $\lambda$     | 0,3    |
| Маса деталей, що рухаються зворотно-поступально. | кг·м/с <sup>2</sup> | $m/g$         | 4      |
| Радіус кривошипа.                                | м                   | $r$           | 0,0625 |
| Ступінь стиску                                   |                     | $\varepsilon$ | 15,0   |
| Показник політропи стиску                        |                     | $n_1$         | 1,362  |
| Показник політропи розширення                    |                     | $n_2$         | 1,276  |
| Ступінь попереднього стиску                      |                     | $\rho$        | 1,543  |

Для визначення сил, що діють у КШМ, використовуються такі заходи.

$P_r$  – знімається з розгорнутої індикаторної діаграми,

$$P_j = -m_s r \omega^2 (\cos \varphi + \lambda_{ш} \cos \varphi);$$

$$P_{дв} = P_r - P_{шп} + P_j + m_s g;$$

$$N = P_{дв} \operatorname{tg} \beta;$$

$$Q = P_{дв} / \cos \beta;$$

$$T = Q \sin(\varphi + \beta);$$

$$Z = Q \cos(\varphi + \beta).$$

Результати надані в табл. 3.3.

Таблиця 3.4 – Таблиця координат діаграм динаміки

| $\varphi^\circ$ | Pr     | Pj      | Pdv     | N       | Z       | T       | V/Vc   |
|-----------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 0               | 0,2500 | -2,2725 | -2,0225 | 0,0000  | -2,0225 | 0,0000  | 1,0000 |
| 10              | 0,2500 | -2,2132 | -1,9632 | -0,1089 | -1,9145 | -0,4481 | 1,1326 |
| 20              | 0,2500 | -2,0400 | -1,7900 | -0,1961 | -1,6150 | -0,7965 | 1,5240 |
| 30              | 0,2500 | -1,7669 | -1,5169 | -0,2440 | -1,1917 | -0,9698 | 2,1554 |
| 40              | 0,2500 | -1,4153 | -1,1653 | -0,2423 | -0,7369 | -0,9347 | 2,9973 |
| 50              | 0,2500 | -1,0120 | -0,7620 | -0,1900 | -0,3443 | -0,7059 | 4,0112 |

|     |         |         |         |         |         |         |         |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 60  | 0,2500  | -0,5867 | -0,3367 | -0,0954 | -0,0857 | -0,3393 | 5,1526  |
| 70  | 0,2500  | -0,1682 | 0,0818  | 0,0253  | 0,0042  | 0,0855  | 6,3741  |
| 80  | 0,2500  | 0,2173  | 0,4673  | 0,1518  | -0,0684 | 0,4865  | 7,6280  |
| 90  | 0,2500  | 0,5496  | 0,7996  | 0,2641  | -0,2641 | 0,7996  | 8,8694  |
| 100 | 0,2500  | 0,8156  | 1,0656  | 0,3462  | -0,5260 | 0,9893  | 10,0583 |
| 110 | 0,2500  | 1,0103  | 1,2603  | 0,3895  | -0,7971 | 1,0511  | 11,1609 |
| 120 | 0,2500  | 1,1363  | 1,3863  | 0,3930  | -1,0335 | 1,0040  | 12,1506 |
| 130 | 0,2500  | 1,2029  | 1,4529  | 0,3623  | -1,2114 | 0,8801  | 13,0078 |
| 140 | 0,2500  | 1,2244  | 1,4744  | 0,3066  | -1,3265 | 0,7128  | 13,7193 |
| 150 | 0,2500  | 1,2173  | 1,4673  | 0,2360  | -1,3887 | 0,5292  | 14,2773 |
| 160 | 0,2500  | 1,1980  | 1,4480  | 0,1586  | -1,4149 | 0,3462  | 14,6776 |
| 170 | 0,2500  | 1,1803  | 1,4303  | 0,0793  | -1,4223 | 0,1703  | 14,9187 |
| 180 | 0,2350  | 1,1733  | 1,4083  | 0,0000  | -1,4083 | 0,0000  | 15,0000 |
| 190 | 0,2366  | 1,1803  | 1,4168  | -0,0786 | -1,4089 | -0,1687 | 14,9216 |
| 200 | 0,2414  | 1,1980  | 1,4393  | -0,1577 | -1,4065 | -0,3441 | 14,6834 |
| 210 | 0,2498  | 1,2173  | 1,4671  | -0,2360 | -1,3885 | -0,5292 | 14,2860 |
| 220 | 0,2626  | 1,2244  | 1,4870  | -0,3093 | -1,3379 | -0,7189 | 13,7309 |
| 230 | 0,2810  | 1,2029  | 1,4839  | -0,3700 | -1,2373 | -0,8989 | 13,0221 |
| 240 | 0,3067  | 1,1363  | 1,4429  | -0,4091 | -1,0757 | -1,0451 | 12,1675 |
| 250 | 0,3423  | 1,0103  | 1,3526  | -0,4181 | -0,8555 | -1,1281 | 11,1801 |
| 260 | 0,3922  | 0,8156  | 1,2078  | -0,3924 | -0,5962 | -1,1213 | 10,0793 |
| 270 | 0,4630  | 0,5496  | 1,0126  | -0,3345 | -0,3345 | -1,0126 | 8,8917  |
| 280 | 0,5660  | 0,2173  | 0,7832  | -0,2545 | -0,1146 | -0,8155 | 7,6509  |
| 290 | 0,7202  | -0,1682 | 0,5519  | -0,1706 | 0,0285  | -0,5770 | 6,3968  |
| 300 | 0,9600  | -0,5867 | 0,3734  | -0,1059 | 0,0950  | -0,3763 | 5,1744  |
| 310 | 1,3499  | -1,0120 | 0,3379  | -0,0843 | 0,1527  | -0,3130 | 4,0310  |
| 320 | 2,0131  | -1,4153 | 0,5978  | -0,1243 | 0,3780  | -0,4795 | 3,0144  |
| 330 | 3,1768  | -1,7669 | 1,4099  | -0,2268 | 1,1076  | -0,9014 | 2,1690  |
| 340 | 5,1597  | -2,0400 | 3,1196  | -0,3417 | 2,8146  | -1,3881 | 1,5334  |
| 350 | 7,8595  | -2,2132 | 5,6463  | -0,3131 | 5,5061  | -1,2888 | 1,1375  |
| 360 | 9,3952  | -2,2725 | 7,1226  | 0,0000  | 7,1226  | 0,0000  | 1,0000  |
| 370 | 13,1360 | -2,2132 | 10,9228 | 0,6057  | 10,6517 | 2,4932  | 1,1278  |
| 380 | 13,0308 | -2,0400 | 10,9907 | 1,2039  | 9,9161  | 4,8904  | 1,5146  |
| 390 | 8,2725  | -1,7669 | 6,5056  | 1,0465  | 5,1107  | 4,1591  | 2,1419  |
| 400 | 5,3953  | -1,4153 | 3,9801  | 0,8277  | 2,5169  | 3,1924  | 2,9803  |
| 410 | 3,7105  | -1,0120 | 2,6985  | 0,6729  | 1,2191  | 2,4997  | 3,9914  |
| 420 | 2,6962  | -0,5867 | 2,1095  | 0,5981  | 0,5368  | 2,1259  | 5,1309  |
| 430 | 2,0596  | -0,1682 | 1,8913  | 0,5846  | 0,0976  | 1,9772  | 6,3513  |
| 440 | 1,6434  | 0,2173  | 1,8607  | 0,6046  | -0,2723 | 1,9374  | 7,6051  |
| 450 | 1,3617  | 0,5496  | 1,9113  | 0,6313  | -0,6313 | 1,9113  | 8,8471  |
| 460 | 1,1655  | 0,8156  | 1,9812  | 0,6437  | -0,9780 | 1,8393  | 10,0373 |
| 470 | 1,0261  | 1,0103  | 2,0364  | 0,6294  | -1,2879 | 1,6983  | 11,1417 |
| 480 | 0,9256  | 1,1363  | 2,0618  | 0,5846  | -1,5372 | 1,4933  | 12,1337 |
| 490 | 0,8528  | 1,2029  | 2,0557  | 0,5126  | -1,7141 | 1,2453  | 12,9934 |
| 500 | 0,8005  | 1,2244  | 2,0249  | 0,4211  | -1,8219 | 0,9790  | 13,7077 |
| 510 | 0,7639  | 1,2173  | 1,9811  | 0,3187  | -1,8751 | 0,7146  | 14,2685 |
| 520 | 0,7396  | 1,1980  | 1,9376  | 0,2122  | -1,8933 | 0,4633  | 14,6717 |
| 530 | 0,7258  | 1,1803  | 1,9061  | 0,1057  | -1,8955 | 0,2269  | 14,9157 |
| 540 | 0,7213  | 1,1733  | 1,8946  | 0,0000  | -1,8946 | 0,0000  | 14,9999 |

