

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**МР. АТм-62.00.00.000 ПЗ**

**Група АТм-24-1**

**Андрій Максимчук**

**2025**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки і робототехніки

Кафедра Автомобільного транспорту

Максимчук Андрій Володимирович

УДК 621.793.72

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

**Тема** Моделювання зношування поршневого кільця і гільзи циліндра двигуна на прикладі автомобілів, що обслуговуються на станції технічного обслуговування "Profigas", м. Івано-Франківськ .  
(назва згідно з наказом ректора)

Автомобільний транспорт  
(назва освітньої програми)

274 – Автомобільний транспорт  
(шифр і назва спеціальності)

Студент \_\_\_\_\_ А.В. Максимчук  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ Войцехівська Тетяна Йосипівна, асистент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

### Допущено до захисту

завідувач кафедри автомобільного транспорту

д.т.н, професор. \_\_\_\_\_ С.І. Криштопа  
(посада) (підпис) (дата) ініціали та прізвище)

### Рецензент

\_\_\_\_\_  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

**Івано-Франківськ - 2025**

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**  
( повне найменування вищого навчального закладу )

Інститут: інженерної механіки і робототехніки

Кафедра: автомобільного транспорту

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 274 “Автомобільний транспорт”

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завкафедрою АТ

\_\_\_\_\_ С.І. Криштопа

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

Студенту \_\_\_\_\_ Максимчуку Андрію Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

**1 Тема роботи** Моделювання зношування поршневого кільця і гільзи циліндра двигуна на прикладі автомобілів, що обслуговуються на станції технічного обслуговування "Profigas", м. Івано-Франківськ.

керівник проєкту (роботи) \_\_\_\_\_ Войцехівська Т.Й., асистент

Затверджена наказом ректора університету від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2025 р.

**2 Термін здачі студентом закінченої роботи** \_\_\_\_\_

**3 Вихідні дані до роботи** Дані по підприємству "Profigas", інформація з досліджень про умови роботи та трибологічні процеси в поршневих кільцях та гільзах циліндрів

**4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки** Характеристика підприємства та номенклатура автомобілів, які обслуговуються; умови роботи поршневих кілець та гільз циліндрів; розрахунок трибологічних характеристик поршневих кілець та гільз циліндрів.

**5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)**

1 Мета роботи;

2 Технічні характеристики втомобілів;

4 Поршневі кільця та гільзи;

5 Розрахункова схема; \_\_\_\_\_

6 Результати розрахунку зносу поршневих кілець; \_\_\_\_\_

7 Висновки; \_\_\_\_\_

### 6. Консультанти з проєкту (роботи), із зазначенням розділів проєкту

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	доц. Прунько І.Б.		

7. Дата видачі завдання “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	РОЗДІЛ 1. Аналіз роботи підприємства «Profigas» м. Івано-Франківськ	10.09.2025	
2	РОЗДІЛ 2. Будова та функціональне циліндро-поршневої групи	2.10.2025	
3	РОЗДІЛ 3. Моделювання зношування робочих поверхонь поршневих кілець і гільз циліндрів двигуна	29.10.2025	
4	Розділ 4. Безпека праці при роботі на СТО	20.12.2025	
5	Оформлення графічної частини	21.12.2025	

**Студент**

Андрій МАКСИМЧУК  
(підпис) (розшифрування підпису)

**Керівник роботи**

Тетяна ВОЙЦЕХІВСЬКА  
(підпис) (розшифрування підпису)

## АНОТАЦІЯ

Максимчук А. В.

Тема роботи: Моделювання зношування поршневого кільця і гільзи циліндра двигуна на прикладі автомобілів, що обслуговуються на станції технічного обслуговування "Profigas", м. Івано-Франківськ .

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт».

Заклад освіти Івано-Франківський національний технічний університету нафти і газу.

Івано-Франківськ, 2025 рік.

Робота містить 69 сторінок, 14 таблиць, 25 рисунків, список літератури з 30 найменувань.

Описано діяльність підприємства «Profigas», наведено трибологічні розрахунки поршневих кілець та гільз циліндрів базової моделі автомобіля, описано правила безпеки праці на СТО.

Ключові слова: підвищення зносостійкості, СТО, поршневі кільця, гільзи циліндрів.

## ANOTATION

Maksimchuk A. V.

Theme of the work: Modeling the wear of the piston ring and engine cylinder liner on the butt of cars, which is serviced at the "Profigas" service station, Ivano-Frankivsk.

Specialty 274 "Automotive transport".

Foundation of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

Ivano-Frankivsk, 2025 r.

The work contains 69 pages, 14 tables, 25 figures, a list of references with 30 titles.

The activity of the "Profigas" enterprise is described, tribological development of piston rings and cylinder liners of the base model of the car is introduced, and the rules of safety at the service station are described.

Key words: wear resistance, service station, piston rings, cylinder liners..

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА «PROFIGAS» М. ІВАНО-ФРАНКІВСЬК.....	11
1.1 Структура та сфера надання послуг підприємства «Profigas» м. Івано-Франківськ .....	11
1.2 Асортимент моделей автомобілів, що обслуговуються на ТзОВ «Profigas» .....	12
Висновки до розділу 1 .....	16
РОЗДІЛ 2. БУДОВА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ.....	17
2.1 Призначення поршневого кільця.....	17
Висновки до розділу 2 .....	19
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ І ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНА.....	19
3.1 Моделювання зношування поршневого кільця .....	19
Таблиця 3.1 – Результати мікрометричного вимірювання зносу гільзи циліндру в верхній та нижній мертвих точках (ВМТ та НМТ) для різних моделей двигунів залежно від пробігу автомобілів.....	34
3.3 Розрахунок інтенсивності зношування .....	38
Висновки до розділу 3 .....	41
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ НА СТО .....	42
4.1 Організація та управління охороною праці.....	42
4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при ремонті та обслуговуванні автомобілів.....	46
Висновки до розділу 4 .....	53
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА .....	55
ДОДАТОК А.....	58
ДОДАТОК Б .....	59

					МР. АТм – 11.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Моделювання зношування поршневого кільця і гільзи циліндра двигуна на прикладі автомобілів, що обслуговуються на станції технічного обслуговування "Profigas", м. Івано-Франківськ. Пояснювальна зписка			Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Максимчук А.В.								
Перевірив		Войцехівська Т.Й.								
Рецензент										
Н. Контр.		Прунько І.Б.						ІФНТУНГ		
Затвердив		Криштопа С.І.			гр. АТм-24-1					

ДОДАТОК В .....	60
ДОДАТОК Г .....	61
ДОДАТОК Д .....	62
ДОДАТОК Е .....	63
ДОДАТОК Є .....	64
ДОДАТОК Ж .....	65
ДОДАТОК З .....	67
ДОДАТОК К .....	68
ДОДАТОК Л .....	69

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Терміном служби складної технічної системи є календарна тривалість експлуатації цієї системи до руйнування або іншого граничного стану. Граничний стан технічної системи може встановлюватися за змінами параметрів, за умовами безпеки, за економічними показниками, за старінням, за необхідністю першого капітального ремонту і т.п.

Вихід з ладу деталей і робочих органів машин за нормальних умов експлуатації відбувається внаслідок різних видів фізичного зносу: втомних руйнувань, повзучості матеріалів, механічного зносу, корозії, ерозії, кавітації, старіння матеріалу та ін.

Сучасний стан теорії робочих процесів машин, наявність великої експериментальної техніки для визначення робочих навантажень і високий рівень розвитку прикладної теорії пружності при відносно хороших знаннях фізичних і механічних властивостей матеріалів дозволяють забезпечити достатню міцність деталей машин з великою гарантією від поломок їх в нормальних умовах експлуатації. Тому найбільш поширеною причиною виходу деталей і робочих органів машин з ладу є не поломка, а знос і пошкодження робочих поверхонь [1].

**Метою магістерської роботи** є аналіз трибологічних процесів, які мають місце в циліндро-поршневій групі двигунів внутрішнього згорання.

**Об'єкт дослідження** об'єктом дослідження є поршневі кільця та гільзи циліндрів ДВЗ легкових автомобілів.

**Предмет дослідження** навантаження та величини зносу поршневих кілець та гільз циліндрів.

**Методи дослідження** аналіз наявних літературних джерел, проведення математичних розрахунків замірювання розмірних параметрів та аналіз результатів замірів.

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Наукова новизна результатів роботи** застосовано методику аналізу трибологічних процесів для визначення терміну роботи поршневих кілець та гільз циліндрів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати наведені в роботі будуть корисні при виконанні робіт на підприємстві з метою оптимізації зміни окремих деталей ДВЗ.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська роботи викладена у 4 розділах пояснювальної записки, всі розділи супроводжуються висновками, а також розроблена графічна частина презентації.

					MP. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА «PROFIGAS» М. ІВАНО-ФРАНКІВСЬК

## 1.1 Структура та сфера надання послуг підприємства «Profigas» м. Івано-Франківськ

Автогазова станція в м. Івано-Франківськ, вул. Тролейбусна 37 обладнана всім сучасним інструментарем для встановлення та обслуговування ГБО.

Тут встановлюють тільки оригінальний товар таких брендів, як:

STAG

GREENGAS

Landi Renzo

Tomasetto

Valtek

Hana та ін.

На даному СТО можна встановити наступні автогазові системи:

Монтаж ГБО 4 покоління.

Монтаж ГБО на пряме впорскування.

Монтаж ГБО 2 покоління.

Також, тут пропонують клієнтам скористатись додатковими послугами з автосервісу:

- сертифікація;
- заміна мастил;
- ремонт та діагностика ходової;
- діагностика та комплексний ремонт двигунів;
- діагностика та ремонт авто кондиціонерів, промивка системи;
- промивка радіаторів пічки;
- заміна ГРМ та всіх ланцюгів;
- регулювання клапанів;
- комп'ютерна діагностика авто;
- відеоендоскопія двигуна;

					MP. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- діагностика системи запалювання;
- опресовка димогенератором;
- заміна сальників клапанів без демонтажу ГБЦ;
- промивка та діагностика бензинових форсунок всіх типів;
- ремонт генераторів та стартерів;
- хімчистка та полірування.

На території є кімната клієнта, де можна зручно провести час під час очікування.



Рисунок 1.1 – станція ТзОВ «Profigas» Івано-Франківськ, вул.Тролейбусна

## 1.2 Асортимент моделей автомобілів, що обслуговуються на ТзОВ «Profigas»

На даній СТО обслуговуються різноманітні легкові автомобілі. Подальший розрахунок в магістерській роботі проекті буде проводитись по моделях: Honda Civic 4D 1.6 i-VTEC (125 к.с.) CVT і Subaru Leone III 1.8 АТ.

Коротка технічна характеристика автомобіля Honda Civic 4D 1.6 i-VTEC (125 к.с.)

					MP. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Динаміка та витрата:

Максимальна швидкість, км/год.: 196.

Час розгону (0-100 км/год), з: 11.5.

Витрата палива (міський цикл), л. на 100 км: 8.7.

Витрата палива (заміський цикл), л. на 100 км: 4.9.

Витрата палива (змішаний цикл), л. на 100 км: 6.3.

Норма токсичності: Euro VI.

Двигун:

Двигун: 1.6 i-VTEC.

Код двигуна: R16B.

Тип двигуна: ДВЗ.

Тип палива: Бензин.

Об'єм двигуна, куб.см: 1597.

Розташування циліндрів: Рядне.

Кількість циліндрів: 4.

Кількість клапанів: 16.

Ступінь стиску: 10.7:1.

Потужність, к.с.: 125.

Оберти макс. потужності, об./хв.: 6500.

Крутний момент, Нм: 152.

Оберти макс. моменту, об./хв.: 4300.

Габарити:

Кількість місць: 5

Довжина, мм: 4648

Ширина, мм: 2075

Ширина (без дзеркал), мм: 1799

Висота, мм: 1416.

Колісна база, мм: 2700.

Колія передніх коліс, мм: 1547.

Колія задніх коліс, мм: 1563.

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Споряджена маса, кг: 1352.

Повна маса, кг: 1740.

Об'єм багажника, л: 519.

Об'єм паливного бака, л: 46.

Діаметр розвороту, м: 10.6.

Кліренс, мм: 124.

Коробка та привід:

Коробка передач: CVT.

Автоматична КПП.

Тип коробки: Варіатор.

Фірма КПП: Honda.

Привід: Передній.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд автомобіля Honda Civic 4D 1.6 i-VTEC (125 к.с.)

Коротка технічна характеристика автомобіля Subaru Leone III 1.8 AT.

Загальна інформація:

Автомобільний бренд Subaru.

Модель Leone.

Покоління III.

Модифікація 1.8 AT.

Країна марки Японія.

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Клас автомобіля С.

Тип кузова:

Кількість дверей 4.

Кількість місць 5.

Розміри:

Довжина, мм 4,370.

Ширина, мм 1,660.

Висота, мм 1,385.

Колісна база, мм 2,470.

Колія передня, мм 1,425.

Колія задня, мм 1,425.

Дорожній просвіт, мм 165.

Маса і об'єм:

Об'єм багажника мінімальний, л. 360.

Об'єм багажника максимальний, л. 360.

Об'єм топливного бака, л. 60.

Трансмісія:

Тип КПП автомат.

Кількість передач 4.

Привід повний привід.

Експлуатаційні показники.

Двигун:

Тип двигуна бензин.

Розташування двигуна центральне.

Система живлення розподілене уприскування (багатоточковий).

Тип наддуву немає.

Об'єм двигуна, см<sup>3</sup> 1,781.

Потужність 95 к.с.

Потужність, (кВт) 70.

Обертаючий момент 140 Нм.

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

При обертах на хвилину 5200.

Розташування циліндрів опозитне.

Кількість циліндрів 4.

Діаметр циліндра та хід поршня  $92 \times 67$  мм.

Ступінь стиснення 7.7.

Підвіска та гальма.

Тип передньої підвіски незалежна, пружинна.

Тип задньої підвіски незалежна, пружинна.

Передні гальма дискові вентильовані.



Рисунок 1.3 – Коротка технічна характеристика автомобіля Subaru Leone III 1.8 АТ.

### Висновки до розділу 1

Проведено огляд діяльності станції ТзОВ «Profigas» Івано-Франківськ, вул.Тролейбусна 37. Наведено технічні характеристики автомобілів Honda Civic 4D 1.6 i-VTEC (125 к.с.) і Subaru Leone III 1.8 АТ.

					MP. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

## РОЗДІЛ 2. БУДОВА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЦИЛІНДРО- ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ

### 2.1 Призначення поршневого кільця

Поршневі кільця призначені забезпечення герметичності внутрішньоциліндрового простору, тобто. для запобігання прориву газів із цього простору в картер двигуна. Одночасно поршневі кільця відводять у стінки циліндра більшу частину сприйманого днищем поршня тепла і перешкоджають проникненню масла з картера двигуна всередину циліндрів. У сучасних швидкохідних, що відрізняються високим ступенем стиснення двигунах поршневі кільця застосовують трьох видів:

- Компресійні кільця
- Компресійні поршневі кільця працюють у дуже важких умовах, вони піддаються впливу високих температур, працюють в умовах напіврідинного тертя з великою змінною швидкістю сил ковзання, а так само і тертя. Компресійні кільця повинні запобігти попаданню газів, що відпрацювали, з камери згоряння в кривошипну камеру. Для забезпечення необхідної герметичності потрібні мінімальний зазор між поршнем і стінкою циліндра, наявність в цьому зазорі стійкої плівки масляної і високоякісна обробка поверхні циліндра і поршня.

- Компресійні кільця ущільнюють поршень за допомогою лабіринту, що створюється ними, і притискання кілець до поверхні циліндра. Проходячи через цей лабіринт, що складається з торцевих та радіальних зазорів між кільцями та стінками кільцевих канавок, газу поступово розширюються, внаслідок чого їх тиск та швидкість закінчення знижуються.

