

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ

Група ААГ- 28

Ткаченко

Володимир

2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Міністерство освіти і науки України
Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра автомобільного транспорту

Ткаченко Володимир Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 653.13.07

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Тема: Підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндрів
автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства.

(назва роботи)

Автомобільний транспорт

(назва освітньої програми)

274-Автомобільний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Виноградов Микола Семенович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

М.М. Гнип

(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

Інститут інженерної механіки
Кафедра автомобільного транспорту
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Спеціальність: „Автомобільний транспорт”

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завкафедрою АТ

_____ М.М. Гнип
„_____” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

Бакалавр _____ Ткаченко Володимир Геннадійович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. **Тема проекту:** Підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндрів автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства

затверджена наказом по університету від _____ № _____

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) _____ 12.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту: технологія відновлення клапанного спряження головки циліндрів, розробити заходи щодо підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндрів, виконати оцінку впливу застосування силікатної пасту на ресурс клапанного спряження та економічну доцільність впровадження цього методу в умовах автотранспортного підприємства, виконати розрахунок оптимальних параметрів режиму притирання клапанного спряження силікатною пастою.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
Вступ. 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ ТА ЗНОШУВАННЯ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ.

2. АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ В АТП. 3. РОЗХРОБКА ЗАХОДУ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ. 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ПРИТИРАННЯ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ СИЛІКАТНОЮ ПАСТОЮ. 5. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ НА ДІЛЬНИЦІ З РЕМОНТУ ДВИГУНІВ НА АТП. Висновки. Список

використаних джерел. Перелік аркушів презентаційного графічного матеріалу:

- 1 Тема БР
- 2 Умови роботи клапанного спряження двигуна
- 3 Основні причини та закономірності зношування елементів клапанного спряження
- 4 Основні дефекти з'єднання «клапан – сидло»
- 5 Результати аналізу існуючих способів підвищення зносостійкості поверхонь клапанного спряження
- 6 Основні фактори експлуатації двигунів, що впливають на зношування клапанного механізму в умовах АТП
- 7 Основні зовнішні ознаки несправностей та методи діагностування технічного стану клапанного механізму
- 8 Технологія притирання клапанів на верстаті ОНР-1841А
- 9 Оцінка ефективності запропонованих заходів підвищення зносостійкості клапанного спряження
- 10 Етапи проведення оптимізації параметрів режиму притирання клапанного спряження
- 11 Обладнання та зразки для проведення оптимізації параметрів режиму притирання
- 12 Результати оптимізації параметрів режиму притирання силікатною пастою
- 13 Висновки

Керівник _____ /М. Виноградов /
Особистий підпис Розшифровка підпису

Завдання прийняв до виконання _____ /В. Ткаченко /
Особистий підпис Розшифровка підпису

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер і назва етапів проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту	Примітка
Вступ.	16.04.	
1 Розділ	24.04.	
2 Розділ	01.05.	
3 Розділ	10.05.	
4 Розділ	25.05.	
5 Розділ	30.05.	
Графічна частина (презентація).	10.06.	
Висновки. Список використаних джерел.	12.06.	
Готовність проекту до попереднього захисту	19.06.	

Бакалавр _____ / В. Ткаченко /
Особистий підпис Розшифровка підпису

Керівник проекту _____ / М. Виноградов /
Особистий підпис Розшифровка підпису

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему: «Підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндрів автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства» складається із 85 аркушів формату А4, на яких містяться 5 розділів, 25 таблиць, 8 рисунків.

У даній бакалаврській роботі було розглянуто питання підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндрів автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства. Проведено аналіз конструктивних особливостей та умов роботи клапанного спряження автомобільних двигунів, а також досліджено теоретичні основи роботи клапанного спряження та закономірності його зношування. Проаналізовано умови експлуатації автомобільних двигунів в умовах АТП та досліджено технічний стан клапанного спряження.

Обґрунтовано вибір методу підвищення зносостійкості клапанного спряження та наведено основні фізико-механічні властивості силікатної пасти. Запропоновано технологія застосування силікатної пасти для обробки клапанного спряження. Виконано оцінка впливу застосування силікатної пасти на ресурс клапанного спряження та економічну доцільність впровадження цього методу в умовах автотранспортного підприємства. Виконано розрахунок оптимальних параметрів режиму притирання силікатною пастою.

Запропоновані технологічні рішення спрямовані на підвищення зносостійкості клапанного спряження, покращення контактної поверхні та герметичності з'єднання.

У розділі з безпеки життєдіяльності та охорони праці наведено обов'язкові роботи на дільниці з ремонту двигунів та заходи щодо забезпечення безпечних умов праці.

Ключові слова: двигун, клапанне спряження, зносостійкість, притирання, автотранспортне підприємство, силікатна паста.

THE ABSTRACT

Explanatory Note to the Thesis on the Topic: “Improving the Wear Resistance of the Valve Train in Automotive Engine Cylinder Heads in the Context of a Motor Transport Enterprise” consists of 85 A4-sized pages, containing 5 chapters, 25 tables, and 8 figures.