|     |        |         |         |         |         |         |         |
|-----|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 550 | 0,7000 | 1,1803  | 1,8803  | -0,1043 | -1,8698 | -0,2238 | 14,9244 |
| 560 | 0,6000 | 1,1980  | 1,7980  | -0,1969 | -1,7569 | -0,4299 | 14,6892 |
| 570 | 0,5000 | 1,2173  | 1,7173  | -0,2763 | -1,6253 | -0,6194 | 14,2947 |
| 580 | 0,3000 | 1,2244  | 1,5244  | -0,3170 | -1,3715 | -0,7370 | 13,7424 |
| 590 | 0,3000 | 1,2029  | 1,5029  | -0,3748 | -1,2531 | -0,9104 | 13,0364 |
| 600 | 0,3000 | 1,1363  | 1,4363  | -0,4072 | -1,0708 | -1,0402 | 12,1843 |
| 610 | 0,3000 | 1,0103  | 1,3103  | -0,4050 | -0,8287 | -1,0928 | 11,1992 |
| 620 | 0,3000 | 0,8156  | 1,1156  | -0,3625 | -0,5507 | -1,0357 | 10,1003 |
| 630 | 0,3000 | 0,5496  | 0,8496  | -0,2806 | -0,2806 | -0,8496 | 8,9140  |
| 640 | 0,3000 | 0,2173  | 0,5173  | -0,1681 | -0,0757 | -0,5386 | 7,6738  |
| 650 | 0,3000 | -0,1682 | 0,1318  | -0,0407 | 0,0068  | -0,1377 | 6,4196  |
| 660 | 0,3000 | -0,5867 | -0,2867 | 0,0813  | -0,0729 | 0,2889  | 5,1961  |
| 670 | 0,3000 | -1,0120 | -0,7120 | 0,1775  | -0,3217 | 0,6596  | 4,0509  |
| 680 | 0,3000 | -1,4153 | -1,1153 | 0,2319  | -0,7053 | 0,8946  | 3,0316  |
| 690 | 0,3000 | -1,7669 | -1,4669 | 0,2360  | -1,1524 | 0,9378  | 2,1827  |
| 700 | 0,3000 | -2,0400 | -1,7400 | 0,1906  | -1,5699 | 0,7742  | 1,5430  |
| 710 | 0,3000 | -2,2132 | -1,9132 | 0,1061  | -1,8657 | 0,4367  | 1,1424  |
| 720 | 0,2500 | -2,2725 | -2,0225 | 0,0000  | -2,0225 | 0,0000  | 1,0002  |

Діаграми сил, що діють у КШМ, будуються згідно з обчисленими в таблиці значеннями вони надаються у проекті як рис. 3.3 та рис. 3.4.