- Маслознімні кільця. Метою їх роботи є максимальне зменшення витрати оливи, при постійному та достатньому мастилі деталей ковзання та одночасно мінімальна газопроникність. Внаслідок насосної дії компресійних кілець, а також розрядження в циліндрі під час всмоктування в камеру надходить масло, де воно частково згоряє. Маслознімні кільця знімають зайву олию зі стінок циліндрів і запобігають по можливості потрапляння мастила в камеру згоряння.

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- Компресійно-маслоснімні кільця (комбіновані) Компресійно-маслоснімні кільця поєднують в собі основну функцію компресійних і маслоснімних кілець, це означає, вони в основному запобігають попаданню газів, що відпрацювали, в кривошипну камеру і знімають зайву олію зі стінки циліндра.

#### Ознаки зношування поршневих кілець

Звичайні симптоми зношування поршневих кілець часто схожі з симптомами інших несправних деталей. Слід пам'ятати про це при діагностиці, щоб переконатися в тому, що поршневі кільця дійсно потребують заміни.

Велика кількість диму. З вихлопної труби виходять густі сині, темно-сірі або чорні хмари, які часто супроводжуються запахом горілої олії. Це відбувається через витік олії в камеру згоряння через поломку поршневого кільця.

Надмірна витрата олії. Якщо вам необхідно доливати олію між регулярними замінами олії, зверніть увагу на поршневі кільця, можливо, прийшов термін їх заміни.

Погане прискорення. Втрата компресії призводить до поганого прискорення. Після натискання на педаль газу машина довго розганяється.

Олива потрапляє у повітряний фільтр. Це відбувається, коли суміш олії та повітря виходить через пошкоджене поршневе кільце.

Загальна низька продуктивність. Зрештою автомобіль може втратити настільки свою потужність, що його доведеться відбуксирувати. Це може бути результатом ігнорування вищезазначених симптомів.

Коди помилок OBD2, які можуть виникнути через знос поршневих кілець, включають:

P0018 Положення колінчастого валу/Положення розподільчого валу (ряд 2, датчик A)

P0352 Котушка запалювання B, первинна/вторинна обмотка – несправність ланцюга живлення.

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



Рисунок 2.1 – Поршень ДВЗ

## Висновки до розділу 2

В розділі описується принцип роботи поршневих кілець та гільз циліндра на основі аналізу літературних джерел. Описано різні типи кілець. Проаналізовано специфіку їх роботи та дано рекомендації щодо продовження терміну служби даної деталі.

## РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ І ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНА

### 3.1 Моделювання зношування поршневого кільця

Розглянуто особливості моделювання зношування верхнього поршневого компресійного кільця двигуна внутрішнього згорання з урахуванням його переміщень та вібрацій у поршневій канавці двигуна та запропоновано методику оцінного розрахунку поршневого кільця на ресурс.

Саме тому прогнозування величини зносу (фактично ресурсу) поршневих кілець на стадії проектування є цікавою областю в інженерних науках. Знання

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

значення величини зносу кільця (як деталі, що лімітує міжремонтний проміжок) у встановлений ресурс двигуна важко переоцінити. Давно відомо, що якісь не було проблеми на стадії проектування вирішити набагато простіше, надійніше, швидше і, що немаловажно, дешевше, ніж виявити недоліки на стадії випробувань або, що ще гірше, на стадії експлуатації виробу. Не менш важлива проблема достовірності результатів у моделюванні зношування об'єкта. Для підвищення достовірності результатів у моделюванні зносу існує два шляхи. Виходячи з формули

$$U = I \cdot L \cdot 10^{-8}, \quad (3.1)$$

де  $U$  – лінійна величина зносу [м],  $I$  – безрозмірна величина зносу,  $L$  – шлях тертя [м], неважко зауважити, що, скоротивши помилки в складових формули, можна досягти бажаного результату. У цій статті було розглянуто метод збільшення точності у визначенні шляху, пройденим кільцем –  $L$ , не забуваючи при цьому про коректне моделювання зміни величини безрозмірного зносу –  $I$ .

При складанні математичної моделі руху кільця виникла гіпотеза, згідно з якою кільце, крім основного руху, пов'язаного з переміщенням поршня, має відносні переміщення в канавці поршня, причому напрямком може не збігатися з напрямком переміщення поршня. Тому величина переміщення може відхилитися у той чи інший бік. Наведені у статті математичні моделі описують переміщення кільця і процес його зношування.

Для з'ясування фізичної суті теорії вібрації кільця розглянемо кільцеве ущільнення, що складається з верхнього поршневого кільця і другого кільця, припустивши, що гідравлічний опір проходженню газу другого кільця еквівалентно опору нижнього комплекту. Тиск газу, що підходить до верхнього кільця, позначимо через  $P_1$ , тиск газу в порожнині під першим кільцем – через  $P_2$ , тиск газу в картері – через  $P_3$ .

Вважаємо, що газ уздовж лабіринтного ущільнення проходить практично без зміни температури - ізотермічно. У цьому температура газу дорівнює середньому арифметичному температур поршня і циліндра. Приймається, зниження тиску від  $P_1$  до  $P_2$  відповідає докритичній швидкості ізотермічного течії, тобто:

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$\frac{P_1}{P_2} \leq \sqrt{e} = 1,65 . \quad (3.2)$$

При положенні кільця в канавці, коли воно не лежить на будь-якій її стороні, для проходу газу по верхній щілині шириною  $\Delta_v$  є площа, яку приймемо рівною:

$$f_1 = \pi D \Delta_v, \quad (3.3)$$

у свою чергу площа проходу газу під кільцем:

$$f_2 = \pi D \Delta_n, \quad (3.4)$$

де  $D$  – діаметр циліндра двигуна.

Площа проходу газу, еквівалентна по опору площі всіх нижчих кілець, позначимо через  $f_3$ , а сумарний торцевий зазор між кільцем і канавкою – через  $\theta = \Delta_v + \Delta_n$ . Для спрощення написання та узагальнення введемо такі позначення:

$$\varphi = \frac{f_3}{\left(\pi D^2 / 4\right)}, \quad \eta = b / D, \quad (3.5)$$

$$\psi = \Delta_v / D, \quad \beta = \psi / 4\varphi = f_3 / f_1 \quad (3.6)$$

де  $b$  – висота поршневого кільця.

Метою дослідження є встановлення закономірності руху кільця в канавці в напрямку осі поршня  $X$ . Уздовж цієї осі діють такі сили: тиск газів  $P_g$ , інерції кільця  $P_j$ , тертя  $P_f$ , тяжкості  $P_T$ . Користуючись принципом Даламбера, напишемо:

$$P_g + P_j + P_f + P_m = 0. \quad (3.7)$$

Для визначення результуючої сили тиску газу  $P_g$  знаходимо перепад тисків зверху та знизу кільця. Кількість газу, ізотермічно з докритичною швидкістю перетікає через щілину площею  $f_1$ ,

$$dG_{1-2} = \mu_1 f_1 \sqrt{2g/RT} \ln(P_1/P_2) dt. \quad (3.8)$$

Кількість газу, ізотермічно з критичною швидкістю витікає через щілину площею  $f_3$ :

$$dG_{2-3} = 0,606 \mu_2 f_3 \sqrt{g/RT} P_2 dt, \quad (3.9)$$

					MP. ATM – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

де  $\mu_1, \mu_2$  - коефіцієнти закінчення, які для спрощення приймемо рівними;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $R$  – постійна газова;  $T$  – абсолютна температура газу;  $t$  – час.

При русі газу, що встановився, що приймаємо в припущенні, наприклад, що при розгляді миттєвого положення поршня і кільця  $dG_{1-2} = dG_{2-3}$ . Тому, скориставшись цими параметрами і знайшовши з рівняння  $P_2$ , отримаємо,

$$P_2 = P_1 / e^{0,184\beta^2}. \quad (3.10)$$

Скориставшись для відношення (1) виразом (10) отримаємо після перетворень такі умови:

$$\beta = f_3 / f_1 = \varphi / 4\psi \leq 1,65, \quad (3.11)$$

$$P_1 / P_3 \geq 1,65e^{0,184\beta}. \quad (3.12)$$

З урахуванням нерівності (12) умова перетворюється на простішу:

$$P_1 / P_3 \geq 2,24. \quad (3.13)$$

Це справедливо для двигунів, у яких тиск у картері  $P_3 = 0,1$  МПа, а  $P_1 > 2,24$  МПа. Розподіл тисків на верхню і нижню торцеві поверхні кільця приймемо за законом трапеції і прямокутника. При цьому на кільце діє результуючий тиск газу:

$$\Delta P = 0,5(P_1 + P_2) - P_2 = 0,5(P_1 - P_2). \quad (3.14)$$

Підставивши в цей вираз значення  $P_2$  (10), отримаємо:

$$\Delta P = 0,5P_1 \left[ 1 - 1/e^{0,184(f_3/(\pi D \Delta_B))^2} \right]. \quad (3.15)$$

Результуюча сила тиску газу:

$$P_r = \Delta P \pi (D - t) t. \quad (3.16)$$

Сила інерції кільця  $P_j = -mj$ , де  $m$  – маса кільця:

$$m \approx \pi (D - t) t b \rho. \quad (3.17)$$

Прискорення кільця можна подати у вигляді суми переносного прискорення (поршня)  $j_{\text{пер}}$  та відносного прискорення  $j_{\text{від}}$ .

Переносне прискорення:

$$j_{\text{пер}} = \omega^2 R_{\text{кр}} (\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha), \quad (3.18)$$

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

де  $\omega = \pi n / 30$  – кутова швидкість обертання колінчастого валу;  $n$  – частота обертання колінчастого валу;  $R_{кр}$  – радіус кривошипу;  $\lambda$  – відношення радіуса кривошипу до довжини шату-на;  $\alpha$  – кут повороту колінчастого валу із положення в.м.т.

Відносне прискорення кільця під час руху по відношенню до поршня:

$$j_{від} = \frac{d^2 x_{від}}{dt^2}. \quad (3.19)$$

Відповідно до вище викладеного

$$P_j = P_{j_{мпе}} - m \frac{d^2 x_{від}}{dt^2}. \quad (3.20)$$

де

$$P_{j_{мпе}} = -m\omega^2 R_{кр} (\cos \alpha + \lambda \cos \alpha). \quad (3.21)$$

Підставляючи силу  $P_j$  з виразу (20) до (7), отримаємо

$$m \frac{d^2 x_{від}}{dt^2} = P_{j_{мпе}} + P_r + P_f + P_m. \quad (3.22)$$

Рівняння (22) визначає відносне переміщення кільця в канавці поршня.

Необхідно відзначити, що в періоди циклу до і після верхньої мертвої точки, коли переносна сила інерції  $P_{j_{пер}}$  від'ємна і перевищує рівнодіючу сили тиску газу  $P_r$ , тертя і тяжкості, права частина останньої рівності від'ємна і, отже, від'ємне відносне прискорення  $\frac{d^2 x_{від}}{dt^2}$ . При цьому кільце може переміщатися у напрямку до верхньої поверхні канавки, внаслідок чого зменшиться ширина  $\Delta_v$  щілини і площа  $f_1$  для проходу газу. Це знизить тиск газу  $P_2$  під кільцем (див. формули (5), (6) і (10)), і рівнодіючий тиск газу  $P_r$  (див. формули (14) і (15)) збільшиться і разом з іншими силами може перевищити від'ємну силу інерції  $P_{j_{пер}}$ . В результаті кільце може відсунутись від верхньої поверхні канавки вниз. У збільшену по ширині щілину розміром  $\Delta_v$  знову надходить більша кількість газу. Тоді тиск газу підвищиться настільки, що велика за величиною сила інерції  $P_{j_{пер}}$  знову зрушить кільце вгору.

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, кільце під дією сил переміщається в межах величини  $\theta$  іноді в протихід руху поршня до зіткнення з тією чи іншою поверхнею канавки [2].

Основна труднощі в пізнанні фізичних закономірностей при зношуванні матеріалів, як уже зазначалося вище, полягає в тому, що при терті поверхневі шари тертьових деталей схильні до сильного впливу навколишнього середовища при одночасному механічному впливі сполученої поверхні. Відомо, що фізико-механічні властивості матеріалів приповерхневих шарів відрізняються від властивостей основної маси матеріалу, внутрішніх його структур. Облік фізико-хімічних та механічних факторів при розгляді руйнування поверхневих шарів тіл при терті дає підставу розглядати процес зношування як кумулятивний, тобто. підсумовує дію окремих факторів при повторному багаторазовому навантаженні фрикційних зв'язків до відокремлення частки зносу.

Цей вид зношування має місце у найрізноманітніших умовах вузлів тертя. У тому числі закритих від попадання абразивних частинок, не схильних до сильної корозії і захищених від мікросхоплювання. В основному тільки кумулятивний механізм руйнування пояснює зношування поверхні більш твердого матеріалу пари тертя м'якшим. Важливу роль на зношуванні матеріалу, крім твердості і навантаження, надають пружні властивості матеріалу, режим роботи (швидкість, температура), зовнішні умови (мастило, навколишнє середовище) та конструктивні особливості вузла.

При ковзанні мікронерівності по контртілу перед нею виникає лобовий вал деформованого матеріалу, який знаходиться під впливом стискаючих напруг. За мікронерівністю внаслідок сил тертя матеріал розтягується. Таким чином, кожен елемент деформується матеріалу відчуває знакозмінне деформування. Багаторазові повторні деформації призводять до фізичних і хімічних змін поверхневого шару і накопичення в ньому пошкоджень, що призводить до відокремлення частинок зносу.

Модельні експерименти з ковзання сферичного індентора під навантаженням по кільцевій траєкторії показує, що зі збільшенням кількості проходів (циклів впливу на елемент матеріалу) матеріал руйнується не відразу, а після декількох

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

проходів. Після відділення частинок зносу та заглиблення індентора знову протягом деякого числа циклів на поверхні тертя не відбувається помітних змін.

Наведена напруга опр на контакті, при якому відбувається відділення частинок зносу, пропорційно питомій силі тертя  $\tau$ :

$$\sigma_{\text{оп}} = k\tau = kf_m p_r. \quad (3.23)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що характеризує напружений стан на контакті, залежить від природи матеріалу;  $f_m$  – молекулярна складова коефіцієнта тертя;  $P_r$  – фактичний тиск.

Зношування зазвичай характеризують лінійною інтенсивністю зношування:

$$I = \frac{V_\Sigma}{A_a L} = \frac{U}{L}, \quad (3.24)$$

де  $V_\Sigma$  – обсяг матеріалу, відділеного на шляху тертя  $L$ ;  $A_a$  – номінальна площа контакту;  $L$  – шлях тертя.

Враховуючи, що в терті бере участь лише фактична площа торкання, введемо поняття питомого зносу по аналогії з 3.24:

$$i_h = \frac{V_d}{A_r d}. \quad (3.25)$$

де  $d$  – середній діаметр плями контакту торкання;  $V_d$  - обсяг матеріалу, віддаленого з фактичної площі контакту  $A_r$  при зрушенні на шлях  $d$  (в результаті одного акта взаємодії нерівностей).

Розділивши вираз (3.24) на (3.25) і перетворюючи, отримаємо:

$$I = i_h \frac{A_r}{A_a} = i_h \frac{p_a}{p_r}. \quad (3.26)$$

де  $p_a$  – номінальний тиск.

На один акт взаємодії нерівностей припадає наступна товщина зношеного шару:

$$V_d = \frac{U_v}{n} \quad (3.27)$$

де  $n$  – ч число циклів, що призводить до відокремлення обсягу матеріалу  $U_v$ .

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Шорстка поверхня моделюється набором кульових сегментів однакового радіусу, розташованих по висоті так, що розподіл матеріалу в поверхневому шарі моделі та реальної поверхні описується однаковою опорною кривою (характеризує розподіл матеріалу по висоті шорсткого шару). Взаємним впливом нерівностей нехтуємо, так як у більшості реальних сполучення щільність контакту мала і приблизно може бути оцінена по відношенню номінального тиску до твердості м'якшого матеріалу пари тертя.

