

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Обґрунтування експлуатаційних характеристик моторного мастила
категорії S1 по API з дослідженням в'язкості

Виконав: студент 6 курсу, групи МАм-61
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Кізь В.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Гевко І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Левкович М.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2023

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«20» листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Кізію Володимирі Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування експлуатаційних характеристик моторного мастила категорії SI по API з дослідженням в'язкості

Керівник роботи Гевко Іван Богданович., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «20» листопада 2023 року № 4/7-1071

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2023

3. Вихідні дані до роботи Характеристика експлуатаційних характеристик моторного мастила категорії SI по API

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Алгоритм імітації моделі оцінки – 1А1.

Технологічна схема заміни оливи – 1А1.

Конструкції існуючого обладнання для зливу масла – 1А1.

Ключ для відкручування пробок – 1А1.

Установка для зливу масла – 1А1.

Пристрій телескопічний – 1А1.

Магніострикційний диспергатор моторних масел – 1А1.

Результати наукових досліджень – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 20.11.2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	24.11.2023	
2	Технологічний розділ	30.11.2023	
3	Конструкторський розділ	05.12.2023	
4	Науково-дослідний розділ	07.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	14.12.2023	
6	Оформлення графічної частини	21.12.2023	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	25.12.2023	

Студент

(підпис)

Кізь В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гевко І.Б.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Обґрунтування експлуатаційних характеристик моторного мастила категорії S1 по API з дослідженням в'язкості».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н., професор Гевко Іван Богданович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 61 сторінки формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини.

Ключові слова: в'язкість, дослідження, бензинові двигуни, стандартизація, змащував.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	7
1.1 Аналіз характеристик розсіювальних та протиокислювальних добавок....	7
1.2 Аналіз якісних характеристик дослідної формули, набору добавок та зарубіжного торгового відповідника.....	9
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	12
2.1 Аналіз регулюючих рівнянь.....	12
2.2 Моделі та робочі умови для обчислень.....	19
2.3 Аналіз точності моделі.....	23
2.4 Аналіз даних моделювання.....	25
2.5 Економічний аналіз.....	31
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	32
3.1 Загальний механізм об'єкта та його структура.....	32
3.2 Методика тестування та умови експлуатації.....	34
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	46
4.1 Аналіз процесу та характеристик оливи.....	46
4.2 Марки оливи для двигуна, їх призначення та характеристики.....	37
4.3 Вплив масла на роботу двигуна та його тестування.....	38
4.4 Випробувальний метод: програми спектрометричного аналізу масла.....	39
4.5 Експериментальні дослідження.....	40
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	50
5.1 Розробка заходів щодо зниження впливу небезпечних чинників	50
5.2 Пожежна і вибухова безпека.....	52
5.3 Шкідливі домішки та викиди забруднюючих речовин з об'єктів зберігання моторних палив.....	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	58
БІБЛІОГРАФІЯ.....	59
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Моторне мастило є ключовим компонентом у забезпеченні надійності та ефективності роботи двигуна. Воно служить змащувачем, що зменшує тертя між рухомими деталями двигуна, захисником від корозії, охолоджувачем, а також засобом виведення забруднювачів та осадів з камери згорання. Існує безліч марок та категорій моторних мастил, кожна з яких розроблена для конкретних умов експлуатації та типів двигунів. Це робить вибір правильного мастила важливим аспектом обслуговування автомобіля.

Стандартизація характеристик моторних мастил, таких як в'язкість, допомагає споживачам, інженерам та автовиробникам робити обґрунтований вибір мастила, що відповідає специфічним вимогам їхніх двигунів. Один з провідних стандартів у світі - це категорії API (Американський Петролейовий Інститут). Категорія S1 по API — це одна з відомих категорій, розроблена специфічно для легкових бензинових двигунів.

У даній роботі ми зосередимося на обґрунтуванні експлуатаційних характеристик моторного мастила категорії S1 по API, зокрема, досліджуючи його в'язкісні властивості. В'язкість є однією з ключових характеристик мастила, яка впливає на здатність мастила виконувати свої функції під різними умовами експлуатації.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз характеристик розсіювальних та протиокислювальних добавок

Щоб досягти меншої зольності обраної композиції, не втрачаючи її розсіювальних характеристик, було проведено аналіз добавок на основі сукцинімідів. Так, змішане базове мастило було додано в кількості 1,5% мас. комбінації боровмісних (СБ) і великих молекул (СВ) сукцинімідів. Вивчення характеристик цих комбінацій відбувалося під час високотемпературного каталітичного процесу окислення (ВКО).

У моторних мастилах ефективність роботи сукцинімідів істотно впливають інші присадки, введені в композицію. У раніше проведених дослідженнях виявлено, що в умовах ВКО композиції сукцинімідів і фенолятів мають синергетичний ефект. Автором цієї роботи в аналогічних умовах досліджено різні композиції суміші сукцинімідів з вітчизняним високолузним фенолятом кальцію (див. рис. 1.1 та 1.2).

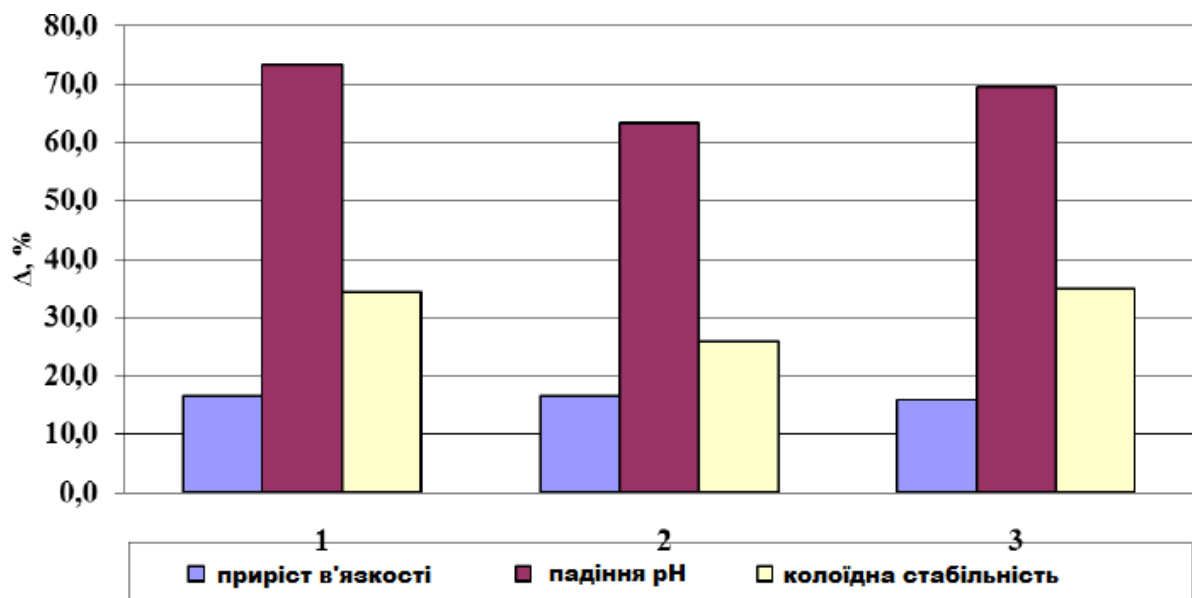


Рисунок 1.1. Варіація фізико-хімічних характеристик оливи під час ВКО з наявністю комбінацій сукцинімідів.

1 - композиція, яка складається з 45% мас. С5АБ та 55% мас. С5АВ, 2 - рівномірна суміш, де обидві присадки представлені в пропорції 50/50.

Враховуючи усі характеристики, можемо стверджувати про аналогічні

якості цих сумішей. Проте, щоб зменшити загальний вміст золи в утворюваній суміші, більш доцільно застосовувати суміш з вищим вмістом сукцинімідів.

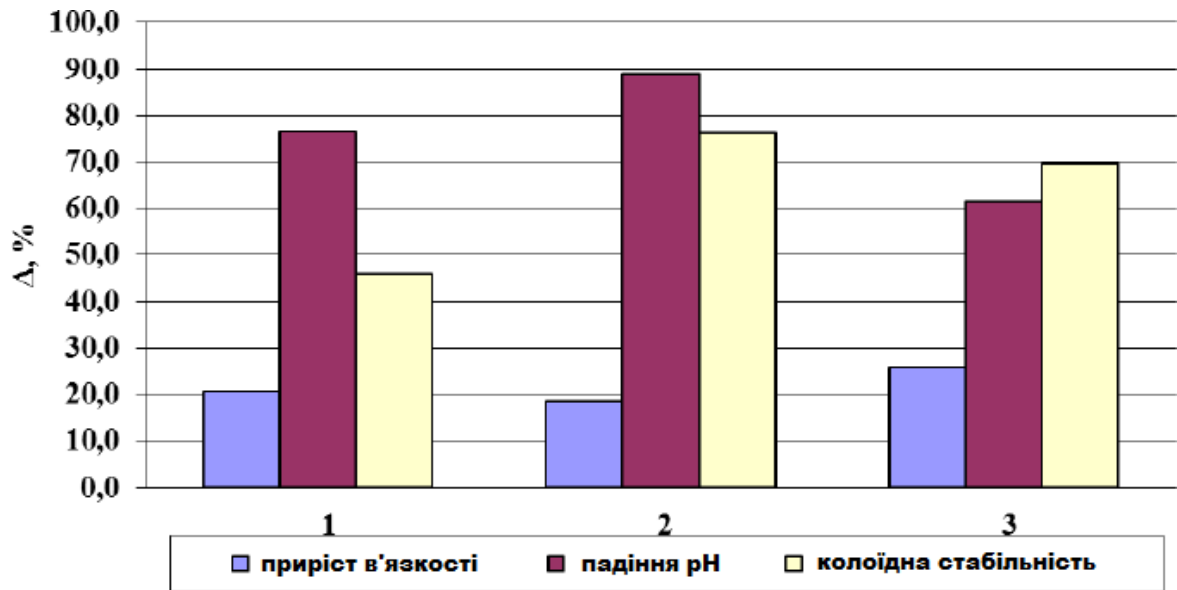


Рисунок 1.2. Адаптація фізико-хімічних властивостей мастила при ВКО з використанням комбінацій сукцинімідів та феноляту.

Для одночасного підвищення властивостей проти окислення та зменшення зносу в суміш додавалися речовини на основі діалкілдітіофосфатів. Під час випробувань на апаратурі ВКО розглядались суміші на основі діалкілдітіофосфатів цинку з різними характеристиками, де найоптимальнішим виявилось співвідношення - 70% речовини Д-1.

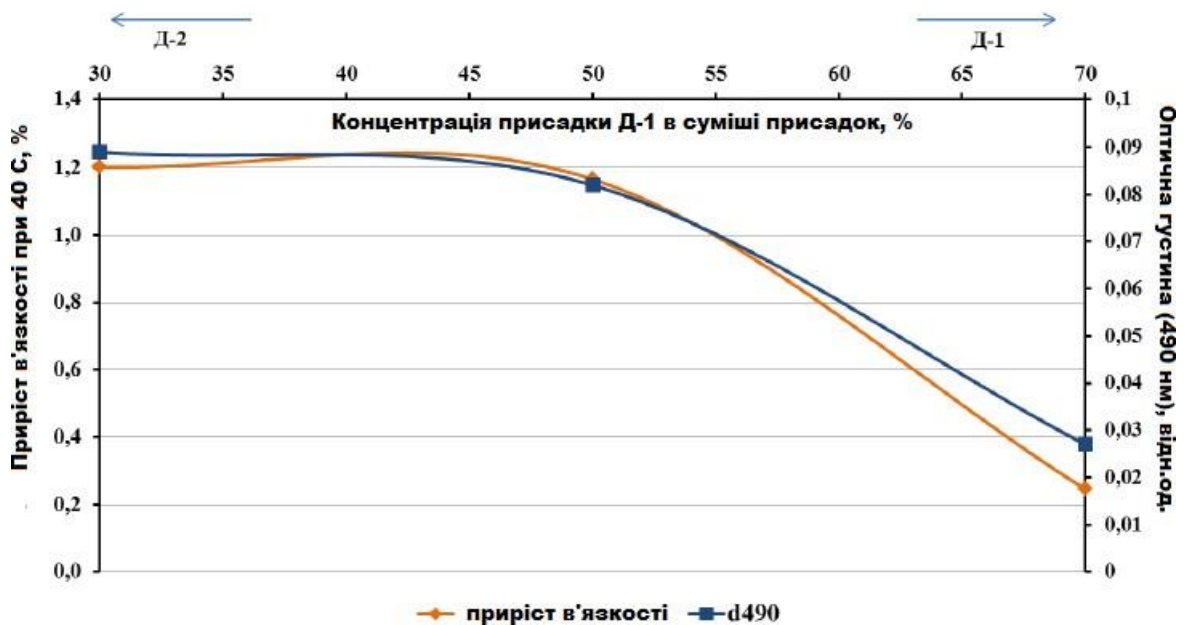


Рис. 1.3. Коливання характеристик мастильного матеріалу під час ВКО, коли присутній 1% вагових частин сполук дітіофосфатних елементів цинку.

1.2 Аналіз якісних характеристик дослідної формули, набору добавок та зарубіжного торгового відповідника

На основі зроблених випробувань було створено дослідний набір добавок (півнабір), який включає в себе місцево вироблені детергенти, диспергуючі речовини та антиокисники. Структура проби мастильного матеріалу (у відсотках за масою), що включає цей набір, подана нижче.

Додаток:

очишувач В7130Д - 0,7

очишувач ССК-300 - 1,6

очишувач НССК-30Д - 1,7

розсіювач С5А версії «В» - 2,3

розсіювач С5АБ - 2,8.

інгібітор окислення (зосереджений) ДФ-11К - 0,8

інгібітор окислення ЦД-7 - 0,4

основна суміш для змащування - До 100.

Цей склад доповнений рядом додаткових компонентів, включаючи ті, що імпортуються (фенольні та амінні інгібітори окислення, захисний засіб від корозії). Таким чином, було створено експериментальну суміш, в якій переважали національні компоненти, і ця суміш додавалася до основного мастила в кількості 11,3% ваги.

Було виконано зіставлення з іноземним торговим набором, під час якого виявилось, що дослідний набір трохи відстає від імпортного.

1 - суміш на базі українських чистильно-розсіювальних добавок; 2 - дослідний набір цілком (11,3% за вагою в базовому речовині); 3 - іноземний торговий набір OLOA 54000 (10,7% за вагою в базовому речовині).

У числі речовин, що забруднюють моторне масло в бензиновій установці (наприклад, речовини окислювання та розпаду масла і палива), особливу увагу варто звернути на воду. Вона є побічним продуктом згоряння палива та може потрапити з атмосфери. Дана вода може взаємодіяти в ряді реакцій, зокрема у формуванні різноманітних кислот. При роботі бензинової установки з атмосферного газу формуються нітрогенні оксиди з різними рівнями

окиснення. Внаслідок реакції між водою та нітрогенними оксидами утворюється комбінація нітратної та нітритної кислот.

Для полегшення процесу лабораторної імітації забруднення використовували диліційовану нітратну кислоту як більш активну серед цих кислот. Її розбавлення водою допомагає аналізувати взаємодію одразу двох забруднюючих речовин.

Методики лабораторних досліджень не відтворюють у повній мірі реальних умов роботи моторної оливи у двигуні. Для перевірки відповідності обраної формули оливи вимогам експлуатаційної категорії Б5 були здійснені двигунні тести за протоколом ВАЗ 04-11 при 150°C упродовж 72 год.

Отже, розглядаючи зазначені характеристики, проба мастила відповідає стандартам категорії Б5 ААС, що є у відповідності з критеріями SL за API. Проте, враховуючи переваги іноземного торгового набору під час лабораторних тестів, з метою піднесення якості антиокислювальних характеристик нашого набору до стандарту міжнародного зразка, було збільшено кількість антиоксидантних добавок із здійсненням наступних лабораторних вивчень.

Відмінні показники продемонструвала суміш, що включала комбінацію двох дітіофосфатних добавок. Ця комбінація виявилась особливо ефективною в порівнянні з іншими розглянутими варіантами, підсилюючи якість кінцевого продукту.

Щоб зробити зіставлення сформованого пакету з іноземним відповідником, було здійснено аналіз у звичайних умовах ВКО. Також було враховано вплив додавання розчиненої азотної кислоти в концентрованій базі. Це дозволило глибше розуміти ефективність та стабільність наших розробок в порівнянні з зовнішніми стандартами.

Отже, збільшуючи кількість двох типів діалкілдітіофосфатів цинку в пакеті, можна досягти антиоксидантних характеристик, порівнянних із іноземним комерційним продуктом. Щодо диспергуючої здатності, наш пакет навіть виявився ефективнішим. Це свідчить про те, що локальні розробки можуть бути не лише на рівні, а й перевершувати міжнародні стандарти за деякими параметрами.