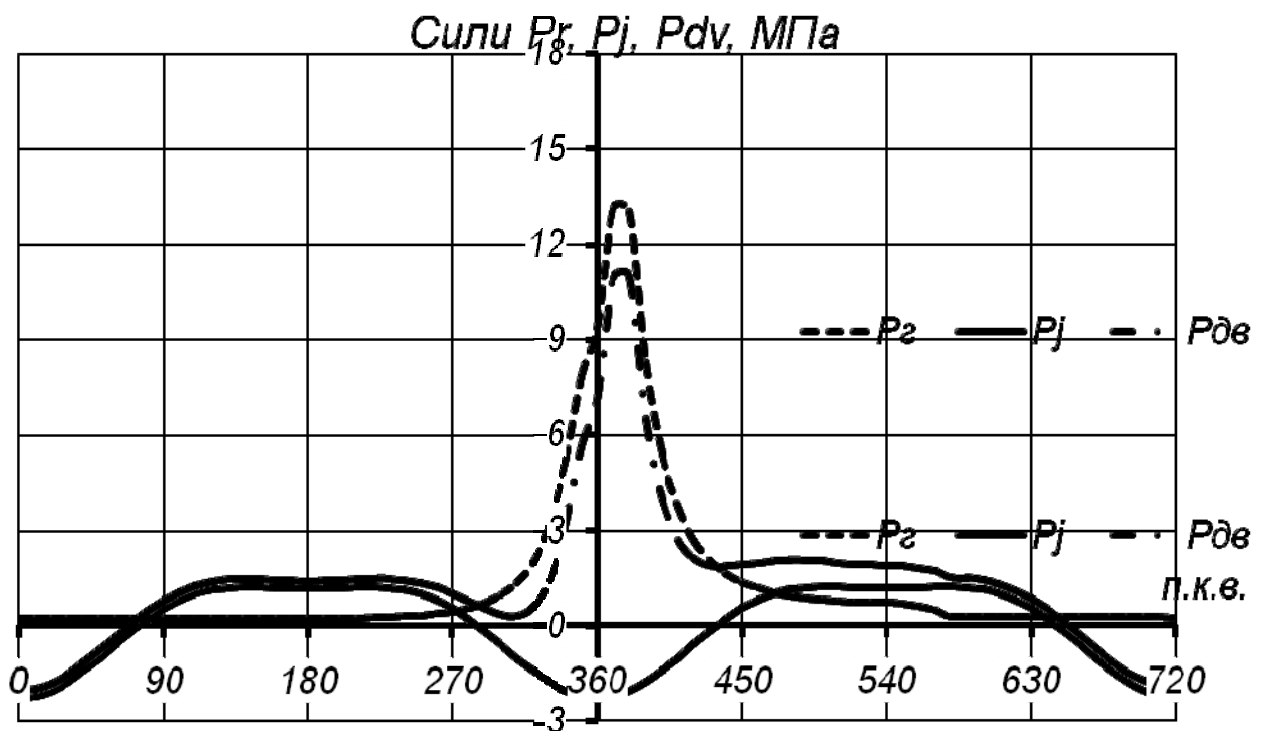


Рисунок 3.3 – Сили  $P_g$ ,  $P_j$ ,  $P_{рух}$  (в МПа)

Сили  $N, Z, T$ , МПа.

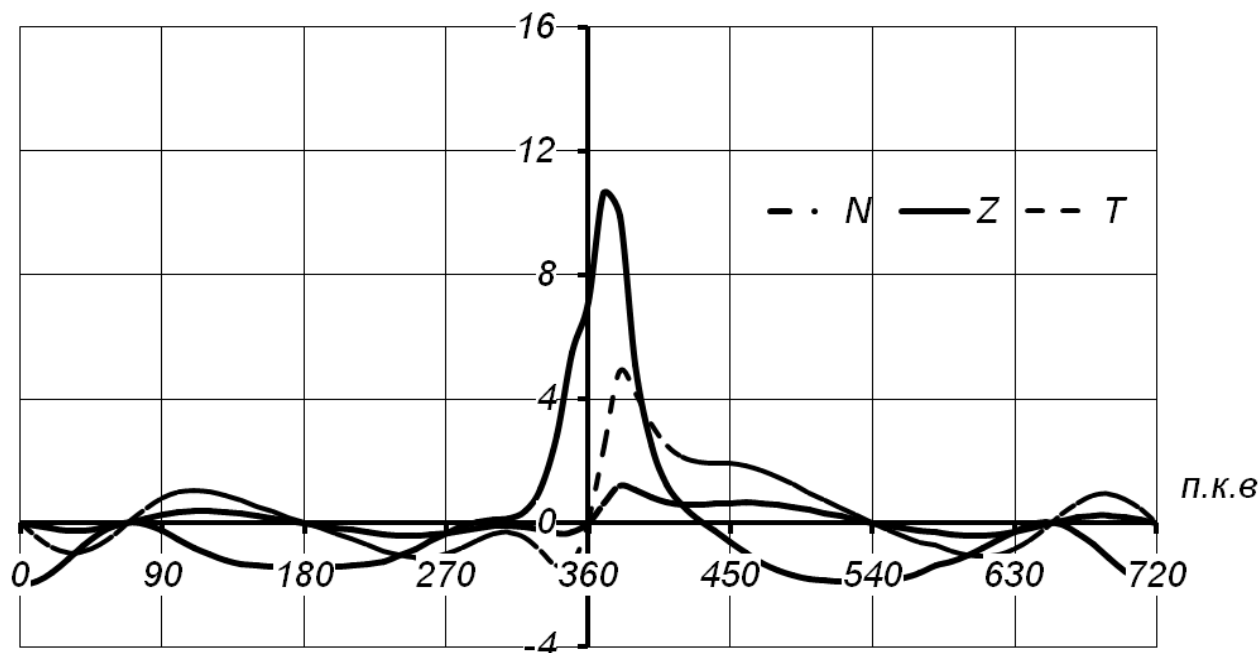


Рисунок 3.4 – Сили  $N, Z, T$  (в МПа)

Діаграма сумарних дотичних сил  $T_{\Sigma}$  багатоциліндрового двигуна будується послідовно сумуючи криві дотичних сил кожного з циліндрів, зміщених по фазі на кута заклинки  $\phi_z$  кривошипів. Сумування можна зробити графічним або в табличній формі.

Таблиця 3.5 – Визначення сумарної дотичної сили

| φ°  | T <sub>E</sub> |        |        |       |        |        | T <sub>E</sub> | T <sub>ср</sub> |
|-----|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|----------------|-----------------|
|     | Номер циліндра |        |        |       |        |        |                |                 |
|     | 1              | 2      | 3      | 4     | 5      | 6      |                |                 |
| 0   | 0,000          | 1,004  | -1,045 | 0,000 | 1,493  | -1,040 | 0,412          | 1,665           |
| 10  | -0,448         | 0,880  | -1,128 | 2,493 | 1,245  | -1,093 | 1,950          | 1,665           |
| 20  | -0,796         | 0,713  | -1,121 | 4,890 | 0,979  | -1,036 | 3,629          | 1,665           |
| 30  | -0,970         | 0,529  | -1,013 | 4,159 | 0,715  | -0,850 | 2,571          | 1,665           |
| 40  | -0,935         | 0,346  | -0,816 | 3,192 | 0,463  | -0,539 | 1,713          | 1,665           |
| 50  | -0,706         | 0,170  | -0,577 | 2,500 | 0,227  | -0,138 | 1,476          | 1,665           |
| 60  | -0,339         | 0,000  | -0,376 | 2,126 | 0,000  | 0,289  | 1,699          | 1,665           |
| 70  | 0,085          | -0,169 | -0,313 | 1,977 | -0,224 | 0,660  | 2,017          | 1,665           |
| 80  | 0,487          | -0,344 | -0,480 | 1,937 | -0,430 | 0,895  | 2,065          | 1,665           |
| 90  | 0,800          | -0,529 | -0,901 | 1,911 | -0,619 | 0,938  | 1,599          | 1,665           |
| 100 | 0,989          | -0,719 | -1,388 | 1,839 | -0,737 | 0,774  | 0,759          | 1,665           |
| 110 | 1,051          | -0,899 | -1,289 | 1,698 | -0,910 | 0,437  | 0,088          | 1,665           |
| 120 | 1,004          | -1,045 | 0,000  | 1,493 | -1,040 | 0,000  | 0,412          | 1,665           |