В першому наближенні, що в деформуванні бере участь тільки обсяг нерівностей, що проникли:

$$U_v = \int_0^h A_r dh = A_c R_{\max} \int_0^\varepsilon b \varepsilon^\nu d\varepsilon = \frac{A_r h}{\nu + 1} \quad (3.28)$$

де  $R_{\max}$  – найбільша висота нерівностей профілю;  $\nu$ ,  $b$  – параметри опорної кривої;  $\varepsilon$  – відносне зближення.

Підставивши формулу (3.28) (3.25) з урахуванням (3.27), отримаємо:

$$i_h = \frac{h}{(\nu + 1)dn} \quad (3.29)$$

Стосовно нерівностей, модельованих сферичними сегментами, для одиничної нерівності:  $d \approx \sqrt{2rh}$ . Тоді:  $\frac{h}{d} \approx 0,7 \sqrt{\frac{h}{r}}$ .

Для множинного контакту отримуємо основне рівняння для розрахунку зносу:

$$I = K_1 \alpha \sqrt{\frac{h}{r}} \frac{P_a}{P_r} \frac{1}{n} \quad (3.30)$$

де  $K_1$  – множник, який визначається геометричною конфігурацією і розташуванням по висоті одиничних нерівностей на поверхнях твердих тіл (зазвичай  $K \approx 0,2$ );  $\alpha = A_a/A_r$  – коефіцієнт перекриття.

В результаті перетворень основне рівняння (30) для пружного контакту набуде вигляду:

$$I = K_1 \alpha 2^{\frac{1}{2\nu}} P_a P_c^{\frac{1}{2\nu}} P_r^{t_y - 1 - \frac{1}{2\nu}} \Delta^{\frac{1}{2}} \left( \frac{k f_m}{\sigma_0} \right)^{t_y} \quad (3.31)$$

					MP. ATM – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

де  $\Delta$  – шорсткість;  $t_y$  – параметр кривої фрикційної втоми;  $P_c$  – контурний тиск на контакті.

Запишемо формулу для розрахунку інтенсивності зношування припрацьованих поверхонь. Фактичний тиск на контакті:

$$P_r \approx 0,7 \sqrt{\frac{\tau_0 E}{\alpha_r}}. \quad (3.32)$$

де  $\tau_0$  – фрикційний параметр;  $E$  – модуль пружності матеріалу;  $\alpha_r$  – коефіцієнт гістерезисних втрат.

Шорсткість, яка встановлюється після завершення процесу приробітку поверхонь, оцінюють за формулою:

$$\Delta \approx \frac{15 \tau_0^{5/4}}{E^{3/4} P^{1/2}}. \quad (3.33)$$

Підставивши формулу (3.32), (3.33) в (3.31), отримаємо остаточно:

$$I = K_2 15^{\frac{2t_y}{5}} \alpha K_{tv} P E^{\frac{t_y-1}{2}} \tau_0^{1/2} \frac{1}{\alpha_r^{1/2}} \left( \frac{kf_m}{\sigma_0} \right)^{t_y}. \quad (3.34)$$

де  $K_{tv}$  – поправочний коефіцієнт, що враховує число циклів до відділення частки зносу.

Формула (34) є розрахунковим рівнянням для зносу кільця.

На рис. 3.1 і 3.2 показані залежності циклового зносу верхнього поршневого кільця в залежності від швидкісного та навантажувального режимів роботи двигуна.

					MP. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

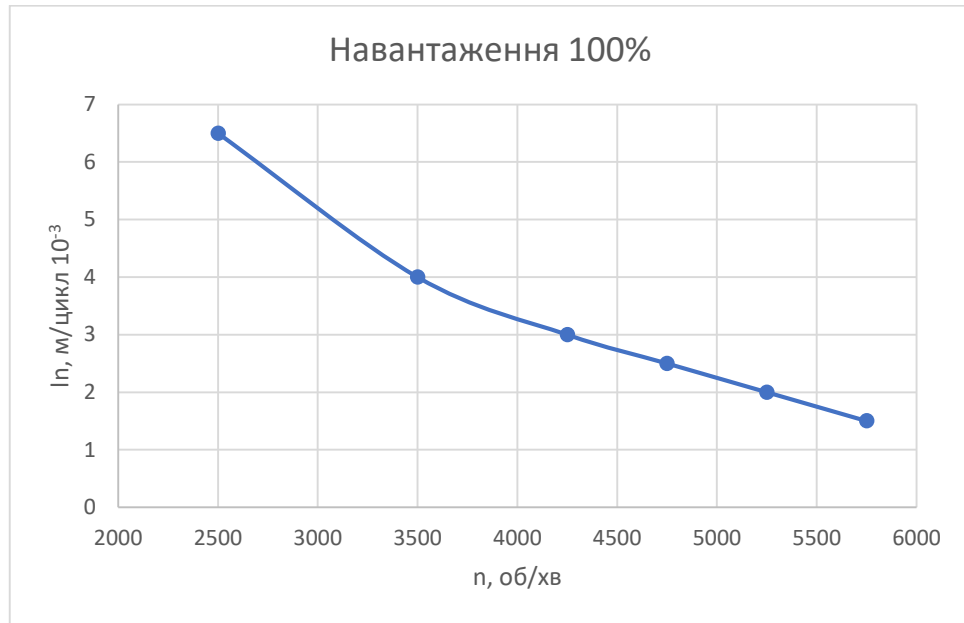


Рисунок 3.1 – Залежність циклового зносу поршневого кільця від швидкісного режиму роботи двигуна EM-42

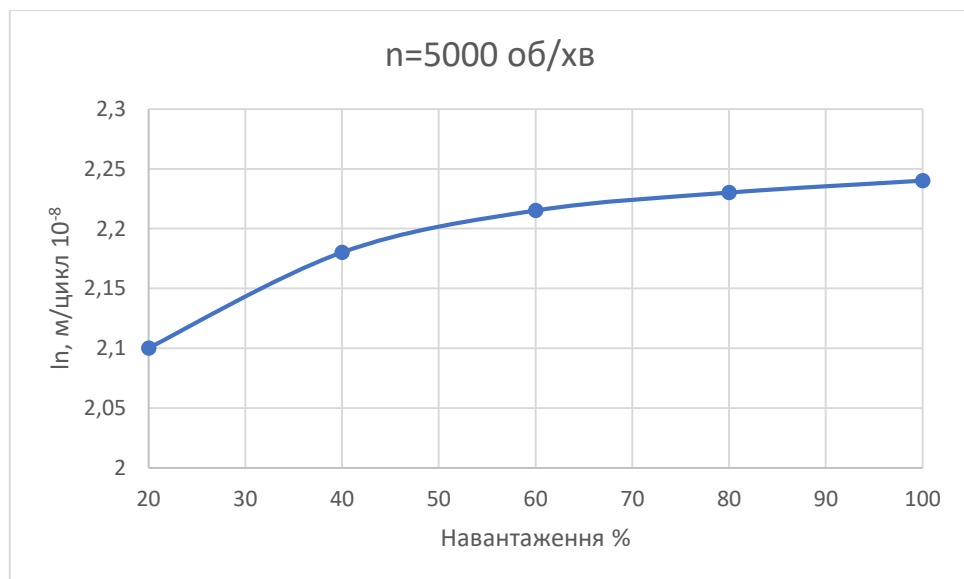


Рисунок 3.2 – Залежність циклового зношування поршневого кільця від навантаження двигуна EM-42

Таким чином, використовуючи запропоновані математичні моделі зносу поршневих компресійних кілець, можна прогнозувати їх ресурс на етапі проектування двигунів внутрішнього згоряння. Це дозволить скоротити процес експериментального доведення циліндрпоршневої групи, що є основним вузлом тертя ДВЗ.

### 3.2 Моделювання зношування поршневого кільця

Зношення гільзи циліндра є однією з основних причин передчасного виходу з ладу двигуна внутрішнього згорання. Відомо, що швидкість зношування трибосполучень визначається тепловими процесами, напруженим станом у зоні контакту та тривалістю роботи. Крім того, на інтенсивність зношування циліндрових гільз впливають якість палива й мастильних матеріалів, фізико-механічні характеристики матеріалу та умови технічної експлуатації. Під час роботи двигуна поверхні циліндрів зношуються нерівномірно, що спричиняє зміну їх геометричної форми як уздовж довжини, так і в діаметрі. Збільшення внутрішнього діаметра та деформація форми робочої поверхні циліндрів призводять до зростання робочих зазорів, що викликає зменшення потужності двигуна та підвищення витрати пального і мастильних матеріалів.

Тому прогнозування інтенсивності зношування деталей ДВЗ залежно від конструктивних і експлуатаційних параметрів за допомогою розрахунково-аналітичних методів має важливе практичне значення.

Для прогнозування фактичного ресурсу деталей циліндро-поршневої групи ДВЗ на етапі проектування на основі значень їх зношування було створено низку математичних моделей. Зокрема, у роботі [1] проаналізовано особливості моделювання зношування верхнього компресійного поршневого кільця з урахуванням його переміщень і вібрацій у канавці поршня, а також запропоновано методику оцінювання ресурсу цього елемента. У дослідженні [2] отримано залежності середньої та відносної середньої відстані між плямами контакту від комплексного параметра шорсткості поверхонь за різних умов деформації та тертя деталей ДВЗ. Використовуючи метод складання умовних лінійних рівнянь на основі спрощеного алгоритму Гауса, подальшого перетворення їх у нормальні рівняння та розв'язання останніх, було виведено формулу для визначення зносу втулок циліндрів різних типів двигунів внутрішнього згорання, що дає змогу з достатньою для практики точністю прогнозувати величину зношування [3].

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Створення нових і вдосконалення наявних методів оцінювання зносу деталей ДВЗ, а також їхнє практичне впровадження залишаються актуальним напрямом досліджень.

Для дослідження були вибрані моделі двигунів внутрішнього згоряння різних марок автомобілів, що проходили перший капітальний ремонт (табл. 1). Під час оцінювання технічного стану перед ремонтом знос гільз вимірювали індикаторним нутроміром у двох взаємно перпендикулярних площинах та в чотирьох контрольних поясах:

- на відстані 5–10 мм від верхньої крайки циліндра — зона, що практично не піддається зносу;
- на відстані 10–15 мм від верхньої площини — ділянка найбільшого зносу, відповідна положенню ВМТ;
- у середній частині циліндра;
- на відстані 10–15 мм від нижньої площини циліндра – зона, що відповідає положенню НМТ.

Вимірювання діаметрів циліндрів проводиться в трьох поясах (I, II, III) і в двох взаємно-перпендикулярних площинах (А-А, Б-Б) рисунок 3.1. Площини вимірювання вибирають таким чином, щоб одна з площин вимірювання проходила в найбільш зношеній частині циліндра, тобто перпендикулярно осі колінвала, а друга площина вимірювання - паралельно повздовжній осі колінвала. Штангенциркулем виміряти діаметр циліндра по його верхній звичайно не зношеній, кромці і розмір записати у звіт. Встановити в нутромір відповідну змінну вставку і настроїти його за допомогою мікрометра (рисунок 3.2) на розмір, що перевищує результат попереднього вимірювання на 1,00...1,50 мм. Після настроювання вимірювальну вставку слід закріпити контргайкою і ще раз перевірити мікрометром правильність настроювання.

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

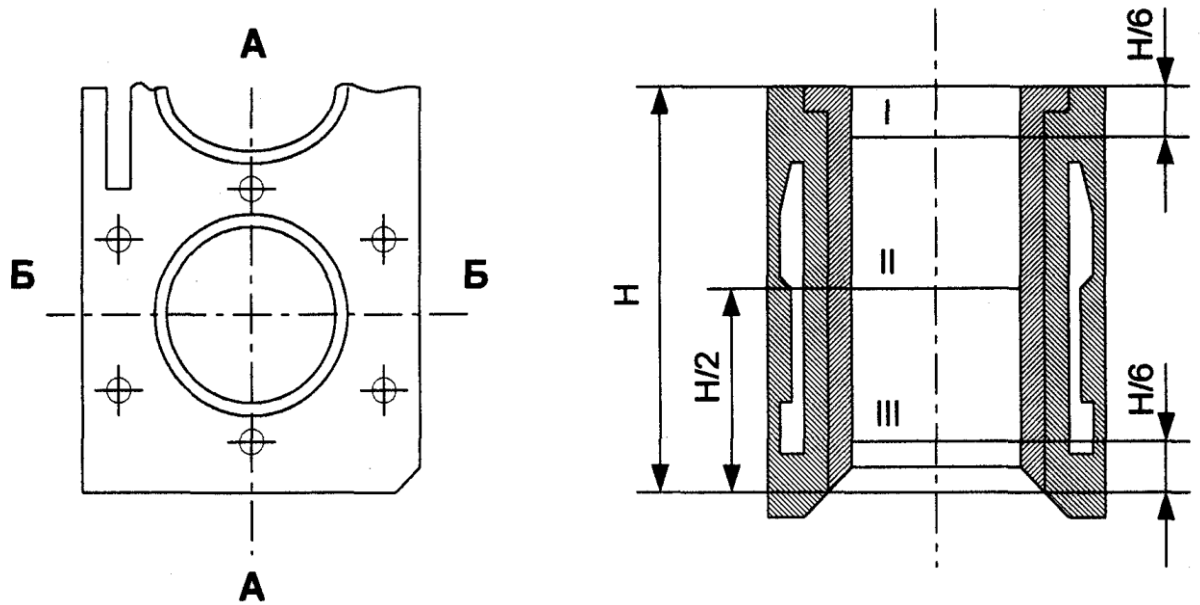


Рисунок 3.3 – Схема заміру діаметрів циліндрів

Найстроювання індикатора – Н полягає в наступному

$$H = \varnothing + (1,00 \dots 1,50), \quad (3.35)$$

де  $\varnothing$  - діаметр циліндра в його верхній кромці, мм;

(1,00...1,50) - перевищення над величиною, яка встановлена з допомогою мікрометра при настроюванні індикатора.

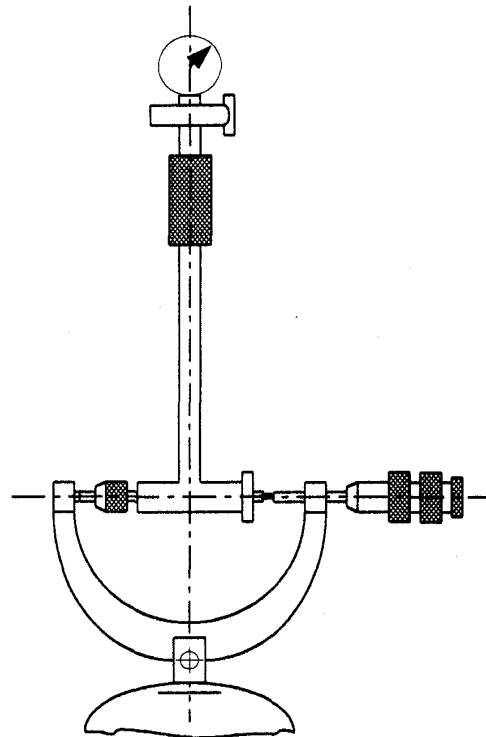


Рисунок 3.4 – Настроювання індикаторного нутроміра за допомогою мікрометра

При установці змінної вставки на розмір Н, обертанням обідка індикатора, добитися, щоб більша стрілка була проти показу - 0. Настроєний індикаторний нутромір обережно ввести в циліндр і виконати вимірювання в площинах, вказаних на рисунку 3.1. При вимірюванні нутромір необхідно повертати навколо повздовжньої осі основи центруючого містка і спостерігати за коливанням стрілки (рисунок 3.3), яка буде максимально наближатися до однієї і тієї ж поділки шкали. Цю поділку зафіксувати і записати в таблицю вимірювань. Кожне вимірювання виконати 3 рази і записати результати з найбільшою частотою повторення з відповідним знаком. Необхідно пам'ятати, що при збільшенні відстані між вимірювальними поверхнями приладу стрілка індикатора повертається проти годинникової стрілки (+), а при зменшенні розміру - за годинниковою (-).

