

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки**

Кафедра механічної інженерії та автомобільного транспорту

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня
магістр

Галузь знань 27 – «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

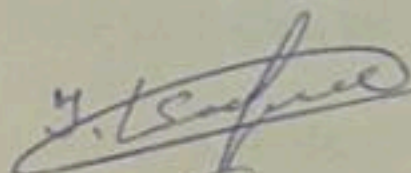
на тему: «Дослідження системи вентиляції картера дизельних двигунів»

Виконав: студент групи ААГ-22м



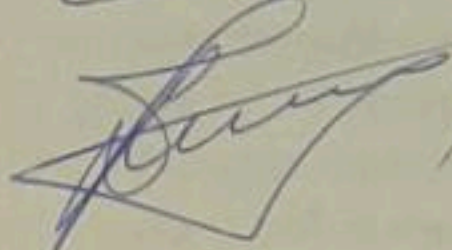
Дмитро БАРАНІВСЬКИЙ

Керівник:



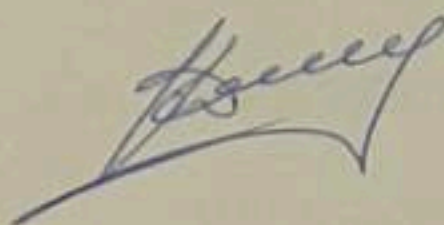
Ігор ШЕПЕЛЕНКО

Завідувач кафедри:



Олександр МЕЛЬНИК

Рецензент:



Дмитро Баранівський

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки

Кафедра: механічної інженерії та автомобільного транспорту

Освітній ступінь: «магістр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 – «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МІ та
АТ

Олександр МЕЛЬНИК

«06» 10 2025р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «магістр»
Баранівського Дмитра Романовича

1.Тема роботи: «Дослідження системи вентиляції картера дизельних двигунів»
затверджена наказом вищого навчального закладу від 06 жовтня 2025 р.
№ 569-с

Керівник роботи: д.т.н., Ігор ШЕПЕЛЕНКО

2. Строк подання студентом завершеної роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: літературні джерела, інтернет джерела, результати
спостережень, результати експериментальних досліджень

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити):** 1. Загально-технічний розділ. 2. Конструкторський розділ.

3. Науково-дослідний розділ. Загальні висновки та рекомендації.

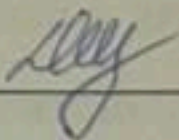
5. Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) – 16 слайдів.

Дата видачі завдання « 08 » жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

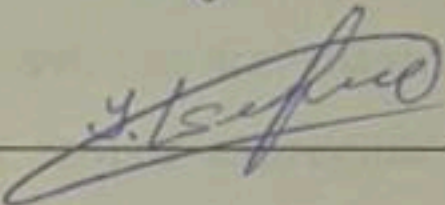
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Розділ 1. Загально-технічний розділ	17.09.2025	виконано
2.	Розділ 2. Конструкторський розділ	22.10.2025	виконано
3.	Розділ 3. Науково-дослідний розділ	19.11.2025	виконано
4.	Оформлення пояснювальної записки	26.11.2025	виконано
5.	Рецензування	01.12.2025	виконано
6.	Попередній захист	04.12.2025	виконано
7.	Захист	08.12- 31.12.2025	—

Студент



Дмитро БАРАНІВСЬКИЙ

Керівник роботи



Ігор ШЕПЕЛЕНКО

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	6
1.1. Аналіз наявних проблем при проектуванні закритої системи вентиляції картера	6
1.2. Огляд конструктивних особливостей компонентів системи вентиляції картера	12
1.3. Конструктивні особливості олиовідділювачів системи вентиляції картера	22
1.4. Аналіз розрахунково-експериментальних досліджень процесів у СВК	29
Висновки до першого розділу	37
КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	39
2.1. Розробка та аналіз конструкції компонентів закритої системи вентиляції картера	39
2.2. Вибір компонентів для закритої системи вентиляції картера	48
Висновки до другого розділу	49
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	50
3.1. Програма та методика стендових безмоторних випробувань олиовідділювачів	50
3.2. Програма та методика стендових моторних випробувань закритої СВК	54
3.3. Випробувальне обладнання та оцінка точності експериментальних досліджень	57
3.4. Стендові випробування олиовідділювачів	59
3.5. Стендові випробування закритої СВК	61
Висновки до третього розділу	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68

ВСТУП

Сучасні вимоги до двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) постійно зростають у зв'язку з посиленням екологічних стандартів, підвищенням ефективності та надійності силових агрегатів. Одним із важливих аспектів оптимізації ДВЗ є забезпечення ефективної роботи системи вентиляції картера (СВК), яка відповідає за відведення картерних газів (КГ) та запобігає проникненню надлишкового тиску в систему змащування. Наявність викидів КГ значно знижує ефективність роботи двигуна та впливає на рівень шкідливих викидів в атмосферу, що робить дослідження у сфері СВК актуальними.

Закриті системи вентиляції картера (ЗСВК) є сучасними та ефективними рішеннями, що дозволяють мінімізувати шкідливий вплив картерних газів на навколишнє середовище та підвищити довговічність двигуна. Проте проєктування такої системи супроводжується рядом технічних проблем, серед яких - оптимальний підбір компонентів та забезпечення ефективного очищення газів. Окреме значення має використання олиовідділювачів, що сприяють видаленню масляного аерозолі з картерних газів, та правильно розроблені конструктивні рішення, які дозволяють мінімізувати знос і втрати потужності.

Метою кваліфікаційної роботи є проведення досліджень і розробка ефективної ЗСВК для дизельних двигунів.

Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Виконати комплексний аналіз існуючих проблем і особливостей проєктування закритих систем вентиляції картера (СВК);
2. Дослідити процеси газодинаміки та теплопередачі, що відбуваються у картері двигуна, та надати рекомендації для зниження витрат картерних газів (КГ) через удосконалення конструктивних елементів СВК;
3. Провести дослідження ефективності роботи різних олиовідділювачів та всієї закритої системи вентиляції картера.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз наявних проблем при проектуванні закритої системи вентиляції картера

Термін "потіння двигуна" описує явище, коли під час роботи двигуна деяка кількість відпрацьованих газів (ВГ) проникає через кільцеве ущільнення поршня внаслідок різниці тисків і потрапляє до картера двигуна (КД). У нових двигунах цей процес зведений до мінімуму, але в старих двигунах значна частина ВГ проривається до КД. Кількість цих газів залежить від навантаження на двигун. У картері створюється надлишковий тиск, що виникає через рух поршнів і частоту обертання колінчастого вала. Цей тиск поширюється на всі приховані порожнини, пов'язані з КД, такі як зливний оливопровід, картер приводу газорозподільного механізму і т.д., що може призводити до просочування масла через ущільнення елементів двигуна [4-8].

Автомобілі викидають у атмосферу значну кількість шкідливих речовин: 65% складають відпрацьовані гази, 20% - картерні гази (КГ), а 15% - пари палива [4-8]. У сучасних високофорсованих двигунах частка дрібних масляних частинок розміром від 0 до 2 мкм значно зросла порівняно з двигунами минулих років.

Раніше картерні гази разом з моторною оливою викидались у атмосферу. Для захисту навколишнього середовища почали використовувати закриті системи вентиляції картера (СВК), що виконують дві основні функції:

1. Осадження масла: олива осідає в системі, щоб запобігти її виносу з двигуна, і через зливні канали повертається в картер двигуна.
2. Підтримка тиску: СВК підтримує тиск картерних газів (КГ) у картері двигуна (КД) на рівні близькому до атмосферного, що забезпечує надійність ущільнень і мінімізує опір у системі [3-10].

СВК і КД у двигуні тісно пов'язані: картерні гази неминуче змішуються з оливним туманом у КД, а вихід з КД служить входом для СВК. КД являє собою простір усередині двигуна, обмежений внутрішніми поверхнями його деталей. Ефективна організація і структура КД сприяють зниженню навантаження на СВК.

СВК включає елементи для забору КГ, відділення масла, зливу осадженого масла назад у КД і відведення очищених КГ [9-10].

Ефективність СВК визначається трьома основними характеристиками [3-11]:

- Ефективність: здатність системи відділяти оливу максимально ефективно.
- Надійність: відповідність системи заданим параметрам і забезпечення герметичності.
- Навантаженість: визначається кількістю масла, що потрапляє до СВК разом із КГ, та їх співвідношенням.

На ефективність закритої системи вентиляції картера (СВК) впливає кількість утворених картерних газів (КГ), що визначає їх об'ємну швидкість у системі, а також кількість масла, що потрапляє у СВК у зваженому стані. Гідравлічний опір у СВК визначається тиском КГ, особливо в разі відкритої системи. Збільшення об'єму КГ підвищує ймовірність утворення "оливого туману" - дрібних частинок масла, що навантажують СВК і знижують ефективність олиовідділення. Під час роботи СВК зважені частинки масла мають осідати і зливатися назад у картер двигуна через відповідні елементи системи. Також температура КГ впливає на осадження масла: на робочих режимах двигуна температура КГ може досягати 125 °С, тоді як температура кипіння масла становить близько 300°С. Чим вища температура, тим менші розміри частинок масла, що потрапляють у СВК. Для підвищення ефективності олиовідділення необхідно знижувати температуру КГ [10].

Існують два основні типи СВК [8-16]:

- Відкрита СВК: Відводить картерні гази безпосередньо в атмосферу.
- Закрита СВК: Повертає картерні гази у впускний тракт двигуна. Переваги відкритої СВК:
 - Простота конструкції.
 - Зручність у компонуванні.
 - Відсутність впливу на систему впуску та наддуву.
 - Відсутність впливу на робочий процес у циліндрах двигуна, що

сприяє його ефективності.

- Менша конструктивна маса.
- Знижені витрати на виробництво, обслуговування та ремонт.
- Менша кількість деталей. Недоліки відкритої СВК:
- Неможливість видалення дрібних частинок масла розміром менше 2 мкм.
- Викиди шкідливих речовин разом із КГ в атмосферу, що збільшує екологічний вплив двигуна.

Переваги закритої СВК:

- Ефективніше відділення оливного аерозолі від КГ.
- Відсутність викидів шкідливих речовин у атмосферу.
- Зменшення загального екологічного впливу на навколишнє середовище.

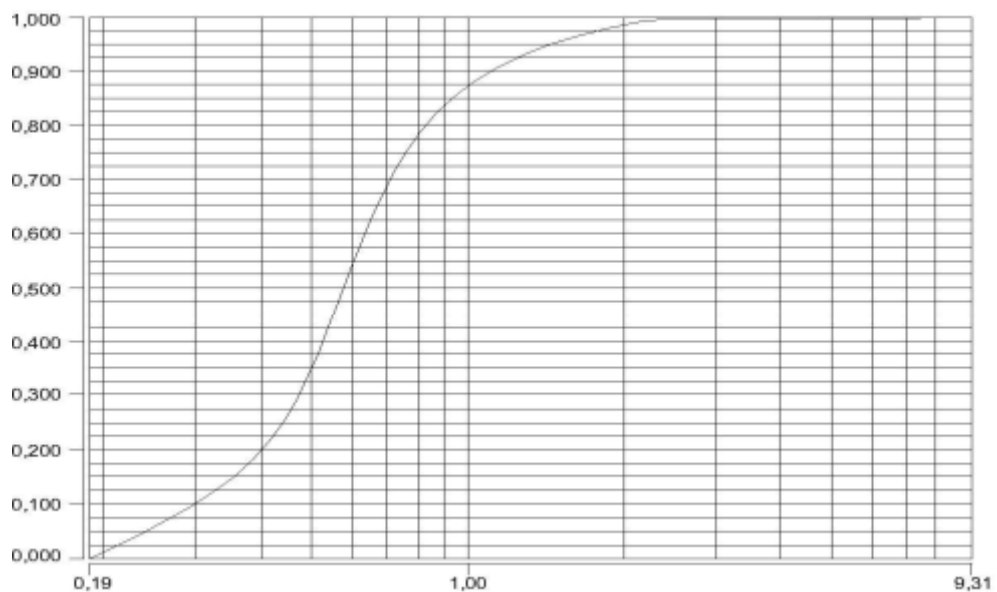


Рисунок 1.1 – Залежність розміру частинок від ефективності їх видалення

Основні недоліки закритої системи вентиляції картера (СВК) включають:

- Складне конструювання та складну компоновку.
- Велика кількість компонентів у системі.
- Збільшення конструктивної маси.
- Необхідність регулярного та детального обслуговування

олиновідділювача. У випадку забруднення фільтра, в більшості олиновідділювачів активується обхідний клапан, через що неочищені картерні гази (КГ) прямують безпосередньо в впускний тракт.

- Негативний вплив на робочий процес у циліндрах двигуна при виході системи з ладу.
- Необхідність встановлення редуктора в лінії між олиновідділювачем і впускною системою для уникнення створення вакууму в картері при значному засміченні повітряного фільтра.

Створення закритої СВК має свої складнощі, особливо через дрібні частинки масла, які потрапляючи у картерні гази та спрямовуючись у впускну систему, можуть призводити до серйозних проблем, включно з закоксуванням колеса компресора та залипанням елементів системи очищення надувного повітря (ОНП), що знижує потужність двигуна і в кінцевому підсумку може призвести до його поломки [3, 14, 16].



Рисунок 1.2 – Закоксовування деталей ТКР від неефективної роботи закритої СВК ДВЗ

Виробники турбокомпресорів встановлюють строгі вимоги до максимально допустимого рівня забруднення масляними частинками для своєї продукції. Для легкових автомобілів цей показник не має перевищувати 0,2 грама на годину, тоді як для вантажних автомобілів граничне значення становить 4 грами на годину масла, що потрапляє в впускну систему. Досягнення таких показників можливе завдяки використанню олиновідділювачів з ефективністю не менше 95% [18-20].

Водяні пари можуть спричинити формування емульсії та піни в маслі, що ускладнює доступ масла до поверхонь тертя і знижує його змащувальні властивості. Також пари палива, розріджуючи оливу, негативно впливають на його мастильні характеристики [1, 3]. Під впливом інших складових картерних газів у маслі утворюються кислоти, осадки та інші домішки, що скорочують термін служби деталей двигуна та прискорюють їхнє зношування.

Процеси утворення картерних газів та їхнє проникнення до входу СВК визначають динаміку роботи цієї системи. Основні джерела утворення цих газів включають:

- Прорив першого типу: робоче тіло проривається через ущільнення між поршнем і гільзою циліндра.
- Прорив другого типу: відпрацьовані гази та свіжий заряд проникають через ущільнення та з'єднання клапанів.
- Прорив третього типу: відпрацьовані гази проходять через ущільнення ротора турбокомпресора.

Процеси формування картерних газів через прорив між поршнем і гільзою циліндра, а також через клапанні з'єднання мають пульсуючий характер. Ці пульсації важливо враховувати при розрахунках та проектуванні системи, оскільки вони впливають на ефективність роботи СВК.



Рисунок 1.3 – Схема виникнення та руху КГ

У картері двигуна (КД) переміщення картерних газів (КГ) до системи вентиляції картера (СВК) зустрічає перепони у вигляді обертових деталей двигуна

та поперечних стінок блоку циліндрів, які є опорами для колінчастого валу. Це призводить до утворення хвильових явищ у середовищі КГ, що вимагає врахування під час проектування СВК та формування структури КД. Інтенсивне перемішування КГ з оливою, що стікає з двигунних деталей через їхнє обертання, та з оливою, що відшаровується від поверхні оливної ванни під дією потоків КГ, відбувається під час роботи двигуна. Цей процес, відомий як барботаж, значно впливає на навантаження на СВК [4-10].

Ключовим терміном, що описує процеси у СВК, є коалесценція (від латинського **coalesce** - об'єднуватися, зливатися). Коалесценція - це процес злиття крапель чи бульбашок, коли вони зіштовхуються в рухомому середовищі (рідина чи газ) або на поверхні будь-якого тіла (див. рисунок 1.4). Цей процес, що веде до збільшення розміру крапель або бульбашок, викликаний дією міжмолекулярних сил притягання і є спонтанним, спрямованим на зменшення вільної енергії системи [14-20].

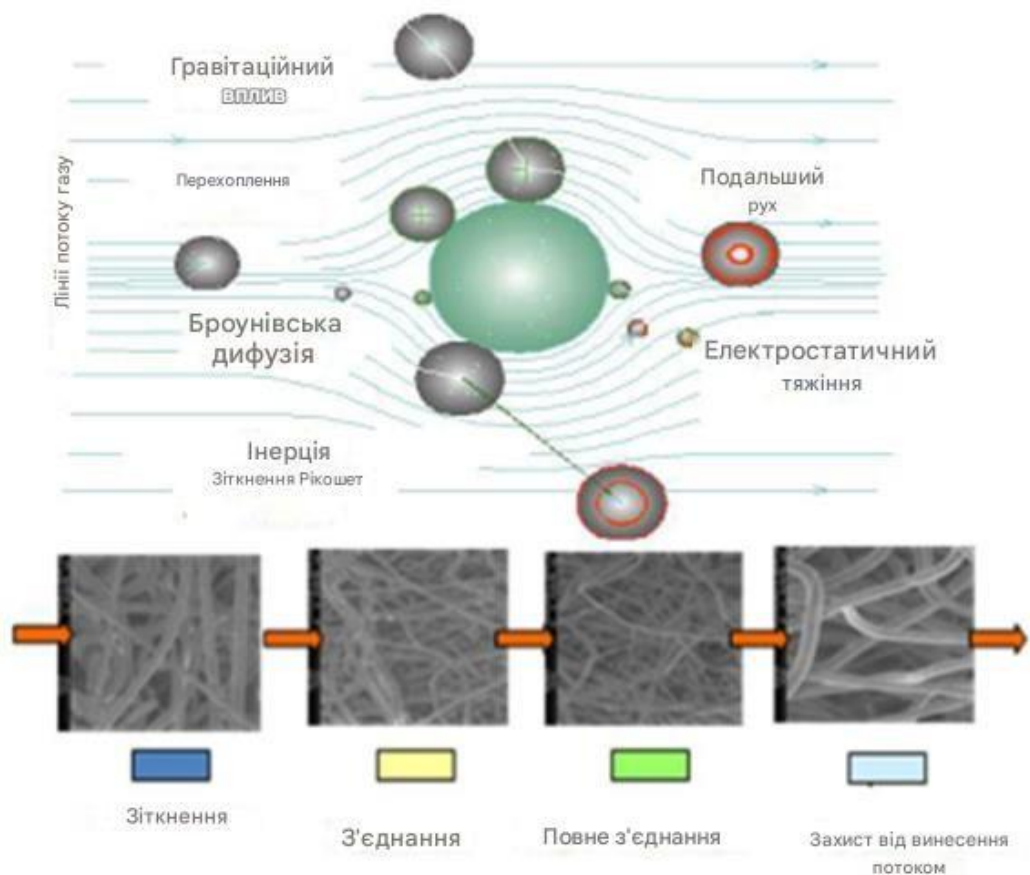


Рисунок 1.4 - Зображення процесу коалесценції

1.2. Огляд конструктивних особливостей компонентів системи вентиляції картера

Система вентиляції картера (СВК) у серійних V-подібних двигунах моделі 8ЧН 12/13 розроблена з однаковою конструктивною структурою для всіх двигунів цього типу, як це ілюструється на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5- Загальний вигляд V-подібних двигунів V8 (зліва) і V6 (справа)

Відкрита система вентиляції картера (СВК), застосована в двигунах, ефективно розділяє картерні гази (КГ) від великодисперсної оливної суміші. Проте, не всі частки масла різних розмірів, що потрапляють до СВК, осідають повністю. У трубці відведення КГ формується частковий "олійний конденсат" із залишків "олійного туману", що проходить через СВК. Згодом на виході трубки можуть з'являтися краплі конденсату масла, що може розглядатися як "винесення масла" разом із картерними газами. Зниження ефективності СВК через порушення в роботі може призвести до постійних витоків масла з трубки відведення КГ.