Для аналізу чистильних якостей попередньо досліджених зразків,

експерименти були здійснені за допомогою лабораторних пристроїв нахилена різь та ПЗВ із електромотором. Цей останній моделює рух поршневої системи в циліндрі відповідно до норм ДСТУ 5726-2013.



Рисунок 1.4. Вивчення чистильних якостей дослідних зразків за допомогою пристроїв ПЗВ і нахилена улоговина.

На основі проведених тестів можна зробити висновок, що аналіз чистильних якостей за допомогою апарату нахилена улоговина взаємодіє з методикою ПЗВ. Та комбінація, яка включає вдосконалений набір добавок, показала трохи вищі чистильні характеристики порівняно з первинним та іноземними комерційними комплексами.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз регулюючих рівнянь

Наступне рівняння відображає динаміку гнучкого багатотільного об'єкта, в якому враховуються як лінійні (трансляційні), так і кутові (обертальні) переміщення:

$$M \cdot \ddot{q} + D \cdot \dot{q} + K \cdot q = f \quad (2.1)$$

$$f = f^a + f^* + p^* \quad (2.2)$$

де $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)'$ є набором загальних координат, а $q_i = (u_1, u_2, u_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi^3)'$ визначає певний набір координат; f^* представляє загальну силу взаємодії між елементами; f^a вказує на зовнішній вплив; а p^* описує нелінійні інерційні сили та моменти з таким виразом:

$$p^* = f^g - f' = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_n^*)^t \quad (2.3)$$

де f^g вказує на силу та момент, які виникають через прискорення твердого тіла, а f' представляє центробіжну гіроскопічну силу та момент.

$$p_i^* = \left[\begin{array}{l} -m_i [\ddot{x}_B + 2 \cdot A_\Omega \cdot (\dot{x}_B + \dot{u}_i) + (A_\Omega + A_\Omega^2) \cdot (x_B + c_i + u_i)] \\ -\{ \Delta I_{C_i} \cdot \ddot{\varphi}_i + (I_{C_i} + \Delta I_{C_i}) \cdot (\ddot{\Omega} - A_\varphi \cdot \dot{\Omega}) + (A_\Omega + A_\varphi) \cdot (I_{C_i} + \Delta I_{C_i}) \cdot (\dot{\Omega} + \dot{\varphi}_i) \} \end{array} \right] \quad (2.4)$$

Під час створення моделі і через складність конструкції деталей двигуна, таких як циліндр, поршень, шатун та інші, повний розрахунок кожного вузла після методу скінченних елементів призведе до великої системи рівнянь і великої кількості розрахунків. Тому ми спростовуємо рівняння, обмежуючи ступені свободи вузлів, які мають незначний вплив на результат. Для цього ми використовуємо методи CMS та синтезу підструктур. Процес трансформації в процесі спрощення описаний нижче:

$$q = \begin{bmatrix} q_t \\ q_0 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} E & 0 \\ G_{ot} & G_{oq} \end{bmatrix}}_{G_{fa}} \cdot \begin{bmatrix} q_t \\ z \end{bmatrix} = G_{fa} \cdot q_a \quad (2.5)$$

де q представляє собою вектор ступеня свободи для скороченого переднього вузла; q_a вказує на скорочений ступінь свободи, а G_{fa} - це матриця

перетворення. Замінюючи (2.5) в (2.1), ми отримуємо спрощене кінетичне рівняння:

$$\underbrace{(G'_{fa} \cdot M \cdot G_{fa})}_{\bar{M}} \cdot \ddot{q}_a + \underbrace{(G'_{fa} \cdot D \cdot G_{fa})}_{\bar{D}} \cdot \dot{q}_a + \underbrace{(G'_{fa} \cdot K \cdot G_{fa})}_{\bar{K}} \cdot q_a = \underbrace{G'_{fa} \cdot f}_{\bar{f}} \quad (2.6)$$

Цю формулу можна представити у спрощеному вигляді як

$$\bar{M} \cdot \ddot{q}_a + \bar{D} \cdot \dot{q}_a + \bar{K} \cdot q_a = \bar{f} \quad (2.7)$$

Рівняння Нав'є–Стокса у напрямку товщини олійного плівка спрощено; для циркулярного та аксіального напрямків підшипника використано рівняння Рейнольдса.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right) = \frac{U_1 + U_2}{2} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.8)$$

Олійний плівок мастила поширюється уздовж обрїю від центральної точки підшипника до довгої квадратної області, зображеної на рисунку 2.1.

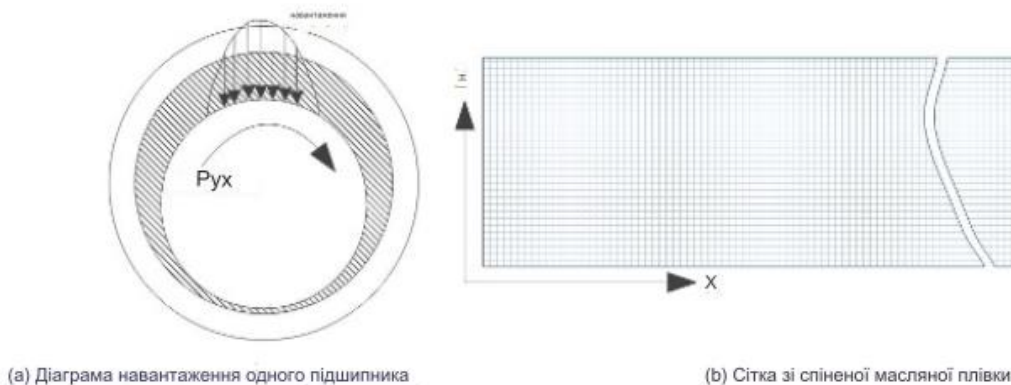


Рисунок 2.1. Завантаження підшипника для однієї пари тертя підшипника та його олійного плівка.

Після механічної обробки, дві поверхні, що взаємодіють в ковзному підшипнику, мають мікрошершавість, а товщина мастильного плівка може стати порівнянною зі шершавістю цих поверхонь при великих навантаженнях. Для урахування впливу мікрошершавості на потік у плівку змащування використовується усереднене рівняння Рейнольдса за Патіром і Ченгом для моделі еластогідродинамічного змащування, яка бере до уваги мікрозмащення. Вираз для цього такий:

$$-\frac{\partial}{\partial x} \left(\theta \cdot \alpha_x^2 \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta \cdot \alpha_z^2 \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right) + \frac{\partial(\theta \cdot \beta)}{\partial x} + \frac{\partial(\theta \cdot \gamma)}{\partial t} = 0 \quad (2.9)$$

У вищезазначеному виразі,

$$\begin{aligned} \alpha_x^2 &= \phi_x \cdot \frac{h^3}{12 \cdot \eta} \\ \alpha_z^2 &= \phi_z \cdot \frac{h^3}{12 \cdot \eta} \\ \beta &= (\gamma + \sigma \cdot \phi_s) \cdot \frac{u_1 - u_2}{2} \\ \gamma &= \rho \bar{h}_T \end{aligned}$$

В обраному контексті, x та z відображають обертові та осьові координати. Параметри p та h представляють тиск та товщину масляного фільму. Фактори ϕ_x , ϕ_y та ϕ_s описують потік під тиском та вплив нерівної поверхні. θ показує, наскільки область заповнена маслом. Змінні u_1 та u_2 представляють швидкість обертання валу та підшипника. Узагальнений показник h_T відображає очікувану товщину масляного фільму. Тиск у підшипнику відповідає тиску у картері, а тиск біля масляного отвору - тиску масляної системи. Для кавітації використовується JFO методика. Умови на границі при розриві фільму визначаються як.

$$\frac{\partial p}{\partial n} = 0, p = p_c \quad (2.10)$$

При формуванні масляного фільму встановлена така гранична умова.

$$\frac{h^2}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{V_n}{2} (1 - \bar{\theta}) \quad (2.11)$$

Гранична умова в осьовому напрямку встановлена як

$$p = p_e \left(z = \pm \frac{B}{2} \right) \quad (2.12)$$

Встановлена гранична умова має періодичний характер.

$$p|_{\theta=p} = p|_{\theta=2x} \quad (2.13)$$

де p_c це тиск у отворі; V_n вказує на нормальну швидкість поверхні; а p_e представляє собою тиск в навколишньому середовищі.

Відносна формула товщини масляного фільму.

Під час визначення дійсної товщини масляного фільму беруть до уваги фактори, такі як поверхнева шероховатість, еластичні деформації та знос.

$$h_T = h + \delta_p + \delta_T + \delta \quad (2.14)$$

де h вказує на номінальну товщину масляного фільму, розміжування між двома шероховатими поверхнями; δ_T представляє теплову деформацію; δ показує товщину фільму внаслідок шероховатості; δ_p описує еластичні зміни вузла на поверхні. Використовуючи рівняння для зміщення та основувшись на принципі найменшої потенційної енергії у сфері еластичності, визначається деформація вузла, щоб визначити еластичне зміщення.

$$\begin{aligned} X + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0 \\ Y + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= 0 \\ Z + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$\{F\}^q = \int_{\tilde{\Omega}} [D]^T [E] [D] d\tilde{\Omega} \cdot \{\lambda\}^q \quad (2.16)$$

де F представляє вектор результуючої сили на вузол; λ вказує на зміщення даного вузла; E описує модуль пружності; D є функцією форми, яка може бути адаптована до вузлів; Ω позначає зону скінченного елемента.

Модель в'язкості смазувального масла.

Враховуючи змінні робочі умови двигуна внутрішнього згорання, в'язкість смазувального масла реагує на зміни температури, адаптуючись до таких функцій як змащення та охолодження. Для опису відношення між в'язкістю масла та його температурою часто застосовують рівняння. Детальні параметри для цього представлено в Таблиці 2.1 згідно з цією моделлю.

Таблиця 2.1. Основні характеристики мастила SAE 0W20.

Густина при температурі нижче 40 °С.	832,5 кг/м ³ .
Динамічна в'язкість нижче 40 °С.	37,5 МПа·с.
Динамічна в'язкість нижче 100 °С	6.8 МПа·с.
В'язкість НТНS при 150 °С та швидкості зсуву 106 1/с	2.7 МПа·с.

$$\mu(T) = A \cdot e^{\frac{B}{T+C}} \quad (2.17)$$

Тиск у масляному плівці зростає, відстань між молекулами скорочується, взаємодія молекул мастильного масла збільшується, що призводить до збільшення в'язкості. У майбутньому тенденція до високої швидкості та високого навантаження збільшить локальний тиск масляного плівця до значень близько 200 МПа, і в той же час ефект в'язкості масла під тиском стане дуже значущим. Для вираження залежності в'язкості масла від тиску часто використовується рівняння Баруса.

$$\eta(T, p) = \eta(T) \cdot e^{\alpha \cdot p} \quad (2.18)$$

Під впливом динамічного навантаження та високої робочої швидкості швидкість зсуву в підшипнику може перевищити 2×10^7 1/с. Зі збільшенням швидкості зсуву виникає ефект зниження в'язкості під зсувом, що призводить до значного зменшення в'язкості мастильного матеріалу. Для апроксимації даних тесту можна використовувати рівняння Кросса.

$$\eta(T, p, \dot{\gamma}) = \eta(T, p) \cdot \left(r + \frac{1-r}{1 + (K \cdot \dot{\gamma})^m} \right) \quad (2.19)$$

Для параметрів властивостей стандартної оливи SAE 0W20 дивіться Таблицю 2.2. нижче, де НТНС позначає високу температуру та високу швидкість зсуву.

Таблиця 2.2. Реологічні параметри мастила.

Параметри	Значення
A	0.0516 МПа·с.
B	1127.6 °C
C	130.7 °C
α	0.00095 1/bar
γ	0.53
m	0.79
K	7.9×10^{-8} с

Коли враховується лише залежність в'язкості від температури, порівняння цієї залежності між стандартними мастилами SAE 15W40 та SAE 0W20

представлено на рисунку 2.1, використовуючи дані з бази даних стандартних мастил у програмному забезпеченні AVL Excite.

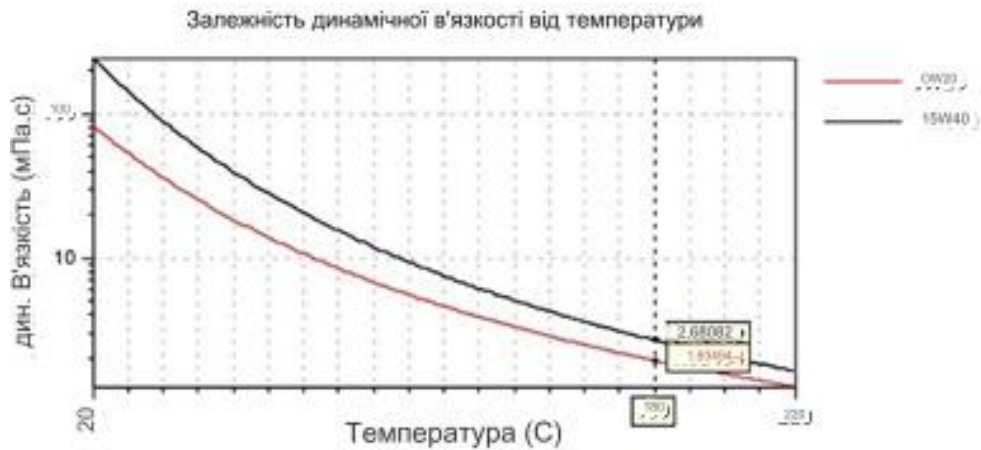


Рисунок 2.1. Порівняння залежності в'язкості від температури для стандартних мастил SAE 15W40 та SAE 0W20.

Порівняння в'язкості від тиску та ефекту зменшення в'язкості під дією зсуву для стандартного мастила SAE 0W20 представлено на рисунку 2.2:

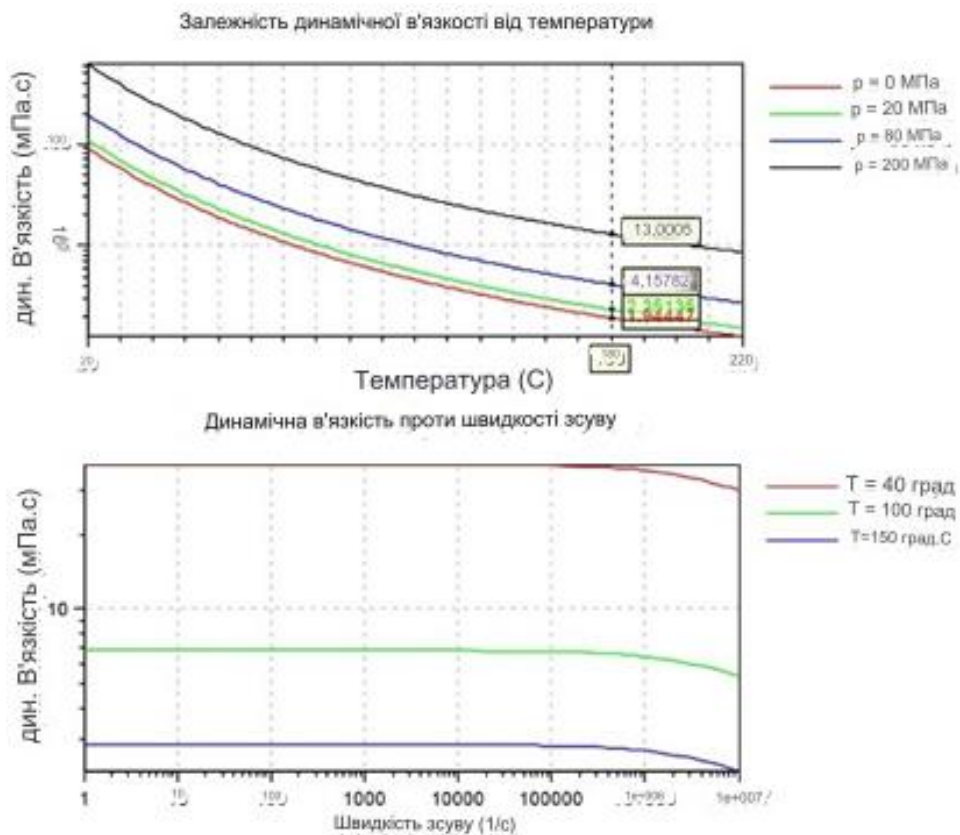


Рисунок 2.2. В'язкість тиску та ефект зменшення в'язкості під дією зсуву для стандартного мастила SAE 0W20.