This bachelor’s thesis examines the issue of improving the wear resistance of the valve train in the cylinder heads of automotive engines under the conditions of a motor transport enterprise. An analysis of the design features and operating conditions of the valve train in automotive engines was conducted, and the theoretical foundations of the valve train’s operation and the patterns of its wear were investigated. The operating conditions of automotive engines in the context of a motor transport enterprise were analyzed, and the technical condition of the valve train was investigated.

The choice of a method for improving the wear resistance of valve seats is justified, and the main physical and mechanical properties of silicate paste are presented. A technology for applying silicate paste to treat valve seats is proposed. An assessment was performed of the impact of using silicate paste on the service life of valve seats and the economic feasibility of implementing this method in the context of a motor transport enterprise. Calculations were performed to determine the optimal parameters for the silicate paste lapping process.

The proposed technical solutions are designed to increase the wear resistance of the valve train, improve the contact surface, and enhance the tightness of the connection.

The section on life safety and occupational health outlines the mandatory tasks in the engine repair area and measures to ensure safe working conditions.

Keywords: engine, valve clearance, wear resistance, running-in, motor transport company, silicate paste.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	6
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ ТА ЗНОШУВАННЯ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ	8
2 АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ В АТП.....	28
3 РОЗРОБКА ЗАХОДУ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ.....	41
4 ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ПРИТИРАННЯ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ СИЛІКАТНОЮ ПАСТОЮ.....	56
5 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ НА ДІЛЬНИЦІ З РЕМОНТУ ДВИГУНІВ НА АТП	72
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81
ПРЕЗЕНТАЦІЯ	86

					БР.АТ-09.00.00.000 ПЗ							
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Ткаченко В.Г.			Підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндрів автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Виноградов М.С.									5	85
Реценз.									ІФНТУНГ, ААГ-28			
Н. контр.		Криштопа С.І.										
Затверд.		Гнип М.М.										

ВСТУП

Сучасний розвиток автомобільного транспорту супроводжується постійним зростанням вимог до надійності, економічності та екологічності двигунів внутрішнього згорання. Одним із ключових вузлів, що безпосередньо впливає на ефективність роботи двигуна, є газорозподільний механізм, зокрема клапанне спряження головки циліндрів. В умовах експлуатації автотранспортних підприємств цей вузол працює під дією значних механічних, теплових і хімічних навантажень, що призводить до інтенсивного зношування його елементів.

Зношування клапанного спряження, зокрема клапанів, сідел клапанів та напрямних втулок, викликає погіршення герметичності камери згорання, зниження потужності двигуна, збільшення витрати палива та викидів шкідливих речовин. Особливо актуальною ця проблема є для автотранспортних підприємств, де техніка експлуатується в інтенсивному режимі, часто з порушенням оптимальних умов роботи, що прискорює процеси зносу.

Підвищення зносостійкості клапанного спряження є важливим завданням, вирішення якого дозволяє продовжити ресурс двигуна, зменшити витрати на ремонт і технічне обслуговування, а також підвищити загальну ефективність експлуатації транспортних засобів. Це може бути досягнуто шляхом удосконалення конструкції деталей, застосування сучасних матеріалів і покриттів, оптимізації режимів роботи, а також впровадження ефективних технологій обслуговування і ремонту.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи обумовлена необхідністю підвищення надійності роботи двигунів автомобілів в умовах автотранспортного підприємства, зниження експлуатаційних витрат та забезпечення відповідності сучасним екологічним вимогам.

Метою даної роботи є розробка заходів щодо підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндрів автомобільних двигунів в умовах

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

автотранспортного підприємства.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення зносостійкості клапанного спряження в умовах експлуатації автотранспортного підприємства.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для підвищення ресурсу двигунів, зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт, а також покращення техніко-економічних показників роботи автотранспортних підприємств.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ ТА ЗНОШУВАННЯ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ

1.1 Аналіз умов роботи клапанного спряження в автомобільних двигунах

Клапанне спряження головки циліндрів (клапан – сідло, клапан – напрямна втулка) є одним із найбільш навантажених елементів газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння. До клапанного спряження належать клапан, напрямна втулка клапана та сідло клапана. Основною функцією клапанного спряження є забезпечення своєчасного відкриття та герметичного закриття впускних і випускних каналів двигуна. Від якості прилягання клапана до сидла залежить ступінь герметичності циліндра, компресія та ефективність процесу згоряння паливоповітряної суміші [1].

Призначення клапана – відкривати і закривати впускний або випускний отвір, розташоване в голівці блоку (механізм з верхнім розташуванням клапанів) або в блоці циліндрів (механізм з нижнім розташуванням клапанів). Основними частинами клапана є головка і стрижень. Клапан повинен надійно ізолювати циліндр під час тактів стиснення і робочого ходу від впускного або випускного трубопроводу і надавати у відкритому положенні можливо менший опір руху газів. Плавний перехід від головки клапана до його стрижня зменшує опір клапана при обтіканні його газами. Щоб клапан щільно прилягав до сидла, на його голівці роблять фаску, яку шліфують і притирають до фаски сидла. Головки впускного і випускного клапанів можуть бути як однакового діаметра, так і різного. Зазвичай головку впускного клапана роблять більшого діаметра для поліпшення наповнення циліндра [2].