Під час роботи двигуна картерні гази утворюються порційно та нерівномірно, що пов'язано з робочим циклом і частотою обертання двигуна [3, 14]. Картер і простір перед входом у СВК не приглушують хвильові коливання, тому пульсації КГ передаються в систему. Для зниження навантаження на СВК необхідно запобігати надмірному потраплянню масла до входу в систему, наприклад, уникати прориву масла з системи змащення через дефекти лиття блоку

циліндрів. Також слід враховувати вплив нахилів і кренів на роботу СВК. Зміни положення двигуна, особливо під нахилом, можуть зміщувати поверхню масла в картері, що збільшує навантаження на СВК і може частково перекривати вхід у штангову порожнину другого циліндра, погіршуючи її роботу.

Для подолання бродів двигуном, СВК необхідно обладнати додатковими пристроями, що забезпечують виконання цієї функції, оскільки верхня частина та вихід СВК розташовані низько відносно рівня води під час перетину броду.

Принципова схема картерної вентиляції та СВК двигуна представлена на рисунку 1.6, а їх конструктивне виконання - на рисунку 1.7.

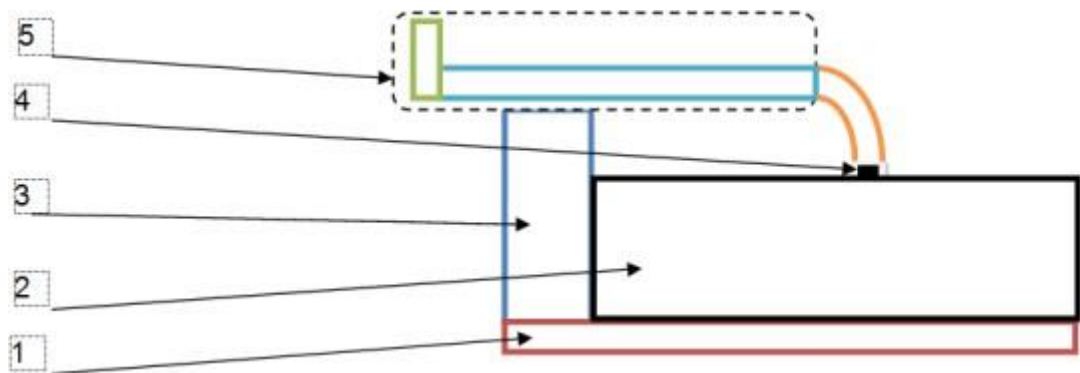


Рисунок 1.6 - Загальна схема картерного простору (КД) і системи вентиляції картера (СВК): 1 - масляна ванна; 2 - КД блоку циліндрів двигуна; 3 - КД між картером маховика і блоком циліндрів; 4 - вихід із КД і вхід у СВК; 5 - СВК

У цій конструкції СВК передбачено злив масла в КД через гідрозатвор.

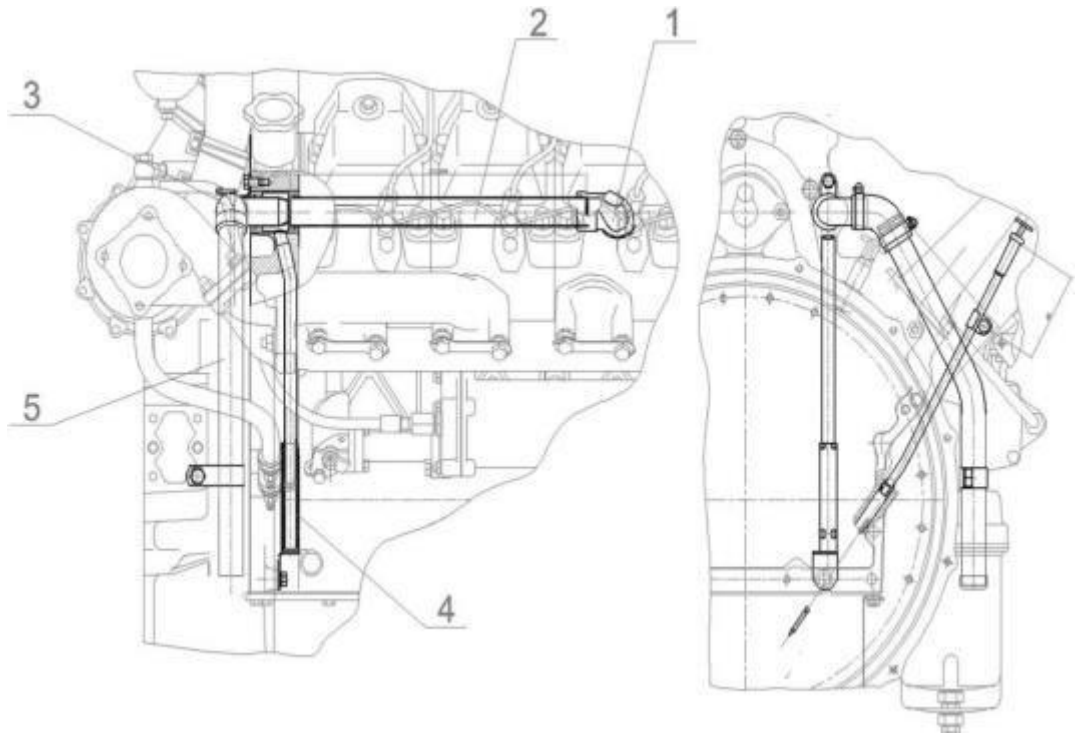


Рисунок 1.7 - Відкрита серійна СВК двигуна: 1 - косинець сапуна (вхід у СВК); 2 - трубка сапуна; 3 - олиовідділювач; 4 - гідрозатвор; 5 - трубка для відведення картерних газів (КГ)

У минулому на двигуни встановлювали відкриту систему вентиляції картера (СВК) циклонного типу, деталі якої можна побачити на рисунку 1.8. У цій системі картерні гази відводилися з штангової порожнини другого циліндра через косинець (1), всередині якого знаходився завихрювач (2). Цей завихрювач мав за завдання забезпечувати ефективніше відокремлення масляних часток від картерних газів шляхом створення обертового руху газів, що сприяє коалесценції масляних крапель.

Під час роботи двигуна картерні гази (КГ) видаляються з штангової порожнини другого циліндра через косинець (1) і проходять крізь завихрювач (2), отримуючи гвинтовий рух. Завдяки дії відцентрової сили, масляні краплі з газів відкидаються на стінки труби (4) і спрямовуються до олиовідділювача (7). Очищені від масла картерні гази потім виводяться в атмосферу через трубку (11). Відокремлена олива повертається до картера через трубку (6), причому злив масла здійснюється через дросель і зливну трубку.

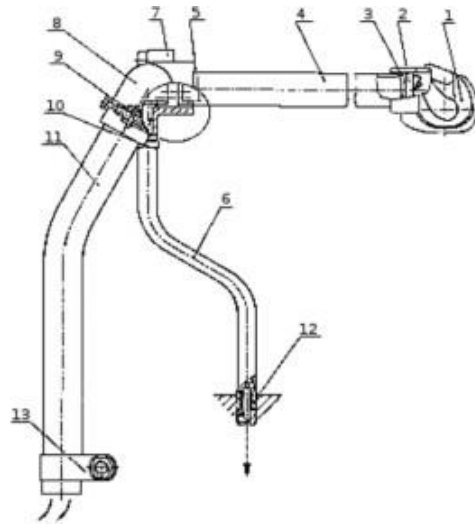


Рисунок 1.8 - Схема відкритої СВК циклонного типу (раніше встановлюваної) на двигуні : 1 - косинець; 2 - завихрювач; 3 - ущільнювальне кільце; 4 - труба; 5 - внутрішня втулка; 6 - труба зливу масла; 7 - олиовідділювач; 8 - кутовий шланг; 9, 10 - хомути; 11 - трубка відведення газів; 12 - дросель

На старіших моделях двигунів використовувалася відкрита система вентиляції картера (СВК), де картерні гази проходили через лабіринтний сапун-вловлювач (1), який відділяв масляні частки (див. рисунок 1.9).

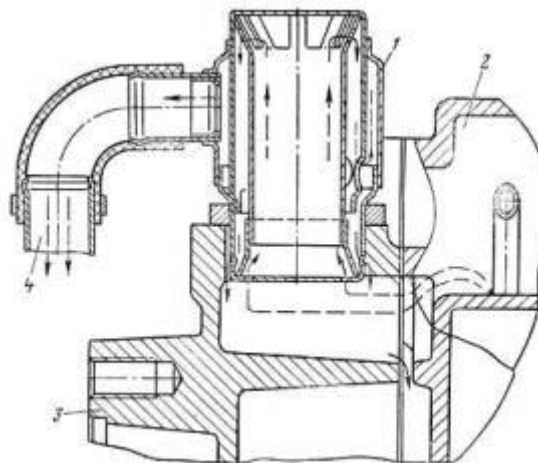


Рисунок 1.9 - Схема з сапуном-уловлювачем СВК : 1 - сапун- уловлювач; 2 - порожнина блоку циліндрів; 3 - картер маховика; 4 - газовідвідна трубка

Система вентиляції картерних газів (КГ) закритого типу, представлена на рисунку 1.10, має кілька ключових особливостей, які роблять її ефективною та

надійною у використанні:

1. Відцентровий олеофобний фільтр з ефективністю понад 95% - цей фільтр забезпечує високу ефективність видалення масляних часток з картерних газів, що дозволяє зменшити забруднення двигуна та покращити його продуктивність.

2. Функція самоочищення - завдяки центрифужному ефекту, який виникає при обертанні, система автоматично видаляє накопичені частинки та олива з фільтра, зменшуючи потребу в частому обслуговуванні.

3. Тривалий інтервал між технічним обслуговуванням - система розрахована на приблизно 500 тисяч кілометрів між обслуговуваннями, що робить її зручною та економічно вигідною для власників транспортних засобів.

Ці характеристики роблять закриту систему вентиляції картерних газів ідеальним вибором для тих, хто прагне мінімізувати обслуговування та зберегти ефективність двигуна на високому рівні.



Рисунок 1.10 – Загальний вигляд СВК двигунів

Система вентиляції картера в цих двигунах функціонує на основі принципу центрифуги. Порожнистий вал з встановленим на ньому фільтром крутиться за рахунок взаємодії з циліндричною зубчастою передачею, яка сполучена з шестернею паливного насоса високого тиску (ТНВД) (див. рисунок 1.11).

Картерні газы проходять крізь фільтр для масляних газів та спрямовуються во впускний тракт турбокомпресора (ТКР).

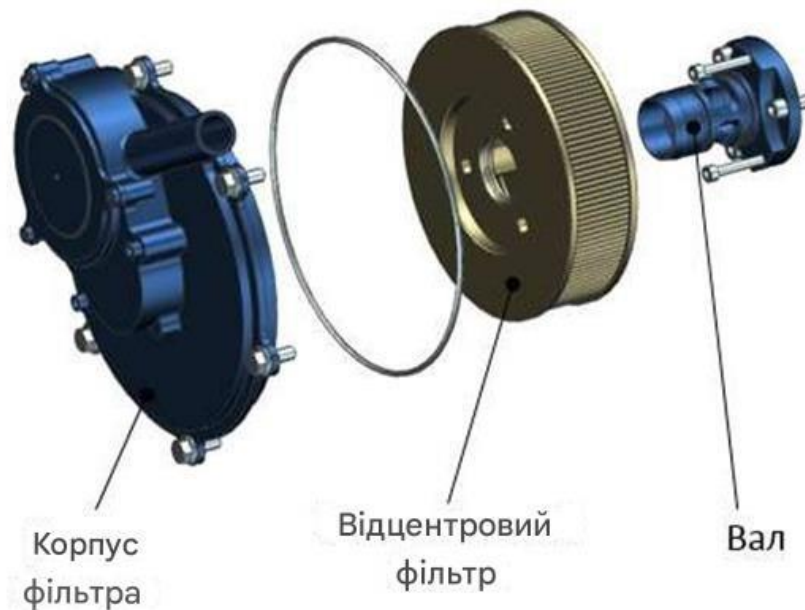


Рисунок 1.11 - Зображення оливовідділювача та його приводу

Система вентиляції картера (СВК) оснащена регулювальним клапаном, який контролює тиск картерних газів (КГ), утримуючи його в межах встановленого діапазону надлишкового тиску від 0 до 10 мбар (див. рисунок 1.12). При перевищенні цього рівня тиску існує ризик прориву картерних газів.

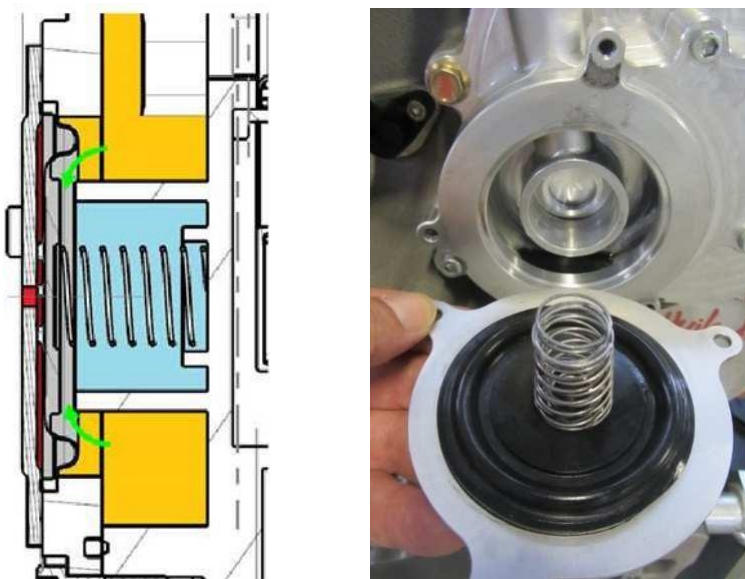


Рисунок 1.12 - Регулюючий клапан оливовідділювача двигунів Р6

Для двигунів КАМІНЗ застосовуються два варіанти системи вентиляції картерних газів (СВК), в залежності від конкретного типу двигуна:

1. Відкрита СВК (див. рисунок 1.13): у цьому варіанті картерні гази (КГ), після проходження через фільтр, відводяться безпосередньо в атмосферу. Цей метод є більш простим і економічним з точки зору установки, але менш ефективним щодо зниження емісії шкідливих речовин.

2. Закрита СВК (див. рисунок 1.14): в цьому випадку картерні гази, також пройшовши фільтрацію, спрямовуються на вхід до компресорної частини турбокомпресора (ТКР). Це дозволяє повторно використовувати картерні гази, зменшуючи викиди в атмосферу і підвищуючи загальну ефективність двигуна. Закрита СВК є більш сучасним та екологічно чистим рішенням, яке також може покращувати показники потужності та економічності двигуна.

Обидва варіанти СВК використовуються для забезпечення оптимальної роботи двигунів КАМІНЗ, допомагаючи зменшити внутрішній тиск у картері і забезпечити відведення шкідливих речовин, однак вибір між відкритою і закритою системою залежить від конкретних вимог до двигуна та його застосування.



Рисунок 1.13 – Відкрита СВК двигуна КАМІНЗ



Рисунок 1.14 – Закрита СВК двигуна КАМІНЗ

Принципова схема КД і СВК двигуна КАМІНЗ представлена на рисунку 1.15, відкритого та закритого виконання:

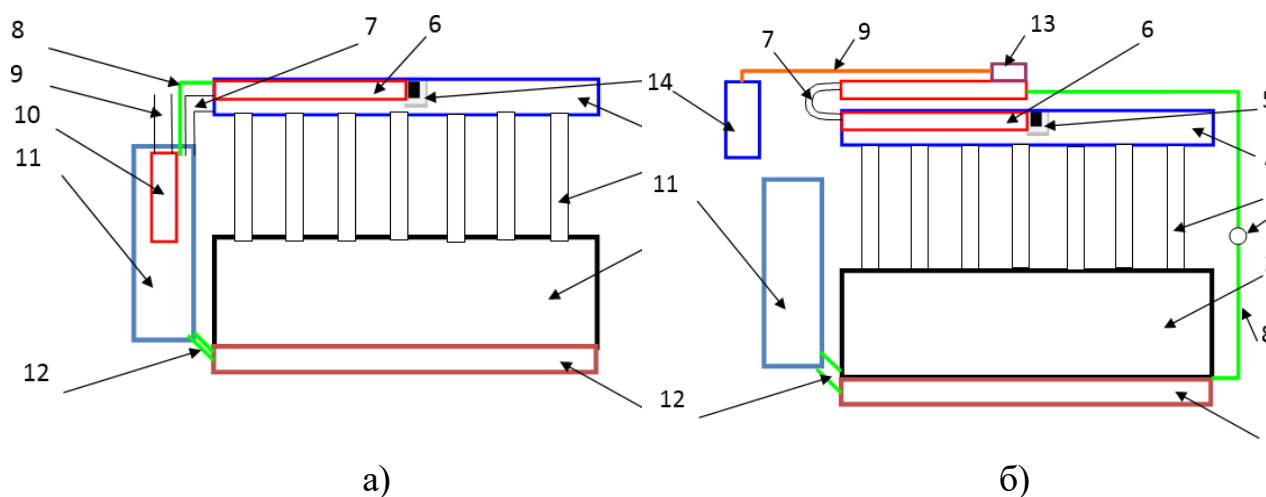


Рисунок 1.15 – Схеми картерного простору (КД) і системи вентиляції картера (СВК) двигуна КАМІНЗ: а - Відкрита СВК; б - Закрита СВК: 1 - масляна ванна; 2 - КД блоку циліндрів двигуна; 3 - КД у каналах блоку циліндрів, які ведуть до головки блоку циліндрів (ГБЦ); 4 - КД ГБЦ; 5 - вихід із КД і вхід у СВК; 6 - перший ступінь СВК (оливодіділювач); 7 - з'єднання ступенів СВК; 8 - злив масла з елементів СВК; 9 - відведення відокремлених КГ; 10 - другий ступінь СВК (оливодіділювач); 11 - порожнина між картером маховика і блоком циліндрів; 12 - злив масла з порожнини між картером маховика і блоком циліндрів; 13 - регулюючий клапан; 14 - вхід у компресорну частину ТКР; 15 - пелюстковий клапан

Закрита система вентиляції картера (СВК), розроблена фірмою «Cummins Filtration», використовується для нейтралізації токсичних елементів, що виходять з дизельних двигунів в умовах, коли обсяг картерних газів перевищує 340 л/хв. Система ефективно знижує рівень шкідливих викидів, обмежує споживання масла, зменшує кількість токсичних речовин у вихлопі та запобігає витокам масла в моторному відсіку. Серцем цієї системи є поглинальний вузол, який детально зображено на рисунку 1.16, а процес його монтажу ілюстрований на рисунку 1.17.