Після вимірювання діаметра циліндра в першому поясі площини А-А перемістити в другий пояс, а потім в третій, записуючи отримані результати вимірювань.

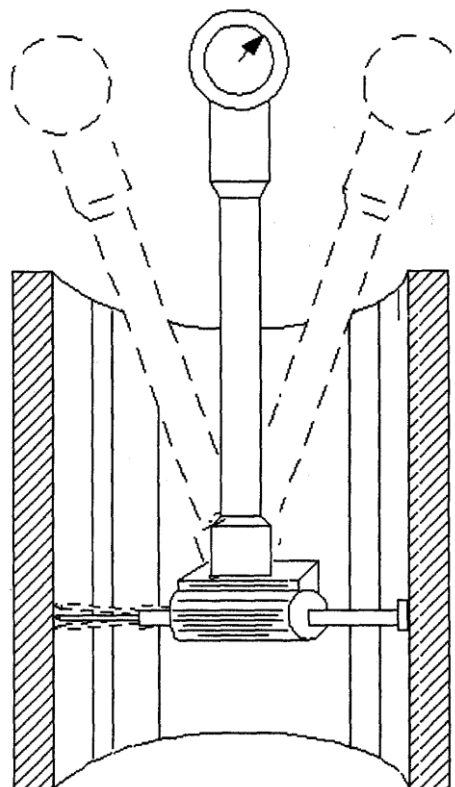


Рисунок 3.3 – Вимірювання діаметра циліндра

У третьому поясі нутромір повернути на  $90^\circ$  і переміщаючи його вгору, провести необхідні вимірювання в кожному з трьох поясів площини Б-Б. При

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

переміщенні нутроміра з одного пояса в другий, його слід відхиляти від вертикального положення, що зменшує тиск і запобігає швидкому зносу або пошкодженню мірних кромок.

Діаметри в поясах обчислювати за такою формулою:

$$D_i = H \pm \Delta, \text{ мм}, \quad (3.36)$$

де  $D_i$  – діаметр циліндра в даній площині і поясі, мм;

$H$  – настроювання індикатора, мм;

$\Delta$  – покази індикатора при вимірюванні в даній площині і поясі, мм.

Конусність циліндрів для кожної площини вимірювань обчислюють за формулою

$$K_{I-III} = D_I - D_{III}, \text{ мм}, \text{ або } K_{III-I} = D_{III} - D_I, \text{ мм}. \quad (3.37)$$

Овальність в кожному поясі обчислюють за формулою:

$$O = D_{(B-B)}^{A-A} - D_{(A-A)}^{B-B}, \text{ мм}. \quad (3.38)$$

Абсолютне зношення (З) в кожній площині і поясі визначають за формулою

$$Z = D_i - D_n, \text{ мм}, \quad (3.39)$$

де  $D_n$  – початковий діаметр циліндра, мм;

$D_i$  - найбільший діаметр циліндра в поясах і площинах, мм.

Під початковим (номінальним) діаметром циліндра розуміють попередній розмір (номінальний або ремонтний), під який був розточений циліндр.  $D_n$  вибирається з технічних умов (додаток В), шляхом порівняння дійсного розміру з ремонтними і номінальним. Початковий діаметр вибирають по найменшому граничному розміру, який заміряють штангенциркулем у верхній кромці циліндра.

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Результати мікрометричного вимірювання зносу гільзи циліндру в верхній та нижній мертвих точках (ВМТ та НМТ) для різних моделей двигунів залежно від пробігу автомобілів

Марка автомобіля	Рік випуску	Об'єм робочого тіла в циліндрах, см <sup>3</sup>	Пробіг автомобіля, тис.км	Знос втулки циліндра, мм		Модель двигуна
				ВМТ	НМТ	
Audi-80	1998	2597	500	0,04 – 0,05	0,009 - 0,01	ABC V6
BMV 325e	1996	2693	400	0,10 – 0,12	0,03 - 0,05	M 50
Honda Civic	1986	1488	350	0,07 – 0,09	0,02 – 0,03	EW
Mersedes Benz 230	1995	2499	500	0,10 – 0,11	0,01 – 0,03	M102-16V
Mitsubishi Eclipse, L200	1991	1997	320	0,05 – 0,07	0,01 – 0,02	G63B
Opel Record	1999	1796	450	0,07 – 0,08	0,04 – 0,05	18S
Subaru Leone	1985	1298	300	0,12 – 0,13	0,06 – 0,07	EA65
Volkswagen Passat	1992	1896	600	0,12 – 0,14	0,009 – 0,01	1Y Diesel

Математична модель ґрунтується на системі алгебраїчних і диференціальних рівнянь, що відтворюють ключові етапи роботи двигуна: фазу перекриття клапанів, впуск, стиск, процес згоряння, розширення та впуск відпрацьованих газів [4].

Початковими даними для визначення інтенсивності зношування гільзи циліндра у зоні контакту з першим компресійним кільцем (рис. 1) є:

1. Конструктивні параметри двигуна: діаметр циліндра, хід поршня, довжина шатуна, маса поршневої групи та маса шатунної групи.
2. Параметри матеріалів пари "кільце–циліндр": висота та ширина кільця, товщина стінки циліндра, діаметр кільця, еквівалентний модуль пружності для сталєво-чавунної пари тертя, температуропровідність стінки (чавун), коефіцієнти теплопровідності гільзи (чавун) і кільця (сталь).

3. Експлуатаційні умови (режими): частота обертання колінчастого вала, тиск у впускному трубопроводі, нижча теплота згоряння палива, витрата повітря на 1 кг пального, тривалість згоряння, крок розрахунку.

4. Характеристики мастильної рідини: кінематична в'язкість при 150 °С та динамічна в'язкість при 40 °С.

Інтенсивність зношування гільзи циліндра:

$$I_i = Q_{T_i} \cdot P_{e_i} \cdot T_{об} \quad (3.40)$$

де  $Q$  – безрозмірний показник, що відображає температурний стан у зоні тертя (контакт першого компресійного кільця з гільзою циліндра);  $P$  – число Пекле, яке визначає співвідношення між осьовим і радіальним тепловими потоками в області взаємодії пари тертя;  $T_{об}$  – критерій, що описує ступінь нагрівання контактних поверхонь у процесі згоряння палива в циліндрі.

Критерій  $Q_t$  визначають за формулою:

$$Q_{T_i} = \frac{(T_i - 273)^{0,5} \cdot f_i \cdot (P_i \cdot 10^{-6}) \cdot H_k}{\lambda_{ц} + \lambda_k} \quad (3.41)$$

де  $T_i$  – температура стінки циліндру залежно від  $i$ -го кута повороту кривошипа, [К];  $f_i$  – коефіцієнт тертя між верхнім компресійним кільцем та гільзою циліндра залежно від  $i$ -го кута повороту кривошипа;  $P_i$  – тиск газів в циліндрі залежно від  $i$ -го кута повороту кривошипа, [Па];  $H_k$  – висота верхнього компресійного кільця, [м];  $\lambda_{ц}$  – коефіцієнт теплопровідності гільзи циліндра, [Вт/м·°С];  $\lambda_k$  – коефіцієнт теплопровідності верхнього компресійного кільця, [Вт/м·°С];  $i$  – кут повороту кривошипа, [градус].

Число Пекле розраховується наступним чином:

$$P_{e_i} = \frac{V_i^{0,1} \cdot H_k}{\alpha_{ц}} \quad (3.42)$$

де  $V_i$  – лінійна швидкість поршня, що відповідає  $i$ -му куту повороту кривошипа, [м/с];  $H_k$  – висота верхнього компресійного кільця, [м];  $\alpha_{ц}$  – температуропровідність стінки циліндра, [м<sup>2</sup>/с];  $i$  – кут повороту кривошипа, [градус].

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Критерій  $T_{об}$  розраховується за формулою:

$$T_{об} = \frac{V_{р.т.}}{H_k \cdot S} \quad (3.43)$$

де  $V_{р.т.}$  – об'єм робочого тіла в циліндрі, [м<sup>3</sup>];  $H_k$  – висота верхнього компресій- ного кільця, [м];  $S$  – площа тепловідводу поверхні, [м<sup>2</sup>].

Об'єм робочого тіла в циліндрі:

$$V_{р.т.} = \frac{\pi \cdot D_{ц}^2 \cdot L}{4} \quad (3.44)$$

де  $D_{ц}$  – діаметр гільзи циліндра, [м];  $L$  – хід поршня, [м].

Площа тепловідводу поверхні:

$$S = 2\pi \cdot \frac{D_{ц}^2}{2} \cdot L \quad (3.45)$$

Аналіз епюр зносу втулок циліндрів по утворюючій показує наявність яскраво вираженого максимуму у верхній частині, в зоні ВМТ. Згідно одержаній математичній залежності динаміки зміни інтенсивності зношування гільзи, максимальні показники даного параметру характерні при таких робочих процесах двигуна, як стиск паливно-повітряної суміші та її згоряння, що відповідає куту повороту кривошипу 244° - 474°.

Втулка циліндра є однією з найбільш напружених і відповідальних деталей двигуна, яка лімітує термін його служби до капітального ремонту. У зв'язку з цим прогнозування зносу гільзи циліндра в середніх умовах експлуатації авто- мобіля є першочерговим завданням. За допомогою представленої математичної моделі можливо теоретично спрогнозувати знос гільз циліндрів в залежності від пробігу автомобіля, що достовірно збігається з реальними показниками зносу гільз циліндрів при пробігу двигуна до його капітального ремонту (рис. 3.3).

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

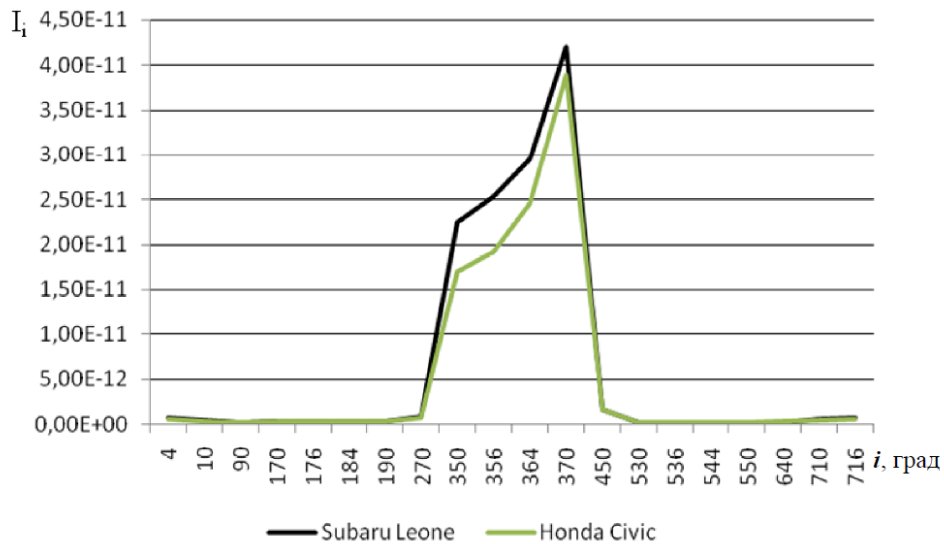


Рисунок 3.3 – Теоретичні та експериментальні залежності зміни зносу гільз циліндрів ДВЗ залежно від пробігу автомобілів

Таким чином, за запропонованою математичною моделлю оцінки інтенсивності зношування гільзи циліндра ДВЗ залежно від параметрів конструкції двигуна, матеріалів кільце – циліндр, умов роботи ДВЗ, властивостей мастильного матеріалу, можливо визначити появу нерівномірного зносу гільзи циліндра по висоті та спрогнозувати ресурс експлуатації автомобіля за максимально допустимим зносом гільз циліндрів залежно від обраної моделі двигуна.

Загальний припуск на обробку (розточування і хонінгування) циліндрів визначають за формулою

$$Z_d = 2(\rho\delta_s + Z_p) + \delta_b, \text{ мм}, \quad (3.46)$$

де  $\delta_s$  - найбільше діаметральне зношення циліндрів, мм;

$\rho = 0,05 \dots 0,07$  мм - коефіцієнт нерівномірності зносу;

$Z_p = 0,04 \dots 0,06$  мм - припуск на сторону, який враховує глибину рисок, царапин, задирів і таке інше, мм;

$\delta_b = 0,02$  - похибка встановлення, мм.

На практиці припуск на обробку при встановленні ремонтного розміру, під який необхідно обробити діаметр циліндра визначають через товщину шару металу, яка знімається при даній обробці:

а) на розточування -  $(0,1 \dots 0,15)$  мм на діаметр;

б) на попереднє хенінгування - 0,06 мм на діаметр;

в) на остаточне хенінгування - 0,02 мм на діаметр.

Всього:  $Z_g=(0,18...0,23)$ мм на діаметр.

### 3.3 Розрахунок інтенсивності зношування

Для найбільш навантаженого і відповідального спряження гільза циліндра – верхнє компресійне кільце встановлені закономірності зношування. В результаті сумування пошкоджень, враховуючи дію дрібних частинок кварцевого піску, отримані наступні співвідношення для оцінки спрацювання кільця і гільзи циліндра карбюраторного двигуна

$$I_{h(2)} = 0,0166 \frac{A_{1(2)} P_{1(2)}}{M_{1(2)}}, \quad (3.47)$$

де  $A_{1(2)}$ ,  $P_{1(2)}$ ,  $M_{1(2)}$  об'єднують три групи чинників, які знаходять із виразів, наведених нижче.

$$A_1 = A_2 = g_{\bar{R}} \left[ 1 - e^{-0,0868 \frac{L}{D} \bar{R}^2} \right] \sigma_{ym}^{2,5} \text{ (характеризує абразивну дію середовища);}$$

$$M_1 = \frac{\varepsilon_{01}^t HB_1^{1,5} HB_2^2}{HB_1 + HB_2} \quad \text{і} \quad M_2 = \frac{\varepsilon_{02}^t HB_1^1 HB_2^{2,5}}{HB_1 + HB_2} \text{ (характеризує фізико-механічні і}$$

втомні властивості матеріалів);

$$P_1 = \frac{Q_T \left( \frac{\alpha_H L_0}{\gamma_{\Pi}} + \frac{1}{\gamma_T} \right)}{Dh_k \operatorname{tg} \theta} \quad \text{і} \quad P_2 = \frac{2Q_T \left( \frac{\alpha_H L_0}{\gamma_{\Pi}} + \frac{1}{\gamma_T} \right)}{DL \operatorname{tg} \theta} \text{ (враховує режим роботи і}$$

конструктивні параметри двигуна на розподіл агентів зношування);

де  $Q_T$  – витрата палива, кг;

$g_{\bar{R}}$  - вагова концентрація пилу середнього ефективного розміру, яка поступає в циліндр з повітрям  $\text{мг/м}^3$ ;

$L$  – хід поршня, мм;

$D$  – діаметр циліндра, мм;

$\bar{R}$  - радіус абразивної частинки середнього ефективного розміру, мкм (для розрахунків прийняти 6,8 мкм);

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$\sigma_{\text{ум}}$  – міцність кварцової частинки,  $\sigma_{\text{ум}} = 40 \text{ кгс/мм}^2$  ;

$\alpha_H$  - коефіцієнт надлишку повітря;

$L_o$  – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг палива;

$\gamma_{\text{п(т)}}$  - густина повітря (палива),  $\text{кг/м}^3$ ;

$h_K$  – висота кільця, мм;

$\theta$  - кут між поверхнями тертя кільця і гільзи циліндра, який визначається непаралельністю поверхонь кільця і гільзи, град

$$\theta = \text{arctg} \frac{2R}{h_K} ;$$

$\text{HB}_{1(2)}$  – твердість за Брінеллем спряжених поверхонь кільця і гільзи циліндра,  $\text{кгс/мм}^2$ ;

$\varepsilon_{01}^t$  і  $\varepsilon_{02}^t$  - величина, яка відповідає числу циклів повторного передформування до відокремлення частинок зносу кільця і гільзи циліндра;  $\varepsilon_{01}$  і  $\varepsilon_{02}$  - відносне видовження матеріалів кільця і гільзи циліндра, %;  $t$ - показник (коефіцієнт) контактної-фрикційної втоми.