На рис. 1.1. наведено схема клапанного спряження автомобільного двигуна.

Клапани працюють при високій температурі і піддаються роз'їдаючу дії газів. Тому метал, застосовуваний для їх виготовлення, повинен добре протистояти корозії і стирання. Цим вимогам задовольняє

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

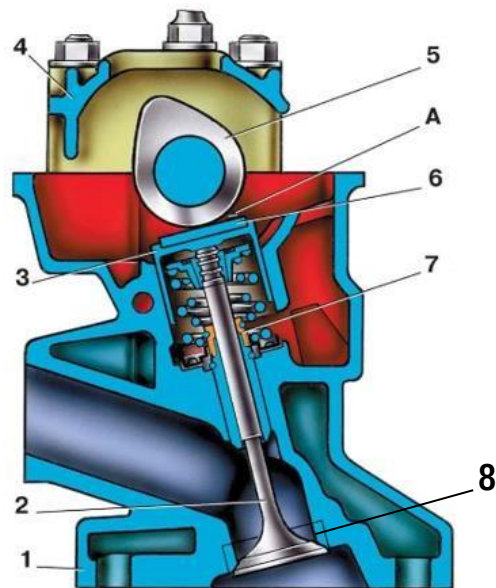


Рис. 1.1. Схема клапанного sprzęження автомобільного двигуна: 1 – головка циліндрів; 2 – клапан; 3 – штовхач; 4 – корпус підшипників розподільного вала; 5 – розподільний вал; 6 – регулювальна шайба; 7 – маслоснімний ковпачок; 8 – сідло клапана; А – зазор між кулачком і регулювальною шайбою

високолегований сталь [2].

Якщо клапан закритий, то між кінцем його стержня і регулювальним болтом штовхача або між кінцем стрижня клапана і кінцем коромисла повинен бути певний теплової зазор. У двигунах з нижнім розташуванням клапанів для їх нормальної роботи встановлюють відповідний тепловий зазор регулювальним болтом, укрученим в штовхач. У двигунах з верхнім розташуванням клапанів для регулювання теплового зазору служить гвинт, ввернути в коротке плече коромисла. Тепловий зазор для впускних і випускних клапанів у холодних двигунів дорівнює 0,25-0,30 мм. Якщо теплові зазори збільшуються, то клапани починають стукати і погіршується наповнення циліндрів свіжим зарядом суміші і їх очищення від відпрацьованих газів. При зменшенні теплових зазорів клапани нещільно прилягають до сідел і їх фаски обгорають. Потужність двигуна в обох випадках знижується і порушуються також фази газорозподілу [2].

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Відпрацьовані гази викликають корозію і підвищений знос сідел випускних клапанів, тому сідла роблять вставними з жаростійкого чавуну. Якщо двигун має газорозподільний механізм з верхніми клапанами і головку блоку, відлиту з алюмінієвого сплаву, то під всі клапани в голівці блоку запресовують сідла з жаростійкого чавуну [2].

Стрижень клапана переміщається в направляючої втулці, що забезпечує посадку клапана на сідло без перекосу [2].

Випускний клапан має жаростійку наплавку на фасці, незважаючи на те, що він виготовлений з жаростійкої сталі. У стрижні випускного клапана просвердлений глухе отвір, заповнене наполовину або на дві третини натрієвих наповнювачем і закрито заглушкою. Під час роботи двигуна натрій плавиться (температура його плавлення 98°C) і перетворюється в рідину. При зворотно-поступальному русі клапана в направляючої втулці натрій переміщається, омиває головку клапана і відводить від неї тепло до стрижня і втулки. При охолодженні клапана підвищується надійність його роботи, а отже, і двигуна [2].

У процесі роботи двигуна клапани здійснюють значну кількість циклів відкривання та закривання. При частоті обертання колінчастого вала 3000 хв^{-1} кожен клапан здійснює близько 1500 циклів за хвилину. Це призводить до виникнення значних ударних навантажень у зоні контакту клапана із сідлом.

Випускні клапани працюють у найбільш важких умовах, оскільки постійно контактують із гарячими відпрацьованими газами [3].

Умови його роботи характеризуються сукупною дією механічних, теплових, газодинамічних та хімічних факторів, що визначають інтенсивність зношування та довговічність деталей.

1. Механічні навантаження. Клапанне sprzęження працює в умовах циклічних ударно-контактних навантажень: під час закривання клапана відбувається удар його тарілки об сідло; частота таких ударів досягає тисяч циклів за хвилину (залежно від обертів двигуна); наявні сили тертя між стержнем клапана та напрямною втулкою.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Особливості: контактні напруження мають локальний характер і можуть перевищувати допустимі значення; виникає втомне руйнування поверхонь; спостерігається абразивне та адгезійне зношування.

У табл. 1.1 наведено основні види навантажень клапанного спряження.

Таблиця 1.1

Основні види навантажень клапанного спряження

Вид навантаження	Причина виникнення	Наслідки
1	2	3
Теплове	Дія гарячих газів	Перегрів, деформація
Ударне	Посадка клапана на сідло	Викришування фаски
Абразивне	Наявність твердих частинок	Зношування поверхонь
Корозійне	Продукти згоряння	Окиснення металу
Втомне	Циклічна робота	Утворення

2. Теплові умови роботи. Клапани працюють у зоні високих температур.