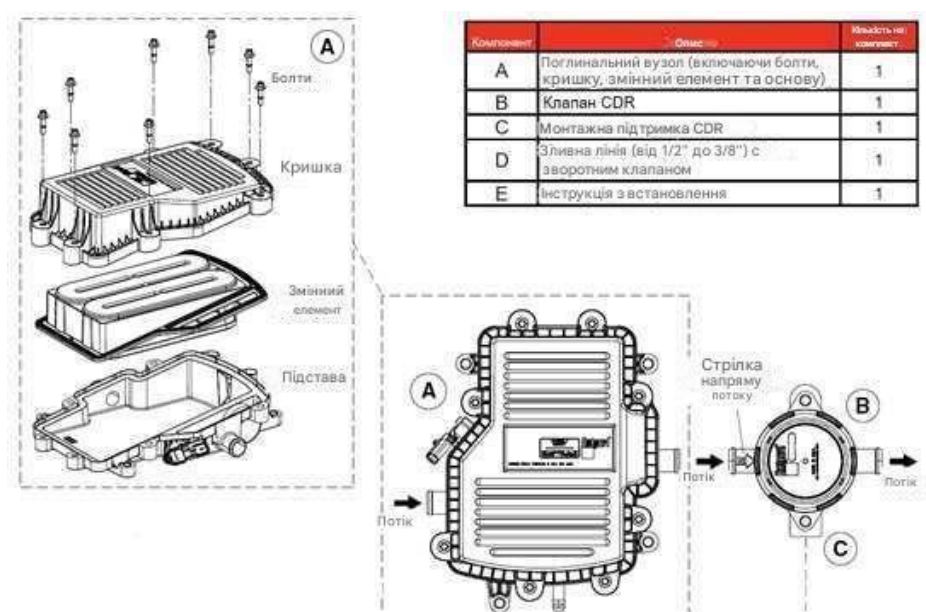


Рисунок 1.16 - Поглинальний вузол СВК двигуна «КАММІНЗ»

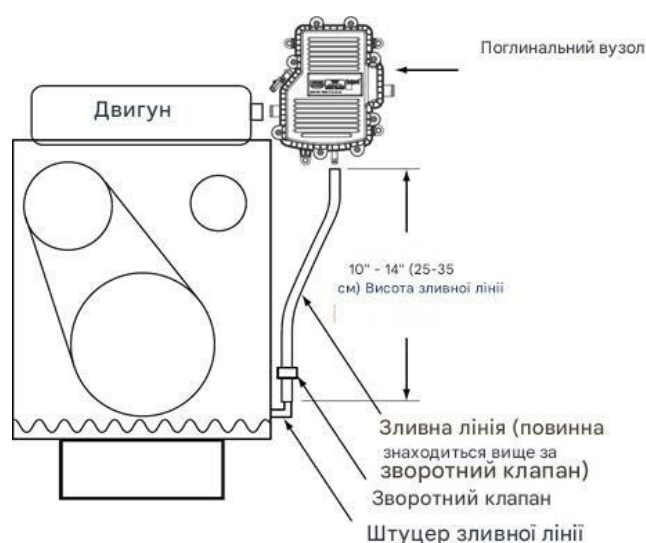


Рисунок 1.17 - Схема поглинального вузла СВК двигунів КАМІНЗ

Система вентиляції картера (СВК) закритого типу, яка використовується на двигунах ЯМЗ, спрямована на оптимізацію видалення картерних газів. Ці гази відсмоктуються у систему впуску повітря перед турбокомпресором (ТКР), що допомагає підвищити ефективність двигуна та зменшити викиди шкідливих речовин.

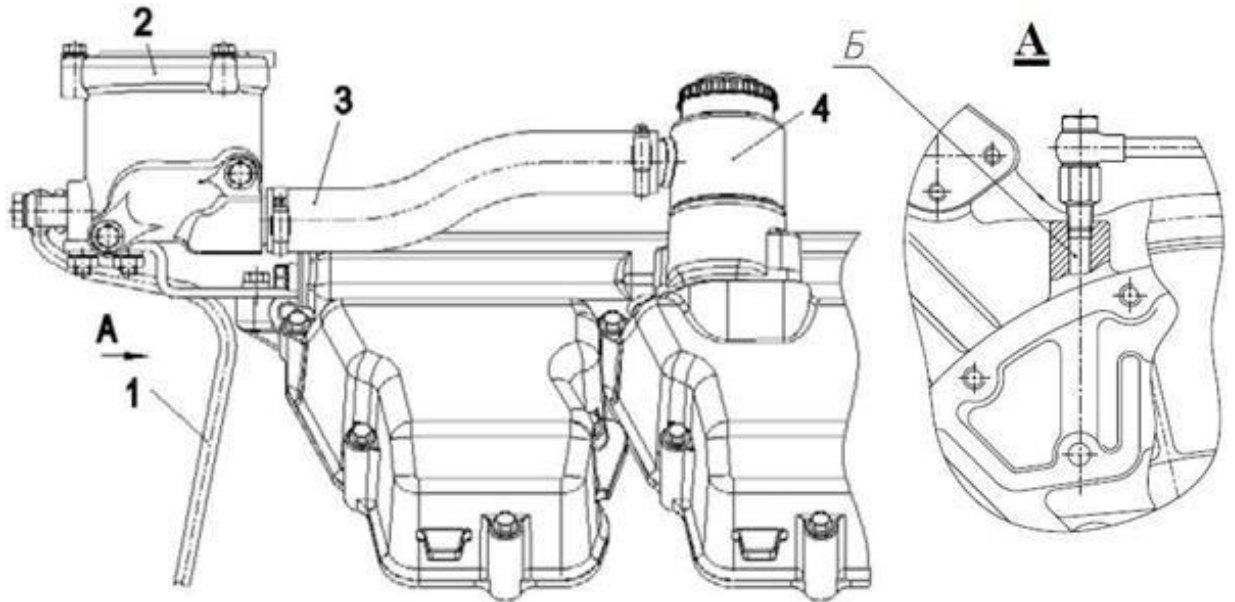


Рисунок 1.18 - Загальна схема СВК двигунів ЯМЗ: 1 - трубка зливу масла; 2 - оливовідділювач; 3 - підвідний рукав; 4 - сапун; В - порожнина для заливання масла

Картерні гази (КГ), які забираються з-під кришки головки блоку циліндрів (ГБЦ), спершу проходять через сапун, після чого їх направляють рукавом до входу в оливовідділювач. У цьому пристрої, в нижній частині корпусу, розміщено пакет із чотирьох дисків, де відбувається первинне відділення масла з картерних газів, що зображено на рисунку 1.19.

Процес очищення газів продовжується, коли КГ піднімаються вгору до мембранного клапана (7). Цей клапан відіграє ключову роль у регулюванні тиску всередині картера, допомагаючи підтримувати оптимальні умови для роботи двигуна. Після проходження через клапан, очищені гази виводяться через верхній патрубок (1) і подаються у систему впуску двигуна.

З іншого боку, масляні краплі, які осіли на дисках в оливовідділювачі, збираються і зливаються через зливну трубку назад в піддон двигуна. Це дозволяє зменшити втрати масла і забезпечує більш чисту та ефективну роботу системи.

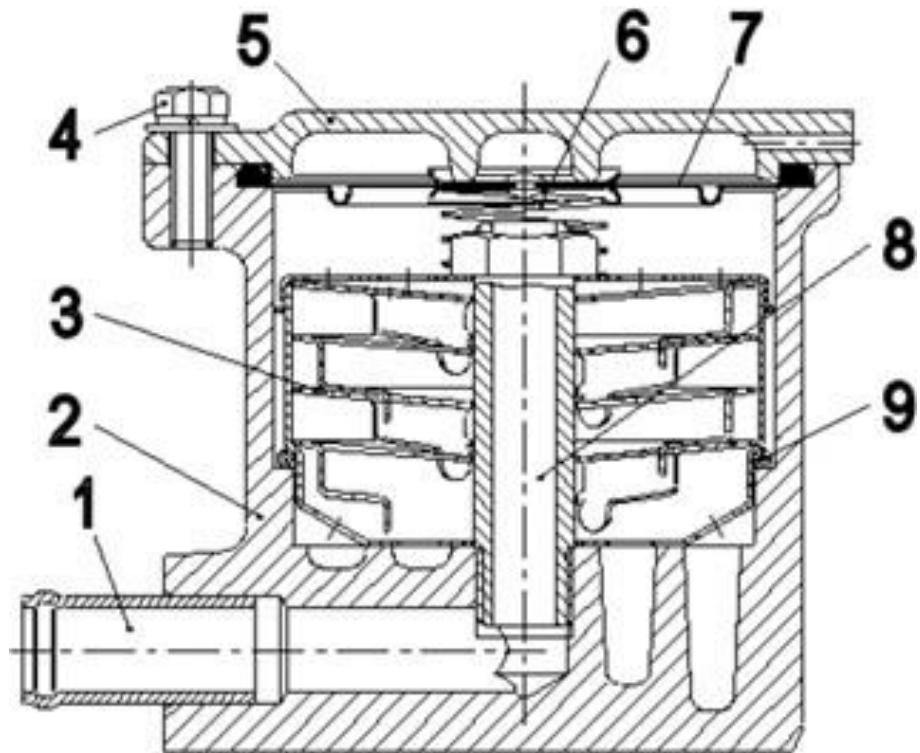


Рисунок 1.19 - оливовідділювач двигуна ЯМЗ: 1 - вихідний патрубок; 2 - корпус; 3 - диски оливовідділювача; 4 - болт; 5 - кришка; 6 - пружина; 7 - мембранний клапан; 8 - стяжний болт; 9 - гумове кільце

1.3. Конструктивні особливості оливовідділювачів системи вентиляції картера

Системи вентиляції картера (СВК) мають критично важливе значення для забезпечення ефективної роботи двигунів, особливо у зниженні забруднення та оптимізації споживання масла. За принципом відділення масла, СВК можуть класифікуватися на два основні типи:

1. СВК з приводним оливовідділювачем-сепаратором. Цей тип використовує механічні або електричні приводи для створення центрифугальної сили або інших видів сил, які активно відділяють оливу від

картерних газів. Приводний оливовідділювач здатен ефективно зменшити кількість масла у картерних газах перед їх поверненням або випусканням у навколишнє середовище.

2. СВК з використанням конструктивних заходів для впливу на потік КГ. Цей тип СВК використовує пасивні конструктивні елементи, такі як зміни напрямку або швидкості потоку КГ, бар'єри, спеціально розроблені камери та канали, що дозволяють відділення масла від газів без активних механізмів. Прикладом може бути використання звужувальних каналів, що зменшують швидкість потоку і сприяють осадженню масляних частинок.

Оливовідділювачі є ключовим елементом будь-якої СВК, виконуючи вирішальну роль у процесах відділення та осадження масла. Існує багато різновидів оливовідділювачів, які можуть варіюватися від простих пасивних конструкцій до складних механічних або електричних систем, з різною ефективністю та принципом дії. Деякі з цих варіантів представлені на рисунках 1.20-1.26, демонструючи широкий спектр можливих рішень для різних типів двигунів та їх конкретних потреб.



Рисунок 1.20 - Оливовідділювач «MAHLE»

Оливовідділювачі, як життєво важливі компоненти систем вентиляції картера (СВК), виконують ключову роль у відокремленні масла від картерних газів (КГ), що сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин та зниженню втрат масла. Нижче розглянемо один із прикладів такого обладнання -

оливовідділювач компанії "MAHLE", його конструктивні особливості та принципи роботи:

Конструктивні особливості:

- Компактність: Оливовідділювач "MAHLE" має малі розміри, що дозволяє легко інтегрувати його у будь-яку конфігурацію двигуна.
- Необслуговуваність: Виріб розроблений так, що воно не потребує регулярного обслуговування, що знижує загальні витрати на експлуатацію та забезпечує більшу надійність.
- Універсальність: Оливовідділювач може бути використаний як у відкритих, так і в закритих системах СВК, демонструючи його адаптивність до різних умов експлуатації.

Принцип роботи:

- Оливовідділювач "MAHLE" працює на принципі центрифугування або фільтрації, використовуючи силу відцентрового викиду для відділення масляних частинок від газів. Картерні гази проходять через спеціально розроблену камеру, де за допомогою обертових елементів або фільтруючих матеріалів відбувається відділення масла.
- Очищені від масла гази виходять із оливовідділювача та подаються далі до системи впуску двигуна або вивільняються у атмосферу, залежно від типу СВК.

Ця технологія сприяє підвищенню ефективності двигуна, зниженню викидів шкідливих речовин та забезпечує триваліший термін служби двигунних компонентів завдяки зменшенню забруднення системи змащення.

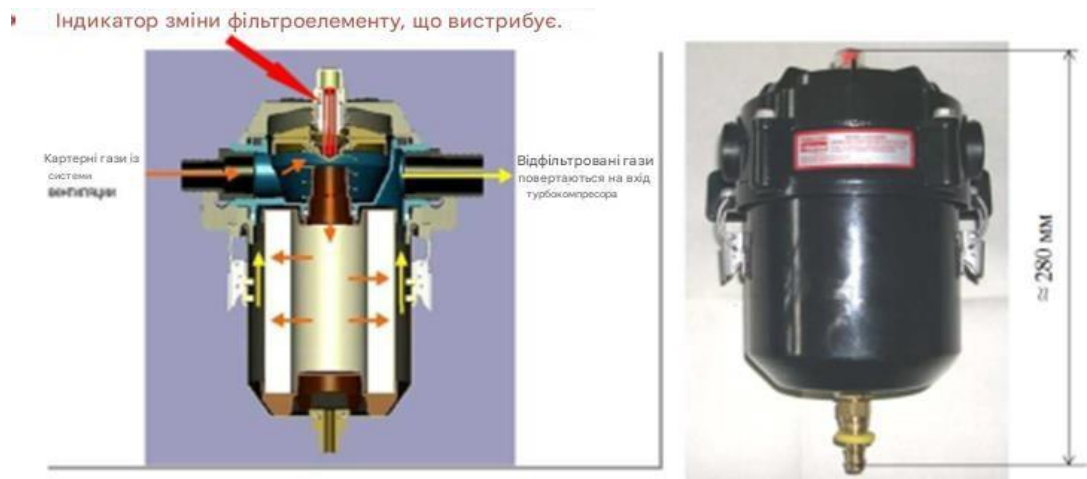


Рисунок 1.21 - Олиовідділювач СВК компанії "PARKER"

Олиовідділювач "Parker" є вискоєфективним рішенням для систем вентиляції картера (СВК), оскільки він використовує принцип фільтрації для очищення картерних газів (КГ) від масляних часток. Основні характеристики та принципи роботи цього олиовідділювача:

Основні характеристики олиовідділювача "Parker"

1. Фільтруючий елемент із синтетичного матеріалу. Використання синтетичного фільтруючого матеріалу забезпечує високу ефективність відділення масла від картерних газів, сприяючи зниженню забруднення двигуна та підвищенню його продуктивності.

2. Сигналізатор засмічення. Цей пристрій сповіщає про стан фільтра, дозволяючи вчасно реагувати на забруднення фільтруючого елемента. Сигналізація засмічення допомагає уникнути надмірного тиску та потенційної шкоди двигуну, спричиненої обмеженим потоком КГ.

3. Клапан, що обмежує тиск у картері. Цей клапан контролює тиск у картері, запобігаючи його надмірному підвищенню, що може спричинити витіки олії та інші негативні наслідки для двигуна. Регуляція тиску є ключовою для забезпечення безпечної та стабільної роботи двигуна.

Принцип роботи

- Картерні гази спочатку проходять через фільтруючий елемент, де масляні частинки відокремлюються від газу. Завдяки синтетичному матеріалу, фільтрація є вискоєфективною та мінімізує кількість масла, що повертається до двигуна або викидається в атмосферу.

- Сигналізатор засмічення забезпечує вчасне обслуговування та заміну фільтра, підтримуючи оптимальну роботу системи.
- Клапан регулювання тиску допомагає підтримувати заданий тиск у картері, забезпечуючи надійну та безпечну роботу двигуна.

Використання такого олиовідділювача значно підвищує ефективність СВК, сприяючи екологічності та економічності автомобільних двигунів.

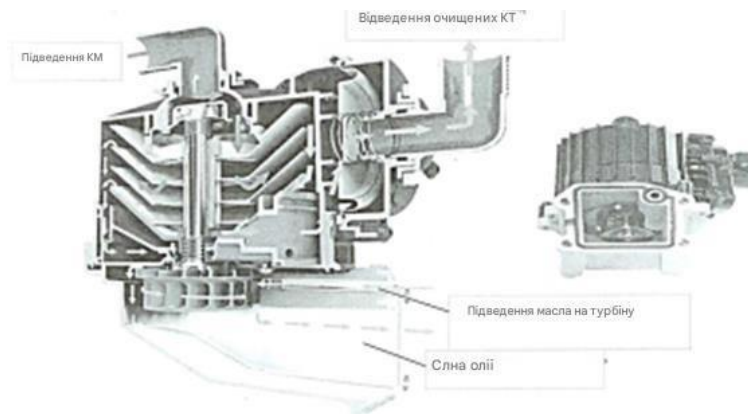


Рисунок 1.22 - Олиовідділювач компанії "Alfdex"

Олиовідділювач "Alfdex" використовує передовий метод сепарації для ефективного відділення масла від картерних газів (КГ), який є особливо цінним для зменшення викидів і підвищення ефективності двигунів. Ось детальніший опис принципу роботи та застосування цієї технології:

Олиовідділювач "Alfdex" працює на основі центрифугальної сепарації. Ключовим елементом системи є ротор, який обертається під впливом масла, поданого під тиском через сопло на турбіну:

- Олива під тиском: Олива, подана під тиском, використовується для приводу ротора, створюючи потужну центрифугальну силу.
- Центрифугальна сила: Ця сила викидає важчі частинки масла до зовнішніх стінок ротора, де вони збираються і відводяться з системи, тоді як очищені картерні гази виходять з центру ротора.