Порівняння залежності в'язкості від температури між стандартними мастилами SAE 15W40 та SAE 0W20 зображено на рисунку 2.1, використовуючи дані з бази даних стандартних мастил у програмному забезпеченні AVL Excite.

Модель грубого контакту. Після численних обробних процесів поверхня пари ковзних підшипників не може бути абсолютно гладкою. Товщина динамічного тискового масляного шару стає такою малою при умовах великого навантаження, і навіть досягає порядку шорсткості (кілька мікронів), що грубий контакт шерохуватої поверхні не можна ігнорувати. Контактний тиск між шерохуватими вершинами може бути розрахований за моделлю:

$$P_a = \frac{16\sqrt{2}\pi}{15} (\eta_s \bar{\beta} \sigma_s)^2 \sqrt{\frac{\sigma_s}{\beta}} E^* F_{\frac{5}{2}}(H_s) \quad (2.20)$$

Функція деформації:

$$F_{\frac{5}{2}} = \begin{cases} 4.40861^{-5} (4 - \frac{h}{\sigma_s})^{6.804}, & \frac{h}{\sigma_s} < 4 \\ 0, & \frac{h}{\sigma_s} \geq 4 \end{cases}$$

Загальний коефіцієнт пружності:

$$E^* = \frac{1}{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)}$$

$E_k (k = 1, 2)$, $\nu_k (k = 1, 2)$

η_s характеризує модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, а також кількість виступів на поверхні в контакті; це число показує обидві поверхні тертя; β вказує на кількість виступів на поверхні; β є радіусом кривизни на верхівці такого виступу. Щодо стандартних інженерних поверхонь, $\eta_s \beta \sigma_s = 0,04$, $\sigma_s = 0,001$. σ_s представляє

загальну середньоквадратичну (RMS) шорсткість між двома нерівними поверхнями, яку можна визначити використовуючи конкретну формулу.

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (2.21)$$

Частка шершавої контактної площі в області змащування дорівнює:

$$R_{\text{contact}} = \frac{\int_A dA, \text{ where } p_c > 0}{A_{\text{total}}} \quad (2.22)$$

Втрати на тертя в умовах змішаного змащування. Втрати на тертя при змішаному змащуванні можна отримати, інтегруючи зсувні напруження масляної плівки та зсувні напруження на вершинах шершавості по всій поверхні підшипника:

$$M_{\text{Friction}} = r \iint_A (\tau_h + \tau_a) dx dy \quad (2.23)$$

На основі фактора зсувного потоку та фактора потоку тиску з Рівняння (2.6), напруження зсуву в масляній плівці може бути представлене наступним чином:

$$\tau_h = \eta \frac{u_1 - u_2}{h} (\phi_f \pm \phi_{fs}) \pm \left(\phi_{fp} \frac{h}{2} \frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad (2.24)$$

де знаки + та - позначають поверхні підшипникової втулки та поверхні підшипника відповідно, тоді як зсувні напруження на виступах шершавості дорівнюють:

$$\tau_a = \mu_{\text{Bound}} \cdot p_a \quad (2.25)$$

Згідно з джерелом, коефіцієнт тертя у межах змащування встановлено як:
 $\mu_{\text{Bound}} = 0.02$.

2.2 Моделі та робочі умови для обчислень

Характеристики двигуна, характеристики матеріалів та граничні умови

Під час створення моделі основні параметри, характеристики матеріалів та динамічні граничні умови обраного об'єкту.

Властивості матеріалу для пари підшипників вказані в Таблиці 2.3. Підшипники розміщені від вільного кінця до маховика: від No. 1 до No. 7. Для докладнішого представлення структури об'єкта дослідження були розроблені сітчасті моделі блока двигуна, втулок циліндрів, підшипникових отворів, головних підшипників та колінчастого валу в програмі, зображені на Рисунку 2.3.

Таблиця 2.3. Геометричні характеристики та властивості матеріалу.

Термін	Колінчастий вал.	Підшипник.
Діаметр (мм)	97	97.51
Ширина (мм)	33	30.3
Модуль пружності (МПа)	210,000	212,000
Коефіцієнт Пуассона	0.3	0.3
Середньоквадратична шорсткість (мкм)	0.13	0.28
Висота вершини рельєфу (мкм)	0.21	0.39
Відстань між підшипниками (мм)	0.051	

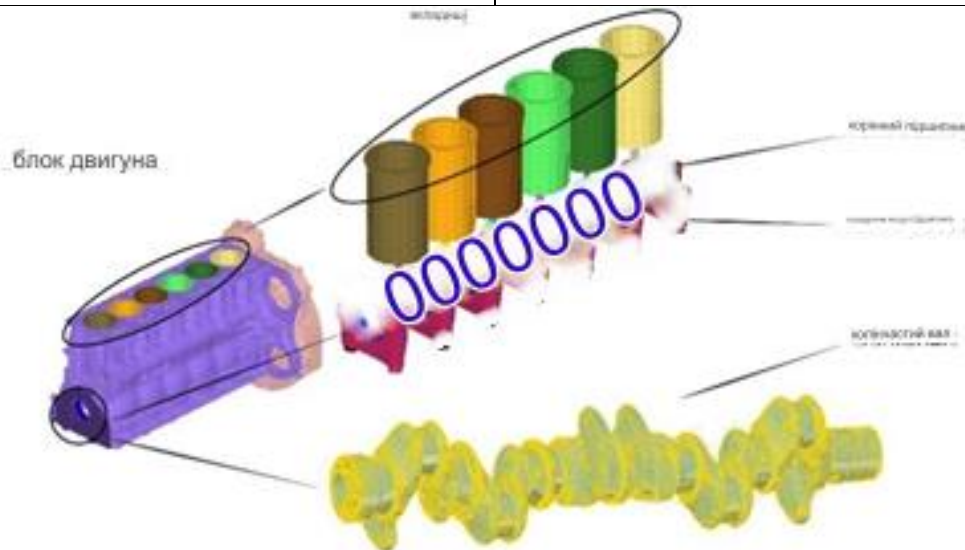


Рисунок 2.3. Сіткова модель компонентів для багатотільної динаміки.

Умови обчислення, зареєстроване навантаження та параметри забезпечення маслом

У контексті нелінійної динамічної моделі підшипника колінчастого валу, що потребує строгих крайових умов, параметри, отримані під час тестування на лабораторному обладнанні, переважно приймаються за основні умови роботи, як це зображено в таблиці 2.4.

При одночасному розв'язанні згаданого рівняння, рівняння Рейнольдса, енергетичного рівняння та рівняння теплопровідності для підшипникової втулки, змащування між колінчастим валом і головним підшипником проходить через етапи гідродинамічного, змішаного та межового змащування. Враховуючи відношення між відстанню на поверхні підшипника валу та

сукупною шорсткістю двох поверхонь (h/σ), можна визначити різні режими роботи підшипника валу та провести їх розрахунок за відповідними моделями. Для розв'язання рівняння Рейнольдса використовується метод кінцевих різниць, тоді як для рівнянь еластичного переміщення та енергії - метод кінцевих елементів. Повний процес розрахунку ілюструється на рисунку 2.4, а деталі щодо точності розрахунків кожного параметра представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.4. Робочі умови моделювання.

№	Швидкість (об/хв)	Тиск (МПа)	Тиск постачання масла (МПа)
1	600	Калібрування двигуна	216
2	1000	25	343.5
3	1400	25	412.5
4	1900	25	419
5	2150	Калібрування двигуна	419

Таблиця 2.5. Параметри контролю.

Параметр	Значення
Початкова довжина кроку	0.0625 градус
Мінімальна довжина кроку	0.001625 градус
Максимальна довжина кроку	0.125 градус
Максимальна кількість ітерацій	2000
Динамічна структурна сила N	0.001
Температура	0.001 К
Тиск масляної плівки	0.01

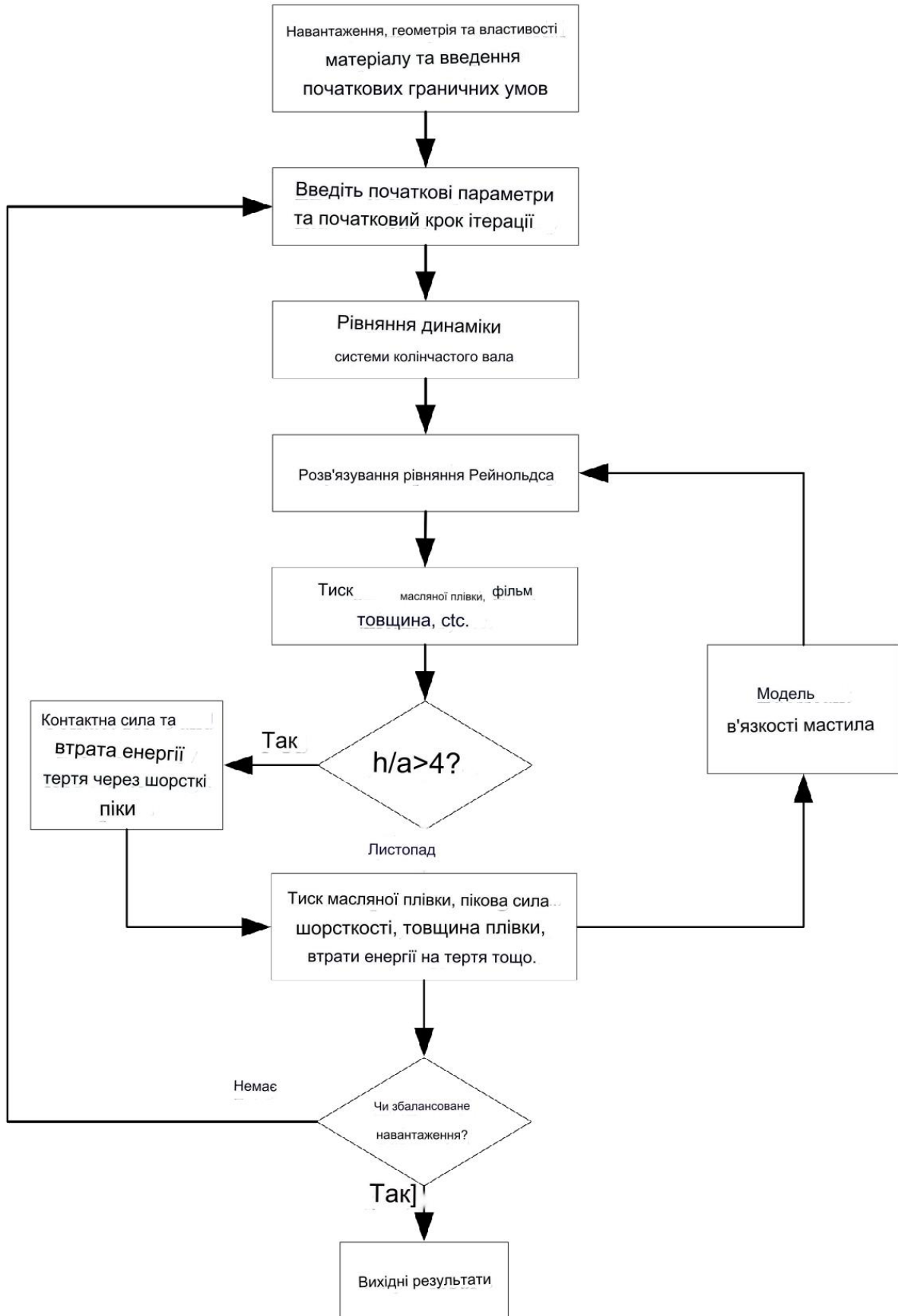


Рис. 2.4. Діаграма процесу розрахунку.

2.3 Аналіз точності моделі

У процесі числового аналізу змашування величина сіткової структури має ключове значення для результатів симуляції. З метою досягнення результатів, які не залежать від деталізації сітки, та валідації цієї незалежності, були вибрані такі комбінації сіток: (кількість осьових сіток x кількість циркулярних сіток) 12 x 120, 18 x 120, 24 x 120, 24 x 240, 48 x 240 і 24 x 480; значення максимального тиску в масляній плівці та найменшої її товщини, отримані за кожною сіткою, зображено на рисунку 2.6.

З аналізу результатів слідує, що при зростанні щільності сітки розрахункові дані набувають більшої стабільності, при цьому відхилення стає меншим за 1% після використання 24 x 240 груп. Виходячи з цієї точності та оптимізації розрахунку, було обрано сітку 24 x 240 для наступних етапів моделювання.

Модель для цієї дослідницької роботи розроблена шляхом комбінування кінетичної моделі двигуна і моделі змашування масляної плівки. Якість усієї моделі обумовлена якістю її окремих компонентів. Що стосується кінетичної моделі двигуна, отримані дані суттєво залежать від динамічних крайових умов, таких як швидкість обертання та тиск у циліндрі. Саме тому застосовуються дані, зібрані з реальних випробувань двигуна під характерними умовами роботи. Під час дослідження обертова швидкість кривошипного валу контролюється динамометром за методом зворотнього зв'язку з точністю до 1 об/хв. Динамічний вплив від процесу згоряння у циліндрі на основний підшипник, визначений за допомогою кінетичної моделі, відповідає силам, які визначаються квазістатичною базовою теорією пружності. Порівняння обох графіків на рисунку 2.7. демонструє, що тренди динамічного навантаження та теоретичні дослідження є подібними, хоча динамічні результати показують певні відхилення через вибухові тиски інших циліндрів у багатоцеліндровому двигуні. Достовірність результатів симуляції підтверджується збігом цих двох графіків.

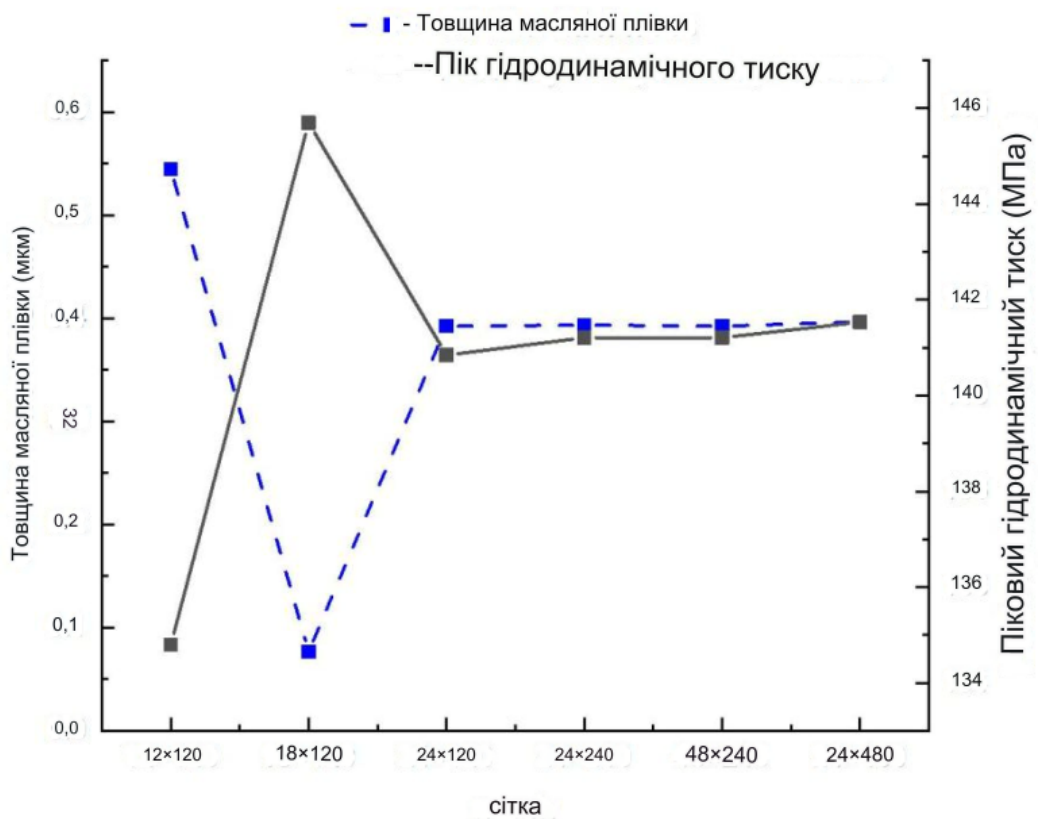
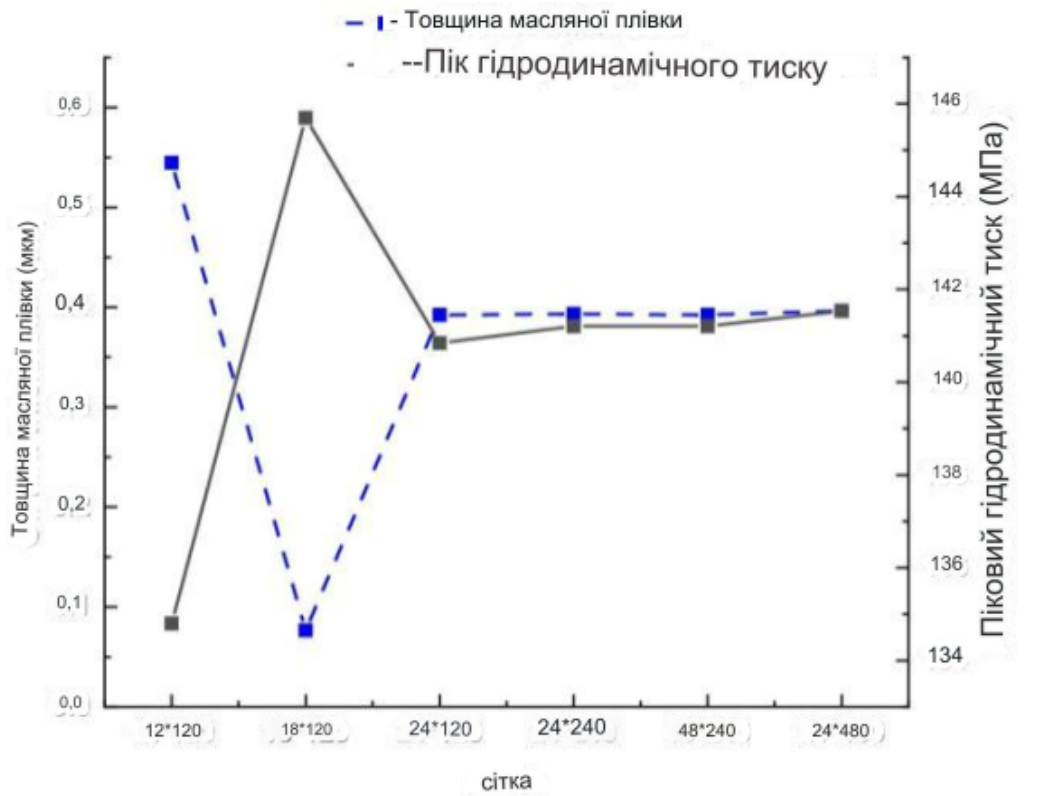


Рисунок 2.6. Верифікація незалежності від розміру сітки.