У табл. 1.2 наведено температура основних елементів клапанного механізму.

Таблиця 1.2

Температура основних елементів клапанного механізму

Елемент клапанного механізму	Температура, °С
Впускний клапан	300-450
Випускний клапан	700-900
Сідло випускного клапана	250-400
Напрямна втулка	150-250

Основні фактори: нерівномірний нагрів (тарілка нагрівається більше, ніж стержень); циклічні теплові навантаження (нагрів – охолодження); обмежене

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

відведення тепла (через сідло та напрямну втулку).

Наслідки: термічні деформації; зниження міцності матеріалу; прискорення окислення і зносу; утворення нагару та появи тріщин.

3. Газодинамічні впливи. Клапанне спряження контактує з потоком газів: високошвидкісні потоки (до 100-200 м/с); турбулентність і пульсації тиску; вплив продуктів згоряння. Це призводить до: ерозійного зношування поверхонь; порушення герметичності посадки клапана; локального перегріву окремих зон.

4. Хімічні та корозійні фактори. Особливо важливі для випускних клапанів: дія агресивних продуктів згоряння (оксиди азоту, сірки, вуглецю); утворення нагару; окислювальні процеси при високих температурах.

Наслідки: корозійно-механічне зношування; утворення мікротріщин; прискорене руйнування робочих поверхонь.

5. Умови мащення. На відміну від багатьох інших вузлів двигуна: клапанне спряження має обмежене мащення; мастило надходить у мінімальній кількості (переважно до прямої втулки). Це спричиняє: підвищений коефіцієнт тертя; ризик задирів; інтенсивне зношування стержня клапана і втулки.

6. Вплив експлуатаційних умов автотранспортного підприємства. В умовах АТП негативні фактори посилюються: часті пуски і зупинки двигуна; робота на холостому ходу; перевантаження двигуна; використання палива та мастил змінної якості; несвоєчасне технічне обслуговування. Це призводить до: прискореного зносу клапанів і сідел; втрати герметичності; зниження ресурсу двигуна в цілому.

7. Основні види зношування клапанного спряження. Узагальнюючи, виділяють такі види зносу: ударно-втомний (контакт клапан – сідло); абразивний (частинки нагару та пилу); адгезійний (при недостатньому мащенні); ерозійний (дія газового потоку); корозійний (вплив продуктів згоряння).

Таким чином, клапанне спряження автомобільного двигуна працює в

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

складних умовах високих температур, ударних та циклічних навантажень. Найбільш небезпечними факторами є термічне перевантаження, абразивне зношування та корозійна дія продуктів згоряння. Для забезпечення надійної роботи двигуна необхідне підвищення зносостійкості поверхонь клапанного спряження шляхом застосування сучасних методів фінішної обробки та відновлення.

1.2 Дослідження основних причин та закономірності зношування елементів клапанного механізму

Надійність та довговічність двигуна значною мірою залежать від технічного стану клапанного механізму, оскільки його несправності призводять до порушення фаз газорозподілу, зниження компресії, падіння потужності та збільшення витрати палива [4].

У процесі роботи двигуна клапан здійснює складний циклічний рух, який супроводжується багаторазовими ударами по сідлу при закритті. Частота таких ударів у сучасних двигунах досягає декількох тисяч циклів за хвилину [5]. Це спричиняє контактну втому матеріалу та розвиток мікротріщин.

Однією з головних закономірностей зношування клапанного спряження є поєднання ударного та ковзного характеру взаємодії поверхонь. Під час посадки клапана на сідло виникають ударні навантаження, а під дією тиску газів спостерігається мікроковзання поверхонь контакту. Саме ця комбінація процесів призводить до інтенсивного спрацювання фасок клапанів та сідел.

У сучасних двигунах значний вплив на зношування має зменшення кількості сажових та свинцевих відкладень у продуктах згоряння. Раніше ці відкладення утворювали захисні трибологічні плівки на поверхнях клапанів та сідел. Після переходу на екологічні види палива інтенсивність металевого контакту між поверхнями збільшилась, що спричинило зростання швидкості спрацювання клапанних пар [6].

Однією із характерних форм руйнування є абразивне зношування, яке виникає внаслідок потрапляння твердих частинок на поверхні тертя.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Джерелами абразиву можуть бути: продукти згоряння палива; пил, що потрапляє через систему впуску; частинки зношених деталей; оксидні утворення [4].

Абразивні частинки викликають подряпини, risks та мікрорізання поверхонь, що особливо небезпечно для напрямних втулок клапанів і кулачків розподільного вала.

Суттєвий вплив на довговічність деталей має недостатнє мащення. При руйнуванні мастильної плівки виникає режим граничного тертя, який супроводжується: локальним перегрівом; схоплюванням металу; задирами; інтенсивним адгезійним зношуванням [7].

Однією з важливих закономірностей є залежність швидкості зношування від температури поверхонь тертя. Зі збільшенням температури: знижується твердість матеріалів; погіршуються властивості мастила; активізуються окиснювальні процеси; підвищується схильність до втомного руйнування [8].