Для розрахунку приймається, що

$$g_{\bar{R}} Q_T \left( \frac{\alpha_H L_o}{\gamma_{\text{п}}} + \frac{1}{\gamma_{\text{т}}} \right) = 7,05 \text{ мг} .$$

З метою полегшення громіздких розрахунків була створена програма в середовищі Маткад.

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.4 – Розрахунок інтенсивності зношування поршневих кілець і гільз циліндра ДВЗ

Отримані значення теоретичних розрахунків корелюється з отриманими під час практики значеннями зносу.

					MP. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

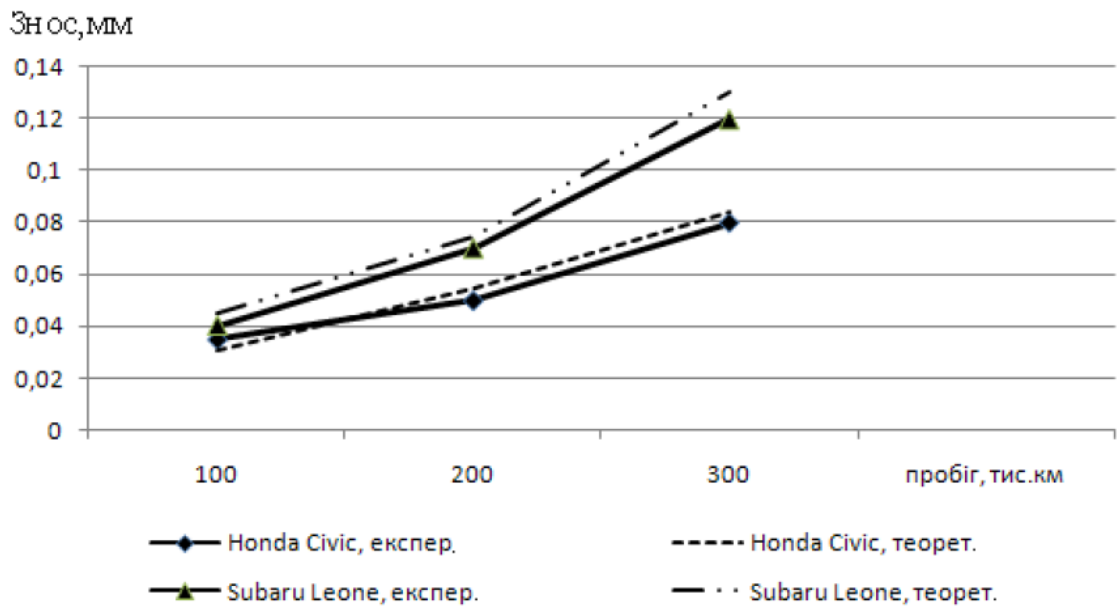


Рисунок 3.5 – Розрахункові значення інтенсивності зношування гільзи циліндра залежно від кута повороту кривошипа в робочому процесі ДВЗ для різних марок автомобілів

### Висновки до розділу 3

В розділі проведено розрахунок зношування поршневих кілець і гільз циліндра. Визначено величини сил, контактних тисків та розраховано величину зносу. Дана методика може бути використана для прогнозування величини зношування і терміну циліндро-поршневої групи.

## РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ НА СТО

### 4.1 Організація та управління охороною праці.

Правовою основою охорони праці на автомобільному транспорті є: - Конституція України; - ЗУ «Про охорону праці»; - ЗУ «Про дорожній рух»; - Правила дорожнього руху України; - Правила охорони праці на автомобільному транспорті ДНАОП 0.00- 1.28-97, які затверджені Наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці (тепер – Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничому нагляду) від 13.01.97 №5, та які погодженні листом Міністерства транспорту і зв'язку України від 11.06.96 №6/22–17- 2907 і які введені в дію 1.10.1997; - Санітарні правила з гігієни праці водіїв автомобілів; - Правила перевезень вантажів автомобільним транспортом України; - Правила технічної експлуатації рухомого складу автомобільного транспорту; - Норми технологічного проектування підприємств автомобільного транспорту ОНТП 01-91; - ГОСТ 12.4.026-76 «Сигнальні кольори і знаки безпеки» - Положення про профілактичне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту. Для ефективного здійснення автомобільних перевезень необхідне суворе дотримання діючих на автомобільному транспорті правил охорони праці. Автомобіль є джерелом підвищеної небезпеки, і до його експлуатації пред'являються підвищені вимоги. Тому актуальним та важливим в контексті вивчення автомобільних перевезень є розгляд питання про організацію роботи з охорони праці на автомобільному транспорті. Загальне керівництво роботою по охороні праці згідно Закону України «Про охорону праці» в цілому на підприємстві покладається на його власника (керівника). Основні обов'язки і права адміністративно-технічного персоналу по охороні праці містяться в галузевих Правилах з охорони праці і посадових інструкціях. На створення безпечних умов праці витрачаються великі суми, які з року в рік зростають. На підприємствах, крім директора і головного інженера, відповідальних за виконання завдань по створенню безпечних умов праці, є інженери з охорони праці, які проводять систематичну роботу по техніці безпеки і виробничої санітарії. За забезпеченням

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

безпечних умов праці ведуть нагляд Прокуратура України, Державтоінспекція, Держгірпромнагляд і технічна інспекція ради профспілок. Окрім державного контролю за дотриманням трудового законодавства, велика роль відводиться громадським організаціям. При місцевих комітетах профспілок створюються суспільні комісії з охорони праці і техніки безпеки, в яких є представники всіх цехів і підрозділів підприємства. Ці комісії ведуть спостереження за виконанням всіх заходів щодо техніки безпеки і виробничої санітарії, своєчасно дають пропозиції по поліпшенню умов праці і вимагають усунення причин травматизму і захворювань. Для організації роботи, направленої на попередження нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах з кількістю працівників 50 чоловік і більше, повинна бути створена служба охорони праці. На підприємствах з кількістю працівників менше 50 чоловік функції цієї служби можуть виконувати осіб з відповідною професійною підготовкою за сумісництвом. На підприємствах загальна чисельність фахівців служби охорони праці встановлюється залежно від загального числа працівників, небезпеки і 93 шкідливості виробничих процесів, кількості окремо розташованих від основної бази автоколон. Рекомендується при чисельності працівників: від 50 до 500 чоловік в службу охорони праці включати одного фахівця, від 501 до 1000 – двох фахівців, більше 1000 чоловік – трьох фахівців. За наявності двох і більш автоколон розташованих окремо від основної бази, в службу охорони праці підприємства доцільно включати додатково ще одного фахівця. Служба охорони праці підприємства підпорядковується безпосередньо його керівникові і прирівнюється до основних виробничо-технічних служб. Ліквідація служби охорони праці допускається тільки у разі ліквідації підприємства. Робота служби охорони праці здійснюється відповідно до Положення про службу охорони праці підприємства, розробленим на підставі Типового положення про службу охорони праці (Із змінами, внесеними згідно з Наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду N 236 від 02.10.2007 з урахуванням специфіки виробництва і затвердженим власником. Управління охороною праці на підприємстві здійснюється відповідно до Системи управління охороною праці,

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

підприємства. У положеннях про структурні підрозділи (службах, відділах і тому подібне) підприємства і в посадових інструкціях працівників повинні бути визначені конкретні обов'язки, має рацію і відповідальність за виконання покладених на них функцій з питань охорони праці. На підприємствах з кількістю працівників 50 чоловік і більш з метою залучення представників власника і трудового колективу до співпраці в галузі управління охороною праці, узгодженого вирішення питань, що виникають в цій області, створюється комісія з питань охорони праці, діяльність якої здійснюється відповідно до Типового положення про службу охорони праці. Всі працівники при прийомі на роботу у в процесі роботи повинні проходити навчання (інструктаж) з питань охорони праці відповідно до 94 Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці, яке затверджено Наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду N 15 26.01.2005. Працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою, і інших роботах, передбачених Переліком робіт з підвищеною небезпекою, повинні проходити попереднє спеціальне навчання і один раз в рік перевірку знань відповідних нормативних актів про охорону праці. Для виконання робіт з підвищеною небезпекою власник наказом по підприємству встановлює відповідальних керівників по безпечному їх проведенню. На роботи з підвищеною небезпекою повинні бути розроблені і вивішені на робочих місцях технологічні карти і забезпечено їх виконання. Посадові особи відповідно до Переліку посадових осіб, які зобов'язані проходити попередню і періодичну перевірку знань з охорони праці, до початку виконання своїх обов'язків і періодично один раз в три роки проходять в установленому порядку навчання, а також перевірку знань з охорони праці в органах галузевого або регіонального управління охороною праці. Допуск до роботи осіб, що не пройшли навчання, інструктаж, стажування і перевірку знань з охорони праці, забороняється. Для проведення навчання (інструктажу), надання методичної допомоги працівникам з питань охорони праці, а також пропаганди безпечних методів праці на кожному підприємстві з кількістю працівників 100 і більше, повинні бути створені кабінети охорони праці. На

					MP. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

підприємствах з меншою кількістю працівників, а також в окремо розташованих автоколонах і виробництвах створюються кабінети з охорони праці. На підприємстві повинне бути забезпечене проведення попереднього (при прийомі на роботу) і періодичних (впродовж трудової діяльності) медичних оглядів працівників. Порядок проведення медичних оглядів здійснюється відповідно до Положення про медичний огляд працівників певних категорій, яке затверджене Наказом Міністерства охорони здоров'я 95 України N 45 від 31.03.94. При укладенні трудового договору громадянин повинен бути проінформований власником під розписку про умови праці на підприємстві, наявності на робочому місці, де він працюватиме, небезпечних і шкідливих виробничих чинників, ще не усунених, можливі наслідки їх впливу на здоров'я, про його права на пільги і компенсації за роботу в таких умовах відповідно до законодавства і колективного договору. На робочих місцях працівників повинна здійснюватися атестація умов праці відповідно до Порядку проведення атестації робочих місць за умовами праці, затвердженого Постановою Кабінету міністрів України N 442 від 1 серпня 1992 р. і Методичних рекомендацій для проведення атестації робочих місць за умовами праці затверджених Постановою Кабінету міністрів України N 442 від 1 серпня 1992 р. Атестації підлягають робочі місця, устаткування і матеріали можуть бути потенційними джерелами шкідливих і небезпечних чинників. На підприємстві повинне бути організоване безкоштовне забезпечення працівників спеціальним одягом, взуттям і іншими засобами індивідуального захисту відповідно до Типових галузевих норм затверджених наказом Міністерством праці та соціальної політики України N 115 від 10.06.98 ,або інших відомчих нормативних актів. На підприємстві повинен бути встановлений час, необхідний для упорядкування засобів виробництва, індивідуального захисту, а також особистої гігієни. Розслідування нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, що відбулися на виробництві, повинне проводитися згідно Положенню про розслідування і облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах, в установах і організаціях , яка затверджена Постановою Кабінету міністрів України N 623 від 10 серпня 1993 р. Про кожен нещасний випадок потерпілий, очевидець

					MP. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

або працівник, що виявив його, повинні доповісти безпосередньому керівникові (начальникові 96 колони, майстрові, бригадирові) або іншому керівникові. Підприємства повинні інформувати працівників про стан охорони праці, причини аварій, нещасних випадків і професійних захворювань і про заходи, застосовані по їх усуненню і забезпеченню умов і безпеки праці на рівні нормативних вимог. Всі особи, що поступають на роботу, проходять вступний інструктаж з техніки безпеки і виробничої санітарії, який є першим етапом навчання техніці безпеки. Другим етапом навчання є інструктаж на робочому місці з метою засвоєння робочим безпечних прийомів праці безпосередньо за фахом і на тому робочому місці, де винен він працювати. Проводять цей інструктаж майстер цеху або механік колони. При виконанні робіт підвищеної небезпеки (до яких відносяться і водії), проводяться повторні інструктажі через певні проміжки часу, а також в кожному випадку порушення техніки безпеки. Виробничий травматизм виникає унаслідок недоліків організації праці, зневаги правилами техніки безпеки і виробничої санітарії і відсутності належного контролю за їх виконанням. До виробничого травматизму відносяться: каліцтва, поранення, опіки, поразки електричним струмом, професійні отруєння і захворювання, пов'язані з виконанням своїх обов'язків на виробництві. Найбільш характерними причинами виникнення нещасних випадків є відсутність або недостатній інструктаж персоналу про правила безпеки, несправність устаткування, пристосування і інструменту або його невідповідність до умов виконання робіт, відсутність огорож, написів, невідповідний спецодяг, недостатнє освітлення, низький рівень технічної культури виробництва. Усунення вказаних недоліків сприяє різкому поліпшенню умов праці і, отже, зниженню травматизму.

#### **4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при ремонті та обслуговуванні автомобілів.**

Під час роботи двигуна автомобіля, особливо при неправильному регулюванні системи живлення, разом з відпрацьованими газами в атмосферу виділяються токсичні речовини, що може привести до отруєнь. Отруєння організму

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

людини може бути хронічним, таким, що розвивається поступово під дією токсичних речовин, що поступають в організм в малих концентраціях, і гострим — що виникає при раптовому попаданні в організм великих порцій токсичної речовини. Небезпечними є і простудні захворювання, що виникають із-за невідповідного одягу і поганих умов роботи. Найбільш поширеними токсичними речовинами, що зустрічаються в практиці роботи автомобільне транспортне підприємство (ПАТ), є: тетраетилсвинець, окисел вуглецю, акролеїн, оксиди азоту, кислоти, луи, бензин, ацетон, антифриз і ін. Щоб не допустити отруєння вказаними речовинами, необхідно постійно вентилювати приміщення, де можлива їх поява. Не можна допускати використання шкідливих речовин, зокрема бензину, дизельного палива і інших для миття рук, одягу, деталей; зберігати отруйні речовини слід в спеціально виділеному для цієї мети посуді окремо від інших рідин. Робота автомобільного двигуна в закритих приміщеннях допускається тільки для заїзду і виїзду автомобіля за умови, що приміщення вентилюється. Кабіна водія повинна бути захищена від проникнення відпрацьованих газів. Необхідно стежити також, щоб система випуску відпрацьованих газів була герметична. За відсутності вентиляції може наступити хронічне отруєння, в цьому випадку з'являється головний біль, запаморочення, поганий сон. Отруєння може привести до втрати свідомості, якщо концентрація окислу вуглецю складе 0,65 міліграм і більш на 1 л повітря. Смертельним вважається зміст 2,5 міліграм окислу вуглецю на 1 л повітря. Якщо зміст акролеїну набуває 0,07 міліграм на 1 л повітря, то людина може перенести таку концентрацію не більше 1 хв. 98 Великий вплив на здоров'я працівників і продуктивність праці надає температурний режим під час роботи. Високі температури викликають тепловий удар, низькі температури можуть привести до обмороження. Не можна для обігріву під час відпочинку в кабіні використовувати працюючий двигун, оскільки може наступити отруєння газом. Правильне і достатнє освітлення робочих місць і виробничих приміщень сприяє попередженню травматизму і підвищенню продуктивності праці, інакше робітник вимушений близько нахилитися до хімічно шкідливих продуктів, що збільшує небезпеку травматизму, отруєння і пошкодження очей. Позитивний вплив на