В контексті моделювання рідинного змашування ми опираємося на узагальнене рівняння Рейнольдса, яке рекомендовано численними дослідниками. Втім, ефективність цього підходу суттєво залежить від розміру сітки масляної плівки. Саме тому ми вирішили вивчити вплив різних сіток на

результати, результати чого представлені на Рисунку 2.6. Додатково, при використанні рівняння Рейнольдса ми враховуємо силу на з'єднаному підшипнику, засновану на згаданій кінетичній моделі, як основний параметр навантаження при аналізі масляної плівки. Для ініціалізації розрахунків ми використовуємо тиск масляного насоса, зміряний під час лабораторних випробувань, що гарантує надійність усієї нашої інтегрованої моделі.

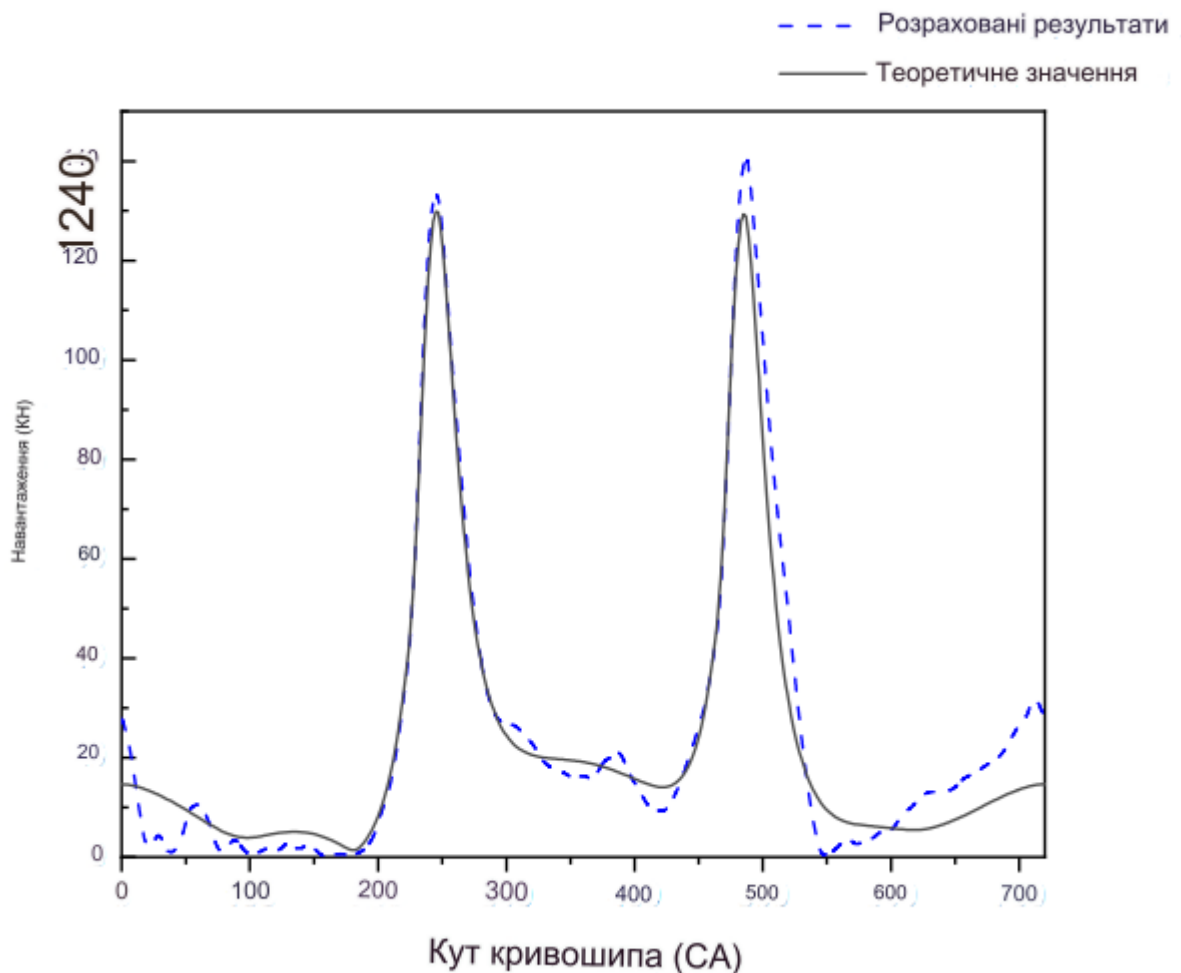


Рисунок 2.7. Криві порівняння теоретичних та експериментальних даних.

2.4 Аналіз даних моделювання

На Рисунку 2.8. демонструється, що гідравлічні втрати тертя при маслі з меншою в'язкістю є меншими порівняно з маслом стандартної в'язкості в різних робочих умовах. При швидкості обертання 2150 об/хв цей різниця стає особливо помітною, досягаючи 24%, або майже чверті. Проте, коли використовується масло з нижчою в'язкістю, навантаження на масляний шар зменшується, і втрати від тертя на нерівних ділянках збільшуються в декілька

разів, іноді навіть до десятків разів порівняно з маслом звичайної в'язкості.

Це може знизити вигоду від використання масла з нижчою в'язкістю через компенсацію збільшеними втратами на нерівних ділянках. Грубе з'єднання між поверхнями також може призвести до зносу підшипників, що впливає не тільки на змащення, але й може пошкодити інші частини.

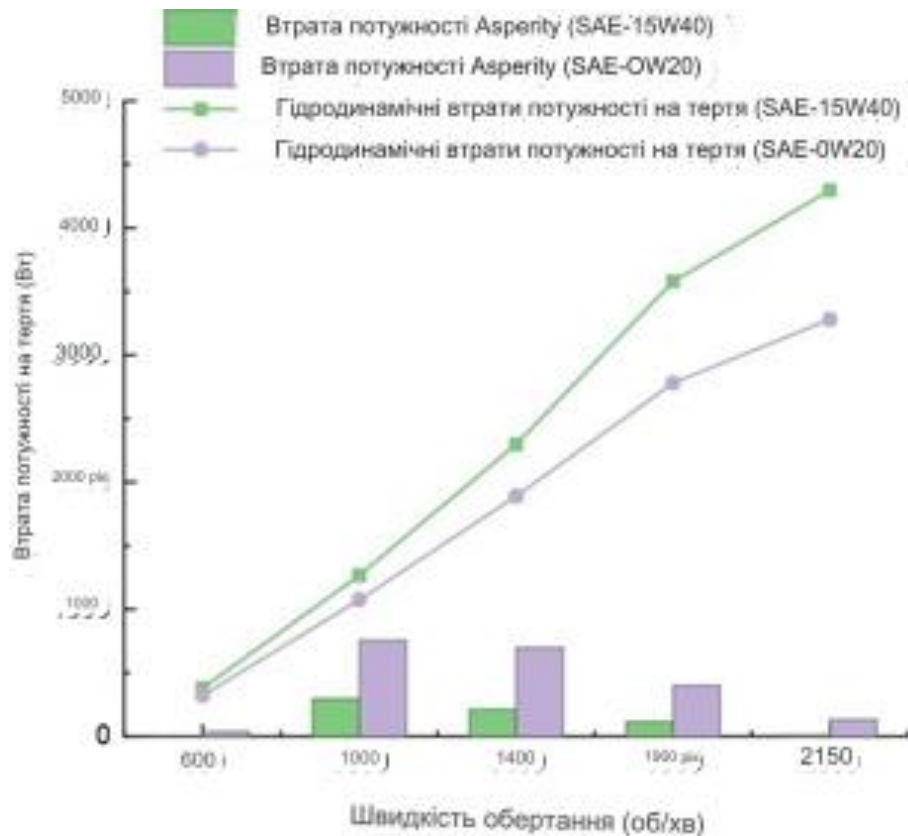


Рисунок 2.8. Порівняння загального споживання потужності на тертя основного підшипника при використанні масла нормальної в'язкості та масла низької в'язкості в типових робочих умовах.

Розглядаючи типові робочі умови цього двигуна в контексті циклу витривалості, можемо вказати на приклад середнього впливу на двигун під час його роботи. Втрати гідравлічного тертя знижуються на 24% при 2150 об/хв (максимальний режим холостого ходу), хоча в інших умовах ця перевага менш виражена. Для більш конкретної оцінки зменшення тертя розглянемо цикл витривалості. Спектр цього циклу витривалості ґрунтується на стандартах компанії та її досвіді з цією моделлю, включаючи статистичний розподіл часу роботи в різних робочих умовах, який можна розглядати як аналог реального

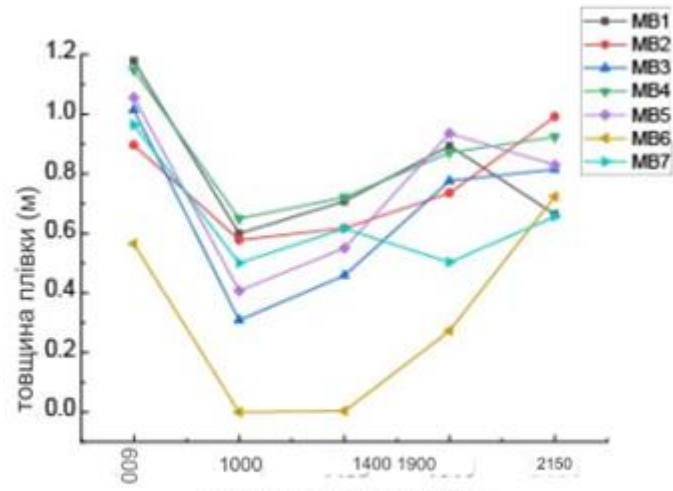
процесу служби. Вплив зменшення тертя та розподіл часу в різних умовах представлені в Таблиці 2.6.

Таблиця 2.6. Цикл витривалості та переваги від зниження тертя.

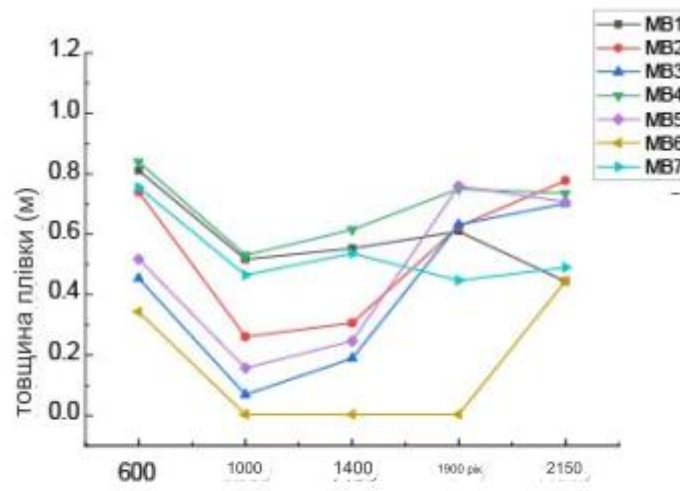
Робочий стан об/хв	Зменшення гідравлічного тертя	Частка часу
600	15.30%	1.69%
1000	15.25%	11.14%
1400	17.71%	34.38%
1900	22.32%	38.74%
2150	23.63%	14.04%

В умовах циклу витривалості втрати тертя зростають через виражене максимальне тертя. Це зумовлено комбінацією зменшеного гідравлічного тертя та часового коефіцієнта в робочому режимі. В результаті, узагальнений ефект зниження гідродинамічного тертя в двигуні в межах цього циклу дорівнює приблизно 20%. Існують інші стандартні цикли, які можна використовувати для аналізу потенційних переваг при заданих умовах.

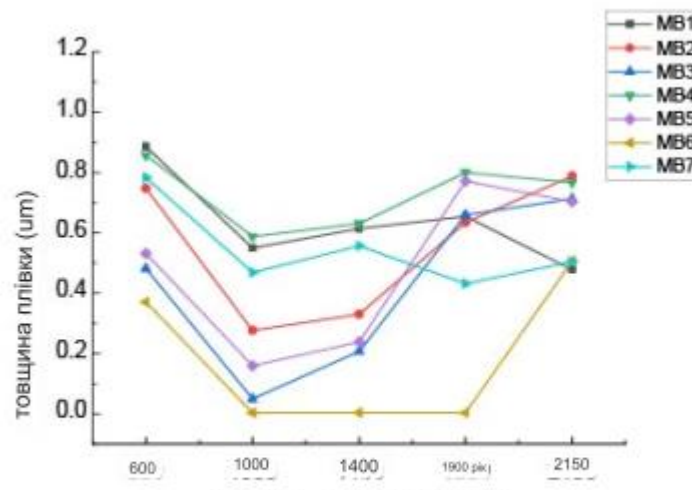
Основним показником якості змащення є мінімальна товщина олійної плівки. На рисунках 2.8. а – с представлені динаміка товщини цієї плівки залежно від швидкості обертання підшипника в різних циклах із застосуванням мастил різних в'язкостей. Аналіз показує, що застосування менш в'язкого масла (SAE 0W20) призводить до зниження товщини плівки порівняно із SAE 15W40. При використанні SAE 0W20 досліджуються дві моделі: одна з урахуванням впливу тиску та зсуву на в'язкість, а інша без такого урахування. Як виявляється, для однакового мастила локальний ріст тиску в олійній плівці збільшує як в'язкість масла, так і вантажопідйомність підшипника, тоді як інтенсивний зсув зменшує обидва ці показники. За новою моделлю в'язкості, яка враховує обидва ці фактори, товщина плівки має тенденцію до зростання, що свідчить про збільшення вантажопідйомності підшипника. Отже, ефект тиску на в'язкість масла при його низькій в'язкості є домінуючим у порівнянні з ефектом рідкіснення.



(a) SAE 15W40,7(t)



(b) SAE OW20, 7(t)



(c) SAE OW20, 7 (t.py)

Рисунок 2.8. Мінімальна товщина масляної плівки кожного основного підшипника в типових робочих умовах.