У зоні контакту клапана із сідлом часто формуються оксидні та трибологічні плівки, які можуть як зменшувати інтенсивність зношування, так і сприяти розвитку корозійно-механічного руйнування залежно від умов роботи двигуна.

Важливим фактором є також порушення співвісності клапана та прямої втулки. Навіть незначний перекид викликає нерівномірний розподіл навантаження по фасці клапана, що призводить до: локального перегріву; утворення концентраторів напружень; прискореного спрацювання; прогару клапанів [5].

Інтенсивність зношування елементів клапанного механізму залежить також від: матеріалу деталей; твердості робочих поверхонь; якості механічної обробки; шорсткості поверхонь; режимів експлуатації двигуна [9].

Для підвищення зносостійкості деталей клапанного механізму застосовують: леговані жароміцні сталі; наплавлення твердосплавних покриттів; азотування; хромування; плазмове напилення; фінішну абразивну

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

обробку поверхонь [6].

У табл. 1.3 наведено основні причини зношування елементів клапанного механізму

Таблиця 1.3

Основні причини зношування елементів клапанного механізму

Причина зношування	Характер впливу на деталі	Наслідки
Високі температури	Перегрів клапанів та сідел	Прогар фасок, утворення тріщин
Ударні навантаження	Постійні удари клапана по сидлу	Зминання та деформація фасок
Недостатнє мащення	Порушення масляної плівки	Інтенсивний знос стержня клапана і напямної втулки
Абразивне зношування	Потрапляння пилю та продуктів згоряння	Риски, задири, підвищена шорсткість
Корозійний вплив	Дія агресивних продуктів згоряння	Корозія робочих поверхонь
Порушення теплових зазорів	Неправильна робота механізму	Негерметичність клапанів
Наявність нагару	Порушення щільності прилягання	Втрата компресії

Таблиця 1.4

Закономірності зношування клапанного механізму

Фактор експлуатації	Закономірність зношування	Результат
1	2	3
Збільшення температури	Прискорення окиснення металу	Зменшення ресурсу клапана
Підвищення навантаження	Зростання контактних напружень	Інтенсивне зминання фасок

1	2	3
Недостатня герметичність	Прорив гарячих газів	Прогар клапана
Погіршення мащення	Руйнування масляної плівки	Підвищений коефіцієнт тертя
Наявність абразивних частинок	Мікрорізання поверхонь	Прискорений знос деталей

Таблиця 1.5

Вплив зношування клапанного механізму на роботу двигуна

Вид зношування	Вплив на роботу двигуна
1	2
Знос фасок клапана	Порушення герметичності камери згоряння
Прогар клапана	Зниження компресії
Збільшення зазору у втулці	Підвищена витрата мастила
Ослаблення пружини	Порушення фаз газорозподілу
Нагар на клапані	Нестабільна робота двигуна
Пошкодження сідел	Падіння потужності двигуна

Таким чином, зношування елементів клапанного механізму має комплексний характер і визначається сукупністю механічних, теплових, трибологічних та корозійних факторів. Найбільш небезпечними є ударно-контактне, абразивне, адгезійне та втомне зношування. Знання причин і закономірностей спрацювання деталей дозволяє обґрунтувати вибір ефективних технологій відновлення та зміцнення клапанного механізму автомобільних двигунів [4].

1.3 Технологія відновлення з'єднання газорозподільного механізму

«клапан – сідло»

Як вже було наведено вище, з'єднання «клапан – сідло» є одним із найбільш навантажених спряжень газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння. У процесі експлуатації робочі фаски клапана та сідла піддаються дії високих температур, ударних навантажень, корозії та абразивного зношування, що призводить до порушення герметичності камери згоряння, зниження компресії та погіршення техніко-економічних показників двигуна [9].

До найбільш поширених дефектів з'єднання «клапан – сідло» належать (рис. 1.2): прогар робочих фасок; раковини та риски; овальність сідла; знос робочої поверхні клапана; порушення концентричності фасок; утворення нагару та мікротріщин [10].

На рис. 1.3 показано конструкцію фасок сідла клапана двигуна внутрішнього згоряння та кути їх обробки [9]. Схема ілюструє багатокутне профілювання сідла клапана, яке застосовується для покращення герметичності, тепловідведення та газообміну [10].

Основними елементами, які наведені на рис. 1.3 є:

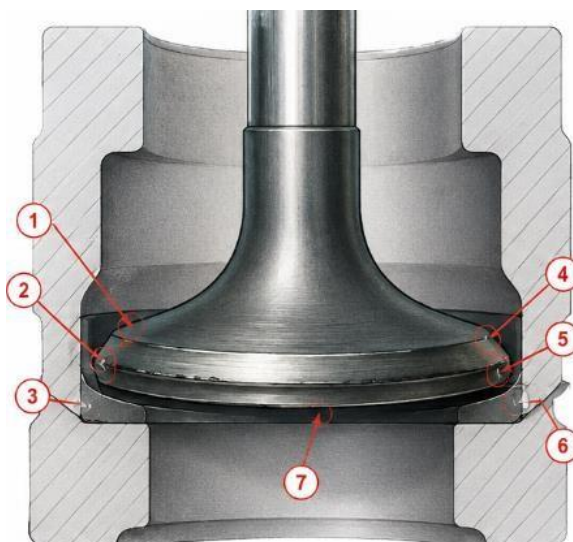
- робоча фаска – центральна поверхня контакту клапана із сідлом. Саме через неї забезпечується: герметичність камери згоряння; відведення тепла від клапана до головки блока; рівномірний розподіл навантаження [9];
- допоміжні фаски – верхня та нижня додаткові фаски, які формують оптимальний профіль каналу та коригують ширину робочої фаски [10].