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

попередження виробничого травматизму і підвищення продуктивності праці має культура виробництва і технічна естетика. Наявність справних інструментів, необхідних пристосувань, зручність їх розміщення, на робочому місці, чистота, тон забарвлення устаткування і приміщень, правильний підбір освітлення, озеленення приміщень і території — всі ці елементи технічної естетики повинні бути властиві сучасному автомобільно-транспортному підприємству при високій науковій організації праці водія. Приміщення гаража і територію відкритої стоянки автомобілів потрібно ретельно прибирати, на території стоянки не можна зберігати предмети, не що відносяться до устаткування їх, а використані обтиральні матеріали необхідно зберігати поза приміщенням в спеціально призначених для цієї мети металевих ящиках. Зберігання палива і змащувальних матеріалів допускається тільки в спеціальній тарі і у вогнестійкому приміщенні або в цистернах, уритих в землю. Приміщення, де виконують технічне обслуговування і ремонт автомобілів, повинні бути добре освітлені і міститися в чистоті. Забороняється технічне обслуговування не очищених від бруду автомобілів. Робочі місця потрібно також ретельно прибирати, а верстати і інше устаткування необхідно забезпечити надійними запобіжними пристроями. 99 Прибирають робочі місця і приміщення при непрацюючих верстатах, механізмах і іншому устаткуванні. Виходячи з вимог техніки безпеки і охорони праці на території автотранспортного підприємства повинен бути встановлений чіткий порядок руху автомобілів, а також заборонено управління автомобілем особам, що не мають посвідчення водія. Схема руху, дозволена швидкість і небезпечні ділянки указуються дорожніми знаками і зображуються на щитах, що встановлюються на території автомобільно-транспортного підприємства. При експлуатації автомобіля на лінії водій відповідає за дотримання правил техніки безпеки всіма особами, пов'язаними з роботою на ньому. Якщо при виконанні транспортної роботи створюються умови, не відповідні вимогам техніки безпеки, водій зобов'язаний припинити роботу, повідомити про це адміністрації ПАТ і без дозволу не відновлювати її. Виїжджати на лінію водій має право тільки на справному автомобілі; перевезення людей в кузові автомобіля допускається з дозволу

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

адміністрації і лише тих, хто пов'язаний з виконанням транспортної роботи. Несправний автомобіль потрібно буксирувати за допомогою сталевого троса або металевої штанги з обов'язковим дотриманням вимог Правил дорожнього руху в Україні. Неукомплектовані автомобілі всіх марок і типів не допускаються до експлуатації. Технічний стан автомобіля повинен повністю відповідати вимогам Правил дорожнього руху в Україні. Автомобіль-цистерна, що перевозить горючі рідини, повинен мати не менше два густо-пінних вогнегасників, металеві ланцюжки для заземлення, пристосування для кріплення шлангів в неробочому стані. Випускна труба глушника виводиться вперед праворуч по ходу з нахилом випускного отвору вниз. Люки і крани повинні бути справні і не мати підтікань. Бортовий автомобіль, призначений для перевезення легкозаймистих, вогненебезпечних і вибухових вантажів в тарі, повинен мати випускну трубу, виведену управо по ходу (під радіатор) з нахилом вихідного отвору вниз, і 100 два густо-пінних вогнегасника. На автомобілях, що перевозять вогненебезпечні вантажі, повинен бути напис «Вогненебезпечно». Всі роботи, передбачені технічним обслуговуванням або пов'язані з ремонтом автомобіля, дозволяється виконувати тільки на спеціально обладнаних постах. При цьому автомобіль повинен бути надійно загальмований, а двигун обов'язково вимкнений і повішений попереджувальний плакат «Двигун не пускати — працюють!». Якщо при виконанні вказаних робіт автомобіль необхідно підняти на домкрат або гідравлічний підйомник, то працювати під ним можна тільки поставивши під нього козелки або надійний упор. Важкі агрегати дозволяється піднімати механізмами, перевіряти двигуни слід тільки в приміщеннях, обладнаних пристосуваннями для відсмоктування відпрацьованих газів, а гальма — на майданчиках, обладнаних для цієї мети. При роботі на автомобілі, що знаходиться на підйомнику, слід перевірити блокування підйомника на самоопускання, і встановити упори. На механізм управління підйомником потрібно повісити попереджувальний плакат «Не включати — працюють люди!». Всі особи, зайняті на вантажно-розвантажувальних роботах, повинні строго дотримувати вимоги техніки безпеки. Навантаження і розвантаження потрібно виконувати із застосуванням механізмів, призначених для

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

цієї мети. Ніхто не повинен знаходитися в радіусі вильоту стріли вантажного механізму. Автомобіль, що знаходиться під вантаженням або розвантаженням, потрібно загальмувати; водій не має права відлучатися від місця вантаження або розвантаження. Якщо автомобіль встановлюють для завантаження з бункера, то під'їжджати під нього слід заднім ходом, орієнтуючись по встановлених обмежувачах, а центр кузова потрібно розташувати під отвором бункера. При вантажно-розвантажувальних роботах забороняється виконувати ремонтні роботи, огляд і операції технічного обслуговування. Завантажені на автомобіль контейнери необхідно добре закріпити, не допускаючи їх переміщення в кузові. Центр тяжіння автомобіля, завантаженого контейнерами (особливо високими), знаходиться значно вищим. Враховуючи це, водієві автомобіля, що перевозить контейнери, потрібно рухатися і гальмувати плавно, на поворотах зменшувати швидкість руху. Заборонено перевозити пасажирів в кузові разом з контейнерами. При перевезенні добрив, отрутохімікатів і гербіцидів існує небезпека поразки (отруєння) водіїв і вантажників, тому при перевезенні таких вантажів необхідно дотримувати низку заходів обережності. Отрутохімікати і небезпечні для здоров'я оточуючих добрива слід перевозити тільки в спеціальній тарі, що має етикетку. Етикетки виготовляють незмивною фарбою і на них повинна бути нанесена повна назва вантажу. На тару наносять напис «Отрута». Навантаження і розвантаження отруйних речовин потрібно виконувати з навітряного боку. Кабіна водія при навантаженні або розвантаженні щільно закривається, а водій виходить і знаходиться осторонь. Вантажники і водії повинні проходити інструктаж з правил безпеки при поводженні з отрутохімікатами і отруйними речовинами, вантажники, які виконують навантаження і розвантаження отрут і отруйних речовин, повинні надягати пилонепроникний одяг, мати респіратор і протипилові окуляри, При перевезенні отрутохімікатів, добрив і гербіцидів забороняється перевозити людей в кузовах цих автомобілів. Рідкі отрутохімікати забороняється перевозити в туман і ожеледь. Автомобілі, зайняті під перевезення рідких добрив, розміщуються окремо від інших і після перевезення отрутохімікатів і добрив піддаються прибиранню і дезінфекції. Бензин — це легкозаймиста вогненебезпечна рідина, що

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

викликає роздратування при попаданні на шкіру. Поводитися з бензином і тарою з-під нього слід з особливою обережністю, оскільки пари, що залишилися в тарі є легкозаймистими. Крім того, слід знати, що в етильованому бензині є сильнодіючий тетраетилсвинець, що викликає важке отруєння організму. 102

Заправляти автомобіль етильованим бензином з відра категорично забороняється. Не допускається миття рук, деталей і одягу етильованим бензином. При заправлянні автомобіля етильованим бензином на заправних колонках, слід знаходитися з навітряного боку, а при ремонті деталей двигуна, що працює на етильованому бензині, необхідно їх занурити в гас на 10...20 мін для знешкодження тетраетилсвинця, що відклався на них. Етильований бензин, що потрапив на шкіру, знешкоджується промиванням ділянки шкіри або одягу гасом або теплою водою з милом. При попаданні етильованого бензину в очі їх необхідно промити 2%-ним розчином соди або теплою водою, а потім звернутися до лікувальної установи. Для знешкодження етильованого бензину можна використовувати хлорне вапно, розчинене теплою водою. Використання сухого вапна для цієї мети неприпустимо. Ділянку, на якій був пролитий етильований бензин, посипають піском, потім змитають його і наносять рівномірний шар кашки з хлорної винищити (1,5 л на 1 м<sup>2</sup>); через 4...5 ч вапно можна змивати. Враховуючи отруйність етильованого бензину, персонал, що має зіткнення з ним, повинен працювати тільки в спецодязі і спецвзутті, якими він забезпечується за рахунок підприємства, і мати при собі засоби індивідуального захисту. До всіх робочих місць на ПАТ, де використовують етильований бензин, підводиться тепла вода; крім того, вони забезпечуються ємностями з гасом, милом, чистим дрантям і рушниками. Необхідно знати, що пари етильованого бензину не менш отруйні, чим сам бензин, тому категорично забороняється вживання їжі у виробничих приміщеннях, де працюють з етильованим бензином, і вихід в спецодязі в інші приміщення. Засмокування етильованого бензину через шланг неприпустимо. Поводження з антифризом вимагає особливої обережності, оскільки він містить в собі сильнодіючу отруйну рідину — етилгліколь, яка при попаданні в організм приводить до важкого отруєння. Правилами застосування 103 антифризу забороняється видача його у

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

відкритий посуд, а заправка ним автомобілів на роздавальних колонках проводиться безпосередньо в систему охолодження двигуна. Переливати антифриз з однієї ємкості в іншу дозволяється тільки за допомогою спеціальних призначених для цієї мети насосів. На всіх ємностях і тарі, в якій зберігають антифриз, повинна бути добре помітний напис «Отрута», що наноситься незмивною фарбою, а пробки і горловина повинні бути запломбовані незалежно від того, чи є в ній антифриз чи немає. Після операцій, зв'язаних із застосуванням антифризу, необхідно добре промити руки з милом. Кислоти зберігають і транспортують в скляних бутлях з притертими пробками. Пляшки поміщають в лозові корзини з м'якою деревною стружкою. Зверху корзини закриті конічними кришками, виготовленими також з лози. При перенесенні бутлів використовують носилки і візки з гніздами. Необхідно пам'ятати, що кислоти при попаданні на шкіру викликають опік. Нітрофарба, ацетон і інші розчинники виділяють пари, які при вдиханні можуть викликати отруєння, а при попаданні на шкіру — роздратування і опіки. Проводити фарбування автомобілів потрібно в добре вентильованих приміщеннях. Після роботи з кислотами і нітрофарба і їх розчинниками потрібно ретельно мити руки теплою водою з милом. Можна зробити висновок, що найбільш характерними причинами виникнення нещасних випадків є відсутність або недостатній інструктаж персоналу про правила безпеки, порушення технологічного процесу, несправність устаткування, пристосування і інструменту або його невідповідність умовам виконуваних робіт, відсутність огорож, написів, невідповідний спецодяг, недостатнє освітлення, низький рівень технічної культури виробництва. Усунення вказаних недоліків сприяє різкому поліпшенню умов праці і, отже, зниженню травматизму.

					МР. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

### Висновки до розділу 4

В розділі описано правила техніки забезпечення яких на СТО має визначальне значення для збереження життя та запобігання травматичним ситуаціям, дотримання встановлених норм безпеки сприяє зниженню травматизму серед працівників, і забезпечує довговічність обладнання та підвищує загальну продуктивність. Застосування ефективних правил техніки безпеки на підприємстві є ключовим елементом стабільного та відповідального виробництва.

					MP. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі: Моделювання зношування поршневого кільця і гільзи циліндра двигуна на прикладі автомобілів, що обслуговуються на станції технічного обслуговування "Profigas", м. Івано-Франківськ, описано технічні характеристики базової моделі автомобіля. В розділі 2 описується умови роботи поршневих кілець та гільз циліндрів автомобіля я на основі аналізу літературних джерел. О Проаналізовано специфіку їх роботи та дано рекомендації щодо продовження терміну служби даної деталі.

В розділі 3 проведено розрахунок зношування поршневих кілець та гільз циліндрів. Визначено величини сил, контактних тисків та розраховано величину зносу. Дана методика може бути використана для прогнозування величини зношування і терміну роботи циліндро-поршневої групи.

У розділі безпека праці описано основні правила техніки безпеки при проведенні роботі на підприємствах що пов'язані з автомобільним транспортом відповідно до чинних законодавчих вимог. Описано заходи що протидіють уникненню пожеж на підприємствах та алгоритм дій у разі виникнення пожежі, наведено порівняльну таблицю класифікації пожеж в залежності від фізико-хімічних властивостей.

					MP. ATm – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Profigas Івано-Франківськ. Електронний ресурс.

Режим доступу: [https:// bogdanauto.com.ua/](https://bogdanauto.com.ua/)

2. Della Gatta, A.; Iannelli, L.; Pisaturo, M.; Senatore, A.; Vasca, F. A Survey on Modeling and Engagement Control for Automotive Dry Clutch. *Mechatronics* 2018, 55, 63–75. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
3. Chennai Viswanathan, P.; Banerjee, A.; Sridharan, N.V.; Chakrapani, G.; Vaithyanathan, S. Advancing Automobile Dry Clutch Fault Diagnosis through Innovative Imaging Techniques and Vision Transformer Integration. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 2025, 242, 115975. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
4. Jabbar, N.A.; Hussain, I.Y.; Abdullah, O.I.; Mohammed, M.N. An Experimental Investigation and Numerical Analysis of the Thermal Behavior of a Clutch System Using the Frictional Facing of Functionally Graded Materials. *Designs* 2023, 7, 125. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
5. Hjelm, R.; Wahlström, J.; Yenibayrak, I.; Sabani, D.; Runsten, P.; Lyu, Y. Airborne Wear Particles from Dry Clutches. *Atmosphere* 2022, 13, 1700. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
6. Dolcini, P.J.; Canudas de Wit, C.; Béchart, H. Dry Clutch Control for Automotive Applications. In *Advances in Industrial Control*; Springer: London, UK, 2010; Volume 16, ISBN 978-1-84996-067-0. [[Google Scholar](#)]
7. Jabbar, N.A.; Hussain, I.Y.; Abdullah, O.I. Numerical Simulation of Dry Friction Clutch Thermal Behavior with Different Friction Materials. *AIP Conf. Proc.* 2023, 2651, 0105422. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
8. Majeed, M.H.; Kadhim, D.E.; Abdullah, O.I.; Schlattmann, J. Numerical Analysis of Thermal Problem in Dry Friction Clutches Based on the Interactive Design Approach. *Int. J. Interact. Des. Manuf.* 2020, 14, 1091–1101. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
9. Senatore, A.; D’Agostino, V.; Giuda, R.; Petrone, V. Experimental Investigation and Neural Network Prediction of Brakes and Clutch Material Frictional Behaviour Considering the Sliding Acceleration Influence. *Tribol. Int.* 2011, 44, 1199–1207. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
10. Al-zubaidi, S.S.; Abdullah, O.I. Investigation of thermal influence on the frictional. *J. Balk. Tribol. Assoc.* 2020, 26, 14–29. [[Google Scholar](#)]
11. Khurmi, R.S.; Gupta, J.K. *Theory of Machines*; S. Chand & Co., Ltd.: New Dehli, India, 2005; ISBN 9788121925242. [[Google Scholar](#)]
12. Harish, K.; Kumar, Y.D. Optimization of Friction Clutch for Various Friction Materials. *Int. J. Res.* 2017, 04, 3493–3498. [[Google Scholar](#)]
13. Yu, L.; Ma, B.; Chen, M.; Li, H.; Ma, C.; Liu, J. Comparison of the Friction and Wear Characteristics between Copper and Paper Based Friction Materials. *Materials* 2019, 12, 2988. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
14. Zhang, X.; Li, K.Z.; Li, H.J.; Fu, Y.W.; Fei, J. Tribological and Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Paper-Based Composite Friction Material. *Tribol. Int.* 2014, 69, 156–167. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