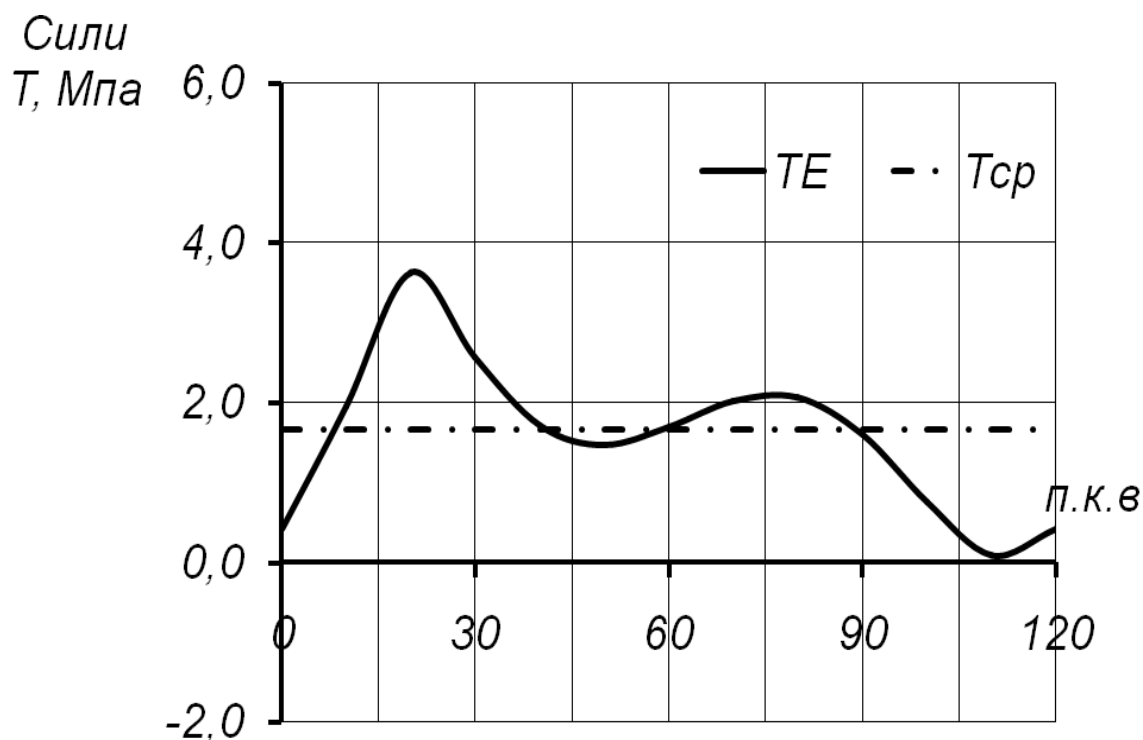


Рисунок 3.5 – Сумарні дотичні сили T

Діаграми динаміки повинні відповідати тискам, розрахованим у ході циклових обчислень, що у даному випадку виконується. Дійсні сили визначаються як різниця між силами інерції мас, що рухаються поступально, та силами тиску газів.

Для двигунів такого класу, як той, що розглядається, максимальний тиск газів зазвичай не перевищує 18 МПа. Відповідно до проведених розрахунків, максимальний тиск у моєму двигуні становить менше 11 МПа, що вказує на достатню міцність його конструкції для витримування подібного навантаження.

Максимальні сили інерції для двигунів цього класу зазвичай коливаються в межах 1–3 МПа. У випадку мого двигуна це значення дорівнює 1,5 МПа, що також відповідає типовому діапазону.

Отже, побудовані діаграми є коректними і відповідають встановленим критеріям оцінки.

## Розробка системи диспергування палива

Штатна паливна система двигуна MAN D-0834/36, яка включає в себе паливний бак, паливopідкачуючий насос, фільтри грубого та тонкого очищення палива, паливний насос високого тиску, які послідовно поєднані головним паливopроводом між собою та з форсунками двигуна. Паливо через фільтри подається з бака за допомогою паливopідкачуючого насоса до паливного насоса високого тиску, який подає його до форсунок двигуна. Паливо, яке не було використане для роботи двигуна, повертається в бак по зворотному паливopроводу. Недоліком системи є те, що паливні фільтри далеко не завжди ефективно видаляють з палива механічні домішки та воду, які потрапляючи до прецизійних пар паливної апаратури (плунжер-втулка та нагнітальний клапан-сідло клапана в паливному насосі високого тиску і голка-розпилювач у форсунці), призводять до їх підвищеного абразивного та корозійного зношування, що в свою чергу веде до різкого зниження техніко-економічних показників роботи дизеля, а відповідно і транспортного засобу в цілому [8].

Перспективною є паливна система дизельного двигуна внутрішнього згоряння [Пат. 65963 "Паливна система дизельного двигуна внутрішнього згоряння" F02M 31/00, 08.07.2003, опубл. 15.12.2005, бюл. № 12], яка містить паливний бак, систему живлення дизеля із головним та зливним паливopроводом, та систему диспергування палива, що складається із гідродинамічного диспергатора, насоса із приводом від електродвигуна, що живиться від бортової енергосистеми транспортного засобу, запобіжного клапана для підтримання потрібного тиску на диспергаторі та манометра для контролю тиску у системі. Система диспергування встановлена на додатковому паливopроводі і працює паралельно і незалежно відносно головного та зливного паливopроводів системи живлення дизельного двигуна. Гідродинамічне диспергування призначене для покращення

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 47    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

протизношувальних, антикорозійних та антифрикційних властивостей дизельного палива.