На схемі (рис. 1.3) наведені три кути обробки:

- 60° – нижня допоміжна фаска;
- 90° – умовне позначення вертикальної стінки;
- 120° – верхня допоміжна фаска [11].

У практиці ремонту двигунів робоча фаска зазвичай виконується під кутом 45°, а допоміжні фаски використовуються для формування правильної ширини контакту клапана із сідлом [9].

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 ПРОГАР РОБОЧИЙ ФАСОК

Місцеве прогоряння робочої фаски клапана або сідла через перегрів.



4 ЗНОС РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ КЛАПАНА

Знос робочої фаски клапана, що призводить до збільшення зазору та зниження герметичності.



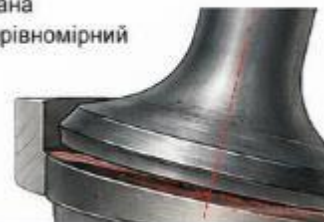
2 РАКОВИНИ ТА РИСКИ

Раковини (піттинг) та поверхневі риси на робочій фасці.



5 ПОРУШЕННЯ КОНЦЕНТРИЧНОСТІ ФАСОК

Зміщення осей клапана та сідла викликає нерівномірний контакт фасок.



3 ОВАЛЬНЕ СІДЛО

Деформація сідла, що призводить до неповного прилягання клапана по колу.



6 УТВОРЕННЯ НАГАРУ

Відкладення нагару на робочих поверхнях порушують щільність прилягання.



7 МІКРОТРИЩИНИ

Утворення мікротріщин на робочих фасках через термічні та механічні навантаження.



Рис. 1.2. Дефекти з'єднання «клапан – сідло»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

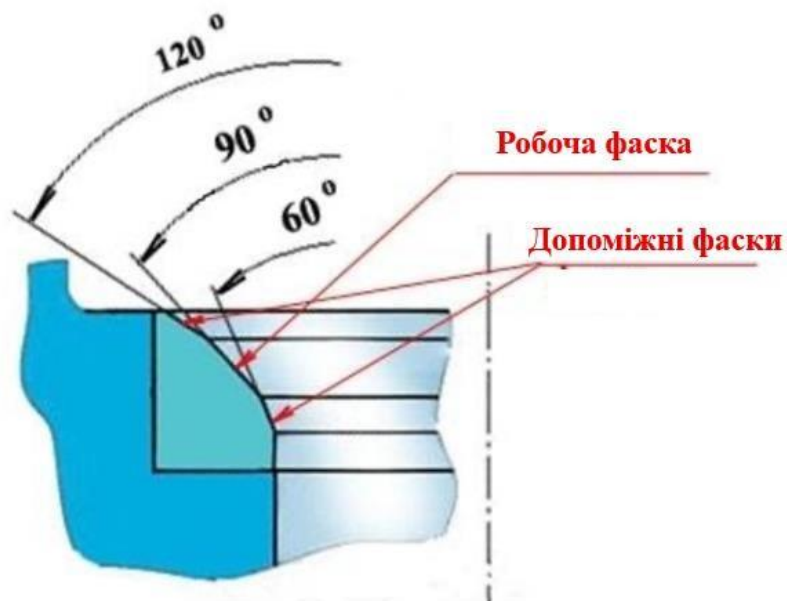


Рис. 1.3. Схема конструкції фасок сидла клапана двигуна внутрішнього згоряння та кути їх обробки

Застосування декількох фасок дозволяє: підвищити герметичність клапанного спряження; покращити наповнення циліндрів; зменшити температурні навантаження; підвищити зносостійкість клапана та сидла [10]. Як видно з рис. 1.2 посадочна поверхня клапану приймає форму жолобу, а поверхня гнізда – форму виступу. Висота циліндричного пояску клапана являється критерієм міцності тарілки клапана. Якщо вона менша від 0,5 до 1,0 мм, то клапан вибраковують. Форсування двигунів з наддувом призводить до збільшення теплової напруженості і зменшенню довговічності з'єднання обох клапанів. Однак знос з'єднання впускного клапану є більшим за випускний, так як повітря, що поступає в циліндр з надлишковим тиском, заважає нормальному постуванню мастила до з'єднання по стержню клапана [12].

Для зменшення зносу фаски клапанів наплавляють твердим сплавом і в отвори головок циліндрів встановлюють кільця, що виконані із зносостійкого матеріалу.