					MP. АТМ – 62.00.00.000 ПЗ	Арк. 55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Wu, B.; Qin, D.; Hu, J.; Wang, X.; Wang, Y.; Lv, H. Analysis of Influencing Factors and Changing Laws on Friction Behavior of Wet Clutch. *Tribol. Int.* 2021, 162, 107125. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
16. Poser, K.; Gahr, K.H.Z.; Schneider, J. Development of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Based Ceramics for Dry Friction Systems. *Wear* 2005, 259, 529–538. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
17. Wu, B. Friction Coefficient of Wet Clutches as a Function of Service Mileage. *Lubricants* 2024, 12, 147. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
18. Li, M.; Khonsari, M.M.; McCarthy, D.M.C.; Lundin, J. Parametric Analysis for a Paper-Based Wet Clutch with Groove Consideration. *Tribol. Int.* 2014, 80, 222–233. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
19. Biczó, R.; Kalácska, G.; Mankovits, T. Effects of Automotive Test Parameters on Dry Friction Fiber-Reinforced Clutch Facing Surface Microgeometry and Wear. *Polymers* 2021, 13, 3896. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
20. Wongpayakyotin, A.; Jubsilp, C.; Tiptipakorn, S.; Mora, P.; Bielawski, C.W.; Rimdusit, S. Effects of Alkyl-Substituted Polybenzoxazines on Tribological Properties of Non-Asbestos Composite Friction Materials. *Polymers* 2021, 13, 567. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
21. Bijwe, J. Composites as Friction Materials: Recent Developments in Non-asbestos Fiber Reinforced Friction Materials—A Review. *Polym. Compos.* 1997, 18, 378–396. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
22. Kumar, M.; Bijwe, J. Non-Asbestos Organic (NAO) Friction Composites: Role of Copper; Its Shape and Amount. *Wear* 2011, 270, 269–280. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
23. Kubiak, K.J.; Mathia, T.G.; Fouvry, S. Interface Roughness Effect on Friction Map under Fretting Contact Conditions. *Tribol. Int.* 2010, 43, 1500–1507. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
24. Fernandes, G.; Zannotto, P.; Sinatora, A. The Role of Counter-Face Roughness on the Tribological Performance of a Clutch System Tested with a Pin-on-Disc Tribometer. *Lubricants* 2016, 4, 18. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
25. Gurney, K. *An Introduction to Neural Networks*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2014; ISBN 0203451511. [[Google Scholar](#)]
26. Vega-Carrillo, H.R.; Hernandez-Davila, V.M.; Manzanares-Acuna, E.; Gallego, E.; Lorente, A.; Iniguez, M.P. Artificial Neural Networks Technology. *Radiat. Prot. Dosim.* 2007, 126, 408–412. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
27. Hui, C.-L. *Artificial Neural Networks—Applications*; IntechOpen: London, UK, 2011; ISBN 978-953-307-188-6. [[Google Scholar](#)]
28. Hangan Martin, T.; Demuth Howard, B. *Beale Mark Neural Network Design*; PWS Publishing Company: Beijing, China, 2002; ISBN 7-111-10841-8. [[Google Scholar](#)]
29. Chan, D.; Stachowiak, G.W. Review of Automotive Brake Friction Materials. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.* 2004, 218, 953–966. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

					MP. АТМ – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

30. Öztürk, B.; Ztürk, S.Ö.; Adigüzel, A.A. Effect of Type and Relative Amount of Solid Lubricants and Abrasives on the Tribological Properties of Brake Friction Materials. Tribol. Trans. 2013, 56, 428–441. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)].

					MP. АТм – 62.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ДОДАТОК А

**Метою магістерської роботи** є аналіз трибологічних процесів, які мають місце в циліндро-поршневій групі двигунів внутрішнього згорання.

**Об'єкт дослідження** об'єктом дослідження є поршневі кільця та гільзи циліндрів ДВЗ легкових автомобілів.

**Предмет дослідження** навантаження та величини зносу поршневих кілець та гільз циліндрів.

**Методи дослідження** аналіз наявних літературних джерел, проведення математичних розрахунків замірювання розмірних параметрів та аналіз результатів замірів.

**Наукова новизна результатів роботи** застосовано методику аналізу трибологічних процесів для визначення терміну роботи поршневих кілець та гільз циліндрів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати наведені в роботі будуть корисні при виконанні робіт на підприємстві з метою оптимізації зміни окремих деталей ДВЗ.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська роботи викладена у 4 розділах пояснювальної записки, всі розділи супроводжуються висновками, а також розроблена графічна частина презентації.

## ДОДАТОК Б



Рисунок 1 – станція ТзОВ «Profigas» Івано-Франківськ, вул.Тролейбусна 37

## ДОДАТОК В

Коротка технічна характеристика автомобіля Honda Civic 4D 1.6 i-VTEC (125 к.с.)

Динаміка та витрата:

Максимальна швидкість, км/год.: 196.

Час розгону (0-100 км/год), з: 11.5.

Витрата палива (міський цикл), л. на 100 км: 8.7.

Витрата палива (заміський цикл), л. на 100 км: 4.9.

Витрата палива (змішаний цикл), л. на 100 км: 6.3.

Норма токсичності: Euro VI.

Двигун:

Двигун: 1.6 i-VTEC.

Код двигуна: R16B.

Тип двигуна: ДВЗ.

Тип палива: Бензин.

Об'єм двигуна, куб.см: 1597.

Розташування циліндрів: Рядне.

Кількість циліндрів: 4.

Кількість клапанів: 16.

Ступінь стиску: 10.7:1.

Потужність, к.с.: 125.

Оберти макс. потужності, об./хв.: 6500.

Крутний момент, Нм: 152.

Оберти макс. моменту, об./хв.: 4300.

Габарити:

Кількість місць: 5

Довжина, мм: 4648

Ширина, мм: 2075

Ширина (без дзеркал), мм: 1799

Висота, мм: 1416.

Колісна база, мм: 2700.

Колія передніх коліс, мм: 1547.

Колія задніх коліс, мм: 1563.

Споряджена маса, кг: 1352.

Повна маса, кг: 1740.

Об'єм багажника, л: 519.

Об'єм паливного бака, л: 46.

Діаметр розвороту, м: 10.6.

Кліренс, мм: 124.

Коробка та привід:

Коробка передач: CVT.

Автоматична КПП.

Тип коробки: Варіатор.

Фірма КПП: Honda.

Привід: Передній.



Рисунок 2 – Загальний вигляд автомобіля Honda Civic 4D 1.6 i-VTEC (125 к.с.)

## ДОДАТОК Г

Коротка технічна характеристика автомобіля Subaru Leone III 1.8 AT.

Загальна інформація:

Автомобільний бренд Subaru.

Модель Leone.

Покоління III.

Модифікація 1.8 AT.

Країна марки Японія.

Клас автомобіля С.

Тип кузова:

Кількість дверей 4.

Кількість місць 5.

Розміри:

Довжина, мм 4,370.

Ширина, мм 1,660.

Висота, мм 1,385.

Колісна база, мм 2,470.

Коля передня, мм 1,425.

Коля задня, мм 1,425.

Дорожній просвіт, мм 165.

Маса і об'єм:

Об'єм багажника мінімальний, л. 360.

Об'єм багажника максимальний, л. 360.

Об'єм топливного бака, л. 60.

Трансмісія:

Тип КПП автомат.

Кількість передач 4.

Привід повний привід.

Експлуатаційні показники.

Двигун:

Тип двигуна бензин.

Розташування двигуна центральне.

Система живлення розподілене уприскування (багатоточковий).

Тип наддуву немає.

Об'єм двигуна, см<sup>3</sup> 1,781.

Потужність 95 к.с.

Потужність, (кВт) 70.

Обертаючий момент 140 Нм.

При обертах на хвилину 5200.

Розташування циліндрів опозитне.

Кількість циліндрів 4.

Діаметр циліндра та хід поршня 92 × 67 мм.

Ступінь стиснення 7.7.

Підвіска та гальма.

Тип передньої підвіски незалежна, пружинна.

Тип задньої підвіски незалежна, пружинна.

Передні гальма дискові вентильовані.



Рисунок 3 – Коротка технічна характеристика автомобіля Subaru Leone III 1.8 AT.

## ДОДАТОК Д

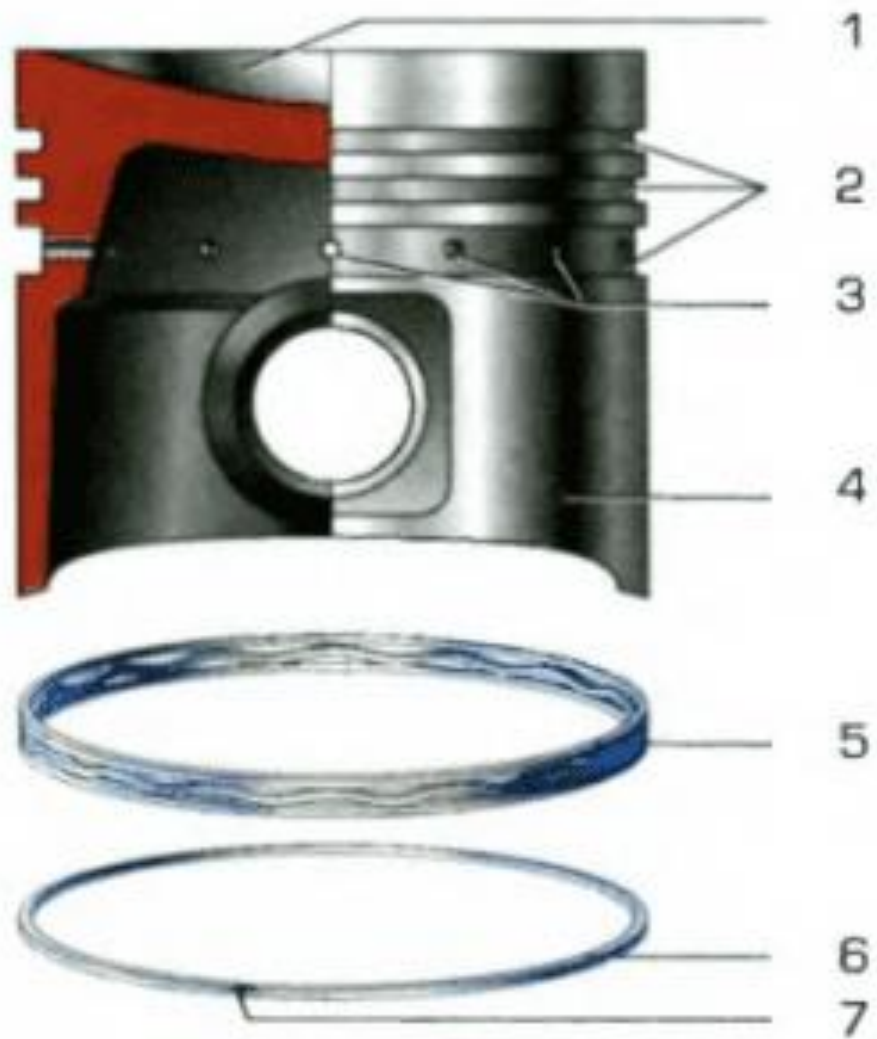


Рисунок 4 – Поршень з поршковими кільцями

## ДОДАТОК Е

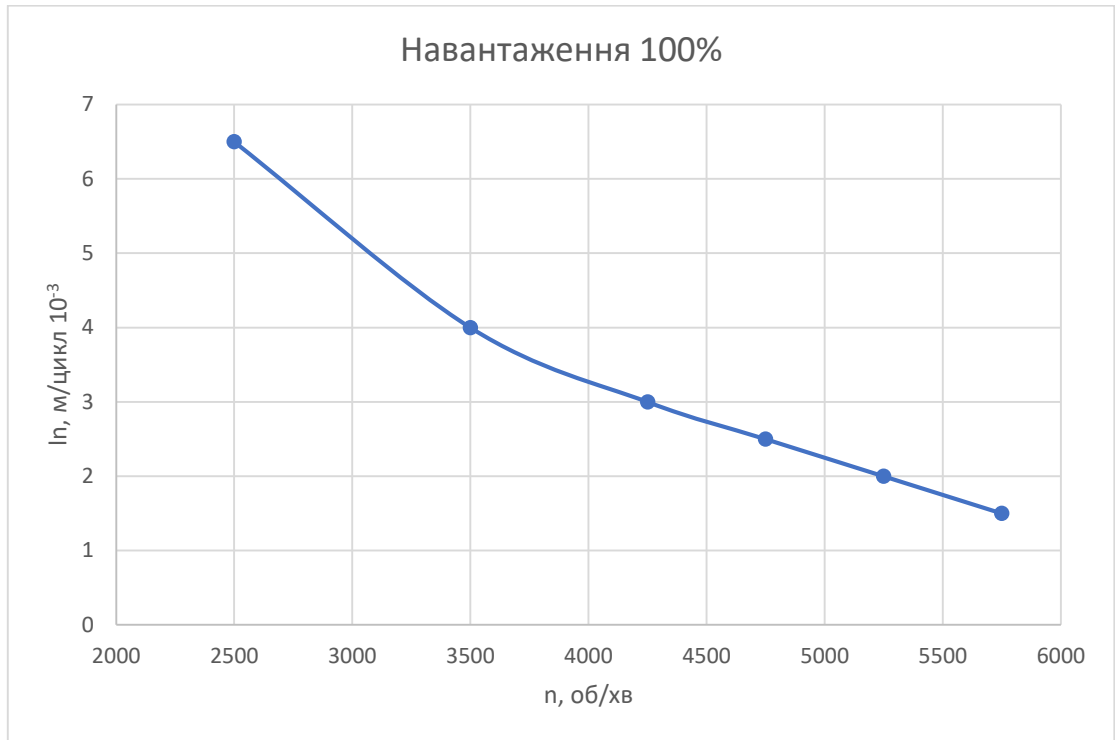


Рисунок 5 – Залежність циклового зносу поршневого кільця від швидкісного режиму роботи двигуна EM-42

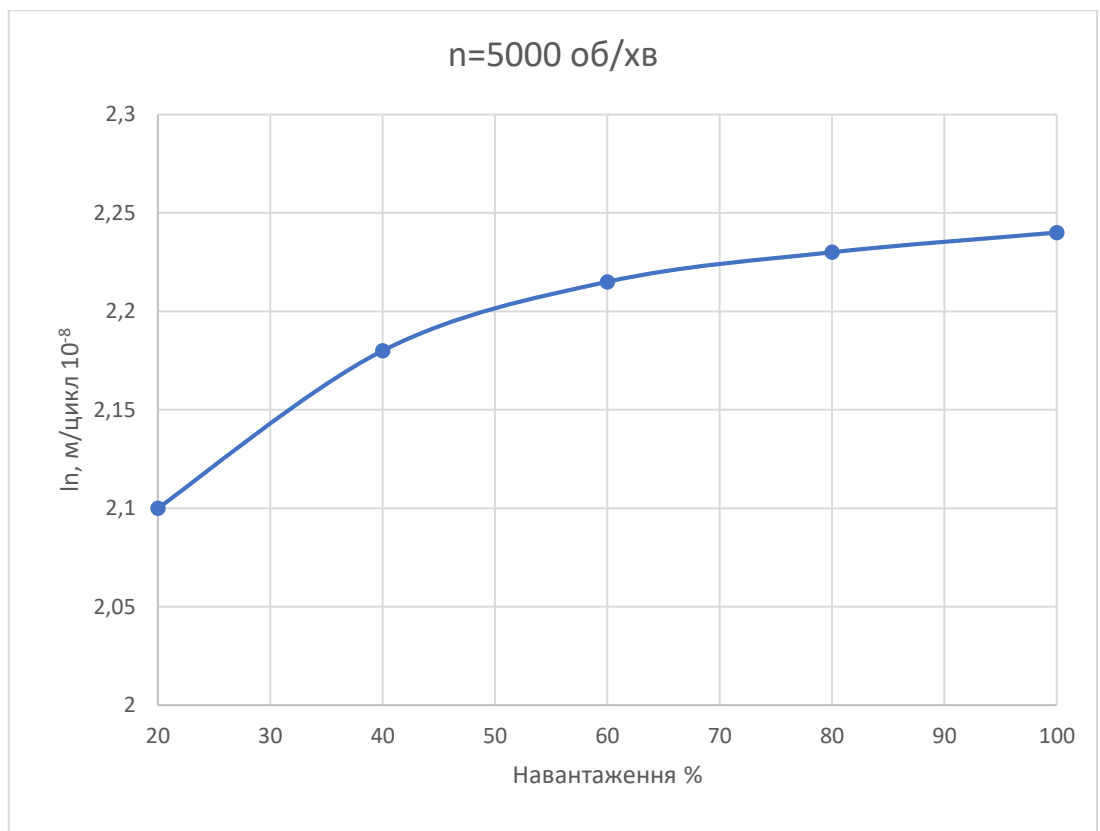


Рисунок 6 – Залежність циклового зношування поршневого кільця від навантаження двигуна EM-42