"Alfdex" знайшов широке застосування в автомобільній промисловості завдяки своїй ефективності:

- Scania: Одна з перших компаній, яка почала використовувати цю

технологію у 2005 році. Всі вантажівки "Scania", які відповідають стандарту Euro 6, оснащені системою "Alfdex".

- Інші автовиробники: Крім "Scania", сепаратори "Alfdex" також застосовуються у двигунах відомих компаній, таких як Volvo, Detroit Diesel, Mitsubishi Fuso та Mercedes-Benz. Це свідчить про високу довіру до цієї технології на міжнародному ринку.

Завдяки високій ефективності та надійності, олиовідділювачі "Alfdex" є важливою складовою сучасних систем вентиляції картера, значно підвищуючи екологічні показники і технічні характеристики двигунів, що їх використовують.

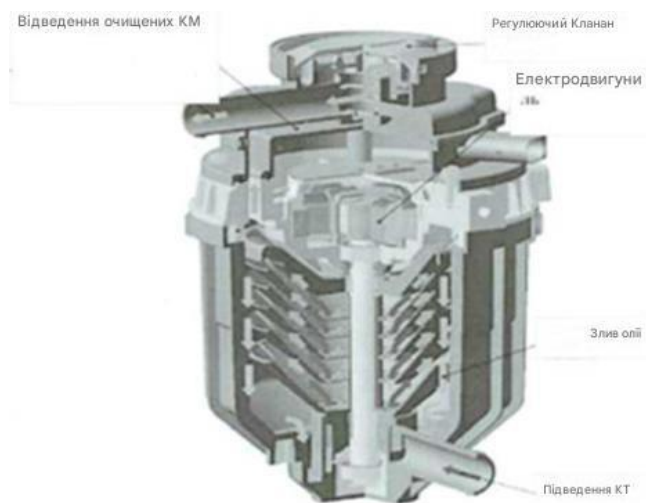


Рисунок 1.23 - Електростатичний сепаратор компанії "MANLE"

Основні характеристики: необслуговуваний вузол з електродвигуном, діапазон робочих температур від -40 °С до +125 °С, ефективність очищення не менше 99%, робоча напруга 12/24 В, максимальна потужність 100 Вт, розрахований на витрати до 400 л/хв.

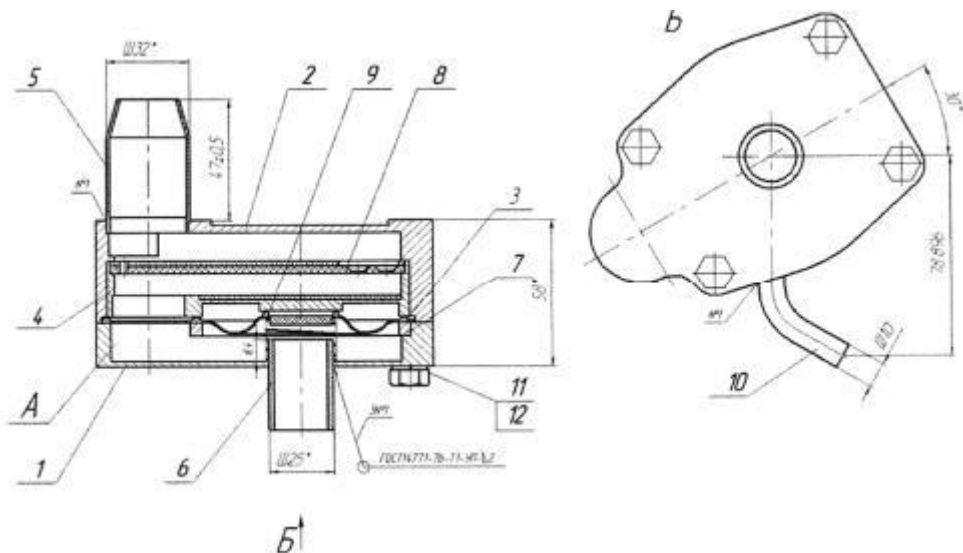


Рисунок 1.24 - Олиновідділювач "" (аналог олиновідділювача "FLEETGUARD" із клапаном) 740.64-1014700

Олиновідділювач "" 740.64-1014700, розроблений конструкторами НТЦ ПАТ "", призначений для закритих СВК.

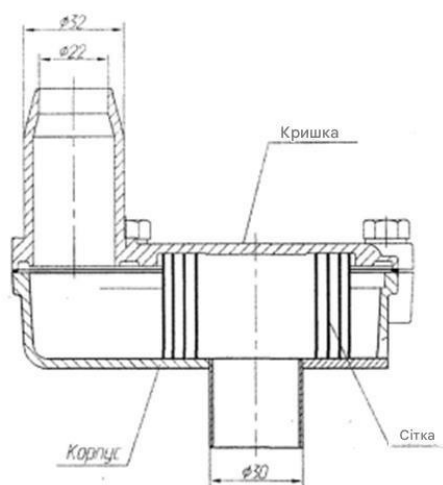


Рисунок 1.25 - Олиновідділювач "" E740.50-1014120-55



Рисунок 1.26 - Олиовідділювач компанії "MANN+HUMMEL"

Цей олиовідділювач працює на принципі фільтрування картерних газів (КГ) через синтетичний фільтруючий елемент і може бути оснащений клапаном для контролю тиску в картері. Конструкція олиовідділювача вимагає регулярного та строгого обслуговування.

Основні типи олиовідділювачів:

1. Електросепаратори і електрофільтри.
2. Інерційні сепаратори, відцентрові сепаратори (циклони), лабіринтові сепаратори та центрифуги.
3. Дифузорні сепаратори, металеві ситові фільтри та волокнисті фільтри.

Привод сепаруючих елементів може здійснюватися за допомогою центрифугального приводу або електродвигуна. Розташування олиовідділювача в системі залежить від складу суміші картерних газів та масла. У нижній частині картера, близько осі колінчастого вала, олиовідділювач працює ефективніше при високому вмісті масла у суміші, тоді як у верхній частині картера він працює за умов нижчого вмісту масла. Є конструктивні рішення для зниження температури картерних газів як на вході в олиовідділювач, так і всередині нього, щоб підвищити ефективність олиовідділення.

Згідно з дослідженнями, виробники рекомендують утримувати тиск картерних газів у межах ± 100 мм водяного стовпа для оптимальної роботи ущільнень. У процесі олиовідділення олива осідає на стінках олиовідділювача,

стікає вниз і через спеціальний отвір повертається до масляного піддону. Деякі конструкції включають окремий отвір для зливу масла з клапаном (наприклад, пелюстковим або гідрозатвором), що запобігає перешкоді від картерних газів під час зливу.

1.4. Аналіз розрахунково-експериментальних досліджень процесів у СВК

Гази, які витікають з камери згоряння в картер двигуна, називаються відпрацьованими газами (ОГ). Вони виникають через витоки між поршнями, поршневыми кільцями і робочою поверхнею циліндра, а також можуть потрапляти через напрямні втулки клапанів. Додаткові витоки можуть з'являтися через підшипники турбокомпресора (ТКР).

Потік газів, що переходить з камери згоряння в картер, характеризується сильною пульсацією, яка пов'язана з процесом їх утворення і зміною об'єму в картері. Відпрацьовані гази можуть містити рідкі частинки, які відділяються від поверхні циліндра через високу швидкість потоку. У картері також можуть формуватися нові краплі масла через випаровування та конденсацію легкокиплячих компонентів з конструктивних елементів двигуна. Циркуляція моторної олії, що забезпечує змащення поршнів, шатунів і колінчастого вала, сприяє утворенню масляних крапель. Також у відпрацьованих газах можуть бути присутні пари палива як проміжні та кінцеві продукти згоряння. Різні конструктивні особливості двигуна та заходи захисту впливають на обсяг масла, що потрапляє в СВК.

При вентиляції картера двигуна фіксується пульсуючий потік газів і рідин з різними газоподібними та рідкими компонентами. Для аналізу фазового розподілу, який впливає на такі параметри потоку, як падіння тиску і рівень очищення (сепарації), використовуються спеціальні карти режимів течії. Література надає багато даних про різні методи розв'язання цих задач.

При вимірюванні розподілу крапель за розміром у картерних газах важливо враховувати специфічні умови, що впливають на вибір вимірювального

інструмента. Ці умови включають:

- температуру до 130°C;
- високий вміст конденсованих парів;
- значні варіації потоку газу, залежно від навантаження та концентрації

аерозолі;

- можливі випадки значного надходження масла;
- вібрацію та забруднення;
- можливість часткового відбору потоку для аналізу;
- правильне розташування для лінійного вимірювання розподілу крапель

за розміром;

- розмір крапель від 0,1 мкм до 50 мкм і більше.

Відповідно до аналізу літературних даних, гази, які потрапляють з камери згоряння в картер двигуна, відомі як відпрацьовані гази (ОГ). Ці гази виникають через негерметичності між поршнями, поршневыми кільцями та стінками циліндра, а також можуть проникати через напрямні втулки клапанів. Інші джерела витіку включають підшипники турбокомпресора (ТКР).

Потік газів з камери згоряння в картер характеризується сильною пульсацією через спосіб їх утворення та зміни об'єму в картері. Відпрацьовані гази можуть містити рідкі частинки, які відриваються від поверхні циліндра через високу швидкість потоку. У картері також формуються нові краплі масла через випаровування та конденсацію летких речовин із різних конструктивних елементів двигуна. Обіг моторної олії, що змащує поршні, шатуни та колінчастий вал, також сприяє формуванню масляних крапель. Відпрацьовані гази можуть також містити пари палива як проміжні та кінцеві продукти згоряння. Від різних конструкцій двигуна та захисних заходів залежить, скільки масла потрапляє у систему вентиляції картера.

Вентиляція картера двигуна характеризується пульсуючим потоком газів і рідин, які містять різні газоподібні та рідкі компоненти. Для оцінювання фазового розподілу, що впливає на такі параметри потоку, як падіння тиску та рівень очищення (сепарації), використовуються спеціальні карти режимів течії. У літературі наведено численні публікації, які обговорюють різні підходи до

вирішення цих задач.

При вимірюванні розподілу крапель за розміром у картерних газах необхідно враховувати певні умови, які впливають на вибір вимірювального приладу, зокрема:

- температуру до 130 °С;
- високий вміст конденсованих парів;
- значні коливання потоку газу, які залежать від навантаження та концентрації аерозолі;
- можливі значні надходження масла;
- вібрації та забруднення;
- можливість часткового відбору потоку для аналізу;
- необхідність правильного розташування для лінійного вимірювання розподілу крапель за розміром;
- розмір крапель від 0,1 мкм до 50 мкм і більше.

Параметри двигуна, такі як кількість циліндрів, робочий об'єм, місце відбору газів у картері, поперечний переріз, довжина та напрямок трубопроводів, а також наявність вбудованої осадкової камери, мають значний вплив на кількість масла, яке потрапляє в систему вентиляції картера (СВК), і на рівень викидів. Результати можуть коливатися в діапазоні від 2 г/год до 500 г/год.

Згідно з дослідженнями [2-11], було розроблено математичну модель і програму для аналізу газообміну в чотиритактному двоциліндровому дизельному двигуні з нерівномірним порядком роботи циліндрів і закритою безклапанною СВК. Ця модель дозволяє точно визначати оптимальні параметри для повітря і картерних газів під час їхньої рециркуляції у впускну систему дизеля з урахуванням геометричних параметрів СВК та початкових та граничних умов. Встановлено, що рівень шкідливих речовин у відпрацьованих газах під час рециркуляції картерних газів в впускний тракт дизеля не перевищує 6%.

Інші дослідження [4-11, 13-20] презентують математичні моделі робочого процесу двигуна, які дозволяють оцінити вплив навантаження на викид картерних газів і визначити екологічні показники. У дослідженні [18- 20] було розроблено обчислювальну схему для двоциліндрового дизеля з нерівномірним чергуванням

спалахів і закритою безклапанною СВК, яка слугує для визначення точності математичної моделі та вибору оптимальної методики опису процесів у компонентах дизеля, ілюстрована на рисунку 1.27.

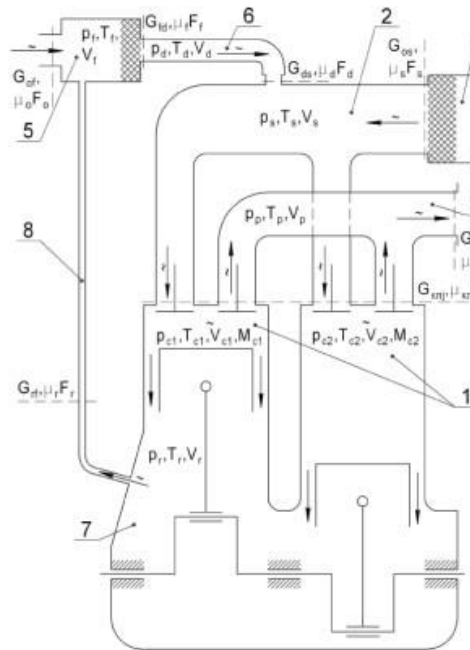


Рисунок 1.27 - Розрахункова схема двоциліндрового дизельного двигуна з закритою системою вентиляції картера (СВК)

За результатами досліджень, експериментально визначено, що фактичний геометричний зазор між поршнем та гільзою у гарячому стані для автомобільних дизельних двигунів становить від 0,04 до 0,08 мм. У наукових роботах [13-18] було здійснено CFD-моделювання процесу прориву картерних газів (КГ) через циліндропоршневу групу (ЦПГ) з використанням рухомої сітки кривошипно-шатунного механізму (КШМ). Дослідження були проведені на турбонаддувному дизельному двигуні легкового автомобіля, який працював на швидкості 3000 об/хв при максимальному навантаженні. Моделювання включало аналіз конфігурації з трьома кільцями: двома поршневыми та одним оливознімним кільцем, що дозволило детально дослідити процеси прориву КГ в двох камерах.

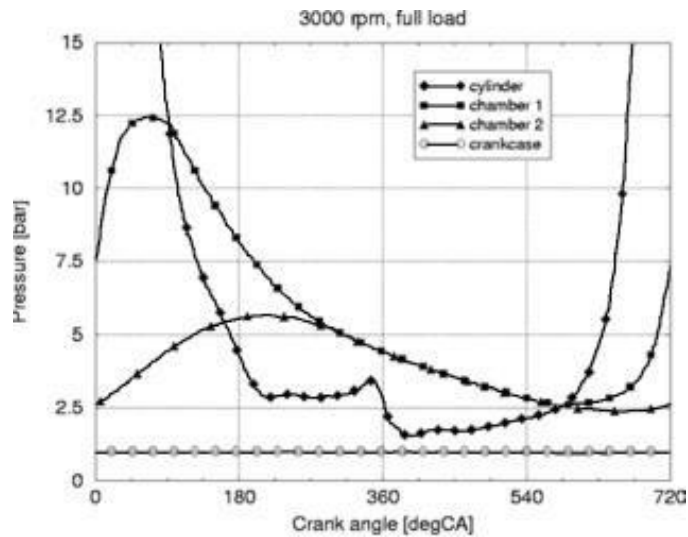


Рисунок 1.28 – Залежність тиску при 3000 хв^{-1} і повної навантаженості

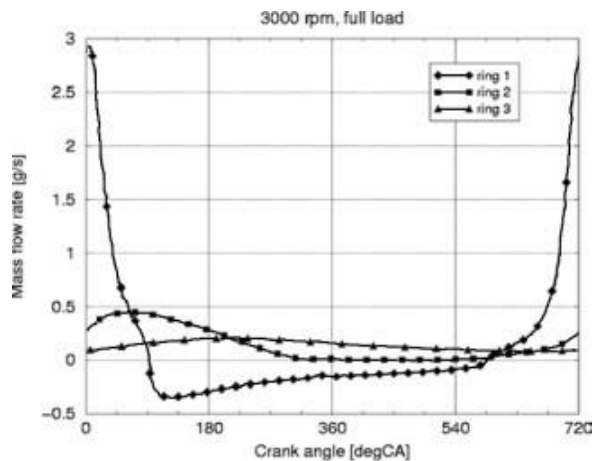


Рисунок 1.29 – Залежність масового витрати газу через кільця при 3000 хв^{-1} і повної навантаженості

Результати, відображені на рисунках 1.28 та 1.29, демонструють розподіл тиску у камері згоряння та масові витрати газу через поршневі кільця. Зокрема, зафіксовано, що на 90° після верхньої мертвої точки (ВМТ) тиск у циліндрі опускається нижче, ніж у першій камері, що викликає зворотний потік газу назад у циліндр через перше кільце. З подальшим підвищенням тиску в циліндрі, газ переміщується назад до першої камери. Тим часом, масова витрата через друге кільце практично дорівнює нулю, тоді як максимальна масова витрата через третє кільце спостерігається значно пізніше, на 212° після ВМТ.

На рисунку 1.30 представлено залежність між загальною масою газу та середнім тиском у картері в залежності від положення кривошипа. Від початкового тиску 1 бар у верхній мертвій точці (ВМТ), тиск у картері зростає до

1,05 бар у нижній мертвій точці (НМТ). Встановлено, що один цикл роботи двигуна не достатній для досягнення циклічної збіжності. Попередні дослідження, які охоплювали кілька циклів роботи двигуна, показали, що майже періодичний стан потоку газу стабілізується після двох циклів. Однак для двофазного потоку, який включає оливу, потрібно більше циклів, тому моделювання слід проводити принаймні для двох, а краще для трьох циклів двигуна, щоб забезпечити достатню точність результатів.