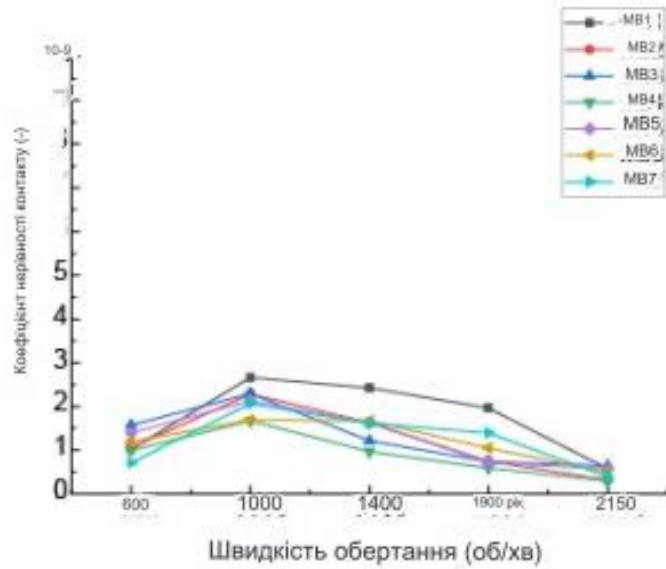
У 6-циліндровому двигуні знаходиться сім підшипників, які співпрацюють з сім'ма відділеннями колінчастого валу. MB1 означає перший підшипник, MB2 - другий та інші за послідовністю. Для спрощення в подальшому тексті кожен підшипник позначається як MB із додаванням його номера.

З дослідження товщини масляної плівки стає зрозуміло, що підшипники працюють в умовах змішаного змащення при заданих параметрах швидкості та крутного моменту. Взаємодія контактних ділянок між підшипниками під час роботи показана на рисунку 2.8.

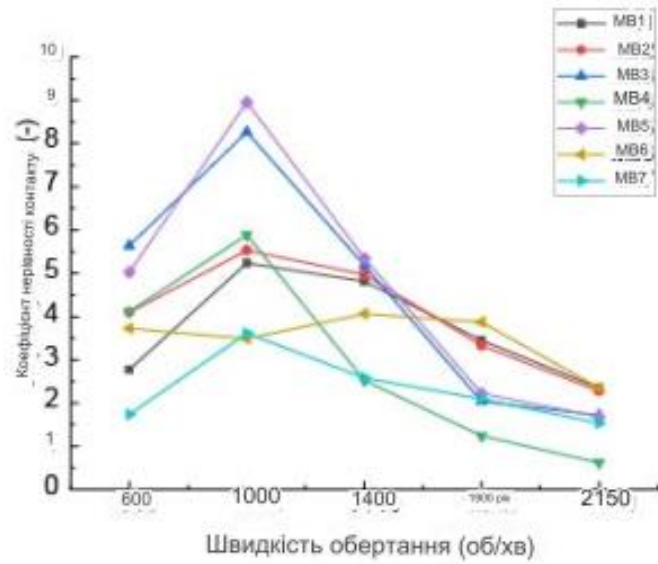
На рисунках 2.9. а – с демонструється, як змінюється контакт між асперитетами підшипника залежно від швидкості обертання і в'язкості масла. Порівнюючи цей контакт для різних масел (SAE 15W40 $\eta(t)$, SAE 0W20 $\eta(t)$ і SAE 0W20 $\eta(t, p, \gamma)$), можна побачити відмінності в роботі підшипників. Найбільш помітна різниця спостерігається при використанні масла SAE 0W20 порівняно з SAE 15W40, особливо для підшипників 3# та 5#. Також важливим є вплив різних ефектів на в'язкість масла, що впливає на роботу підшипників. Ці спостереження допомагають краще розуміти механізми змащення та оптимізувати роботу двигуна.

У наступних частинах тексту назви основних підшипників використовуються у скороченому вигляді: MB з вказівкою їх номера.

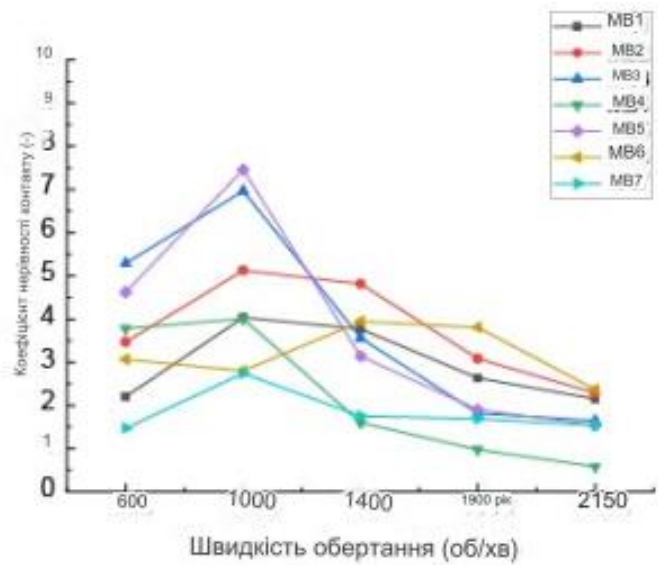
В двигуні з шести циліндрів підшипник №6 (MB6) зазнає найбільших труднощів із змащенням. Відрізняючись від решти, товщина його змащуючої плівки практично відсутня, що показує контакт підшипника з валом. Для розуміння причин цього, було вивчено навантаження на різні циліндри. Максимальні значення тиску в циліндрах дуже схожі і мають фазове зміщення 120° ВК. Сім підшипників відповідають за роботу колінчастого валу. З допомогою шківів на передній частині та маховика на задній, двигун передає крутний момент по валу. Також біля MB6 знаходяться два опорних підшипника, що обмежують аксіальне переміщення валу. Це може призвести до збільшеного навантаження на MB6, що у свою чергу знижує його здатність витримувати навантаження при подібних умовах змащення, зробивши його змащуючу плівку тоншою порівняно з іншими підшипниками.



(a) SAE 15W40,7(t)



(b) SAE OW20, 7(t)



(c) SAE OW20, 77 (t.py)

Рисунок 2.9. Відношення контакту асперитетів основних підшипників при типових робочих умовах.

В процесі вивчення властивостей масла з низькою в'язкістю встановлено, що співвідношення тиску та в'язкості має ключовий вплив на його ефективність. Спад товщини плівки та підвищений контакт асперитетів підкреслюють, що використання масла з низькою в'язкістю може вплинути на якість змащення та викликати збільшене тертя через нерівності на поверхнях.

2.5 Економічний аналіз

Використання масла з ультранизькою в'язкістю, такого як SAE 0W20, у двигунах внутрішнього згорання може привести до економії до 24% енергії на тертя. Зараз в світовому транспортному парку приблизно 1040 мільйонів автомобілів, які споживають 83 EJ енергії на рік. З цього обсягу 3-4% спрямовані на подолання тертя в підшипниках двигуна, що дозволяє заощаджувати приблизно 0,8 EJ або 0,96% енергії щороку.

Економічний збиток від втрат енергії та зносу може бути розрахований, враховуючи вартість енергії для подолання тертя, виробництва зношених деталей та запасного обладнання, а також обслуговування та ремонту. При середній вартості 1 GJ енергії в 400 грн, заощадження для всього автопарку від використання SAE 0W20 складе 416 000 грн. Крім того, вживання 1 PJ енергії призводить до викиду 0,0683 MtCO₂ діоксиду вуглецю. Зниження споживаної енергії на 0,8 EJ може зменшити викиди CO₂ на 54,6 Mt, що складає майже 3,7% від прогнозованих глобальних викидів на наступні 8 років, за даними дослідження Holmberg. Застосування нових антивихрових матеріалів та покриттів може додатково зменшити втрати енергії від тертя, особливо при використанні масел низької в'язкості у майбутньому.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Загальний механізм об'єкта та його структура

В цьому розділі ми проводимо тестування двигуна на стенді в певних робочих умовах. Зібрані дані, такі як тиск у циліндрі, тиск оливи та обертова швидкість, разом з зовнішньою температурою при різних умовах роботи, слугують для визначення вхідних параметрів симуляції. Точність нашої кінетичної моделі великою мірою залежить від цих динамічних параметрів.

У якості об'єкта для дослідження ми вибрали шестициліндровий дизельний двигун, технічні характеристики якого можна переглянути в таблиці 3.1.

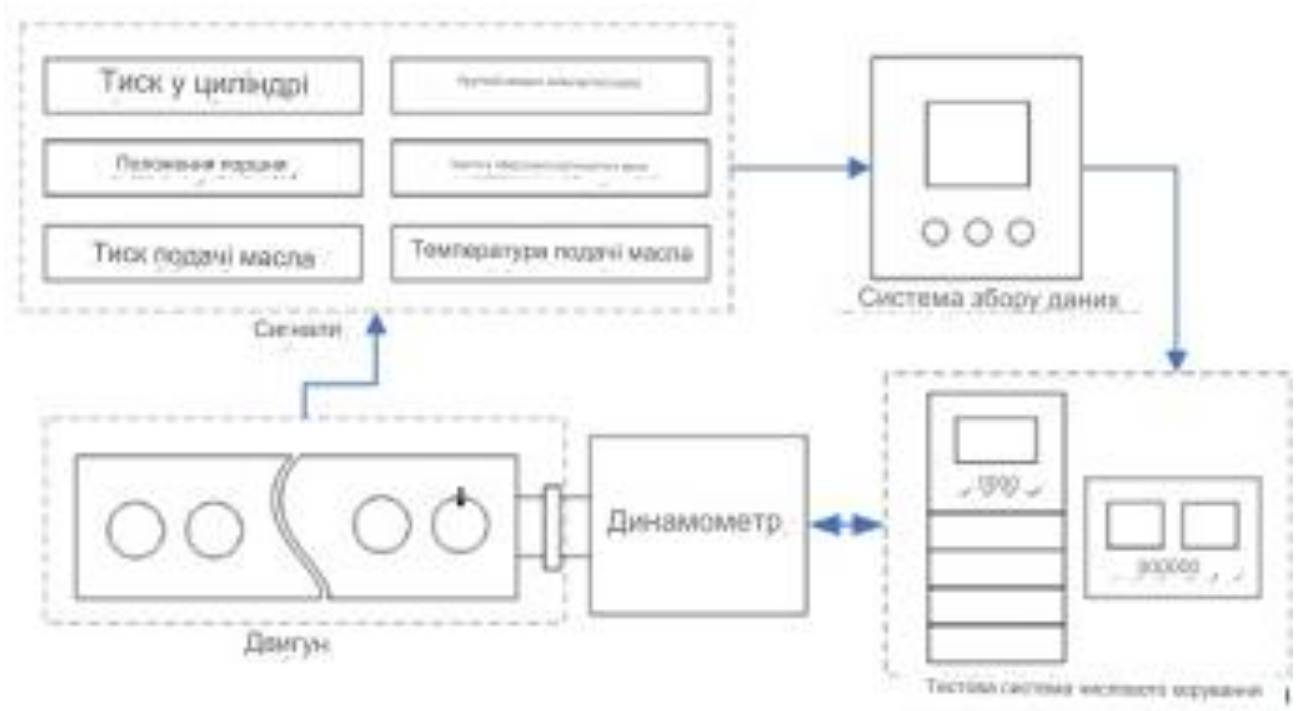
Таблиця 1. Основні характеристики двигуна.

Назва	одиниця	Значення
Діаметр циліндра	мм	116
хід поршня.	мм	139
Відстань між циліндрами.	мм	144
Розрахунковий тиск	МПа	20
Номінальна швидкість	об/хв	1900
Номінальна потужність	кВт	247
Максимальний крутний момент	Нм	1600
Швидкість при макс. крутному моменті	об/хв	1000–1400
Спосіб змащення	–	Тиск і плеск
Тип оливи.	–	15W40
Діаметр основного підшипника.	мм	97.102
Діаметр основної вісі.	мм	97
Порядок запалювання.	-	1-5-3-6-2-4

На рисунку 3.2 представлено стенд для тестування та схему розташування обладнання.



а.



б.

Рисунок 3.2. Схема експериментальної установки: (а) лабораторний стенд для тестування; (б) діаграма експериментальної системи.

Динамометр під'єднано до задньої частини двигуна; сигнали тиску в циліндрі, положення верхньої мертвої точки поршня, тиску подачі оливи, обертової швидкості та крутного моменту колінчатого валу передаються до системи збору даних, і стенд для тестування керується числовою системою управління. Характеристики пристроїв представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 2. Технічні деталі пристроїв.

Пристрій	Модель датчика	Точність	Діапазон
Лічильник витрати пального.	AVL735	$\pm 0.12\%$	125 кг/г
Динамометр.	JD 600	Крутний момент $\leq \pm 0.1\%$ Швидкість $\leq \pm 1$ об/мін	3050 0–3000
Аналізатор згоряння.	Kistler	-	-
Датчик тиску в циліндрі.	6052C	Нелінійність $< 0.3\%$	0–250
Датчик пального.	AVL735	± 1 °C	
Підсилювач заряду	5018A1000	–	–
Кабель	1603C10	–	–

3.2 Методика тестування та умови експлуатації

Тестування на стенді відбувалося в звичайних умовах, а типові робочі умови зазначено в таблиці 3.3. Для початку через автоматизовану систему управління вводилося пальне до камери згоряння, щоб запустити двигун та динамометр. Далі контролювалися дані про швидкість двигуна, крутний момент та температуру води при виході з системи охолодження. Після перевірки стабільності і відповідності очікуваним показникам розпочинався етап тестування. Встановіть обертову швидкість двигуна на рівень 1900 об/хв та піковий тиск згоряння на 25 МПа; реєструйте дані після їх стабілізації. Також знизьте швидкість двигуна до мінімуму при повному навантаженні - 1000 об/хв і зафіксуйте дані після стабілізації. Додаткові робочі умови зазначено в таблиці 3.3. Дані згоряння при тиску 25 МПа та калібруванні двигуна були відображені на графіках.

Таблиця 3.3. Параметри тестового режиму

№.	Піковий тиск (МПа)	Обертова швидкість (об/хв)
1	25	1900
2	25	1000
3	Калібрування двигуна.	600
4	25	1400
5	Калібрування двигуна.	2150

Під час довготривалих випробувань криві тиску в циліндрі можна побачити на рисунку 3.1. Таблиця 4.4. містить інші важливі параметри, такі як крутний момент, потужність та тиск оливи.

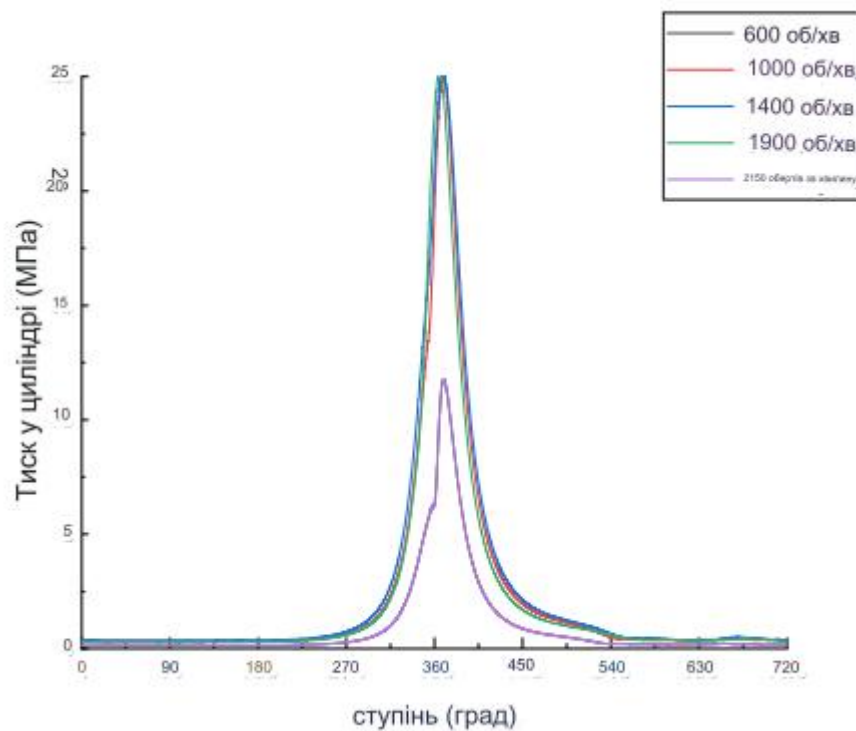


Рисунок 3.1. Графік тиску в циліндрі залежно від робочих умов.

Таблиця 4. Параметри, отримані під час різних робочих умов.