Причинами, які перешкоджають досягненню необхідного технічного результату, є те, що оброблене за допомогою диспергатора дизельне паливо зливається знову в бак транспортного засобу, де перемішується із необробленим паливом і звідти забирається системою живлення дизеля через головний паливопровід. Але, як показують дослідження [наприклад: Кравець А.М. Підвищення працездатності паливної апаратури тепловозних дизелів гідродинамічним диспергуванням палива [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / Кравець Андрій 35 Михайлович; УкрДАЗТ. - Х., 2004. - 20 с.], для досягнення високої ефективності диспергування палива потрібно, щоб воно пройшло через гідродинамічний диспергатор 16 разів при тиску 0,4 МПа. Але швидкість диспергування палива обмежується раціональними розмірами диспергатора та можливостями насосів, які рекомендовано застосовуються у системі диспергування. Таким чином, як показують попередні розрахунки, залежно від об'єму паливного бака транспортного засобу (для більшості будівельних і дорожніх машин - кілька сот літрів, а для колійних машин та тепловозів може бути декілька тисяч літрів) максимальна ефективність гідродинамічного диспергування дизельного палива може бути досягнута лише через досить тривалий час (від декількох десятків хвилин до декількох годин, а інколи і десятків годин). Це означає, що більшу частину часу в систему живлення дизельного двигуна буде надходити дизельне паливо із низьким ступенем диспергування, тобто система диспергування буде працювати неефективно та витрачатиметься енергія на непродуктивне перекачування палива.

В основу модернізації поставлена задача удосконалення штатної паливної системи, в якій шляхом встановлення спеціальних забірних пристроїв на вхідний канали головного паливопроводу дизельного двигуна та системи диспергування забезпечується циклічна обробка дизельного палива

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 48    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

на диспергаторі та подача в систему живлення дизеля палива продиспергованого до високого ступеня ефективності.

Поставлена задача вирішується модернізацією паливної системи, яка містить систему живлення дизеля із головним та зливним паливопроводом та систему диспергування палива, що складається із гідродинамічного диспергатора, насоса із приводом від електродвигуна, що живиться від бортової енергосистеми транспортного засобу, запобіжного клапана для підтримання потрібного тиску на диспергаторі та манометра для контролю тиску у системі, в якій, згідно до винаходу, на вхідний патрубок головного паливопроводу системи живлення дизельного двигуна встановлено спеціальний забірний пристрій, в який подається дизельне паливо, оброблене на гідродинамічному диспергаторі.

Забірний пристрій має отвори у стінці, через які надлишок продиспергованого палива, неспожитий дизелем, відводиться у бак, і через ці ж отвори паливо надходить із бака в систему живлення дизеля в разі, коли система диспергування з будь-яких причин не працює. Насос системи диспергування підбирається так, щоб його продуктивність була приблизно в 16 разів більше, ніж максимально можлива витрата палива дизельним двигуном транспортного засобу. Над отворами забірної пристрою розташовується вхідний паливопровід системи диспергування, оснащений забірною лією, призначеною для концентрування палива, яке вийшло із отворів, і подачі його знову у систему диспергування для забезпечення циклічності процесу. Застосування відмітних, порівняно з прототипом, ознак забезпечує подачу у систему живлення дизельного двигуна тільки продиспергованого V палива, досить швидко (декілька хвилин) досягнення високої ефективності диспергування (тобто проходження палива через гідродинамічний диспергатор не менше 16 разів). За рахунок того, що насос, а відповідно і приводний електродвигун, розраховуються на диспергування не всього об'єму палива у баці транспортного засобу, а тільки того об'єму, який

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 49    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

реально споживається дизелем у певний проміжок часу, скорочуються витрати енергії на реалізацію самого процесу диспергування.

Паливна система включає в себе (рис. 3.6) паливний бак 1, систему живлення дизеля (ДВЗ) 2 із головним 3 та зливним 4 паливопроводом та систему диспергування палива, що складається із гідродинамічного диспергатора 5 (ГД), насоса 6 із приводом від електродвигуна 7, що живиться від бортової енергосистеми транспортного засобу 8, запобіжного клапана 9, який відрегульований на утримання тиску у системі диспергування на рівні 0,4 МПа, манометра 10 для контролю тиску у системі. На вхідний патрубок головного паливопроводу 3 системи живлення дизеля 2 встановлено спеціальний забірний пристрій 11, який має технологічні отвори 12. В забірний пристрій входить зливний патрубок системи диспергування 13 і утримується там за допомогою наконечника 14. На вхідний патрубок 15 системи диспергування встановлена забірна лійка 16, яка розташована над отворами 12 забірного пристрою 11 та зливним паливопроводом 4 системи живлення дизеля 2.