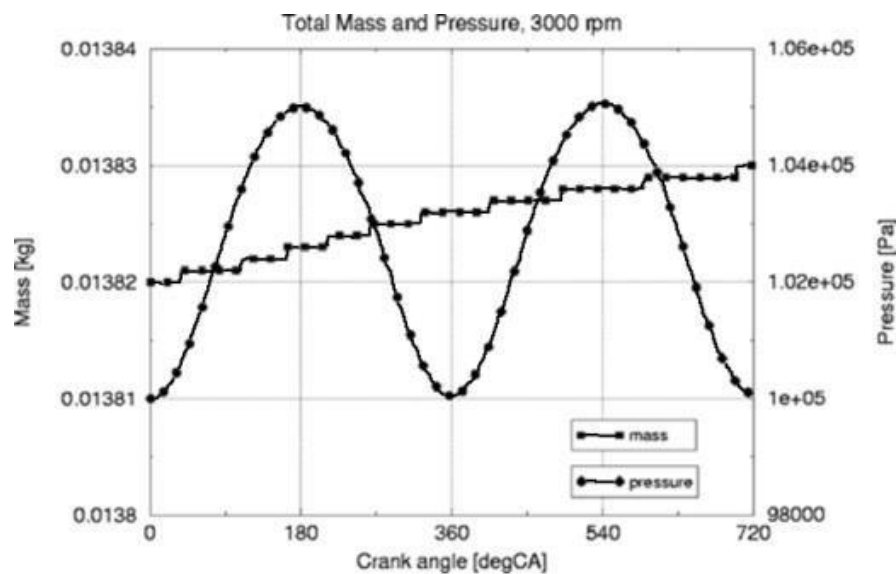


Рисунок 1.30 – Залежність загальної маси газу та середнього тиску у КД

Ці результати надають більш глибоке розуміння впливу різноманітних параметрів на прорив картерних газів і сприяють удосконаленню математичних моделей для більш точного прогнозування динаміки систем вентиляції картера (СВК) та супутніх процесів у дизельних двигунах.

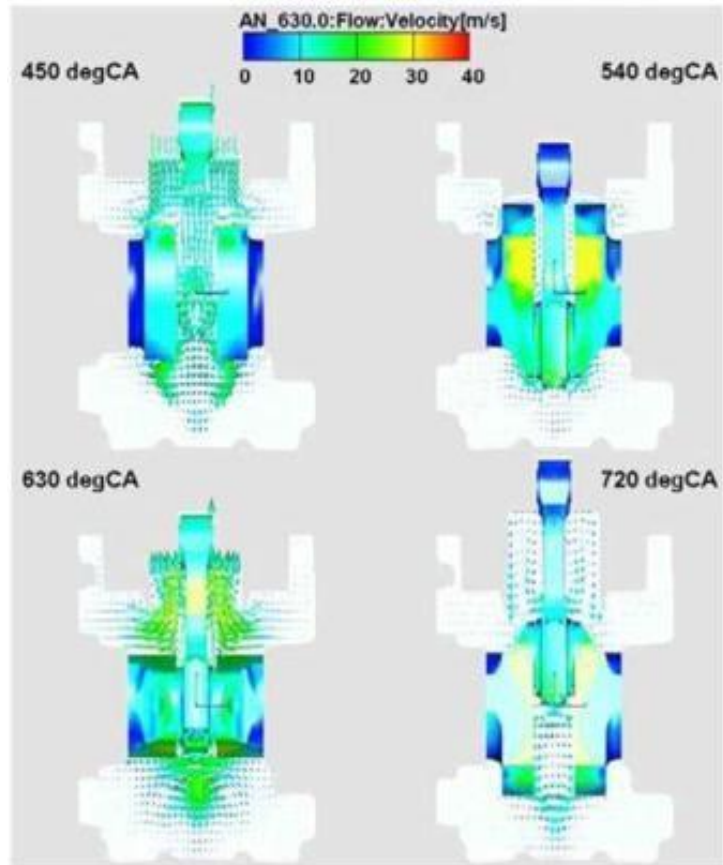


Рисунок 1.31 – Поле швидкості потоку в прорізах по осі циліндра та осі обертання на поверхні приводу кривошипа при 450, 540, 630 та 720 градусах

Поле швидкості газу для другого обороту кожні 90 градусів відображено на рисунку 1.31, тоді як поле тиску представлено на рисунках

1.32 до 1.34. Колінчастий вал обертається у напрямку, протилежному руху годинникової стрілки.

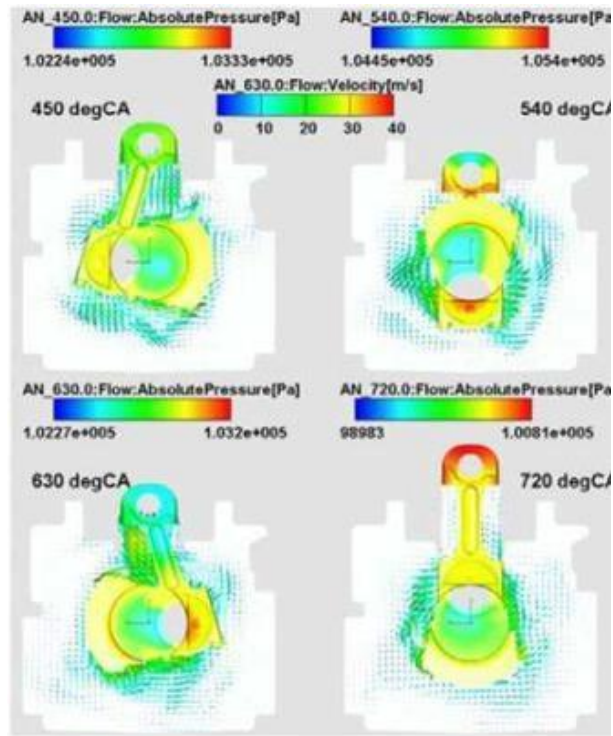


Рисунок 1.32 – Поле швидкості потоку в розрізах, перпендикулярних до осі обертання в середній площині товщини колінчастого валу

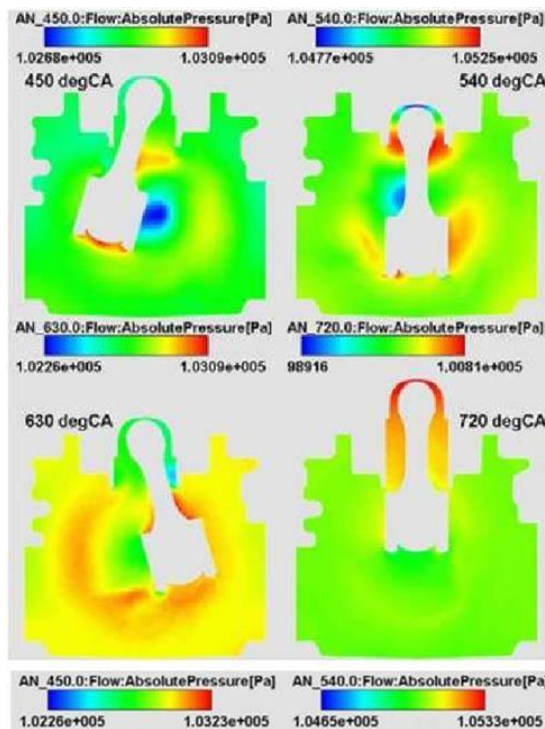


Рисунок 1.33 – Поле тиску потоку в розрізах, перпендикулярних до осі обертання в середній площині циліндра при 450, 540, 630 та 720 градусах

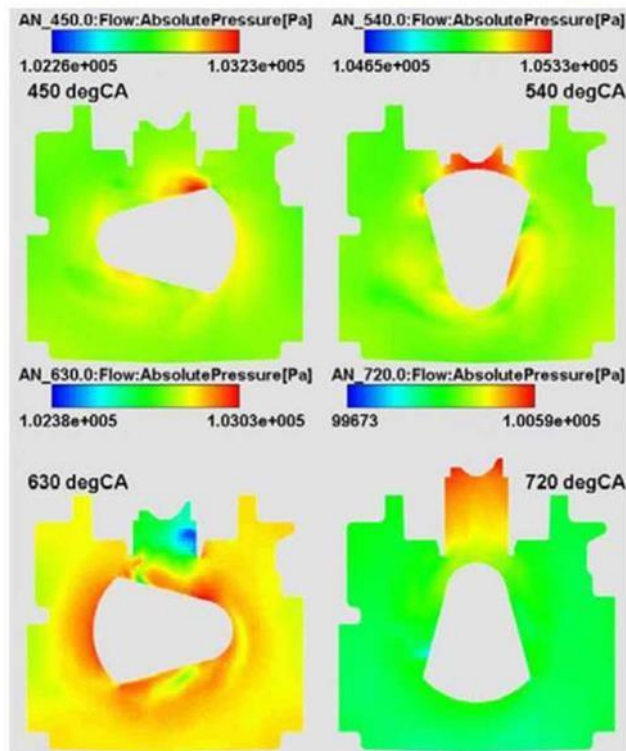


Рисунок 1.34 – Поле тиску потоку в розрізах, при 450, 540, 630 та 720 градусах

На рисунку 1.34 представлено поле швидкостей у перерізах вздовж осі циліндра та осі обертання, а також розподіл швидкостей на поверхні кривошипного механізму. При куті повороту кривошипа 450 градусів поршень активно виштовхує газ у картер, створюючи значні потоки навколо шатуна та колінчастого валу. У цій фазі спостерігається максимальна швидкість руху поршня, а найвищі значення швидкості зосереджені біля гострих країв противаги колінчастого валу.

Це поле швидкостей є критичним для аналізу динаміки руху картерних газів, впливу на вентиляцію картерного простору та загальної ефективності системи вентиляції картера (СВК). Це допомагає розуміти, як картерні гази впливають на функціонування двигуна і на якість його роботи в різних режимах.

Висновки до першого розділу

1. Проведено аналіз наявних проблем закритої системи вентиляції картера. Встановлено, що однією з основних проблем є наявність оливних

аерозолей у картерних газах.

2. Проведено огляд конструктивних особливостей компонентів системи вентиляції картера.
3. Проведено аналіз конструктивних особливостей олиовідділювачів системи вентиляції картера.
4. Проведено аналіз розрахунково-експериментальних досліджень процесів у СВК. Визначено критичне поле швидкостей для аналізу динаміки руху картерних газів у системі вентиляції картерного простору та загальної ефективності системи вентиляції картера (СВК), що допомагло розуміти, як картерні гази впливають на функціонування двигуна і на якість його роботи в різних режимах.

2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Розробка та аналіз конструкції компонентів закритої системи вентиляції картера

Для відповідності сучасним вимогам та критеріям працездатності та ефективності, важливо створити інноваційні елементи закритої системи вентиляції картера (СВК), які задовільняють усі потреби. В контексті зростання ефективності стандартних конструкцій СВК для високофорсованих двигунів, рекомендується впровадження комплексу технічних удосконалень вентиляції картера (КД). За основу взято систему картерної вентиляції V-подібного двигуна 8ЧН 12/13, на базі якої було розроблено новий вдосконалений КД, схематичне зображення якого представлено на рисунках 2.1 і 2.2 [6, 10, 20].

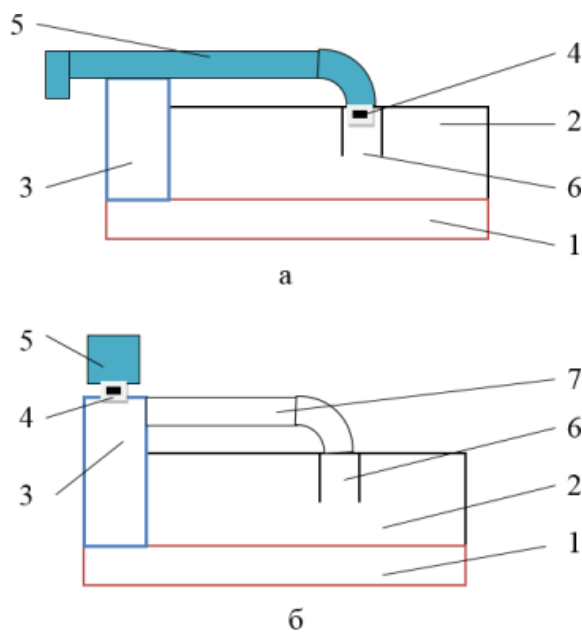


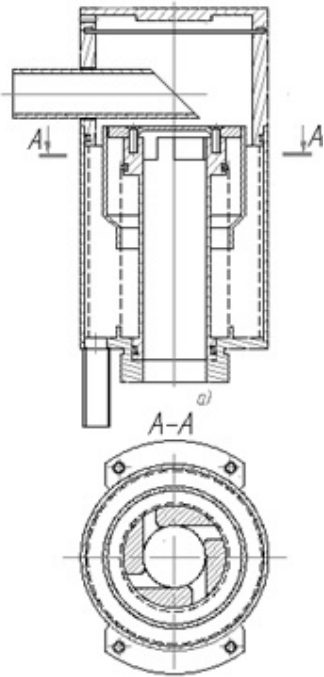
Рисунок 2.1 – Схематичне зображення нової конструкції картерної вентиляції: а - стандартних V-подібних двигунів ; б - нова, запатентована конструкція; 1 - простір над олійним дзеркалом; 2 - картерна вентиляція блоку циліндрів; 3 - картерна вентиляція між картером маховика та блоком циліндрів; 4 - вихід з картерної вентиляції та вхід в систему вентиляції картера; 5 - система вентиляції картера (оливодіділювач); 6 - штангова порожнина; 7 - канал газового зв'язку картерної вентиляції двигуна



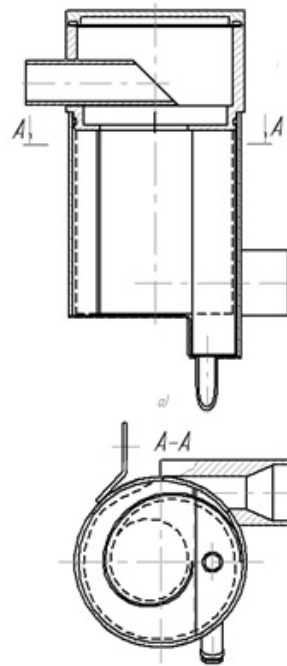
Рисунок 2.2 – Модифікація картера маховика: 1 - заглушка на місці стандартного оливовідділювача; 2 - отвір для газового зв'язку картерної вентиляції блоку циліндрів та картера маховика; 3 - екран, який запобігає прямому потраплянню масла в олійнозаливну горловину, обертову від шестерні приводу агрегатів; 4 - гідрозатвор з екраном

Оптимізація картерної вентиляції (КД) та закритої системи вентиляції картера (СВК) передбачає створення нових компонентів, що забезпечать високий рівень ефективності та надійності цих систем. У цьому контексті пропонуються наступні варіанти оливовідділювачів:

- Варіант 1 – прототип оливовідділювача із сопловим механізмом для закритої СВК (зображено на рисунку);
- Варіант 2 – прототип оливовідділювача з тангенціальним входом та спіральною напрямною для закритої СВК (зображено на рисунку 2.3) [3-11].



Дослідний олиовідділювач,
варіант 1



Дослідний олиовідділювач,
варіант 2

Рисунок 2.3 – Відмінні особливості дослідних олиовідділювачів

Олиовідділювач варіант 2, подібно до першого, обладнаний тангенціальним входом, але відрізняється наявністю спіральної напрямної стінки, яка сприяє вихровому руху картерних газів (КГ).

Проведений аналітичний аналіз процесів та явищ у прототипах олиовідділювачів, зокрема варіанту 1 (зображення на рисунку 2.3), базується на таких спрощеннях:

- Картерні гази (КГ) у олиовідділювачі вважаються безвмістовими масла;
- Потік КГ у олиовідділювачі стабільний та однорідний. Олиовідділювач може бути умовно поділений на такі зони (див.

рисунок 3.4 "а"):

- Зона входу в олиовідділювач і рух потоку в центральній втулці;
- Зона напрямних вікон (сопловий апарат) в центральній втулці олиовідділювача;
- Зона безпосереднього відокремлення масла в олиовідділювачі;
- Зона розширення та виходу картерних газів;
- Зона накопичення та зливу масла, що з'єднується з КД через

перепускний клапан або гідрозатвор, який перешкоджає протидії зливу масла через тиск картерних газів.

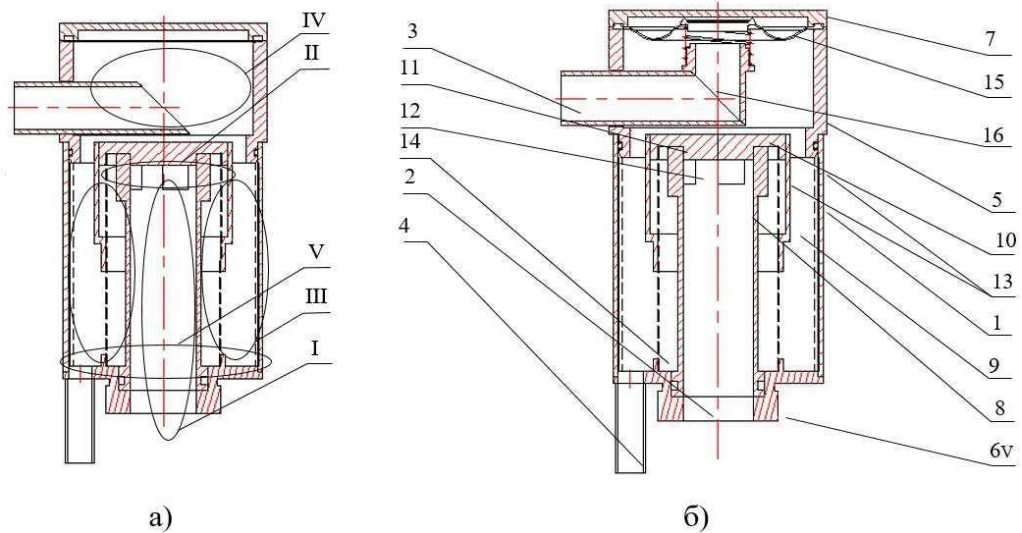


Рисунок 2.4 – Аналіз структури олиовідділювача: - а) Основні функціональні зони; - б) Компоненти складу олиовідділювача; I – Зона входу та руху газово-олійної суміші всередині центральної втулки; II – Зона напрямних вікон у центральній втулці; III – Зона відокремлення масла; IV – Зона розширення та випуску картерних газів (КГ); V – Зона накопичення та виведення масла; 1 – Корпус олиовідділювача; 2 – Вхід для надходження оливогазової суміші з двигуна; 3 – Вихід для видалення відділених газів; 4 – Випускний патрубок для зливу масла; 5 – Верхня частина корпусу; 6 – Нижня частина корпусу; 7 – Кришка; 8 – Центральна втулка; 9 – Напрямна втулка; 10 – Торцева кришка; 11 – Сопловий апарат в центральній втулці; 12 – Вікна соплового апарату; 13 – Олійновідділювальна сітка; 14 – Заспокоювач; 15 – Зворотний клапан з пружиною; 16 – Відвідний патрубок для відведення відокремлених картерних газів

Конструкція олиовідділювача СВК двигуна (згідно з рисунком 2.4 "б") містить:

- Корпус (1) з входом (2) для приймання газомасляної суміші з двигуна, виходом (3) для виведення відокремлених картерних газів (КГ), а також випускним патрубком (4) для відведення масла.