Обертова швидкість (об/хв)	Крутний момент (Н•м)	Потужність (кВт)	Тиск подачі оливи (МПа)
1900	0	0	216
1000	1600	167.5	343.5
600	1500	219.9	412.5
1400	1241.5	247	419
2150	0	0	419

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Аналіз процесу та характеристик оливи

Олива є ключовим компонентом у двигунах внутрішнього згорання та гідравлічних установках. Його головна роль - забезпечити змащування рухомих елементів, ущільнювати контактні поверхні та відводити тепло. Масло служить надійним засобом для ефективної передачі енергії. Для оптимальної роботи гідравлічної системи важливо використовувати чисте масло відмінної якості. В гідравліці масло працює під сильним тиском і змінюється залежно від температури. Важливо, щоб воно зберігало потрібні в'язкісні характеристики протягом всього часу експлуатації, оскільки робота системи залежить від температурних умов та часу роботи. Більшість проблем у гідравлічних системах та двигунах пов'язані з якістю масла. Якщо масло втрачає свої характеристики, це може призвести до втрати тиску і, як наслідок, до поломки обладнання, ремонт якого може бути дорогим. Ефективність, потужність та стабільність сучасних двигунів великою мірою залежать від якості системи змащування. Щоб система змащування була ефективною, вона повинна мінімізувати тертя між деталями і запобігати їхньому швидкому зношуванню. Крім того, масло допомагає відводити тепло та очищує двигун від забруднень. У більшості сучасних двигунів система змащування працює під певним тиском. Незважаючи на різноманітність дизайнів систем змащування, їх основні принципи дії залишаються сталими. Для дослідження впливу тепла на двигун були використані специфічні дизайни верхньої частини циліндра. Ефективність масла в двигуні визначається його кількістю та тим, як воно взаємодіє з рухомими частинами при високих температурах. Це впливає на безпеку і тривалість служби двигуна. Сучасні розробники двигунів шукають нові методи аналізу масла, щоб забезпечити його оптимальну роботу. В даному дослідженні аналізуються характеристики та обмеження різних видів масла. Основна роль масла в двигуні - забезпечення належного змащування, а також захист від корозії і зносу.

Воно виступає в ролі охолоджувача та ущільнювача. Створює масляний шар, що допомагає знижувати тертя між металевими поверхнями, зменшуючи таким чином абразію та знос. Ось деякі ключові характеристики масла, які можуть варіюватися в залежності від способу його використання та умов експлуатації. Специфікації конкретного застосування та особливості умов, за яких масло використовується, великою мірою визначають додаткові завдання, які масло повинно виконувати. Ці функції роблять важливим правильний вибір масла для певної задачі.

4.2 Марки оливи для двигуна, їх призначення та характеристики

Перелік масел, які проходили тестування, представлений у Таблиці 4.1. Тут вказані коди, особливості та завдання досліджених масел. Ці масла були вибрані з огляду на їх важливість. Було проведено випробування їх в'язкості під час роботи, а також розраховано енергетичні збитки.

Таблиця 4.1. Типи моторних масел та їх характеристики

Тип масла	Характеристики
Повністю синтетичне	
0W-30	Економія пального
0W-40	Покращення продуктивності та потужності двигуна. Захист двигуна від зносу та накопичення відкладень.
5W-40	Забезпечує хороший запуск на холоді та швидке циркулювання при морозних температурах.
Напівсинтетичне	
5W-30	Кращий захист
10W-40	Добрий захист протягом перших 10 хвилин та зниження зносу двигуна.
15W-40	Збільшені інтервали між замінами масла.
Мінеральне	
10W-40	Базовий захист для різноманітних двигунів.
15W-40	Масло потрібно замінювати частіше

Основною задачею масла є розсіювання тепла та змащення рухомих металів машини. Воно допомагає зменшити тертя, роблячи поверхню більш гладкою, що сприяє зниженню тепловиділення. Також це сприяє зменшенню тиску та вібрацій, обмежуючи корозію рами. Завдяки цьому знос зменшується, а продуктивність та ефективність зростає. В деяких маслах містяться спеціальні добавки, які захищають металеві поверхні від зносу, навіть коли не вистачає змащення для гідродинаміки. І хоча як газові, так і рідкі змащувачі можуть передавати тепло, рідкі змащувачі є більш ефективними завдяки великій теплоємності. Зазвичай рідке змащення циркулює в рамі, забезпечуючи потрібний температурний режим. Високоєфективні системи можуть відводити значну кількість тепла, при цьому зменшуючи теплове навантаження на масло. Однією з ключових характеристик моторних масел є їх в'язкість. Вона визначається температурою, при якій двигун запускається та працює. За дотриманням визначених стандартів двигуни можуть використовувати різні типи масел.

4.3 Вплив масла на роботу двигуна та його тестування

До масла додають різноманітні добавки, щоб покращити його основні властивості, такі як змащення, в'язкість і стабільність. Специфікації масла перевіряються регулярно, щоб запобігти проблемам з двигуном. Методики перевірки та аналізу масла допомагають ефективно стежити за його станом. Аналіз масла дозволяє вчасно виявляти знос деталей та можливі несправності в обладнанні. Такий підхід допомагає прогнозувати стан машини, аналізуючи частки зносу. Контроль за маслом може виявити потенційні проблеми швидше, ніж інші системи моніторингу. Цей метод застосовується як для масла, так і для інших змащувачів.

При аналізі масла можна визначити його рештовий термін служби і виявити потенційні неполадки у машині, що може запобігти її передчасному відмові. В багатьох мастильних маслах присутні частки, які свідчать про звичайний знос. Ці частки можна класифікувати за розміром, формою, характеристиками краю, товщиною, кольором та поверхнею. За допомогою

такої класифікації можна прогнозувати типи зносу в двигуні і вживати заходів для запобігання подальшим проблемам. Головна ціль проекту - зменшення витрат на обслуговування та забезпечення довговічності двигуна.

В одному з досліджень аналізувалася динаміка зносу моторних масел в легкових автомобілях з прямим впорскуванням і турбонаддувом. Дослідники виявили, що якість масла тісно пов'язана з вмістом бору, кислотністю та основними властивостями. Ці показники також впливають на коефіцієнт трення масла. Wolak (2018) дослідив властивості п'яти різних масел одного класу за в'язкістю SAE від різних виробників. На основі результатів була створена модель для визначення середнього кислотного числа масла залежно від його використання. Ці відомості можуть допомогти при виборі оптимального терміну заміни масла.

4.4 Випробувальний метод: програми спектрометричного аналізу масла

Спектрофотометр - це пристрій, що вимірює інтенсивність світла за різних частот. Після того як світло випромінюється джерелом і проходить через вибрану речовину, воно розбивається на спектр, який реєструється сенсором і перетворюється на дані, що можна використовувати. Зазвичай результати представлені у вигляді графіка інтенсивності світла по частотах. Цей інструмент дозволяє аналізувати масляно-змащені механізми (наприклад, двигуни) без необхідності їх розбирання, виявляючи надмірний знос та необхідність заміни деталей. Таким чином можна визначити кількість та вид металів у зразках мастила.

Зібрана інформація часто зберігається у вигляді таблиць частот.

Методика. Використання спектрофотометра для аналізу масла дозволяє виявляти елементи методами атомно-емісійної чи атомно-абсорбційної спектроскопії. Ця методика піддається автоматизації для швидкого аналізу зразків і чутлива до розміру часток до 10 мм.

Основні складові спектрофотометра включають детектор для конвертації радіантної енергії у вимірюваний сигнал і механізм для відображення цього

сигналу. Див. Рисунки 4.1 і 4.2. Пристрої можуть бути адаптовані для роботи з різними типами капілярів. Для непрозорих рідин рекомендується використання капілярів зворотного потоку, які можуть мати додаткову точку вимірювання, що підвищує точність вимірювань.

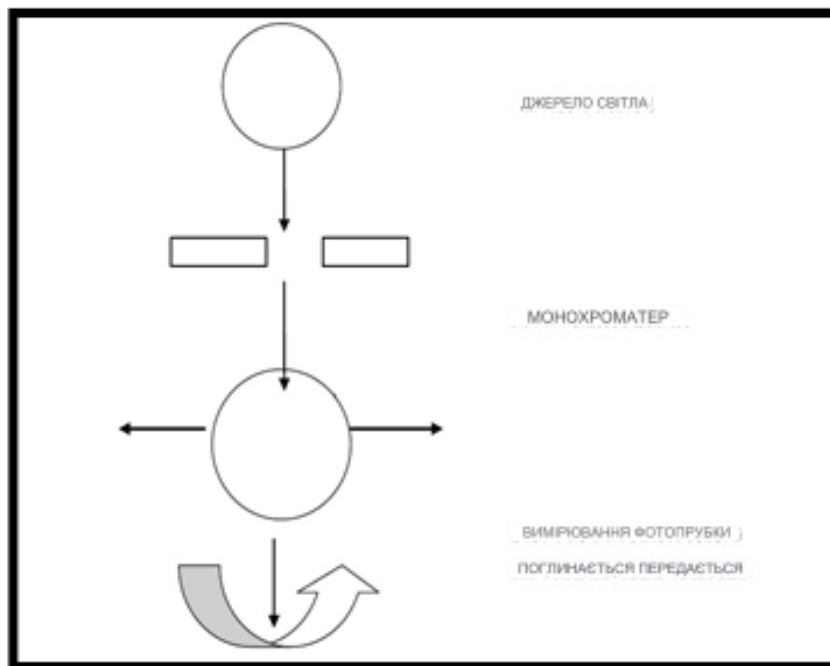


Рисунок 4.1: Схематичний діаграма, що показує компоненти спектрофотометра.

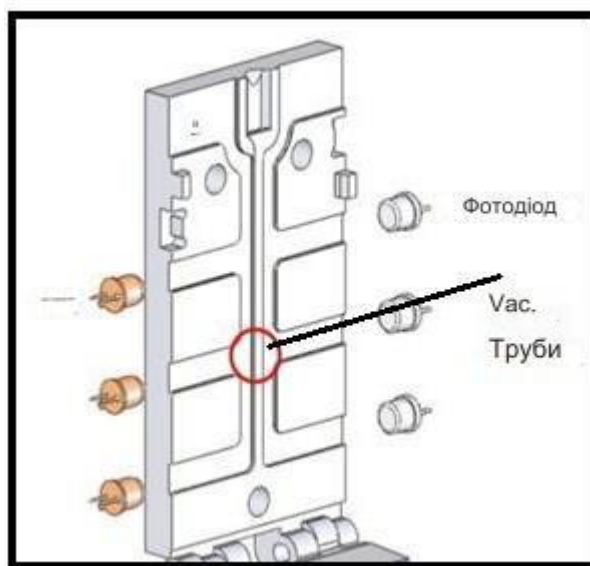


Рисунок 4.2. Пристрій спектрометра, використаний у цьому дослідженні.

4.5 Експериментальні дослідження

Під час проходження пучка світла через прозорий матеріал, деяка його частина абсорбується, зменшуючи інтенсивність переданого пучка порівняно із

початковою. Розчини розташовують у спеціальних ємностях, відомих як кувети. Зазвичай для таких кувет використовується кварц, проте для звичайного світла також застосовуються одноразові кувети з полістиролу чи полікарбонату. Пропускання розчину, позначене як T , встановлюється за формулою, що враховує інтенсивність переданого та падаючого пучків світла - див. рівняння (4.1) нижче. Це значення залежить від фізико-хімічних характеристик середовища, яким світло проникає.

Пропускання розчину, T , визначено через інтенсивність світла переданого пучка.

$$T = I/I_0 \quad (4.1)$$

Абсорбція, позначена як α , розраховується за формулою $\alpha = -\text{Log}_{10}T$. Так як α базується на логарифмічній функції, це значення не має одиниць виміру.

Згідно з законом Біра-Ламберта, абсорбція є безпосередньо залежною від довжини шляху ℓ у зразку та його концентрації c . Типово ці відносини формулюються так:

$$\alpha = \text{Log}_{10} \left[\frac{I}{I_0} \right] = \varepsilon l c \quad (4.2)$$

Де: ε представляє молярну абсорбційність із одиницями виміру ($\text{моль}^{-1} \text{см}^{-1}$), ℓ - це довжина проходження світла через зразок, або ж довжина кувети, де розташований зразок, а c - це концентрація речовини в розчині, що вимірюється у моль/л.

Вивчення результатів та їх аналіз. Дані отримані під час першого дослідження представлені на рисунках 4.3, 4.4 і 4.5. Дані, отримані за допомогою програми GM FLARE для бензинового двигуна об'ємом 5,0 л для масла SAE-10W/30, зображені на рисунку 4.3. Аналіз показує зменшення потужності (Дж/обертання) в залежності від обертів двигуна (об/хв) у чотирьох основних частинах двигуна, де спостерігалися механічні втрати через в'язкість: в частині поршня, підшипниках, поршневих кільцях та поршневому механізмі. Аналіз демонструє, що втрати потужності зростають із збільшенням швидкості. Це корелює з прямим відношенням між тиском і потоком, яке, у свою чергу, відображає пряму залежність між потоком та швидкістю обертання двигуна. Зі збільшенням швидкості потоку також зростає і тиск. Середній ефективний тиск

від тертя (FMER), який було зареєстровано на рисунку 4.3 при 2000 та 5000 об/хв, складає відповідно 54,8 та 76,4 кПа. Підвищення значень FMER веде до зниження робочої ефективності та до збільшення втрат потужності.



Рисунок 4.3. Результати з програмного забезпечення GM FLARE для бензинового двигуна об'ємом 5,0 літра з моторною олією SAE-10W/30.

Рисунок 4.4 представляє дані моделі тертя двигуна, яка була використана для аналізу бензинового двигуна Ford Zetec з об'ємом 1,8 літра (тип мастила не вказано). Аналізуючи рисунки 4.3 та 4.4, можна зрозуміти, що при великих швидкостях спостерігається значне зниження потужності двигуна. Тести на втрату потужності проводилися при швидкостях 2000 та 5000 об/хв.

За даними рисунка 4.3, найбільші втрати потужності спостерігалися у компонентах спідниці поршня (64 Дж/оберт) та підшипника (60 Дж/оберт) при 5000 об/хв. Проте кільця поршня не демонстрували подібних втрат при зміні швидкості. Збільшення втрат енергії призводить до підвищення температури оливи, що, у свою чергу, впливає на її характеристики, такі як оптимальна в'язкість. Це негативно позначається на продуктивності, застосовності та довговічності оливи. Зростання температури також знижує в'язкість оливи, спричиняючи підвищений витік оливи та руйнування захисного шару між рухомими частинами у динамічних режимах. Рисунок 4.4 вказує на те, що втрати потужності в залежності від швидкості мають істотний характер. Це

двосторонній процес, який впливає як на кінетичні втрати, так і на середній ефективний тиск від тертя. Середній тиск тертя (FMER), зафіксований на рисунку 4.4 при 2000 та 5000 об/хв, дорівнює 73,4 та 78,6 кПа відповідно. Збільшення FMER викликає підвищений падіння тиску через різні механізми та високі температури через тиск, що призводить до додаткових втрат потужності.

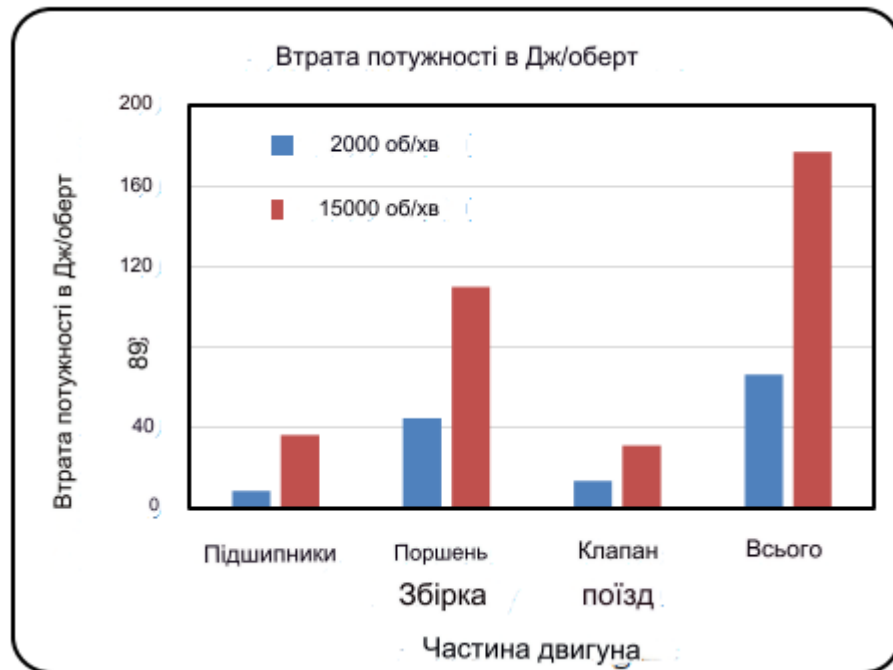


Рисунок 4.4. Результати втрат потужності в Дж/обертання для бензинового двигуна Ford Zetec об'ємом 1,8 літра.