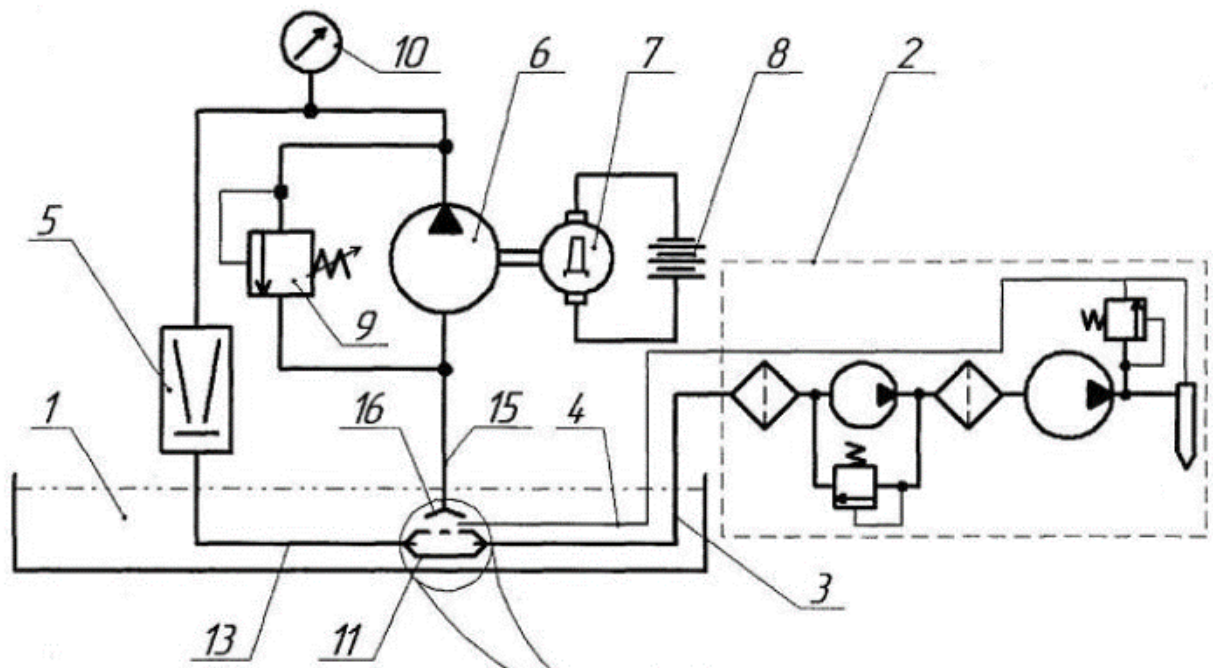


Рисунок 3.6 – Паливна система

Паливна система дизельного двигуна внутрішнього згоряння працює наступним чином. Насос 6 подає дизельне паливо з паливного бака 1 до диспергатора 5, де паливо піддається механічній обробці, в результаті чого покращуються його протизношувальні, антифрикційні та антикорозійні властивості. Тиск у системі диспергування підтримується на рівні 0,4 МПа за допомогою регульованого запобіжного клапана 9, а контролюється за манометром 10. Насос 6 приводиться в дію від електричного двигуна 7, який отримує живлення від бортової енергосистеми 8 транспортного засобу. Продисперговане паливо через зливний патрубок 13 системи диспергування надходить у забірний пристрій 11, встановлений на вхідний канал головного паливопроводу 3 системи живлення 2 дизельного двигуна транспортного засобу.

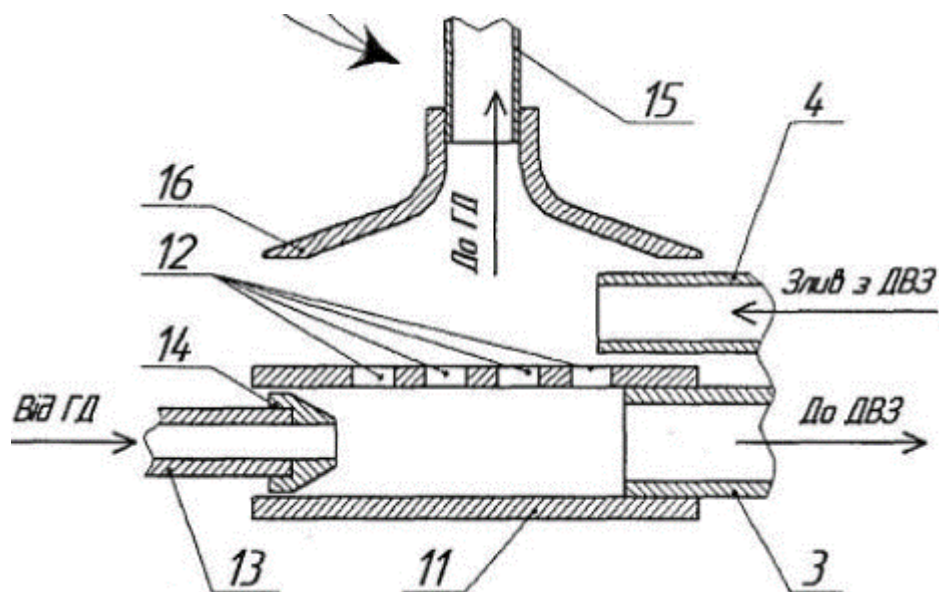


Рисунок 3.7 – Забірний пристрій

Із забірного пристрою паливо потрапляє у систему живлення дизеля, а надлишок через отвори 12 спрямовується у бак 1. Забірна лійка 16, розташована над отворами 12, сконцентровує паливо, що вийшло із отворів, тобто пройшло первинне диспергування, і спрямовує його знову до вхідного

патрубка 15 системи диспергування і далі насос 6 подає його знову до диспергатора 9. Така конструкція забезпечує циклічність обробки палива. 45 Насос 6 системи диспергування підбирається так, що його продуктивність орієнтовно в 16 разів більше, ніж споживає дизельний двигун при максимальному навантаженні. Це забезпечує швидке досягнення високого ступеня диспергування палива, тобто високу ефективність роботи системи диспергування, і гарантує постійну подачу у систему живлення дизеля 2 палива продиспергованого до високоефективного рівня. 50 Загальна площа технологічних отворів 12 у забірному пристрої 11 більше, ніж площа отвору вхідного каналу головного паливопроводу 3 і зливного патрубка 12 системи диспергування, що запобігає утворенню надмірного тиску у забірному пристрої 11 та не допускає створення розрядження в ньому у випадку, коли система диспергування не працює. Не використане дизелем паливо через зливний паливопровід 4 теж потрапляє під лійку 16 та спрямовується на 55 диспергування і знову у систему живлення 2.

**За дослідними даними [9], при використанні системи диспергування палива питома ефективна витрата палива зменшується на 1 % (2 г/(кВт×год)).**

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 52    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

## РОЗДІЛ 4

### ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ДВИГУНА

Оскільки модернізація стосується лише паливної системи, враховуються лише витрати на заміну обладнання. Відповідно, для економічної оцінки достатньо розрахувати додаткові інвестиційні витрати.

У рамках роботи було модернізовано систему подачі палива двигуна. Внаслідок цього швидкість руху та необхідність поточного ремонту залишаються незмінними, тоді як витрати на паливо, амортизацію та загальні експлуатаційні витрати зменшуються.

При цьому головними вихідними даними є:

- двигун MAN D-0834/36 загальною вартістю \$ 10,2 тис.;
- зменшення питомої витрати палива зі 198 до 196 г/(кВт×год), при роботі двигуна з модернізованою паливною системою.

Визначення додаткових витрат на впровадження модернізації

Оптова ціна двигуна після його модернізації визначається по формулі:

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

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

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

$C_{nj}$  – сумарна ціна нових елементів ( $C_{nj} = 2000$  \$);

$$C_n = 10200 - 0 + 2000 = 12200 \text{ \$}$$

Замість визначення ціни штатного і модернізованого двигуна, знаходимо їх різницю, оскільки лише два члени у цієї формули будуть розрізнятися і саме ця різниця складе додаткові інвестиції:

$$K_{дп} = \sum_{j=1}^n C_{nj} - \sum_{i=1}^m C_{0i}.$$

$$K_{дп} = 2000 \times 1 - 0 \times 1 = 2000 \text{ \$}$$

|     |      |             |        |      |                                  |       |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | <i>KPM.142.6221м.24.04.00.ПЗ</i> | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                                  | 53    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                  |       |

Для визначення витрат на вдосконалення використовуємо показники: робоча година на виконання та вартість 1-го нормочасу робіт, у залежності від їх складності (10 \$ - для України, для закордонних виробників – від 70 до 100 \$). Додаткові інвестиції зводимо до таблиці 4.1.