## ДОДАТОК Є

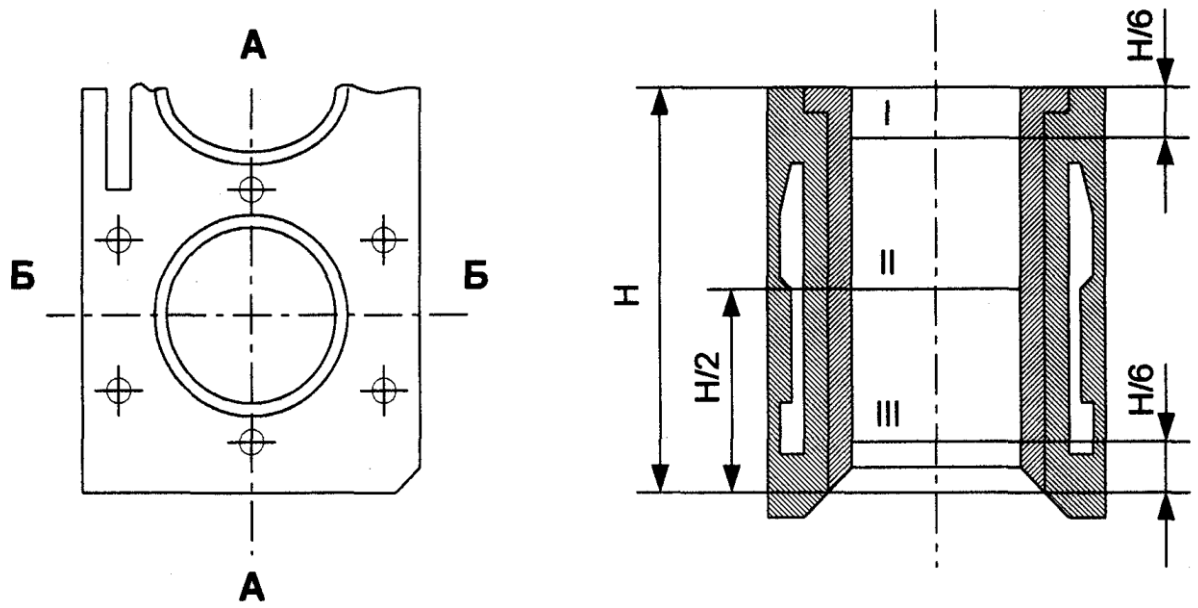


Рисунок 7 – Схема заміру діаметрів циліндрів

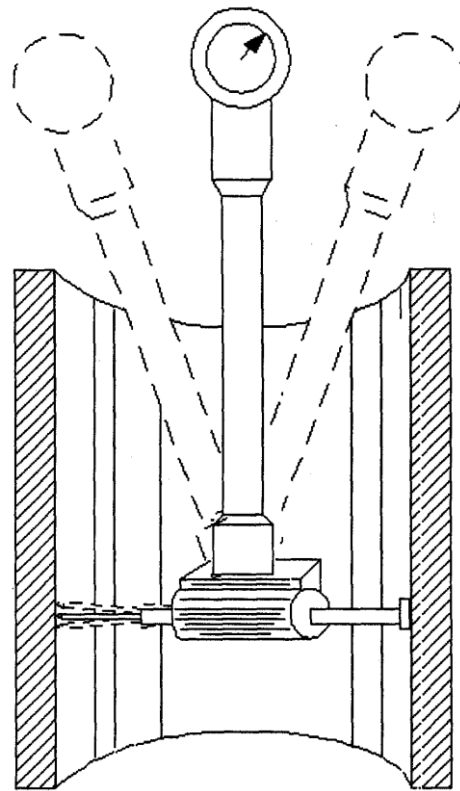


Рисунок 8 – Вимірювання діаметра циліндра

# ДОДАТОК Ж

Mathcad - [5.6]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 16

Мой веб-узел

$D := 78$        $R := 6.8$   
 $L := 72$        $\sigma_{ум} := 40$   
 $h_K := 2.5$   
 $HB_1 := 660$   
 $HB_2 := 155$   
 $\epsilon_{01} := 1.71$   
 $\epsilon_{02} := 1.36$   
 $g_R := 7.05$   
 $\theta := \text{atan}\left(\frac{2 \cdot R \cdot 10^{-3}}{h_K}\right)$   
 $\theta = 5.44 \times 10^{-3}$   
 $M_1 := \frac{\epsilon_{01} \cdot HB_1^{1.5} \cdot HB_2^2}{HB_1 + HB_2}$   
 $M_1 = 8.547 \times 10^5$   
 $M_2 := \frac{\epsilon_{02} \cdot HB_1^1 \cdot HB_2^{2.5}}{HB_1 + HB_2}$

Нажмите F1, чтобы открыть справку.

АВТО NUM Страница 1 13:04 01.12.2025

Mathcad - [5.6]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 16

Мой веб-узел

$M_2 := \frac{\epsilon_{02} \cdot HB_1^1 \cdot HB_2^{2.5}}{HB_1 + HB_2}$   
 $M_2 = 3.294 \times 10^5$   
 $P_1 := \frac{g_R}{D \cdot h_K \cdot \tan(\theta)}$   
 $P_1 = 6.646$   
 $P_2 := \frac{2g_R}{D \cdot L \cdot \tan(\theta)}$   
 $P_2 = 0.462$   
 $A := g_R \cdot \left(1 - e^{-0.0868 \cdot \frac{L}{D} \cdot R^2}\right) \cdot \sigma_{ум}^{2.5}$   
 $A = 6.959 \times 10^4$   
 $I_1 := 0.0166 \cdot \frac{A \cdot P_1}{M_1}$   
 $I_1 = 8.982 \times 10^{-3}$   
 $I_2 := 0.0166 \cdot \frac{A \cdot P_2}{M_2}$

Нажмите F1, чтобы открыть справку.

АВТО NUM Страница 1 13:04 01.12.2025

Mathcad - [5.6]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 16 B I U

Мой веб-узел Go

$$I_1 := 0.0166 \cdot \frac{A \cdot P_1}{M_1}$$
$$I_1 = 8.982 \times 10^{-3}$$
$$I_2 := 0.0166 \cdot \frac{A \cdot P_2}{M_2}$$
$$I_2 = 1.618 \times 10^{-3}$$

Калькулятор

sin cos tan ln log  
n! i |x| Γ Γ  
e<sup>x</sup> 1/x () x<sup>2</sup> x<sup>y</sup>  
π 7 8 9 /  
1/2 4 5 6 ×  
÷ 1 2 3 +  
:= . 0 - =

Математи...

Греческий

α β γ δ ε ζ  
η θ ι κ λ μ  
ν ξ ο π ρ σ  
τ υ φ χ ψ  
ω Α Β Γ Δ Ε  
Ζ Η Θ Ι Κ Λ  
Μ Ν Ξ Ο Π Ρ  
Σ Τ Υ Φ Χ Ψ  
Ω

Нажмите F1, чтобы открыть справку.

АВТО NUM Страница 2

13:07  
01.12.2025

### ДОДАТОК 3

Таблиця 1 – Результати мікрометричного вимірювання зносу гільзи циліндру в верхній та нижній мертвих точках (ВМТ та НМТ) для різних моделей двигунів залежно від пробігу автомобілів

Марка автомобіля	Рік випуску	Об'єм робочого тіла в циліндрі, см <sup>3</sup>	Пробіг автомобіля, тис.км	Знос втулки циліндра, мм		Модель двигуна
				ВМТ	НМТ	
Audi-80	1998	2597	500	0,04 – 0,05	0,009 – 0,01	ABC V6
BMV 325e	1996	2693	400	0,10 – 0,12	0,03 – 0,05	M 50
Honda Civic	1986	1488	350	0,07 – 0,09	0,02 – 0,03	EW
Mercedes Benz 230	1995	2499	500	0,10 – 0,11	0,01 – 0,03	M102-16V
Mitsubishi Eclipse, L200	1991	1997	320	0,05 – 0,07	0,01 – 0,02	G63B
Opel Record	1999	1796	450	0,07 – 0,08	0,04 – 0,05	18S
Subaru Leone	1985	1298	300	0,12 – 0,13	0,06 – 0,07	EA65
Volkswagen Passat	1992	1896	600	0,12 – 0,14	0,009 – 0,01	1Y Diesel

## ДОДАТОК К

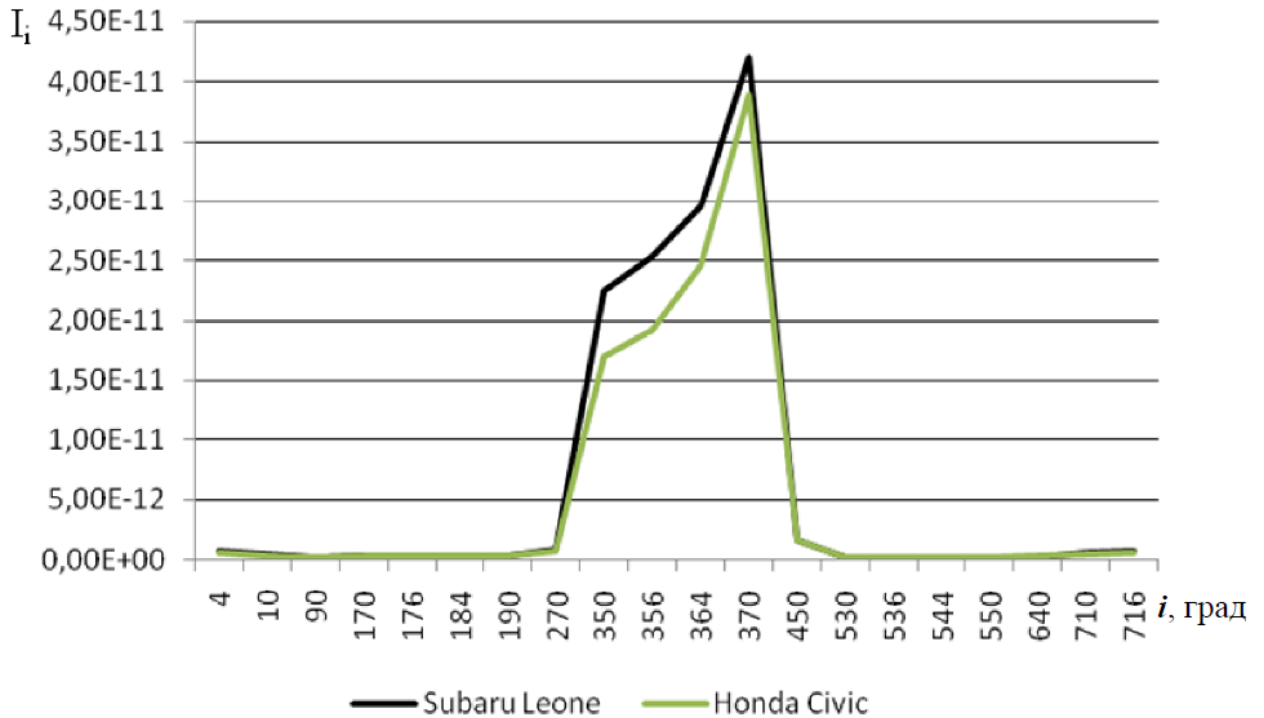


Рисунок 9 – Теоретичні та експериментальні залежності зміни зносу гільз циліндрів ДВЗ залежно від пробігу автомобілів

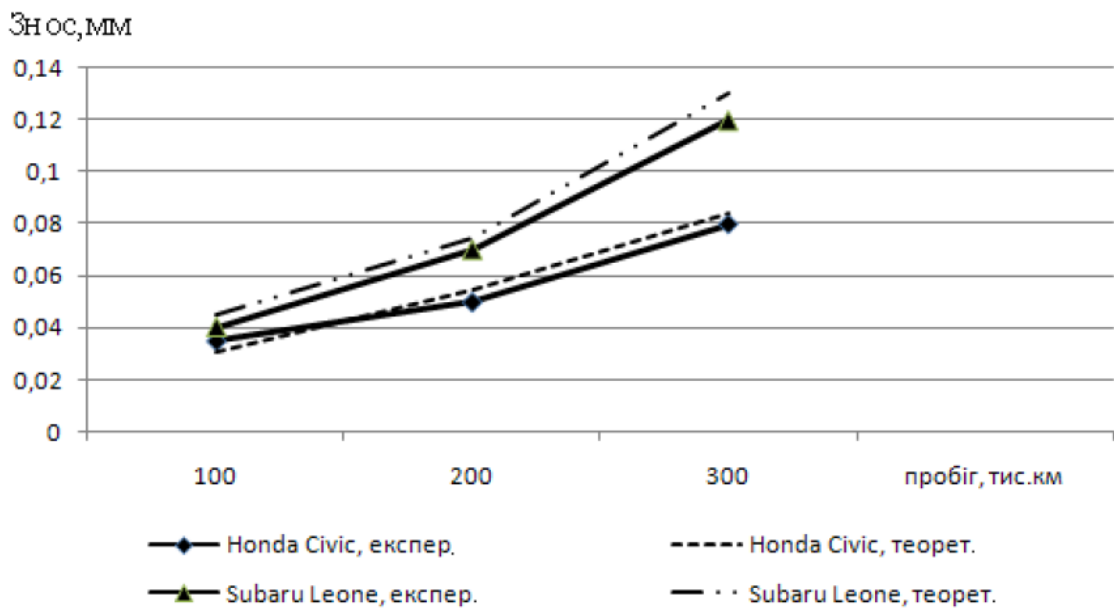


Рисунок 10 – Розрахункові значення інтенсивності зношування гільзи циліндра залежно від кута повороту кривошипа в робочому процесі ДВЗ для різних марок автомобілів

## ДОДАТОК Л

### ВИСНОВКИ

В магістерській роботі: Моделювання зношування поршневого кільця і гільзи циліндра двигуна на прикладі автомобілів, що обслуговуються на станції технічного обслуговування "Profigas", м. Івано-Франківськ, описано технічні характеристики базової моделі автомобіля. В розділі 2 описується умови роботи поршневих кілець та гільз циліндрів автомобіля на основі аналізу літературних джерел. Проаналізовано специфіку їх роботи та дано рекомендації щодо продовження терміну служби даної деталі.

В розділі 3 проведено розрахунок зношування поршневих кілець та гільз циліндрів. Визначено величини сил, контактних тисків та розраховано величину зносу. Дана методика може бути використана для прогнозування величини зношування і терміну роботи циліндро-поршневої групи.

У розділі безпека праці описано основні правила техніки безпеки при проведенні роботи на підприємствах що пов'язані з автомобільним транспортом відповідно до чинних законодавчих вимог. Описано заходи що протидіють уникненню пожеж на підприємствах та алгоритм дій у разі виникнення пожежі, наведено порівняльну таблицю класифікації пожеж в залежності від фізико-хімічних властивостей.