Рисунок 4.5. Представлення даних від Shell для бензинового двигуна Mercedes Benz M111 з об'ємом 2,0 літра за швидкістю 2500 об/хв. Дані ілюструють втрати потужності при використанні трьох типів масел: SAE 10W/30 ($\nu = 67,5$ сентістокс), SAE 15W/40 ($\nu = 91$ сентістокс) і SAE 20W/50 ($\nu = 172,3$ сентістокс) при температурі 40 °C. При високій в'язкості, наприклад, при SAE 20W/50, рух оливи стає утрудненим через збільшений опір руху оливи. Це веде до підвищення енергоспоживання та зниження тиску у фільтрах внаслідок зростання втрат через тертя. Згідно з даними, перерахованими до FMER (Середній ефективний тиск тертя), значення FMER для SAE 10W/30, SAE 15W/40 і SAE 20W/50 складають 34,8, 36,5 та 37,7 кПа відповідно. Від збільшення значень FMER наслідують збільшення втрат потужності. У механізмі розподілу, профілі втрат різняться через зрощення інерційних сил, що підвищують кінетичну енергію руху в порівнянні із силами тертя, які гальмують потік.



Рисунок 4.5. Результати за моделлю тертя двигуна від Shell для бензинового двигуна Mercedes Benz M111 об'ємом 2,0 літра при 2500 об/хв.

У роботі розробив універсальну кореляційну функцію для покращення економічності використання пального (FEI), яка представлена у наступному вигляді:

$$FEI = a - b\eta - c\mu - d\alpha \quad (4.3)$$

де a , b , c і d є постійними значеннями, η представляє в'язкість під великим зсувом, μ - це коефіцієнт межового тертя, тоді як α визначає коефіцієнт залежності в'язкості від тиску. Зазвичай коефіцієнт межового тертя, μ , встановлюється за допомогою пристрою для рекіпрокного вимірювання тертя (Мур користується приладом Plint TE-77 з високочастотним визначенням тертя). Що стосується коефіцієнта α , його не завжди враховують у кореляційних розрахунках, адже його досить складно визначити. Мур висловлював кореляційні формули стосовно двигунних тестів Sequence VI і VI-A. У контексті двигунного тесту Sequence VI, кореляційну формулу адаптували, аби визначити процентний показник ефективної економії або збільшення витрат пального (EFEI %) ось так:

$$EFEI\% = 8.647 - 1.252 \eta_{150} - 15.62 \mu_{100} \quad (4.4)$$

Для тесту двигуна Sequence VI-A він повідомив про таку кореляційну функцію:

$$EFEI \% = 6.238 - 1.697\eta_{150} - 4.051\mu_{100} \quad (4.5)$$

General Motors повідомили, що наступні кореляційні функції є досить добрими для широкого діапазону їх двигунів, і відсоток економічності пального (FE %) може бути визначений так:

$$\%FE = 2.752 - 0.267 (KIN_{100}) \quad (4.6)$$

Де %FE - це відсоткове збільшення економічності пального відносно базової олії BC, а KIN100 - це кінематична в'язкість, виміряна при 100°C, яка вказана в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Значення в'язкості моторних олій, отримані під час тесту, у порівнянні зі значеннями виробника.

SAE В'язкість (класифікація /марка)	Мін. в'язкість (мм ² /с) при 100 °С, як вказано виробником	Мін. в'язкість (мм ² /с) при 100 °С за результатами випробувань
0W	3.8	3.6
5W	3.8	3.7
10W	4.1	4.2
15W	5.6	5.4
20W	5.6	5.8
25W	9.3	8.9

Рівняння (4.6) також було модифіковано наступним чином:

Де НТНС представляє собою в'язкість у високотемпературних умовах з великим зсувом, яка була виміряна при 150°C (див. Таблиця 4.3). Таблиця 4.3 надає інформацію про в'язкість при різних вимірних показниках, від мінімальних до максимальних. Ця в'язкість є стабільною при різних температурах, що підкреслює її ефективність при високих навантаженнях та у теплих умовах. Таблиця 4.3 демонструє показники в'язкості для різних моторних олій. Для визначення можливої помилки або варіації при розрахунку %FE у рівняннях (4.6) або (4.7), можна застосувати процес диференціації %FE відносно KIN100 та НТНС.

$$\%FE = 3.823 - 1.214 (HTHS) \quad (4.7)$$

$$\%FE_{\text{error}} = -0.267 (KIN_{100})_{\text{error}} \quad (4.8)$$

$$\%FE_{\text{error}} = -1.214 (HTHS)_{\text{error}} \quad (4.9)$$

Таблиця 4.3. В'язкість моторних оливок при 100 °С та в'язкість при високому зсуві, виміряна при 150 °С.

SAE Клас в'язкості	Мін. в'язкість (мм ² /с) при 100 °С.	Макс. в'язкість (мм ² /с) при 100 °С.	в'язкість при високій швидкості зсуву (мПа·с) при 150 °С.
20	5.2	9.1	2.4
30	10.3	11.5	3.1
40	11.5	15.2	3.2
50	16.0	20.5	3.8
60	20.8	24.2	3.9

Рисунок 4.6. ілюструє взаємозв'язок між функцією підвищення ефективності використання пального та в'язкістю зсуву моторної оливи для двигуна із змінним стисненням. Дані, представлені на Рисунку 4.6, базуються на дослідженнях, представлених в Таблицях 4.2 та 4.3.

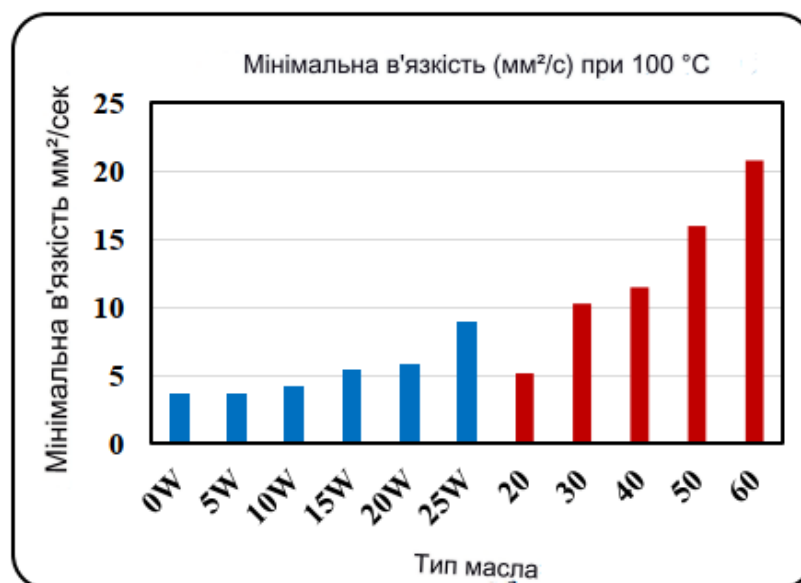


Рисунок 4.6. Мінімальна в'язкість різних моторних оливок у мм²/сек при 100 °С.

Рисунок 4.7 ілюструє коливання в'язкості моторних оливок в залежності від їх типу та температурних умов. Дані, зображені на цьому рисунку, базуються

на інформації з Таблиці 4.3. На Рисунку 4.7 представлено діапазони в'язкості, які є допустимими в межах максимальних та мінімальних значень. З рисунка видно, що незважаючи на істотні різниці в'язкості, в'язкість при високій швидкості зсуву для досліджених олив (при 150 °С) залишається відносно незмінною, що позитивно впливає на тривалість служби двигуна в умовах температурних коливань.

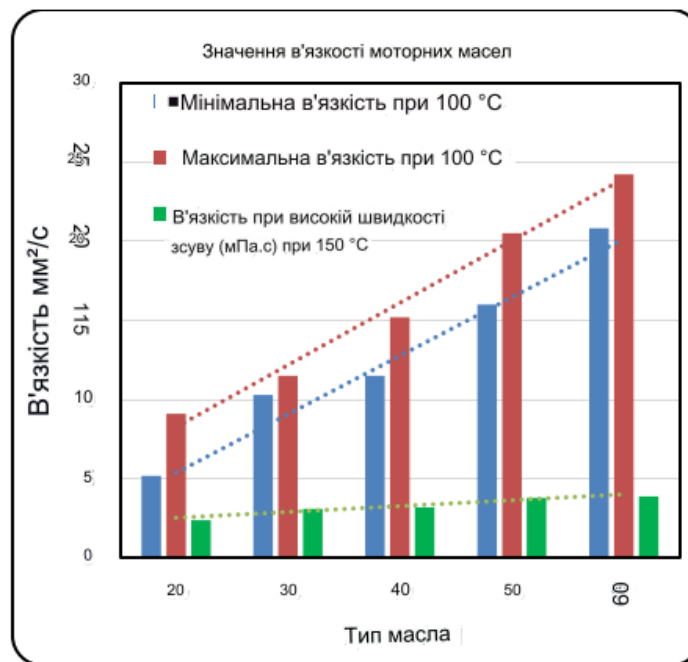


Рисунок 4.7. Значення в'язкості моторних олив та висока швидкість зсуву для тестованих олив.

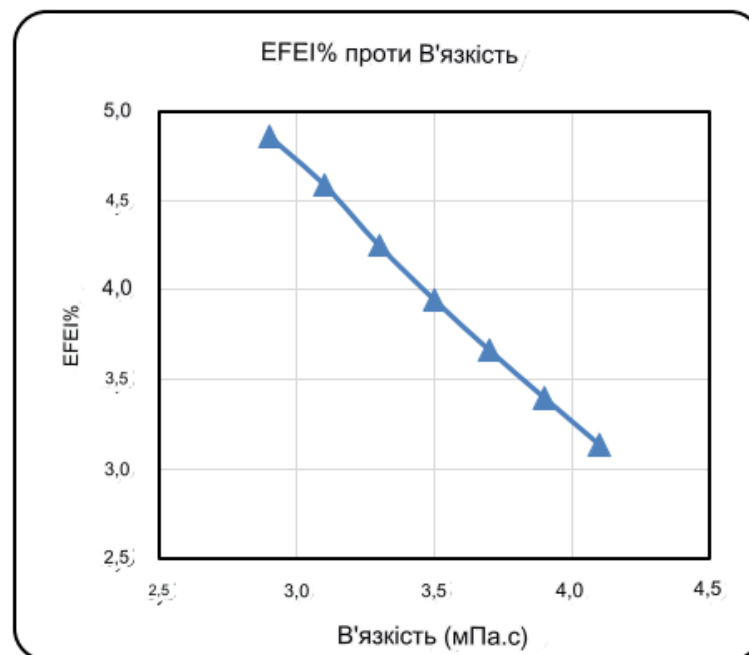


Рисунок 4.8. Показує EFEI у порівнянні з в'язкістю оливи для двигуна зі змінним ступенем стиску

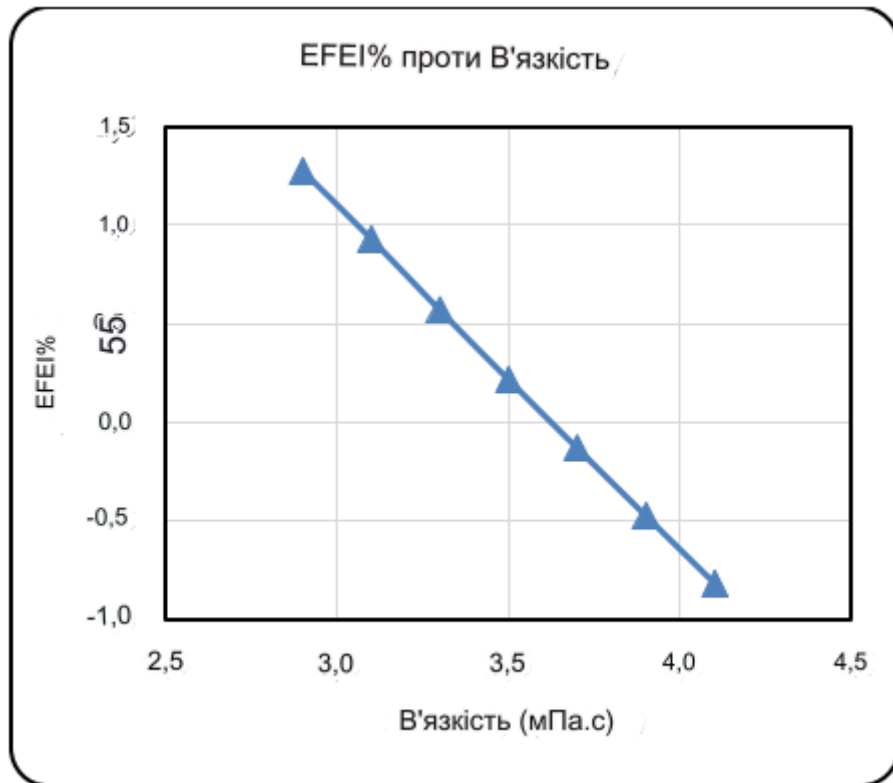


Рисунок 4.9. Показує зв'язок між функцією для збільшення економії пального та в'язкістю зсуву моторної оливи для двигуна

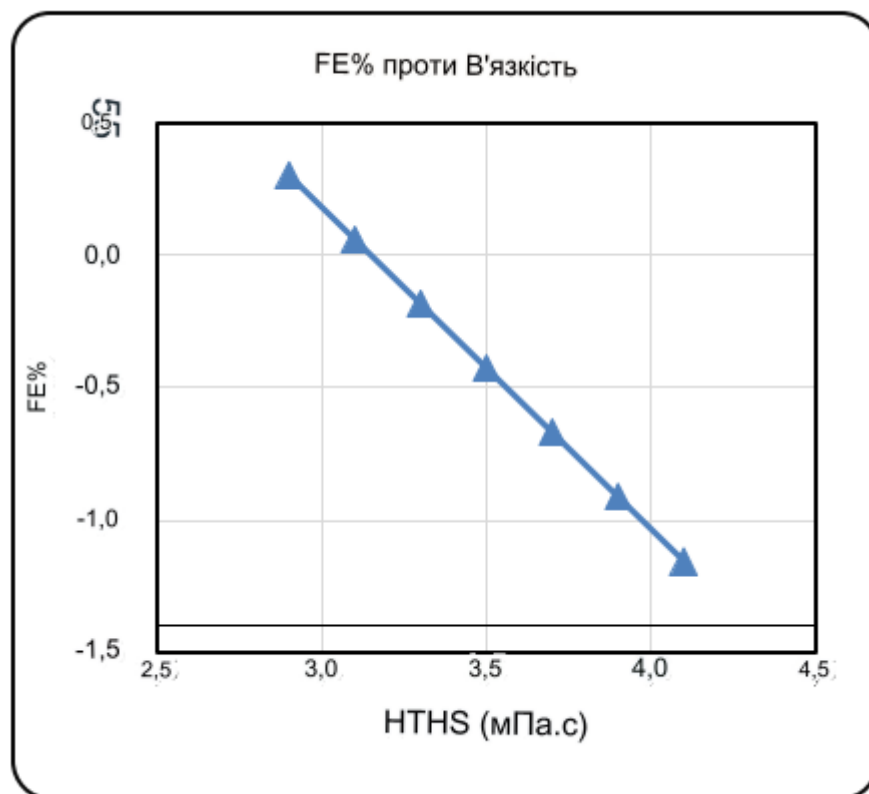


Рисунок 4.10. Показує зв'язок між відсотком FE та в'язкістю при високій температурі та високому зсуві (HTHS).

З ростом в'язкості моторної оливи ефективність використання пального та економія пального зменшуються при звичайних режимах роботи двигуна через підвищене тертя. Тому правильний вибір моторної оливи з певною в'язкістю сприятиме динамічному обертанню двигуна та якісному змащенню.

Коли в'язкість моторної оливи зростає, EFEI% для двигунів VI та VI-A спадає, що призводить до зниження економії пального (FE%), як це видно на рисунках 4.8, 4.9 та 4.10. Тому важливо слідувати рекомендаціям виробника автомобіля і дотримуватися рекомендованих стандартів моторної оливи, щоб оптимізувати роботу двигуна та запобігти його зносу та корозії. Також необхідно вчасно замінювати моторну оливу, тому що її в'язкість варіюється в залежності від температури (див. таблицю 4.3 та рисунок 4.7), і з плином часу ця властивість може погіршуватися, що спричиняє збільшення зносу двигуна та зниження якості змащення.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Розробка заходів щодо зниження впливу небезпечних чинників

При роботі із легкозаймистими речовинами (ЛЗР) завжди існує небезпека вибуху, виникнення пожежі й пов'язаних з ним руйнувань, небезпека отримання опіків. Головні заходи щодо запобігання небезпеки запалення й вибуху:

не застосовувати відкритий вогонь біля місця роботи із ЛЗР, уникати утворення іскор, розливання ЛЗР й їхніх патьоків;

при виникненні невеликого полум'я швидко ізолювати його від потрапляння повітря – засипати піском або накрити азбестовою ковдрою, а більші язика вогню гасити вогнегасником;

не застосовувати воду для гасіння ЛЗР, тому що при контакті з водою вони розприскуються, збільшуючи вогнище полум'я, будучи легше води, спливають і продовжують горіти;

зберігати ЛЗР у спеціальних приміщеннях, обладнаних припливно-витяжною вентиляцією й засобами пожежогасіння.