**Таблиця 4.1 – Додаткові інвестиції**

| Вид робіт            | Тривалість, людино-години | Вартість нормо-год., \$ | Вартість робіт ( $K_B$ ), \$ |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Монтаж системи       | 2                         | 100                     | 200                          |
| Налаштування системи | 1                         | 95                      | 95                           |
| Випробування двигуна | 2                         | 110                     | 220                          |
| Регулювання ПНВТ     | 1                         | 130                     | 130                          |
| Всього               | 6                         | -                       | 645                          |

Таким чином, додаткові інвестиції складуть величину:

$$K_d = K_{дп} + K_B$$

$$K_d = 2000 + 645 = 2645 \$.$$

Витрати на амортизаційні відрахування  $V_{ам}$  при порівняльній ефективності визначаються по нормах амортизації ( $H_A$ ) і беруться в розмірі 20 % від величини додаткових інвестицій  $K_d$ . Розраховуються по формулі:

$$V_{ам} = 20/100 \times K_d$$

$$V_{ам} = 20/100 \times 2645 = 529,0 \$.$$

Витрати на паливо та масла розраховуються при 100 % навантаженні двигуна.

Витрати на паливо:

$$V_{пал} = N \times g_e \times T_e \times V_{п},$$

де  $N$  – потужність двигунів (для базового та модернізованого двигуна при 100% навантаженні – 206 кВт) [розділ 1];

$g_e$  – питома витрата палива при роботі двигуна (для базового при 100% навантаженні – 0,198 кг/кВт×год; для модернізованого двигуна – 0,196 кг/кВт×год);

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 54    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

$T_e$  – години роботи двигуна при повному навантаженні в рік, (для базового та модернізованого двигуна – 4000);

$V_{\text{п}}$  – вартість 1 кг палива, \$, (1).

$$V_{\text{пал}}(\text{Б}) = 206 \times 0,198 \times 4000 \times 1 = 163152,0 \$$$

$$V_{\text{пал}}(\text{М}) = 206 \times 0,196 \times 4000 \times 1 = 161504,0 \$$$

Питомі витрати масла для двигуна складають 0,2 % витрат на паливо.

Витрати на мастильні матеріали, \$ рік:

$$V_{\text{мм}} = V_{\text{пал}} \times 0,2\%$$

$$V_{\text{мм}}(\text{Б}) = V_{\text{пал}}(\text{Б}) \times 0,002 = 163152,0 \times 0,002 = 326,3 \$$$

$$V_{\text{мм}}(\text{М}) = V_{\text{пал}}(\text{М}) \times 0,002 = 161504,0 \times 0,002 = 323,0 \$$$

Результати розрахунків занесемо до таблиці 4.2.

**Таблиця 4.2 – Результати розрахунку експлуатаційних витрат, \$**

| Стаття витрат                                   | Базове рішення | Нове рішення | Відхилення |
|-------------------------------------------------|----------------|--------------|------------|
| Амортизаційні відрахування $V_{\text{ам}}$      | –              | 529,0        | - 529,0    |
| Витрати на паливо $V_{\text{пал}}$              | 163152,0       | 161504,0     | 1648,0     |
| Витрати на мастильні матеріали $V_{\text{пал}}$ | 326,3          | 323,0        | 3,3        |
| Всього                                          | 163478,3       | 162356,0     | 1122,3     |

Загальний балансовий річний прибуток  $\text{Пб}$  розраховують за формулою:

$$E_p = \Delta B - V_{\text{ам}}$$

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

$$E_p = ((163152,0 + 326,3) - (161504,0 + 323,0)) - 529,0 = 1122,3 \$$$

Чистий прибуток ( $\text{Пч}$ ) визначається як різниця між балансовим прибутком ( $\text{Пб}$ ) та податком на прибуток:

$$\text{Пч} = \text{Пб} - (0,18 \times \text{Пб}) = 0,82 \times \text{Пб}$$

$$\text{Пч} = 0,82 \times 1122,3 = 920,3 \$$$

Термін окупності додаткових інвестицій (ТОК) визначається за формулою:

$$T_{OK} = K_d / Пч$$

$$T_{OK} = 2645 / 920,3 = 0,42 \text{ року}$$

Таким чином, запропоновані в роботі заходи дозволяють зменшити витрати на \$ 920,3 в рік, в результаті підвищення економічності. Термін окупності модернізації становить 2,87 року.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 56    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

## РОЗДІЛ 5

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

#### **Забезпечення вимог охорони праці на автомобільному транспорті**

Охорона праці на автомобільному транспорті є важливою складовою безпечної та ефективної роботи підприємств галузі. Вона спрямована на створення безпечних умов праці для водіїв, механіків, обслуговуючого персоналу, а також зниження ризиків травматизму та негативного впливу виробничих факторів на здоров'я працівників [10].

##### *Основні вимоги охорони праці*

#### **1. Організація робочих місць**

Робочі місця водіїв і технічного персоналу повинні відповідати ергономічним вимогам, забезпечувати комфорт і безпеку. Слід забезпечувати належне освітлення, вентиляцію, зниження рівня шуму та вібрацій.

#### **2. Технічний стан транспортних засобів**

Всі автомобілі мають проходити регулярний технічний огляд для виявлення несправностей, що можуть спричинити аварії або загрозу здоров'ю працівників. Особливу увагу приділяють гальмівній системі, рульовому управлінню, світловим приладам і системі безпеки.

#### **3. Навчання та інструктажі**

Персонал підприємства повинен проходити навчання з охорони праці, включаючи правила безпечної експлуатації техніки та поведінки в екстремальних ситуаціях. Регулярно проводяться інструктажі: вступний, первинний на робочому місці, повторний, позаплановий і цільовий.

#### **4. Забезпечення засобами індивідуального захисту (ЗІЗ)**

Працівники повинні бути забезпечені необхідними ЗІЗ, такими як спецодяг, рукавички, захисні окуляри, взуття та інші засоби залежно від специфіки роботи.

|     |      |             |        |      |                                  |       |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | <i>KPM.142.6221м.24.04.00.ПЗ</i> | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                                  |       |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                  | 57    |

## 5. Контроль за дотриманням трудового режиму

Водії мають дотримуватись нормативів тривалості робочого часу і відпочинку, встановлених для попередження перевтоми, яка може спричинити аварійні ситуації.

## 6. Попередження шкідливих факторів

Необхідно мінімізувати вплив шкідливих факторів, таких як вихлопні гази, пил, хімічні речовини, шум і вібрація. Це досягається за допомогою регулярного обслуговування автомобілів, вентиляції приміщень та використання ЗІЗ.

### *Організація охорони праці*

Керівництво транспортного підприємства відповідає за організацію охорони праці, включаючи:

- розробку та впровадження системи управління охороною праці;
- проведення атестації робочих місць;
- розслідування нещасних випадків та їх попередження;
- забезпечення працівників необхідною документацією, включаючи інструкції з охорони праці.