Одним з основних дефектів головки циліндрів є зношення і пригорання фасок клапанних гнізд (сідел). Його усувають фрезеруванням (шліфуванням). Для цього застосовують набір із чотирьох спеціальних фрез. Спочатку головку

оброблюють чорною фрезою до повного зникнення слідів зносу. Потім надають фасці необхідної ширини, обробляючи фрезами з різними кутами різальної кромки. Далі остаточно обробляють фаску чистовою фрезою. Після фрезерування фаска повинна мати ширину, яка відповідає технічним вимогам.

Шорсткість поверхні фаски гнізда після фрезерування не повинна перевищувати $R_a = 0,80$ мкм, радіальне биття фаски відносно отвору втулки клапана 0,05 мм [12, 13].

У більшості двигунів вставні сідла виготовленні із чавуна. При великому зношенні фаски сідла його випресовують із головки за допомогою спеціальних знімачів. Якщо знос отворів в головці під сідло клапанів не є великим, то в них встановлюють нові сідла номінального розміру. Якщо ж він перевищує допустиме значення, то гнізда спочатку розточують під ремонтний розмір, а потім запресовують сідло ремонтного розміру з збільшеним зовнішнім діаметром під посадку. Розмір деталей з'єднання повинен забезпечувати натяг від 0,045 до 0,075 мм [12, 13].

Для запресування сідел головку нагрівають до 90 °С. Сідла охолоджують в рідкому азоті. Після запресування перевіряють якість ремонту, використовують щуп товщиною 0,05 мм. Він не повинен проходити між торцем сідла і головкою.

В запресованих сідлах фрезами формують робочу фаску а потім шліфують її на планетарно шліфувальній машині [12, 13].

Клапанні гнізда після фрезерування (шліфування) зміцнюють методом холодного пластичного деформування. Для цього застосовують розкатки різних конструкцій. Якщо площа нижньої плити головки циліндрів багаторазово шліфувалась (при попередніх ремонтах), то міцність стінки становиться недостатньою для відновлення клапанних гнізд запресуванням вставних сідел. такі сідла відновлюють наплавкою з підігрівом головки. В якості присадочних прутків застосовуються чавунні прутки [12, 13].

Як що на фасках головок клапанів значне спрацювання, раковини, невеликі ділянки прогару або другі пошкодження, порушуючи щільність

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

посадки клапанів до сідел, то для видалення їх необхідно прошліфувати фаски. Сліди точкової ерозії на робочій фасці не являються основою для шліфовки клапанів, якщо вони не порушують ущільнення [12, 13].

Робочі фаски клапанів шліфують на шліфувальних станках або на універсальному обладнанні з допомогою супортно-шліфувального пристрій. Робочу поверхню шліфують під кутом 45° до осі стержня. При шліфуванні знімають мінімальну кількість металу, необхідне для того, щоб вивести знос. Перевіряють висоту циліндричного пояска головки клапана. Якщо після шліфування фаски ця висота стане меншою до 0,3 мм, то клапан замінюють.

Перед збиранням головки циліндрів клапанну пару притирають у наступному порядку. Наносять на фаску головки клапана тонкий шар притиральної пасти, приготовану шляхом ретельного перемішування трьох частин (за обсягом) мікропорошку зеленого карбіду кремнію з двома частинами моторного масла та однією частиною дизельного палива. Перед використанням притиральну суміш ретельно перемішати, тому що за відсутності механічного перемішування мікропорошок здатний осаджуватися.

Притирання виконувати зворотно-обертальними рухами клапанів за допомогою спеціального пристосування або дреля з присосом. Натискаючи на клапан із зусиллям від 20 до 30 Н (від 2 до 3 кгс), повернути його на $1/3$ обороту в одному напрямку, потім, послабивши зусилля, на $1/4$ обороту у зворотному напрямку. Не можна виконувати притирання круговими рухами. Періодично піднімаючи клапан і додаючи на фаску пасту, продовжувати притирання, до тих пір, поки на фасках клапана та сідла не з'явиться безперервний матовий пояс шириною не менше 1,5 мм. Розриви матового пояска та наявність на ньому поперечних рисок не допускається. При правильному притиранні матовий пояс на фасці клапана сідлі повинен починатися у більшій основі [12, 13].

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1.4 Аналіз існуючих способів підвищення зносостійкості поверхонь клапанного спряження

Підвищення зносостійкості поверхонь клапанного зчеплення є одним із найважливіших напрямів удосконалення технології ремонту та відновлення двигунів. Аналіз сучасних технологій показує, що для збільшення ресурсу клапанного механізму використовують конструктивні, технологічні та експлуатаційні методи зміцнення поверхонь.

До основних способів підвищення зносостійкості клапанного спряження належать: термічна та хіміко-термічна обробка; нанесення зносостійких покриттів; поверхневе пластичне деформування; електрофізичні та електрохімічні методи зміцнення; фінішна абразивна та безабразивна обробка; застосування композиційних матеріалів та спеціальних паст [14].

Термічне та хіміко-термічне зміцнення є одним із найбільш поширених методів підвищення зносостійкості клапанів є термічна та хіміко-термічна обробка. До таких способів належать загартування, цементация, азотування, карбонітрація та борування. Дані методи забезпечують формування високоміцного поверхневого шару з підвищеною твердістю та опором зношуванню [15].