- Корпус складається з верхньої (5) та нижньої (6) частини, зверху закритий кришкою (7).
- Всередині корпусу (1) розміщені дві коаксіальні втулки – центральна (8) та напрямна (9), а також торцева кришка (10).
- Центральна втулка (8) з одного боку приєднана до входу (2), розташованого у верхній частині (5) корпусу, та має в іншому кінці потовщення (сходинку) (11), що формує сопловий апарат.
- Сопловий апарат, що є частиною сепараційного елементу, обладнаний прямокутними вікнами (12), що розташовані тангенціально відносно внутрішньої порожнини втулки (8).
- Пристрій містить олійновідділювальну сітку (13) та заспокоювач (14), який знаходиться над дном оливовідділювача і формується з виступаючих стінок.
- В верхній частині (6) корпусу розміщений зворотний клапан (15), з'єднаний із відповідним патрубком (16) для відведення відсепарованих КГ.

Зона входу та руху потоку картерних газів у оливовідділювачі всередині центральної втулки – I:

На вході в оливовідділювач потік спрямовується вертикально вгору до напрямних вікон центральної втулки. В цьому місці потік має ламінарний характер, але у прилеглих до стінок зонах виникає турбулентність. Забезпечення вертикальної осі симетрії оливовідділювача є ключовим для належної працездатності.

Зона напрямних вікон (сопловий апарат) центральної втулки оливовідділювача – II:

Перед входом в напрямні вікна соплового апарату потік зустрічає кришку центральної втулки, де він повертається та спрямовується у вікна прямокутного перерізу. У цій зоні потік прискорюється через звуження, що спричиняє падіння тиску. Радіус заокруглення кромek на вході до соплового апарату дозволяє потоку обходити краї, знижуючи гідравлічний опір, і направляється на стінку напрямної втулки та олійновідділювальну сітку. Направні вікна забезпечують збільшення швидкості потоку КГ і спрямовують його тангенціально до внутрішньої поверхні напрямної втулки для створення гвинтового потоку.

Зона безпосереднього осадження масла – III:

Ця зона умовно розділена на три частини:

1. Зона виходу з напрямних вікон (на внутрішній поверхні прямої втулки та металевої сітки), де обертовий потік виходить на сітку, сприяючи інтенсивному відділенню і осадженню олійних частинок.

2. Зона оливовідділення біля днища, де завдяки відцентровій силі відбувається осадження масла на металеву сітку.

3. Зона оливовідділення вздовж стінок, де потік рухається вертикально вгору, зменшуючи обертання і підвищуючи швидкість, що призводить до мінімального оливовідділення на сітці.

У першій зоні, де потік після проходження через напрямні вікна переходить у спіральний рух, він стикається з олійновідділювальною сіткою. Тут відбувається активне відокремлення і конденсація олійних часток у краплі, які під впливом сил гравітації та спірального потоку рухаються вниз. У другій зоні, під прямою втулкою, центробіжна сила спричиняє відділення масла, що осідає на металеву сітку вздовж корпусу оливовідділювача. Над дном, де розташовані стінки заспокоювача, відбувається збір осадженої масла, готової до зливу. У третій зоні потік рухається вгору вздовж стінки, поступово втрачаючи швидкість обертання, що сприяє додатковому оливовідділенню на сітці вздовж корпусу.

Зона розширення та виходу – IV:

В цій зоні швидкість потоку знижується, спрямовуючись до виходу з оливовідділювача. Для регуляції роботи закритої СВК встановлено зворотний клапан, який активується тиском картерних газів, розрідженням на вході в компресорну ступінь турбокомпресора та силою пружини. Значення розрідження і сила пружини є взаємопов'язаними.

Зона накопичення та зливу масла – V:

У цій зоні накопичена олія зливається в картер двигуна через клапан або гідрозатвор, забезпечуючи мінімальний потік і опір з боку картерної вентиляції, що сприяє неперешкодному зливу.

Після аналізу перших прототипів було виявлено потребу в доопрацюванні конструкції для підвищення ефективності коалесценції. Оновлення включали:

- У варіанті 1 поліпшену напрямну втулку;
- Додаткові пластинчасті пакети для розділення потоку КГ.

З огляду на нові технічні вимоги були розроблені додаткові конструкції олиовідділювачів:

- Варіант 3 – з пакетом прямих пластин (рисунок 2.5);
- Варіант 4 – з пакетом частково перекритих пластин (рисунок 2.5);
- Варіант 5 – з фігурним набором пластин (рисунок 2.5);
- Варіант 6 – з частково перекритим фігурним пакетом пластин (рисунок 3.6);
- Варіант 7 – з частково перекритим фігурним пакетом пластин, покритих ковпаком (рисунок 2.6);
- Варіант 8 – з фільтром, виготовленим з десяти шарів олійно-відділювальної сітки (рисунок 2.7).

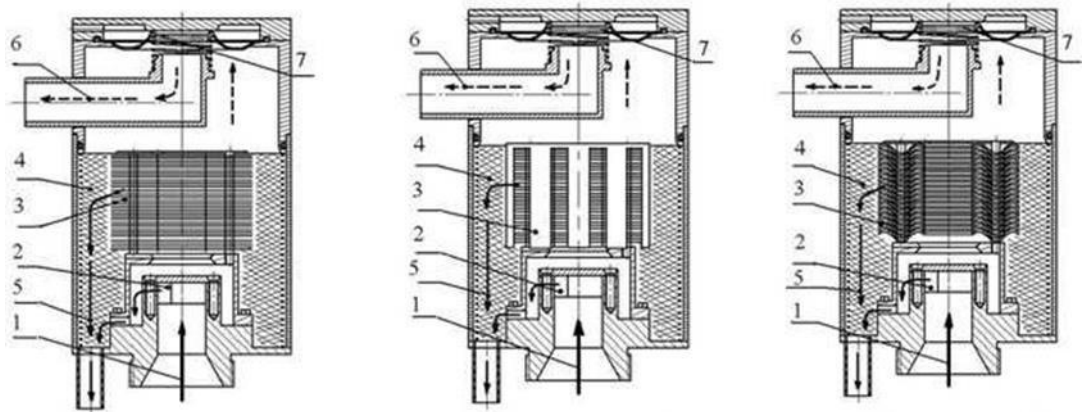
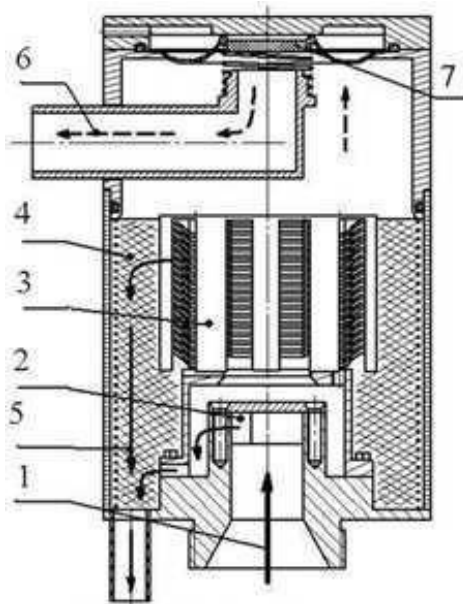
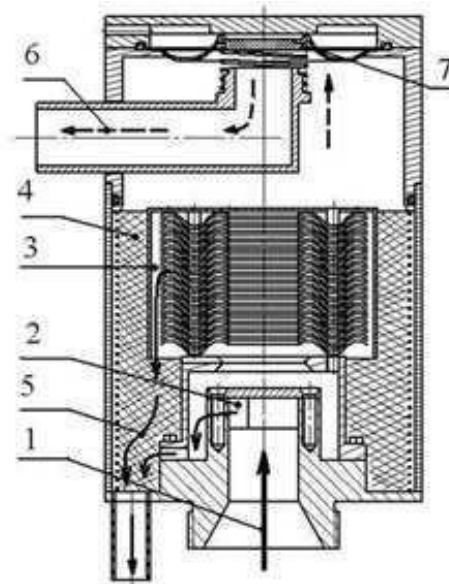


Рисунок 2.5 – Схематичне зображення олиовідділювачів варіантів 3, 4 та 5: 1 – Напрямок потоку картерних газів (КГ) з оливозаливної горловини; 2 – Перший етап олиовідділення; 3 – Другий етап олиовідділення; 4 – Олійновідділювальна сітка, установлена на внутрішній стороні корпусу олиовідділювача; 5 – Напрямок потоку відділеної від КГ масла; 6 – Напрямок потоку очищених від масла КГ, які спрямовуються до системи впуску; 7 – Зворотний клапан, який попереджує утворення вакууму в системі картерної вентиляції (КД)



Варіант 6



Варіант 7

Рисунок 2.6 – Схеми олиовідділювачів варіантів 6 і 7

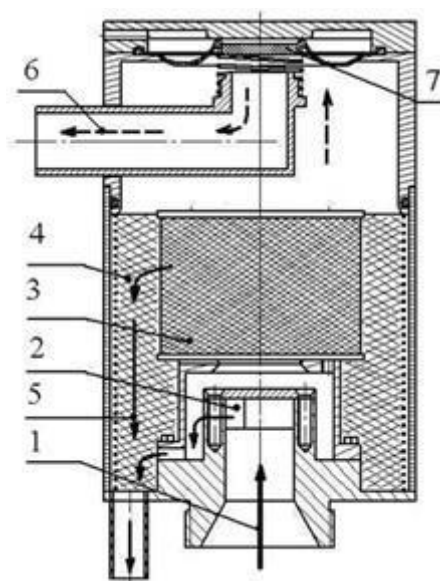


Рисунок 2.7 – Схема олиовідділювача варіант 8

Варіанти олиовідділювачів від 3 до 7 мають схожу конструкцію, але відрізняються формою та кількістю пластин, а також радіусами виходу потоку картерних газів (КГ) з центральної втулки на першому етапі відділення масла.

Злив відділеної масла у олиовідділювачах реалізований по-різному. У багатьох двигунах олія стікає вниз через той самий отвір, через який проходять КГ, але через високу швидкість потоку КГ олія не може вільно стікати, що призводить до її повторного підхоплення газами та повернення у

оливодіділювач. В деяких моделях використовується окремий отвір для зливу масла, ізольований від КГ клапаном (пелюстковим, гідрозатвором і т.д.), що дозволяє масла стікати через окрему трубку, не заважаючи дії КГ.

Гідрозатвор є важливим компонентом закритої системи вентиляції картера (СВК), який забезпечує безперешкодний злив відокремленої масла назад у картер двигуна.

На рисунку 2.8 відображено конструкцію гідрозатвора та його стандартні розміри в СВК для V-подібних двигунів моделі 8ЧН 12/13.

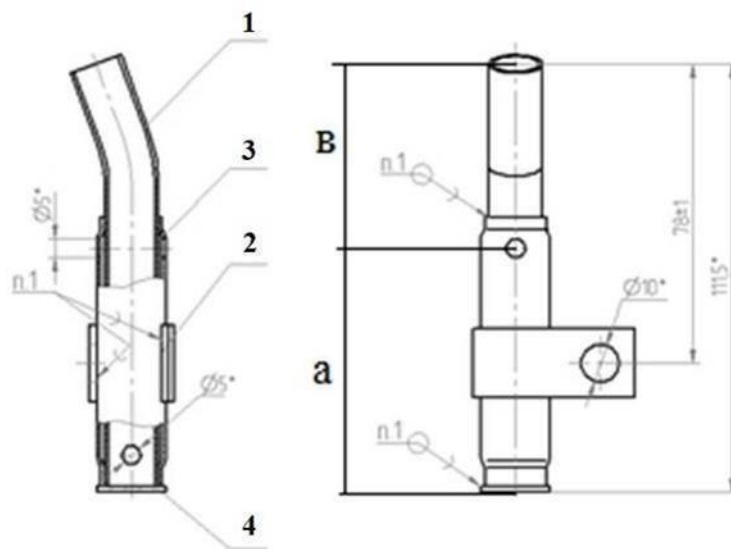


Рисунок 2.8 – Серійний гідрозатвор СВК V-подібних двигунів 8ЧН 12/13: 1 – трубка; 2 – клямер; 3 – трубка; 4 – заглушка

Розмір «а» (53 мм) встановлює опір тиску з боку системи картерної вентиляції (КД), тоді як розмір «в» (40 мм) задає пропускну спроможність гідрозатвора для максимально можливого обсягу масла, яка може бути введена в СВК без порушення її нормальної роботи і без ризику винесення масла назовні при встановлених тисках.

Враховуючи потенційне збільшення тиску в системі КД та можливість більшого накопичення осадженої масла, було розроблено вдосконалену модель гідрозатвора (див. рисунок 2.9) з такими параметрами:

- «а» – 66 мм;
- «в» – 226 мм.

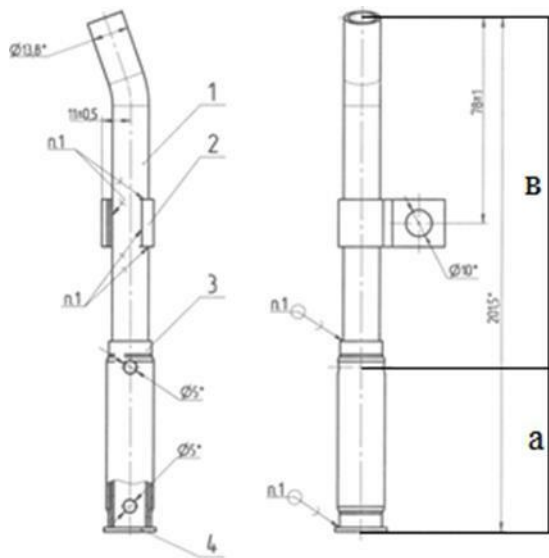


Рисунок 2.9 – Дослідний гідрозатвор для закритої СВК

2.2. Вибір компонентів для закритої системи вентиляції картера

Для підготовки та виробництва дослідних компонентів закритої СВК та проведення стендових безмоторних і моторних випробувань необхідно визначити склад компонентів системи. Ці компоненти мають відповідати сучасним числовим вимогам і критеріям для оцінки працездатності та ефективності, щоб підтвердити досягнення цілей наукової роботи:

1) Допрацьована конструкція картерної вентиляції (КД) забезпечує уникнення потрапляння моторного масла в СВК через розбризкування колінчастим валом у масляній ванні, тим самим знижуючи навантаження на систему в порівнянні зі стандартними рішеннями для V-подібних двигунів .

2) Ефективність оливовідділювача у системі СВК виявилась значною, тому було розглянуто кілька конструкцій:

- Варіант 1 – подовжена конструкція прямої втулки, що сприятливо впливає на динаміку потоку картерних газів (КГ);
- Варіант 5 – конструкція з максимальною кількістю пластин із западинами для ефективного скупчення відокремленої масла;
- Варіант 8 – фільтр, що складається з десяти шарів олійно-відділювальної сітки.

3) З метою забезпечення безперешкодного зливу осадженої масла при

можливому збільшенні тиску та обсягу осадженої масла, було розроблено гідрозатвор зі збільшеною висотою.

Висновки до другого розділу

1. Проведено аналіз конструкції компонентів закритої системи вентиляції картера. На основі представленого аналізу розроблено конструкцію окремих елементів закритої системи вентиляції картера.

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Програма та методика стендових безмоторних випробувань олиовідділювачів

Для випробувань використовувались спеціалізовані пристрої для створення вакууму та тестування системи СВК. Детальна схема, зовнішній вигляд та ключові компоненти установки представлені на рисунках 3.1–3.3

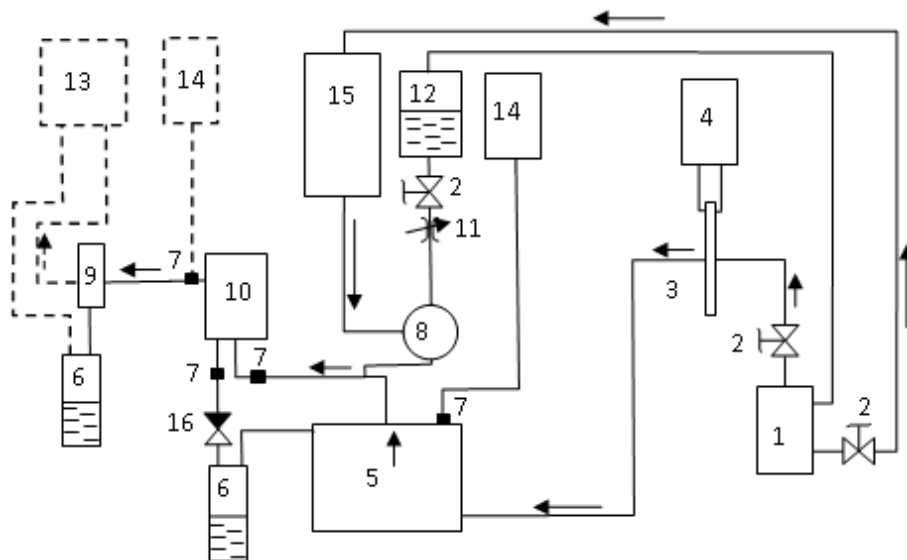


Рисунок 3.1 – Схематичне зображення стенду для випробувань СВК (допоміжні елементи стенду позначені пунктирними лініями, напрямок потоку стисненого повітря та його суміші з олією вказано стрілками): 1 – джерело стисненого повітря зі стабільним тиском; 2 – кран для регулювання подачі стисненого повітря (див. рисунок 90 "а"); 3 – діафрагма з фланцевим з'єднанням для визначення витрати стисненого повітря, 4 – мікроманометр типу МІН-240(5)-1.0; 5 – імітатор картерної вентиляції (КД); 6 – резервуар для збору масла; 7 – точки вимірювання тиску у системі (позначені чорними квадратами); 8 – ежектор для змішування повітря з олією; 9 – фільтр для уловлювання винесеної масла; 10 – олиовідділювач; 11 – затискач для контролю подачі масла в систему; 12 – ємність для подачі масла; 13 – пристрій для створення вакууму; 14 – водяний п'єзометр (див. рисунок 90 "г"); 15 – ротаметр для локальних показів типу РМ; 16 – зворотний клапан (пелюсткового типу)