### *Контроль та відповідальність*

Відповідальність за дотримання вимог охорони праці несуть як роботодавці, так і працівники. Органи державного нагляду здійснюють контроль за дотриманням законодавства у сфері охорони праці на автомобільному транспорті.

**Забезпечення охорони праці на автомобільному транспорті є важливим завданням, що вимагає комплексного підходу. Систематичний контроль, своєчасне навчання персоналу, дотримання технічних норм та забезпечення належних умов праці дозволяють мінімізувати ризики, підвищити безпеку праці та зберегти здоров'я працівників.**

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 58    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

## **Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що впливають на персонал під час обслуговування транспортних двигунів**

Обслуговування транспортних двигунів супроводжується впливом низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно позначатися на здоров'ї персоналу. Їх вивчення та оцінка є ключовими для розробки заходів із охорони праці та забезпечення безпечних умов роботи.

### *Основні небезпечні виробничі фактори*

#### **1. Механічні небезпеки**

- Рухомі частини двигунів (вентилятори, ремінні передачі, обертові вали) становлять ризик травмування працівників.
- Можливість падіння інструментів або деталей під час роботи.
- Ризик опіків через гарячі поверхні двигуна, вихлопної системи або робочі рідини (масла, охолоджувальна рідина).

#### **2. Електричні небезпеки**

- Контакт із несправними електроприладами, що працюють на обслуговуванні двигунів, може спричинити ураження електричним струмом.
- Робота в умовах високої вологості або контакту з проводами під напругою.

#### **3. Хімічні небезпеки**

- Вплив токсичних речовин, таких як пари бензину, дизельного пального, вихлопні гази, мастильні матеріали.
- Можливість контакту з агресивними рідинами (електроліт, охолоджувальні рідини).
- Накопичення шкідливих випарів у закритих приміщеннях через недостатню вентиляцію.

### *Основні шкідливі виробничі фактори*

#### **1. Фізичні фактори**

- Шум: постійний високий рівень шуму від роботи двигунів може призвести до зниження слуху.

|     |      |             |        |      |                                  |       |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | <i>KPM.142.6221м.24.04.00.ПЗ</i> | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                                  | 59    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                  |       |

- Вібрація: вплив на руки та тіло під час роботи з інструментами або безпосередньо з двигуном.

- Температура: підвищена температура в робочих зонах через нагріті двигуни або роботу влітку.

## 2. Пилові фактори

- Виникнення пилу під час очищення компонентів двигуна, роботи з гальмівними системами або іншими елементами, пов'язаними із зношенням деталей.

## 3. Недостатнє освітлення

- Робота в умовах недостатнього освітлення може призводити до підвищеного навантаження на зір і ризику травмування.

## 4. Психофізіологічні фактори

- Висока фізична та розумова напруга, необхідність швидкого прийняття рішень в умовах обмеженого часу.

- Втома через тривалі або нічні зміни.

### *Наслідки впливу небезпечних і шкідливих факторів*

- Ризик травматизму (механічні травми, опіки).
- Розвиток професійних захворювань, таких як шумова втрата слуху, токсичні ураження органів дихання, хронічні захворювання опорно-рухового апарату.

- Погіршення загального фізичного стану працівників через тривалий вплив шкідливих факторів.

### *Заходи щодо зниження ризиків*

#### 1. Організаційні заходи

- Проведення регулярних інструктажів і навчання працівників.
- Розробка та дотримання чітких інструкцій щодо обслуговування двигунів.

#### 2. Інженерно-технічні заходи

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 60    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

- Використання сучасного обладнання з підвищеним рівнем безпеки.

- Забезпечення якісної вентиляції приміщень.

- Застосування захисних кожухів на рухомих частинах обладнання.

### 3. Забезпечення засобами індивідуального захисту (ЗІЗ)

- Використання захисних окулярів, рукавичок, берушів, спецодягу та масок для роботи з токсичними речовинами.

### 4. Медичний контроль

- Проведення регулярних медичних оглядів працівників.

- Впровадження програм з профілактики професійних захворювань.

**Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів дозволяє виявити основні ризики, які виникають під час обслуговування транспортних двигунів. Системний підхід до їх мінімізації, впровадження інженерних і організаційних заходів, а також використання засобів індивідуального захисту допомагають забезпечити безпечні умови праці, зменшити травматизм і захворюваність серед персоналу.**

|     |      |             |        |      |                                  |       |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | <i>КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ</i> | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                                  | 61    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                  |       |

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було проаналізовано конструктивні особливості чотиритактного високообертового автомобільного двигуна MAN D-0834/36.

Проведений аналіз особливостей застосування систем підготовки палива. Визначено, що ефективним буде використання системи диспергування палива, яка покращить експлуатаційні показники роботи двигуна. Проведені розрахунки робочого циклу, визначені основні параметри роботи двигуна. Виконаний динамічний розрахунок. Модернізовано паливну систему двигуна.

В розділі охорони праці викладені заходи при виконанні яких забезпечується надійна та безпечна робота двигуна та судна в цілому.

Економічний розрахунок підтвердив ефективність впровадження.

|     |      |             |        |      |                           |       |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                           | 62    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                           |       |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. [https://uk.wikipedia.org/wiki/MAN\\_G90](https://uk.wikipedia.org/wiki/MAN_G90).
2. MAN D-0834/36. Project guide, 2008. 117 p.
3. 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](https://doi.org/10.1007/978-3-658-03981-3_3)
4. 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. 6: Надійність ДВЗ. 421 с.
5. Bennett S. Modern Diesel Technology: Light Duty Diesels. New York: Delmar, 2012. – 412 p.
6. Наливайко В. С., Тимошевський Б. Г., Ткаченко С. Г. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : підруч. Миколаїв : Вид-во Торубара В.В., 2015. – 332 с.
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 форсованих двигунів наземних транспортних машин. 493 с.
8. Challen B., Baranescu R. Diesel Engine Reference Book. Second edition Butter-worth-Heinemann, 1999. – 675 p.
9. Lakshminarayanan P. A., Avinash Kumar Agarwal. Design and Development of Heavy Duty Diesel Engines. Springer, 2020. – 912 p.
10. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

|     |      |             |        |      |                                  |       |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------------|-------|
|     |      |             |        |      | <i>КРМ.142.6221м.24.04.00.ПЗ</i> | Аркуш |
|     |      |             |        |      |                                  | 63    |
| Зм. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                  |       |