при експлуатації електроустаткування керуватись правилами щодо пристроїв електроустановок;

всі пристрої й прилади, що працюють під напругою більше 36 В, повинні бути надійно заземлені;

освітленість робочої зони не менш 200 лк. При відсутності природного освітлення освітленість на робочому місці забезпечити за допомогою переносних світильників напругою не більше 12 В або системою загального висвітлення;

очі працюючого захищають від влучення паливно-мастильних матеріалів. Для захисту очей використовують захисні окуляри відповідно до Гігієнічних нормативів.

При проведенні дослідження паливно-мастильних матеріалів, приміщення має бути оснащено припливно-витяжною вентиляцією.

Вплив масла та мастил на поверхню тіла/шкіру. Шкіра – це ніжна структура. Щоразу, коли масло/мастило контактує з поверхнею шкіри протягом тривалого періоду, на шкірі відбувається біологічна реакція, внаслідок чого з'являються різні типи шкірних захворювань, як легких, так і серйозних. Захворювання залежать від періоду контакту, типу мастила, структури шкіри, тобто загальної опірності організму.

Різні шкірні захворювання можуть проявлятися у вигляді свербіжу, зміни кольору шкіри, дерматиту, екземи, потовщення шкіри та сухості тощо.

Внаслідок тривалого контакту з певною ділянкою шкіри, морфологія (структурний малюнок) якої змінюється, на шкірі утворюється виразка. У разі виявлення шкірних захворювань через масло та мастило відповідну особу слід відсторонити від конкретної роботи.

Вплив мастил на органи дихання людини. Вид, який зазвичай можна побачити в гірничодобувній промисловості та в інших місцях, – це практика сифонування паливного баку шляхом всмоктування через рот після вставлення в бак гумової трубки. Така практика таїть в собі небезпеку потрапляння солярки в органи дихання. Перше може призвести до аспіраційної пневмонії в легенях, а в другому випадку уражається шлунково-кишкова система, що призводить до повільних рухів, блювоти тощо.

Іноді ці мастильні матеріали при згорянні виділяють деяку газоподібну речовину, що містить оксид вуглеводню групи вуглеводнів, діоксид вуглецю та діоксид сірки. Ці гази є отруйними і при вдиханні людиною надають отруйну дію на організм, викликаючи серйозні захворювання. Насправді деякі з нафтопродуктів є леткими за своєю природою, і коли вони потрапляють у дихальну систему людини, викликають подразнення живих тканин.

При тривалому впливі відбувається постійне подразнення тканин, що призводить до пошкодження тканин, що призводить до розвитку таких захворювань, як бронхіт, бронхопневмонія, астма, емфізема легенів і туберкульоз. У багатьох випадках може розвинути несприродне зростання, тобто пухлина, яка може бути доброякісною або злоякісною за своєю природою.

Роботу з пожеже небезпечними шкідливими речовинами проводити при ввімкнутих вентиляційних системах. При ручному знежиренні поверхонь застосовувати бавовняні серветки, тампони й інші матеріали, що не сприяють нагромадженню статичної електрики.

Забруднені при знежиренні обтиральні матеріали, а також тверді відходи складати в металеву тару, що щільно закривається, що у міру заповнення, але не менше одного разу в зміну, видаляють із виробничого приміщення в спеціальні, визначення пожежною охороною, місця.

Всі застосовувані шкідливі чинники повинні мати встановлені гранично припустимі концентрації в повітрі робочої зони й токсикологічну характеристику, затверджену органами охорони здоров'я.

Концентрація вибухо- пожеже небезпечних речовин у місцях їхнього найбільшого скупчення не повинна перевищувати гранично припустимих вибухобезпечних концентрацій.

5.2 Пожежна і вибухова безпека

Вся робота з пожежної та вибухової безпеки авіапідприємств цивільної авіації (ЦА) виконується згідно з постановами з пожежної охорони підприємств, організацій та установ ЦА.

Вона визначає основні положення організації проведення пожежо-профілактичної роботи, служби та бойової підготовки пожежних частин на підприємствах ЦА, а також обов'язки посадових осіб щодо забезпечення пожежної безпеки на об'єктах підприємств ЦА. При проведенні випробування мастильних матеріалів до виникнення пожежі або вибуху можуть привести наступні фактори:

- попадання ПММ на гарячі елементи конструкції або електричну проводку;

- іскри від удару, тертя або при падінні інструменту;

- порушення вимог пожежної безпеки (куріння у не відведених для цього місцях, наявність джерел відкритого вогню).

Основними причинами виникнення пожеж в лабораторії є: недбале поводження з відкритим вогнем, при роботі з паяльними лампами та іншими джерелами відкритого вогню, несправність опалювальних систем, несправність або перевантаження, неправильний монтаж електроустановок, освітлювальних приладів і мереж, який призводить до підвищеного нагрівання або короткого замикання; несправність обладнання, порушення технології робіт, потоку продуктів ПММ; вибух горючих сумішей в повітрі при терті, ударах; самозаймання горючих речовин при неправильному зберіганні, незнання їх пожежної небезпеки; розряди статичної та атмосферної електрики при неправильному заземленні і блискавковідводів; палінні в пожежонебезпечних зонах.

Безпека людей повинна бути забезпечена при виникненні пожежі в будь-якому місці виробничого споруди, території підприємства. При виникненні пожежі на людей можуть діяти небезпечні фактори: відкритий вогонь і іскри, підвищена температура повітря, предметів, устаткування, токсичні продукти горіння, дим, знижена концентрація кисню, обвалення і пошкодження будинків, споруд, установок; вибухи.

Пропонуються наступні заходи з попередження виникнення пожежі: для захисту від пожежі і боротьби з нею на місцях, де відбувається лабораторне дослідження повинні бути встановлені протипожежні щити, на які є первинні засоби захисту та боротьби з пожежею: вуглекислі, порошкові вогнегасники, лопати, багор, пожежне відро, ємність з піском;

в лабораторному приміщенні встановлюються, як переносні засоби захисту від пожежі;

в місцях підвищеної пожежної небезпеки встановлюються ручні повітряно-пінні вогнегасники типу ВПП-10, що подають струмінь піни на відстань 3,7 м на протязі 53 секунд (використовуються для всіх матеріалів крім електроустановок).

Небезпечним, в пожежному відношенні є:

гідробаки;

ємності з мастильними матеріалами;

ємності із розчинниками;

панелі електроприладів;

зона проведення трубопроводів постачання мастильних матеріалів.

Запобігання пожежі досягається:

максимальної механізацією технічних процесів, пов'язаних з роботою з мастильними матеріалами;

застосування вогнестійких матеріалів для обробки обладнання та матеріалів для випробування;

застосування електроустаткування, яке відповідає вимогам «Правил улаштування електроустановок» ПУЕ-86.

Протипожежний захист забезпечує:

Застосування засобів пожежогасіння та відповідних видів пожежної техніки;

Застосування автоматичних установок пожежної сигналізації та пожежогасіння.

В якості вогнегасної складу застосовується водоемілоногліколева суміш або хладон 1281.

Переносні вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-5 для ліквідації окремих осередків пожежі: ручні вогнегасники ВВК-3,5; порошковий ВП-6 хімічний ВП-9 ММ і ВХПП-10.

5.3 Шкідливі домішки та викиди забруднюючих речовин з об'єктів зберігання моторних палив

Підвищення забруднюючих речовин спостерігається в атмосфері практично на всіх підприємствах, тому виникає необхідність у вирішенні задачі оцінки і моделювання поширення забруднюючих речовин в атмосфері саме від точкових стаціонарних джерел з метою запобігання або зменшення їх впливу на екосистему.

Стаціонарні джерела викидають в повітря сірчистий газ, оксиди азоту, окиду вуглецю, гас, натрій гідроксиди також деяку кількість чадного газу, фенолів, сірчаної кислоти та інших забруднюючих речовин в залежності від специфіки промислового виробництва міста і складу використовуваного в ньому

палива. Відносно недавностаціонарні джерела викидають в атмосферу значну кількість пилу різноманітного хімічного складу, але в даний час існуючі газоочистні установки затримують більше 95% всіх твердих часток, що утворюються при згоранні палива, але практично не вловлюють газових складових.

Хімічні речовини, що знаходяться в атмосфері, вважаються забруднювальними домішками, якщо здатні заподіяти шкоду здоров'ю людини та довкіллю.

$$\Phi = M / (\text{ГДК} * H) 0,01 \text{ при } H 10 \text{ м. } \Phi = M / \text{ГДК} 0,1 \text{ при } H 10 \text{ м;}$$

Де М – сумарний розмір викиду шкідливих речовин від усіх джерел підприємств, г/с;

H – середня висота викиду, м.

Заліза оксид (у перерахунку на залізо) $0,001052 / 0,04 = 0,0263 < 0,1$ – недоцільно;

Бензин (нафтовий, масло-сірчистий, в перерахунку на вуглець): $0,000013 / 5 = 0,0000026 < 0,1$ – недоцільно;

Вуглеводні насичені C12-C19 (у перерахунку насумарний органічний вуглець)

$$0,04313133 / 1 = 0,04313133 < 0,1 \text{ – недоцільно;}$$

Гас

$$0,016888 / 1,2 = 0,01407 < 0,1 \text{ – недоцільно;}$$

Масло мінеральне нафтове (веретенне, машинне та ін.) $0,00013 / 0,05 = 0,00026 < 0,1$ – недоцільно;

Марганець та йогосполуки (у перерахунку на діоксид марганцю) $0,000073 / 0,01 = 0,0073 < 0,1$ – недоцільно;

Натрію гідроокис (натр їдкий, сода каустична) $0,0000131 / 0,01 = 0,00131 < 0,1$ – недоцільно;

Водень хлористий (соляна кислота) $0,000132 / 0,2 = 0,00066 < 0,1$ – недоцільно;

Ацетон

$$0,000637 / 0,035 = 0,00182 < 0,1 \text{ – недоцільно;}$$

Ангідрид сірчистий

$0,00005/0,5 = 0,0001 < 0,1$ – недоцільно;

Пил недиференційований за складом $0,00025/0,1 = 0,0025 < 0,1$ – недоцільно;

Вуглецю оксид

$0,0009/5,0 = 0,00018 < 0,1$ – недоцільно;

Азоту діоксид

$0,028513/0,2 = 0,142565 \square 0,1$ – доцільно;

Азотуоксид

$0,0000086/0,4 = 0,0000215 < 0,1$ – недоцільно;

Метан

$0,000043/50 = 0,00000086 < 0,1$ – недоцільно;

Ртуть металічна

$0,0000000069/0,0003 = 0,000023 < 0,1$ – недоцільно;

Калію сірчаноокислий кислий $0,0000131/0,4 = 0,00003275 < 0,1$ – недоцільно;

Сірководень.

$0,000013348/0,008 = 0,0025 < 0,1$ – недоцільно;

На підставі зібраних даних далі надано інформацію про найбільш поширені речовини і речовини викиди яких підлягають регулюванню. Інформація подана в таблиці (таблиця.5.1.)

Таблиця 5.1. Відомості щодо видів та обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами

№	Забруднююча речовина	Фактичний обсяг викидів (т/рік)	Потенційний обсяг викидів (т/рік)	Порогові значення потенційних викидів (т/рік)
Найбільш поширені забруднюючі речовини				
1	Оксиди азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту	-	0,127	1,0
2	Оксид вуглецю	-	0,151	1,5
3	Бензин (нафтовий,	-	190,680	1,5

	сірчисте масло)			
4	Гас	-	0,011	1,5
5	Масло мінеральне нафтове (веретенне, машинне та ін.)	-	0,332	1,5
6	Вуглеводні насичені	-	0,332	1,5
7	C ₁₂ -C ₁₉ (у перерахунку на сумарний органічний вуглець)			
8	Діоксид сірки	-	0,032	1,5
9	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок	-	0,001	3,0
10	Сірководень		0,000	0,03
Небезпечні забруднюючі речовини				
11	Манган та йогосполуки (уперерахунку на діоксид мангану)	-	0,000	0,1
12	Залізо та йогосполуки(у перерахунку на залізо)	-	0,000	0,1
13	Водень хлористий (соляна кислота)	-	0,000	0,1
14	Ацетон	-	0,001	0,5
15	Ртуть та йогосполуки (у перерахунку на ртуть)	-	0,000	0,0003
Інші забруднюючі речовини, присутні у викидах об'єкта				
16	Метан	-	0,001	10,0
17	Азоту (1) оксид N ₂ O	-	0,000	0,1
18	Вуглеводні ароматичні	-	0,000	1,5
19	Вуглецю діоксид	-	87,540	500
Усього для підприємства			278,876	

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Після ретельного дослідження експлуатаційних характеристик моторного мастила категорії SI по API, основною увагою було приділено в'язкості мастила. В'язкість є ключовим показником, який впливає на забезпечення оптимального змащування, зниження тертя та зносу деталей двигуна.

Було представлено набір добавок для автомобільного оливи категорії SL за стандартами API, який призначений для високовіддачних бензинових моторів і базується на внутрішніх ресурсах. Після проведених випробувань з'ясувалося, що виробнику цілеспрямовано варто збільшити концентрацію дітіофосфатів цинку типів Д-1 та Д-2 до 0,2% та 0,1% мас. відповідно в порівнянні з первинними параметрами. Це покращення зробило можливим приблизити якість продукту до стандартів міжнародних аналогів.

Мастила з категорії SI по API, які відповідають сучасним вимогам, повинні забезпечувати високу стабільність в'язкості протягом всього терміну служби. Це важливо для підтримки оптимального рівня змащування при різних режимах роботи двигуна і при різних температурах.

Наші дослідження підтвердили, що моторні мастила категорії SI по API мають відмінні в'язкісні характеристики, які забезпечують довгий термін служби двигуну, знижують ризик передчасного зносу деталей та забезпечують ефективність роботи двигуна при різних умовах експлуатації.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.

2. Кириченко В.І., Сіренко Г.О., Бойченко С.В. Сучасні паливно-мастильні матеріали: стан та поступ розвитку. Ч.1. Паливні матеріали: Монографія. [За ред. Г.О. Сіренка]. – Івано-Франківськ: Вид. Супрун В.П., 2016. – 208 с.

3. Кириченко В.І., Сіренко Г.О., Кириченко В.В. Сучасні паливно-мастильні матеріали: стан та поступ розвитку. Ч.2. Мастильні матеріали: Монографія. [За ред. Г.О. Сіренка]. – Івано-Франківськ: Вид. Супрун В.П., 2017. – 288 с.

4. Проблеми хімотології. Монографія – матеріали V-ої Міжн. НТ конф.(жовтень 2014 р.). – Київ, Вид-во НАУ, 2014 р. – 370 с.

5. Сіренко Г.О., Кириченко В.І., Сулима І.В. Фізико-хімія паливно-мастильних матеріалів: [монографічний підручник (спеціальний курс лекцій)] [за ред. Г. О. Сіренка] / Г. О. Сіренко, В. І. Кириченко, І. В. Сулима. – Івано-Франківськ : Супрун В. П., 2017 – 508с.

6. Андріішин М. П. Газ природний, палива та оливи: Монографія / М. П. Андріішин, Я. С. Марчук, С. В. Бойченко. – Одеса : Астропринт, 2010. – 232 с.

7. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення / Упорядник В. Я. Чабанний. – Кіровоград : Центрально-Українське видавництво, 2008. – 500 с.

8. Гевко І.Б Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Лещук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.

9. 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.

10. 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.

11. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.

12. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.

13. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.

14. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.

15. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.

16. 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.

17. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2023, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.

18. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Lebid, I., Hevko, I., Khoroshun R Matviyishyn, A. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. *Communications*, 24(3), B247-B258.
19. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.
20. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom (2023) *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 118, pp. 161-172. (Scopus).
21. Aulina, V., Kropivnya, V., Kuzyka, O., Lyashuk, O., Bosyia, M., Vovk, Y., Kropivnaa, A., Sokol, M., Senyk, A., Slobodyan, L. The Influence of Titanium as a Desferoidizing Element on the Stability of Production of Magnesium Cast Irons with Compacted Graphite (2021) *Tribology in Industry - Kragujevac : University of Kragujevac*, 4 (43), pp. 654-666. (Scopus).
22. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В. Вамболь, С. О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ; за ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. – Харків : ТОВ “ПромАрт”, 2021. – 202 с.
23. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І. П., Хом'як Й. В., Хом'як В. В. - 2-ге вид., стер. - Суми : Університетська книга, 2015. - 374 с.
24. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.