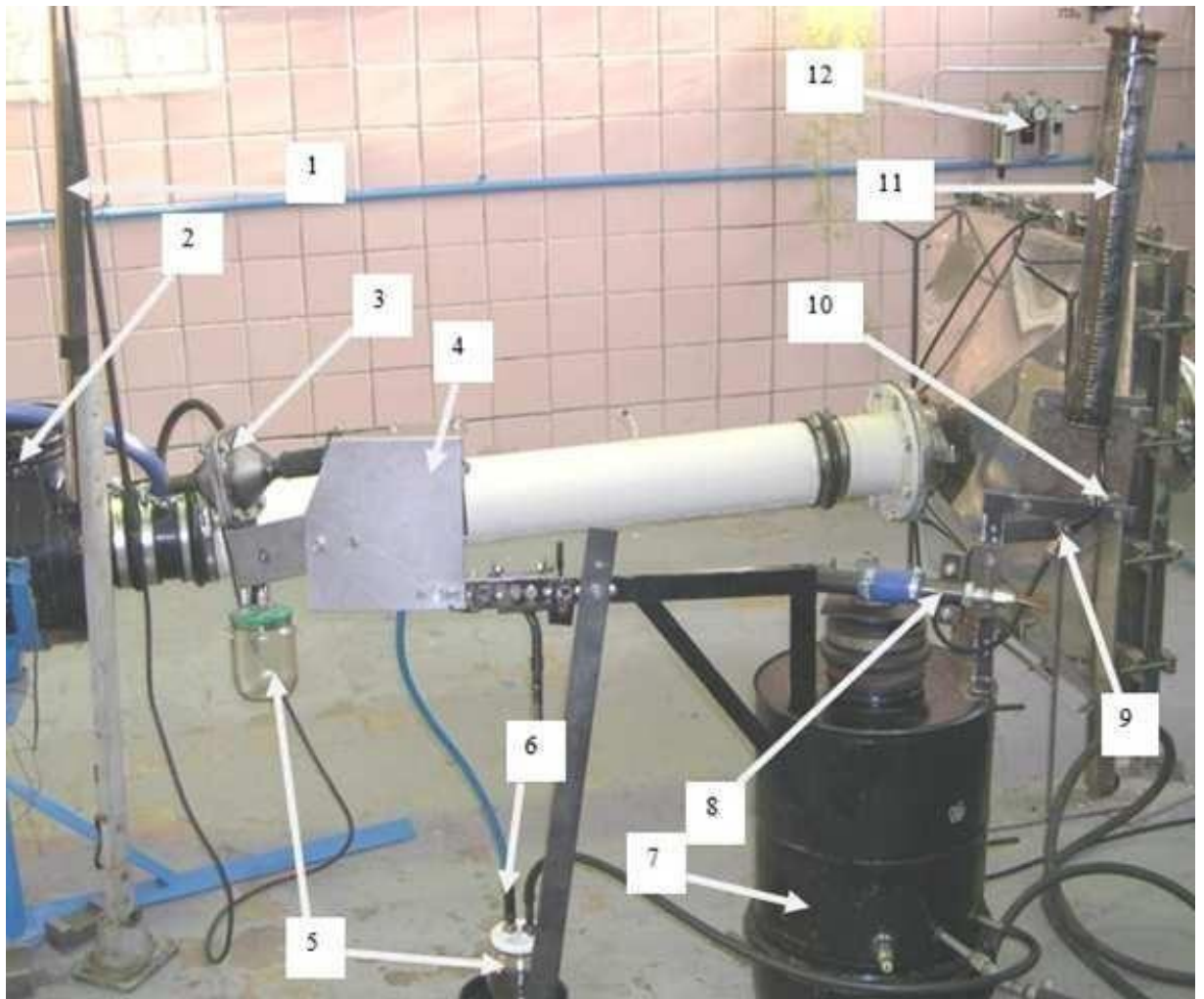


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд установки для безмоторних випробувань олиовідділювачів та гідрозатворів: 1 – водяний п'єзометр; 2 – стенд для випробувань очищувачів повітря; 3 – фільтр для затримання винесеної масла; 4 – олиовідділювач; 5 – резервуар для збору масла; 6 – зворотний клапан (пелюсткового типу); 7 – імітатор картерної вентиляції; 8 – ежектор для змішування повітря та масла; 9 – кран для регулювання подачі стисненого повітря; 10 – затискач для регулювання подачі масла; 11 – ємність для подачі масла; 12 – кран для регулювання подачі стисненого повітря



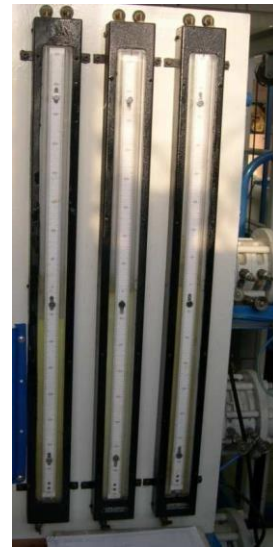
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.3 – Компоненти випробувальної установки: - а) кран для регулювання подачі стисненого повітря; - б) ротаметр з місцевими показниками за типом РМ; - в) мікроманометр типу МІН-240(5)-1.0; - г) п'єзометри стенда для випробувань очищувачів повітря

Програма випробувань, вимірювані параметри та метрологічний аналіз:

1. Підготовка та проведення випробувань олиовідділювачів були організовані у випробувальному боксі.
2. Для випробувань використовувалося індустриальна олива із кінематичною в'язкістю $24,55 \text{ мм}^2/\text{с}$ при температурі 20°C .
3. Температурний режим випробувань був встановлений у діапазоні від

15°C до 25°C.

4. Випробування включали подачу стисненого повітря, що імітує потік картерних газів (КГ) до системи СВК, та одночасну подачу масла. В ході випробувань здійснювалися вимірювання різних параметрів, які були зафіксовані у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вимірювані параметри

№	Параметр	Одиниці виміру	Діапазон величин	Точність вимірювань
1	Надлишковий тиск повітря (в імітаторі картера, на вході, виході і зливі з масловідділювача)	мм вод. ст.	0-800	1 мм вод.
2	Перепад тиску повітря на діафрагмі	мм вод. ст.	0-300	1 мм вод.
3	Час вимірювання (звіт тимчасового проміжку)	сек.	0-1500	1 сек.
4	Маса масла (при визначенні подачі і винесення з масловідділювача)	гр.	0-10000	5 гр.
5	Маса фільтроелементу (уловлюваного винесення масла з масловідділювача)	гр.	0-200	0.00005 г

Процедура проведення випробувань відкритої СВК:

1. Підключення олиовідділювача до випробувальної системи.
2. Підключення установки для створення вакууму через уловлювальний фільтр (визначення витрати масла за вагою фільтруючого елемента) та випробування при розрядженні 300 мм вод. ст.
3. Визначення опору олиовідділювача шляхом міркування тиску в імітаторі картерної вентиляції (КД), на вході, зливі та перед олиовідділювачем при різних витратах стисненого повітря: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 л/хв, щоб визначити робочі межі олиовідділювача.
4. Підключення резервуару для збору відокремленої масла, встановлення зворотного клапану перед ним, та з'єднання з імітатором КД для вирівнювання тисків. Встановлення фільтра на виході з олиовідділювача для уловлювання винесення масла. Заповнення ємності для подачі масла в СВК, регулювання швидкості подачі масла (35 г/хв) за допомогою затискача при вільному зливі,

після чого кран подачі масла закривається та система підключається до ежектора.

5. Подача стисненого повітря з витратою 100 л/хв у трубопровід, що живить ежектор масла, для створення масляного туману.

6. Випробування для визначення винесення масла, тиску в імітаторі КД та кількості відокремленої масли за 20 хвилин при регульованих параметрах подачі масла та витратах повітря: 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 л/хв.

7. Технічний огляд компонентів оливовідділювача після випробувань.

8. Визначення витрати масла, що безпосередньо подається в оливовідділювач на випробувальній установці (непрямим методом, як суму витрат винесеного та осадженого масла в системі) за формулою [10].

$$G_n = G_y + G_o = \frac{m_y}{t} + \frac{m_o}{t} = \frac{m_y + m_o}{t} \quad (3.1)$$

Визначити відносний вміст масла в картерних газах за формулою:

$$a = \frac{G_n}{G} \quad (3.2)$$

Визначити ефективність СВК по формулі:

$$E = \frac{m_o}{m_y + m_o} * 100 = \frac{m_o}{m_n} * 100, \% \quad (3.3)$$

3.2. Програма та методика стендових моторних випробувань закритої СВК

Стендові моторні випробування закритої системи вентиляції картера (СВК) з V-подібним двигуном 8ЧН 12/13 були проведені на моторному стенді. Двигун був оснащений згідно з технічними вимогами ГОСТ 14846-81 перед початком випробувань. Випробування здійснювались на дослідному стенді №4 компанії "AVL", призначеному для двигунів до 700 к.с., з комплексною газоаналітичною системою та вимірювальним обладнанням відповідно до ГОСТ 14846-81. В якості

охолоджувальної рідини використовувалася вода, моторна олива – SAE 15W/40 Лукойл Супер. 5. Умови випробувань відповідали вимогам ГОСТ 12.1.005. 6. Випробування проводились у горизонтальному положенні двигуна на режимі номінальної потужності.

Під час випробувань реєструвались наступні параметри:

- Тиск та температура масла в головному оливозбірнику;
- Температура води на виході з двигуна;
- Витрати та тиск картерних газів;
- Обсяг масла в картерних газах;
- Обсяг масла, що виводиться з СВК.

Забезпечувались наступні умови: температура масла від 90 до 105°C, температура води від 82 до 85°C. Двигун працював з напруженням близько 500 мотогодин перед випробуваннями.

Методика проведення випробувань:

1. Заповнити оливу в картер до верхньої мітки щупа у горизонтальному положенні двигуна.
2. Прогрівання двигуна до температури масла від 90 до 105°C.
3. Визначення кількості масла, що викидається з картерних газів, збираючи її в окрему ємність протягом 1 години на номінальній потужності.
4. Перевірка досягнення рівня масла до верхньої мітки щупа.
5. Вимірювання ваги зібраного масла на терезах Т-1000 за ГОСТ 13882-68.
6. Вимірювання тиску картерних газів у клапанній кришці другого циліндра.
7. Вимірювання витрати картерних газів з використанням витратоміра «AVL Blow By Meter (7877)».
8. Принципова схема встановлення оливовідділювачів і процедура випробувань відображені на рисунку 3.4 для комплексного аналізу роботи системи в закритій та відкритій конфігурації СВК.

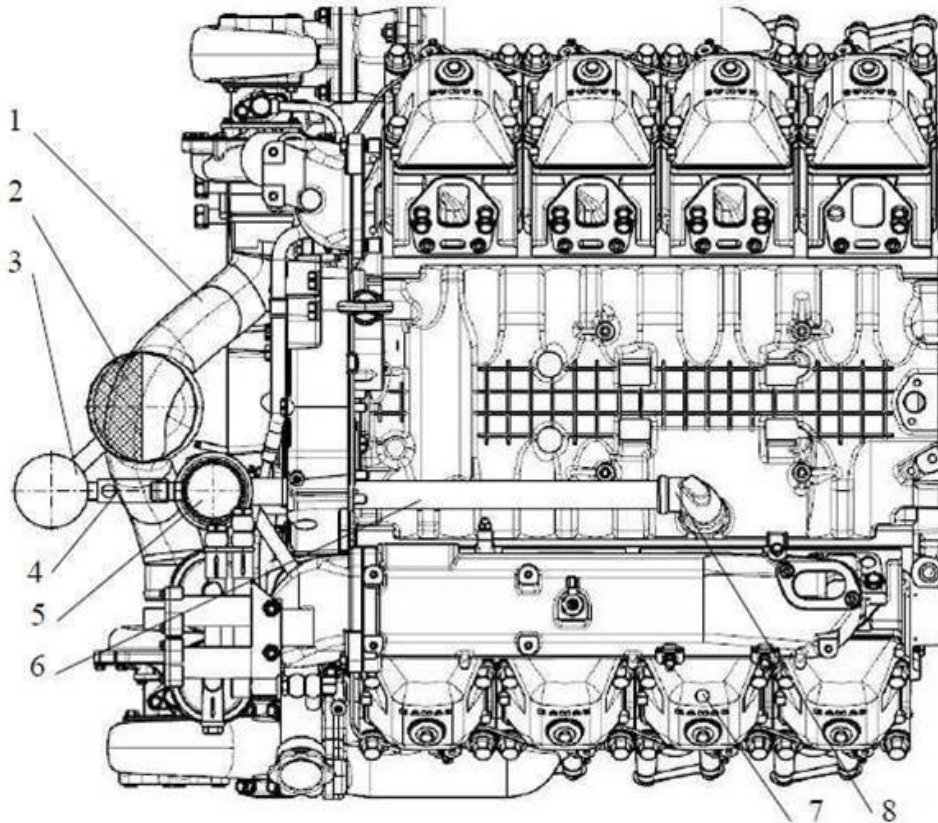


Рисунок 3.4 – Схема розміщення основних компонентів: 1 – трійник повітряного фільтра; 2 – заслінка; 3 – фільтр-уловлювач; 4 – місце для вимірювання розрядження картерних газів (КГ) у трійнику; 5 – олиовідділювач; 6 – підвідна труба; 7 – місце для вимірювання тиску КГ; 8 – Косинець сапуна

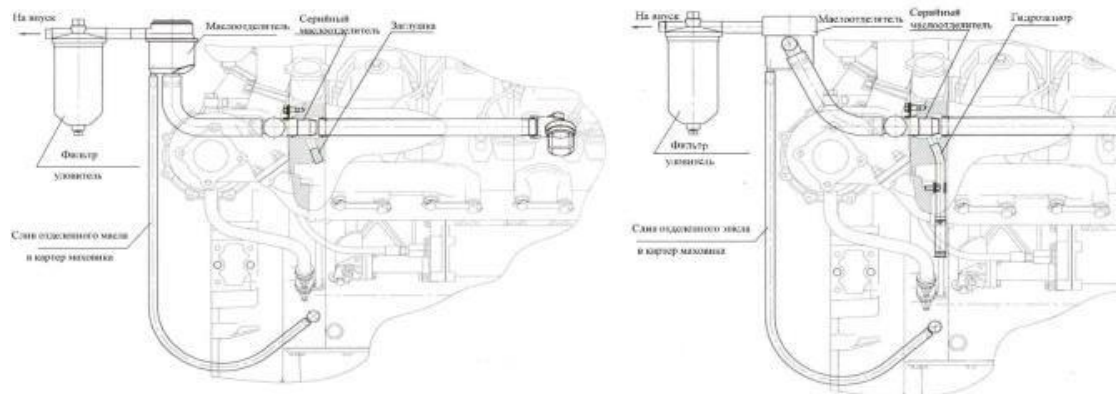


Рисунок 3.5 – Схема випробувань одно- та двоступінчастого виконання для відкритої та закритої СВК

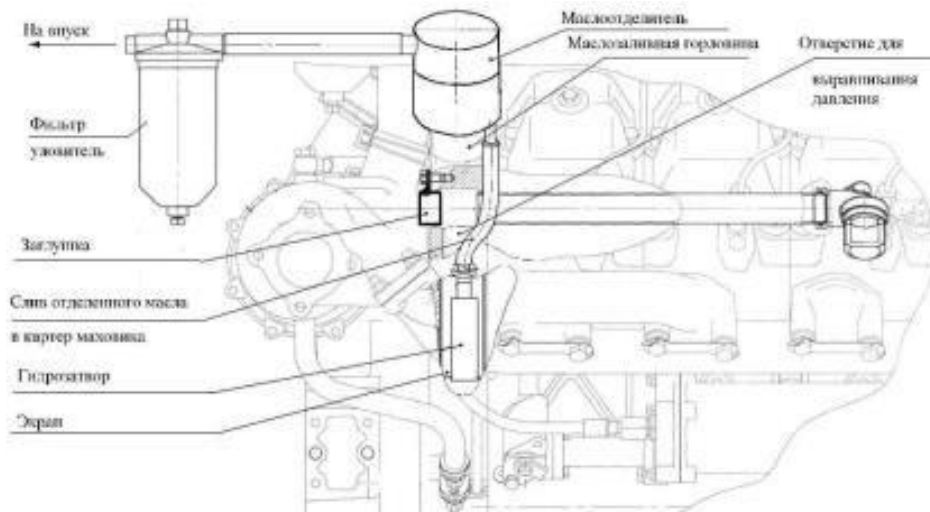


Рисунок 3.6 – Схема випробувань СВК на оливозаливній горловині, де перша ступінь оливовідділення була тимчасово заглушена

3.3. Випробувальне обладнання та оцінка точності експериментальних досліджень

Забезпечення достовірності результатів експериментальних досліджень компонентів системи вентиляції картерних газів (КГ) вимагає високої точності вимірювань. Виміри схильні до певних похибок, які класифікуються як систематичні, випадкові та грубі. Систематичні та грубі похибки можуть бути скоректовані або виключені на етапі підготовки до експерименту, тому подальша увага зосереджується на випадкових похибках.

Випадкові похибки виникають незалежно від інших вимірювань і мають як позитивні, так і негативні значення, навіть при вимірюваннях у ідентичних умовах. Ці похибки не можуть бути усунені методами прямого виключення і тому їх вплив на результати вимірювань розглядається за допомогою теоретичного підходу, зокрема, за методами теорії ймовірності.

Для оцінки величини випадкової похибки найчастіше використовується середньоквадратична похибка, яка за нормальним розподілом випадкової величини та застосуванням правила трьох сигм [11, 13-17] дозволяє обчислити її з високою ймовірністю, що наближається до одиниці.

$$\sigma_A = \frac{1}{3} \frac{\Delta A}{A} \cdot 100 \% \quad (3.4)$$

Похибки визначення вимірюваних величин при стендових безмоторних випробуваннях включають похибки, пов'язані з термопарою та вимірювальним приладом, як цифро-аналоговим перетворювачем.

Для термопар типу хромель-алюмель, які використовуються у діапазоні температур від -50 до +300°C, стандарт ГОСТ 3044-84 вказує, що максимальна похибка термopар не перевищує 0,50%. Це означає, що термопара може мати відхилення від істинного значення на 0,50% від вимірюного температурного показника.

Щодо цифро-аналогового перетворювача ICP CON-7019, його максимальна середньоквадратична похибка найчастіше спостерігається при мінімальному значенні температури, яке в цьому випадку становить 50°C. Для точного розрахунку похибки необхідно знати конкретні характеристики похибки перетворювача. Загалом, середньоквадратична похибка визначається як квадратний корінь з середнього арифметичного квадратів відхилень вимірюваних значень від середнього значення.

Таким чином, при мінімальному значенні температури 50°C і при наявності даних про характеристики похибок перетворювача, можна обчислити точну середньоквадратичну похибку для даного температурного діапазону. Це дозволить врахувати та мінімізувати вплив випадкових похибок на загальні результати вимірювань.

$$\sigma_K = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{50} \cdot 100 \% = 0,66 \% \quad (3.5)$$

Загальна середньоквадратична похибка вимірювання враховує похибки всіх використаних приладів та методів, і її можна розрахувати, комбінуючи похибки кожного вимірювального компонента. Ось як можна визначити похибку для кожного аспекту випробувань:

1. Похибка вимірювання тиску картерних газів (КГ). Для еталонного

п'єзометра зі шкалою від 0 до 600 мм вод. ст. і ціною поділки 1 мм вод. ст., середньоквадратичну похибку можна визначити як половину ціни поділки, що становить 0.5 мм вод. ст.

$$\sigma_k = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{600} \cdot 100 \% = 0,06 \% \quad (3.6)$$

2. Похибка вимірювання витрати картерних газів (КГ). Для витратоміра зі шкалою від 0 до 500 л/хв і ціною поділки 5 л/хв, середньоквадратичну похибку можна оцінити також як половину ціни поділки, що складає 2.5 л/хв.

$$\sigma_k = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{600} \cdot 100 \% = 0,06 \% \quad (3.7)$$

3. Похибка вимірювання часу. При використанні секундоміра з ціною поділки, припустимо, 0.1 секунди, середньоквадратичну похибку визначаємо як 0.05 секунди.

$$\sigma_\tau = \frac{1}{3} \cdot \frac{0,1}{600} \cdot 100 \% = 0,0055 \% \quad (3.8)$$

4. Похибка зважування масла. Для ваг, що мають межу вимірювання від 0 до 500 г і ціною поділки 0.01г, похибку можна оцінити як 0.005 г.

$$\sigma_v = \frac{1}{3} \cdot \frac{0,01}{500} \cdot 100 \% = 0,0007 \% \quad (3.9)$$

Щоб обчислити загальну середньоквадратичну похибку вимірювання витрати моторного масла, можна скористатися наступною формулою:

$$\sigma_q = \sqrt{\sigma_\tau^2 + \sigma_v^2} = \sqrt{0,0055^2 + 0,0007^2} = 0,0062 \% \quad (3.10)$$

3.4. Стендові випробування оливівідділювачів

Для проведення стендових безмоторних випробувань та аналізу отриманих

результатів були вибрані експериментальні оливовідділювачі, зазначені у розділі 1: Варіант 1, Варіант 5, та Варіант 8. Випробування було виконано відповідно до заздалегідь встановленої програми та методики.

Аналіз результатів стендових безмоторних випробувань (табл. 3.2):

1) В результаті модифікації конструкції центральних та напрямних втулок у дослідних оливовідділювачах, а також завдяки введенню додаткових оливовідділювальних пластин у Варіанті 5 порівняно з Варіантом 1, було зафіксовано незначне зростання опору оливовідділювача. Варіант 8 демонструє вищий газодинамічний опір, що пояснюється наявністю десяти шарів оливовідділювальної сітки.

2) В процесі випробувань відносний вміст масла в картерних газах зменшувався з підвищенням їх витрати, зі зменшенням від 0,3 до 0,062 г/л, що свідчить про збільшення ефективності з увеличенням потоку КГ.

3) Приріст гідравлічного опору оливовідділювачів зафіксовано з збільшенням витрати КГ, що відображається на тиску в ємності, що імітує КД. Зміни тиску у цій ємності свідчать про динаміку роботи клапанів оливовідділювачів.

4) Дослідження показали, що оптимальну працездатність з ефективністю не менше 99% можна досягти при витратах КГ не більше 400 л/хв. Зі збільшенням потоку до 450 л/хв витрата поданого масла становить від 30 до 33 г/хв.

5) Умови випробувань (за заданої температури масла та подаваного повітря) знижують ймовірність пароутворення в оливовідділювачі, на відміну від умов на двигуні, де температура КГ значно вища.

6) Виходячи з результатів стендових безмоторних випробувань, для подальших тестів було обрано оливовідділювач Варіант 5, який продемонстрував найкращу ефективність осадження масла.

Таблиця 3.2 – Результати випробувань оливовідділювачів закритої СВК

Масловідділювач	Витрата КГ, л /хв	Витрата масла що подається в СВК, гр./хв (39)	Відносний вміст масла в КГ, гр./л (40)	Тиск в картері, мм вод. ст.	Розрідження, мм вод. ст.	Витрата віднесеного масла, гр./хв	Ефективність масловідділювача, % (41)
1	2	3	4	5	6	7	8
Варіант 1	100	29	0,29	15	300	0,0009	99,99
	200	35	0,175	33		0,0018	99,99
	300	27	0,09	48		0,0018	99,99
	400	30	0,075	60		0,0004	98,35
	450	30	0,067	157		0,0007	98,23
	500	32	0,064	274		0,0007	98,91
Варіант 5	100	30	0,3	15		0,0008	99,99
	200	33	0,165	35		0,0018	99,99
	300	29	0,097	52		0,0006	99,99
	400	31	0,076	76		0,0005	99,11
	450	33	0,073	178		0,0006	98,99
	500	31	0,062	300		0,0005	98,91
Варіант 8	100	30	0,29	21	300	0,0004	99,99
	200	33	0,172	42		0,0005	99,92
	300	28	0,1	58		0,0006	98,92
	400	30	0,074	86		0,0008	98,68
	450	32	0,065	182		0,0007	98,31
	500	33	0,064	321		0,0007	98,91

3.5. Стендові випробування закритої СВК

Для оцінки ефективності видалення моторного масла з картерних газів (КГ) перед їх входом у СВК, були виконані стендові моторні випробування на серійній конструкції СВК для V-подібних двигунів 8ЧН 12/13, що включають закритий злив через гідрозатвор. Результати випробувань для чотирнадцяти V-подібних двигунів потужністю 400 к.с., як з так і без оливорозподільного жолоба, представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати стендових моторних випробувань з визначенням моторного масла у СВК

Витрата КМ, л /хв.	Витрата масла в СВК, гр./год (39)	Витрата віднесеного масла, гр./ год	Ефективність масловідділювача, % (41)	Тиск картерний, мм .вод.
Без маслорозподільного жолоба				
64	1,2	0,05	95,83	0,1
90	6	1	83,33	6,12
130	18	8	55,56	9,18
180	46	6,5	85,87	10,2
230	228	6	97,37	17,3
280	342	5	98,54	22,4
320	468	8	98,29	30,5
360	900	8,5	99,06	31,6
З маслорозподільним жолобом				
64	0,6	0,05	91,67	2
90	3	0,2	93,33	9
130	6	0,3	95,00	12
180	43	0,5	98,84	14
230	78	0,8	98,97	25
280	140	2,7	98,07	50
320	300	13,8	95,40	61
360	800	39,6	95,05	76

Аналіз результатів стендових моторних випробувань закритої СВК:

1) Використання оливорозподільного жолоба ефективно зменшує кількість масла, що потрапляє з КГ у СВК, майже вдвічі порівняно з базовою моделлю. Згідно з даними, максимальна витрата КГ для стандартних V- подібних двигунів 8ЧН 12/13 становить від 180 до 200 л/хв, а за нормами ISO 17536 з оливорозподільним жолобом, СВК ефективно працює при витраті до 130 л/хв.

2) Для всіх майбутніх випробувань дослідних оливовідділювачів закритої СВК буде застосовуватися конструкція V-подібного двигуна 8ЧН 12/13 з оливорозподільним жолобом.

Стендові моторні випробування були здійснені з використанням високофорсованого дизельного V-подібного двигуна 8ЧН 12/13 потужністю 440 к.с., використовуючи дослідний оливовідділювач варіанта 5, який

продемонстрував високу ефективність під час попередніх безмоторних випробувань.

Результати випробувань показали, що закрыта СВК не має суттєвого впливу на основні ефективні показники двигуна (N_e , M_e , G_e , P_z , G_v та інші) у межах допустимої похибки вимірювального обладнання. Загальні результати та ефективність осадження масла представлені у таблиці 3.4, яка демонструє виконання визначених завдань наукового дослідження.

Таблиця 3.4 – Результати стендових моторних випробувань закрытої СВК

№зп	Витрата КГ, л/хв	Витрата масла в СВК, гр./год (39)	Витрата віднесеного масла, гр./год	Ефективність СВК, % (41)	Розрідження на впуску, мм вод. ст. з т.п.	Тиску картері, мм вод.ст.
1	64	0,6	0,05	91,67	300	5
2	90	3	0,25	91,67		16
3	130	6	0,3	95,00		21
4	180	21	0,3	98,57		32
5	230	145	1,6	98,90		41
6	280	155	2,6	98,32		55
7	320	58	3,8	93,45		75
8	360	98	4,8	95,10		140

Згідно з даними таблиці 3.4, розроблена конструкція закрытої СВК забезпечує відповідність усім критеріям ефективності та працездатності системи при витраті КГ до 200 л/хв. За цих умов, тиск у системі картерної вентиляції (КД) значно збільшився порівняно зі стандартним виконанням, але для забезпечення оптимальної роботи ущільнень у двигунах 8ЧН 12/13 тиск не повинен перевищувати 250 мм вод. ст. Вимірювання показали, що навіть при витраті КГ 360 л/хв максимальні значення тиску не перевищують 140 мм вод. ст., що відповідає технічним вимогам.

При цьому тиск у картерній вентиляції (КД) порівняно з серійним виконанням значно зріс, проте для оптимальної роботи ущільнень у V- подібних двигунах 8ЧН 12/13 тиск не повинен перевищувати 250 мм вод. ст. Отримані

максимальні значення тиску не перевищують 140 мм вод. ст. навіть при витраті КГ 360 л/хв, що також відповідає встановленим вимогам.

Таблиця 3.5 містить дані про показники вихлопних викидів (BBV) для двигуна 8ЧН 12/13 потужністю 440 к.с., випробуваного з базовою та розробленою закритою СВК в умовах циклів ESC та ETC.

Таблиця 3.5 – Випробування двигуна з аналізом вихлопних викидів

Виконання СВК	NOx	CH	CO	PT
	г / кВт · год			
ESC				
Базова	10,126	0,234	0,242	0,011
Розроблена	9,840	0,230	0,252	0,012
Різниця, %	-2,82	-1,71	4,13	3,42
ETC				
Базова	8,75	0,30	0,81	0,01
Розроблена	8,26	0,292	0,84	0,017
Різниця, %	-5,60	-2,67	3,70	4,12

Аналіз вихлопних викидів показав, що закрита СВК має незначний вплив на екологічні показники двигуна. Зокрема, зниження вмісту оксидів азоту (NO_x) та вуглеводнів (CH) варіюється від 1,71 до 5,6%, в залежності від циклу випробувань. Також спостерігається невелике зростання оксидів вуглецю (CO) та зважених частинок на 3,42–4,13%.

Причиною зниження NO_x і CH може бути зменшення максимальної температури згоряння, що веде до зниження тиску згоряння. Крім того, мінімальне винесення масла з СВК у систему впуску сприяє збільшенню вмісту твердих частинок і оксидів вуглецю в вихлопних газах.

Для підвищення ефективності осадження масла у СВК рекомендовано використання спеціального волокнистого матеріалу, як це робиться в імпорتنих оливовідділювачах. У дослідних оливовідділювачах використовується металева сітка, яка легко чиститься та має необмежений термін служби, на відміну від

волокнистого матеріалу з обмеженим терміном служби.

Висновки до третього розділу

1. Розроблено програми та методики стендових безмоторних випробувань оливовідділювачів та моторних випробувань закритої СВК.
2. Розроблене випробувальне обладнання та проведено оцінку точності експериментальних досліджень. Проведено стендові випробування масловідділювачів та закритої СВК.
3. Аналіз результатів стендових безмоторних випробувань показав:
 - 1) в результаті модифікації конструкції центральних та напрямних втулок у дослідних оливовідділювачах, а також завдяки введенню додаткових оливовідділювальних пластин у Варіанті 5 порівняно з Варіантом 1, було зафіксовано незначне зростання опору оливовідділювача. Варіант 8 демонструє вищий газодинамічний опір, що пояснюється наявністю десяти шарів оливовідділювальної сітки.
 - 2) в процесі випробувань відносний вміст масла в картерних газах зменшувався з підвищенням їх витрати, зі зменшенням від 0,3 до 0,062 г/л, що свідчить про збільшення ефективності з збільшення потоку КГ.
 - 3) оптимальну працездатність з ефективністю не менше 99% можна досягти при витратах КГ не більше 400 л/хв. Зі збільшенням потоку до 450 л/хв витрата поданої оливи становить від 30 до 33 г/хв.
 - 4) виходячи з результатів стендових безмоторних випробувань, для подальших тестів було обрано оливовідділювач Варіант 5, який продемонстрував найкращу ефективність осадження масла.
4. Аналіз результатів стендових моторних випробувань закритої СВК показав:
 - 1) Використання оливорозподільного жолоба ефективно зменшує кількість оливи, що потрапляє з КГ у СВК, майже вдвічі порівняно з базовою моделлю. Згідно з даними, максимальна витрата КГ для стандартних V- подібних двигунів 8ЧН 12/13 становить від 180 до 200 л/хв, а за нормами ISO 17536 з оливорозподільним жолобом, СВК

ефективно працює при витраті до 130 л/хв.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Закриті системи вентиляції картера (ЗСВК) є сучасними та ефективними рішеннями, що дозволяють мінімізувати шкідливий вплив картерних газів на навколишнє середовище та підвищити довговічність двигуна. Проте проектування такої системи супроводжується рядом технічних проблем, серед яких - оптимальний підбір компонентів та забезпечення ефективного очищення газів.

2. Складність створення закритої СВК полягає в тому, що дрібні частинки оливи, які потрапляють у КГ і спрямовуються у впускну систему, можуть призводити до серйозних проблем.

3. Аналіз результатів стендових безмоторних випробувань оливовідділювачів показав:

- 1) в результаті модифікації конструкції центральних та напрямних втулок у дослідних оливовідділювачах, а також завдяки введенню додаткових оливовідділювальних пластин у Варіанті 5 порівняно з Варіантом 1, було зафіксовано незначне зростання опору оливовідділювача. Варіант 8 демонструє вищий газодинамічний опір, що пояснюється наявністю десяти шарів оливовідділювальної сітки.
 - 2) в процесі випробувань відносний вміст масла в картерних газах зменшувався з підвищенням їх витрати, зі зменшенням від 0,3 до 0,062 г/л, що свідчить про збільшення ефективності з збільшення потоку КГ.
 - 3) оптимальну працездатність з ефективністю не менше 99% можна досягти при витратах КГ не більше 400 л/хв. Зі збільшенням потоку до 450 л/хв витрата поданої оливи становить від 30 до 33 г/хв.
 - 4) виходячи з результатів стендових безмоторних випробувань, для подальших тестів було обрано оливовідділювач Варіант 5, який продемонстрував найкращу ефективність осадження масла.
4. Аналіз результатів стендових моторних випробувань закритої СВК показав, що використання оливорозподільного жолоба ефективно зменшує

кількість оливи, що потрапляє з КГ у СВК, майже вдвічі порівняно з базовою моделлю. Згідно з даними, максимальна витрата КГ для стандартних V- подібних двигунів 8ЧН 12/13 становить від 180 до 200 л/хв, а за нормами ISO 17536 з оливорозподільним жолобом, СВК ефективно працює при витраті до 130 л/хв.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ANSYS Workbench User's Guide. ANSYS Release 12.1. - USA: ANSYS, Inc, 2009. - 120 p.
2. Podevin, P. Influence of lubricating oil pressure and temperature / P. Podevin, A. Clenci, G. Descombes // Applied thermal Engineering. - 2011. - vol. 31. - P. 194-201.
3. Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» / Укладачі: Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 136 с.
4. Розробка моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля з використанням математичних методів теорії планування експерименту / О.Л. Ляшук, І.Б. Гевко, А.Б. Гупка, Л.М. Слободян, Б.Р. Гевко, Р.В. Хорошун // ЛНТУ, Том 2 № 21 (2023): сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Луцьк, - 2023. с. 135- 144.
5. Техніко – економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. – Тернопіль : Вид – во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.
6. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид – во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.
7. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.
8. Oleg Lyashuk ,Andrii Gupka, Yuriy Pyndus , Vasily Gupka, Mariia

Sipravska, Andrzej Wozniak, Mikola Stashkiv The tribology of the car: Research methodology and evaluation criteria ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine (ICCP T 2019), Ternopil, Ukraine, May 28-29, 2019.

9. O. Liashuk O. Livitskyi, V. Aulin , S. Lysenko , A. Hryniv, A. Gypka Parameters of the lubrication process during operational wear of the crankshaft bearings of automobile engines Problems of Tribology, V. 27, No 4/106-2022, 69- 81.

10. Конспект лекцій (частина І) з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», 275 «Транспортні технології» галузі знань 27

«Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д. Навроцька., Р.Р. Заверуха., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 132 с.

11. Параметрична модель фрикційного контакту / Р.Я. Лещук, І.Т. Ярема, А.Б. Гупка // 16-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові (м. Львів, 18 травня – 19 травня 2023 р.) : Матеріали симпозіуму. – Львів : КІНПАТРІ ЛТД, 2023. с. 58.

12. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.

13. Кисляков В. Ф., Лущик В.В. Будова і експлуатація автомобілів: Підр. – 6-те вид. – К., 2006. – 400 с.

14. Мимоход, Д. (2022). Вплив параметрів системи «картерний простір-моторна олива» на мащення трибоз'єднань колінчастого валу бензинового двигуна (Master's thesis, Національний університет «Запорізька політехніка»).

15. Шевченко, І. А., & Панарін, Д. Є. (2010). Модернізація системи вентиляції картера ДВЗ.

16. Аулін, В. В., Жулай, О. Ю., Лозовий, О. С., Бобрицький, В. М., & Лисенко, С. В. (2008). Система вентиляції картера двигуна внутрішнього згоряння.

17. Міт'євський, І. Ю., & Митьевский, И. Ю. (2020). Визначення впливу

газотурбінного наддуву на тепловий стан дизельного двигуна (Master's thesis, Національний університет «Запорізька політехніка»).

18. Терещенко, В. К., & Терещенко, В. К. (2020). Вплив якості очищення циліндрів на техніко-економічні показники дизельного двигуна Д- 260 (Master's thesis, Національний університет «Запорізька політехніка»).

19. Дрібас, Д. Е., & Дрибас, Д. Э. (2020). Дослідження впливу картерних газів бензинового двигуна на експлуатаційні показники моторних олиф (Master's thesis, Національний університет «Запорізька політехніка»).

20. Victor Aulin, Oleg Lyashuk, Andrii Gupka, Oleg Tson, Mironov Dmitro, Mariana Sokol, Roman Leshchuk, Igor Yarema. Tribodiagnosis of the surface damage of tribo-coupling parts materials during machine operation. *Procedia Structural Integrity*. Volume 59, 2024, Pages 428-435.

21. Victor Aulin, Oleg Lyashukb, Serhii Lysenkoa, Oleg Tson, Andrii Hrynkiv, Natalia Rozhko. Extension of the service term of the resource- determining elements of vehicle units based on the artificial neural network model of their defects. VII International Conference “In-service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction (DMDP 2023) *Procedia Structural Integrity* 59 (2024) 436–443 E-ISSN:2452-3216

22. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т. А. Довбуш , Н. І. Хомик, А. В. Бабій, Г. Б. Цьонь, А. Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.