Особливо ефективним для клапанних поверхонь є газове азотування, при якому на поверхні формується шар нітридів високої твердості. Після азотування твердість робочої фаски клапана може досягати 900 -100 HV, що значно знижує інтенсивність адгезійного та абразивного зношування. Дослідження показують, що азотування дозволяє підвищити ресурс клапанів у 1,5-2 рази порівняно з незміцненими деталями.

Карбонітрація також забезпечує високу зносостійкість завдяки одночасному насиченню поверхні вуглецем та азотом. У роботах з дослідження зношування елементів клапанного механізму встановлено, що карбонітровані поверхні мають менший об'ємний знос порівняно з цементованими деталями.

Сучасним напрямом підвищення довговічності клапанного зчеплення є нанесення захисних покриттів. Найбільш поширеними є: плазмове напилення;

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

газотермічне напилення; електроіскрове легування; вакуумне іонно-плазмове нанесення; хромування; нікелювання; композиційні покриття на основі карбідів і нітридів.

Газотермічне напилення дозволяє формувати на поверхні клапана шар з високою твердістю та теплостійкістю. При цьому використовують порошкові матеріали на основі карбіду вольфраму, карбіду титану, оксидів алюмінію та хрому. Такі покриття мають низький коефіцієнт тертя і високу стійкість до температурного руйнування.

Електроіскрове легування характеризується високою міцністю зчеплення покриття з основним металом та незначною тепловою деформацією деталі. Метод дозволяє наносити тугоплавкі матеріали локально на фаски клапанів та сідла.

Для сідел клапанів перспективними є композиційні покриття на основі карбонітриду титану та карбіду кремнію, які забезпечують високу твердість, теплостійкість та корозійну стійкість.

Ефективним способом підвищення зносостійкості є поверхневе пластичне деформування, до якого належать обкатування роликami, алмазне вигладжування та дробоструминна обробка. Після такої обробки зменшується шорсткість поверхні, формуються залишкові стискуючі напруження та підвищується твердість поверхневого шару [16].

Дослідження показують, що дробоструминна обробка перед нанесенням покриттів дозволяє суттєво знизити інтенсивність зношування елементів клапанного механізму.

Алмазне вигладжування клапанів забезпечує зниження параметра шорсткості R_a до 0,16...0,32 мкм, що сприяє стабілізації мастильної плівки та зменшенню коефіцієнта тертя [16].

Значний вплив на довговічність клапанного спряження має якість фінішної обробки. Шліфування, хонінгування, суперфінішування та полірування дозволяють зменшити мікронерівності поверхні та підвищити контактну витривалість [17].

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

У табл. 1.6 наведено вплив фінішної обробки на параметри поверхні клапанного з'єднання.

Таблиця 1.6

Вплив фінішної обробки на параметри поверхні клапанного з'єднання

Метод обробки	Шорсткість поверхні Ra, мкм	Вплив на зносостійкість	Особливості застосування
Шліфування	0,63-1,25	Середнє	Основний метод формування фасок
Притирання	0,32-0,63	Високе	Забезпечує герметичність спряження
Суперфінішування	0,08-0,32	Високе	Зменшує коефіцієнт тертя
Алмазне вигладжування	0,16-0,32	Дуже високе	Формує зміцнений поверхневий шар
Полірування	0,04-0,16	Підвищує довговічність	Застосовується після зміцнення

Одним із сучасних напрямів є мікротекстурування поверхонь, при якому на робочій поверхні створюються мікроканавки або мікролунки для утримання мастильного матеріалу. Дослідження підтверджують, що текстуровані поверхні мають менший коефіцієнт тертя та нижчу інтенсивність зношування.

Для виготовлення клапанів і сідел широко використовують леговані жароміцні сталі, сплави на основі нікелю, кобальту та хрому. Введення карбідів, нітридів і боридів у структуру матеріалу дозволяє підвищити твердість та опір високотемпературному зношуванню.

Для випускних клапанів особливо важливими є теплостійкість та корозійна стійкість, оскільки температура в зоні контакту може перевищувати 700-800 °С. Тому для зміцнення робочих фасок застосовують сталітові наплавлення та жаростійкі композиційні покриття (табл. 1.7).

Характеристика сучасних покриттів для клапанів і сідел

Матеріал покриття	Твердість, HV	Робоча температура, °C	Основні властивості	Галузь застосування
Карбід вольфраму (WC)	1200-1600	До 800	Висока зносостійкість	Робочі фаски клапанів
Нітрид титану (TiN)	1800-2200	До 600	Низький коефіцієнт тертя	Напрямні поверхні
Карбонітрид титану	2200-3000	До 900	Теплостійкість, корозійна стійкість	Сідла клапанів
Стелітові сплави	400-600	До 900	Жаростійкість	Випускні клапани
Оксид алюмінію (Al ₂ O ₃)	1800-2000	До 1000	Хімічна стійкість	Теплонавантажені деталі

Проведений аналіз показує, що найбільш ефективними методами підвищення зносостійкості клапанного зчеплення є комбіновані технології, які поєднують термічне зміцнення, нанесення покриттів та фінішну обробку поверхні. Найкращі результати забезпечують: азотування та карбонітрація; плазмове або газотермічне напилення; електроіскрове легування; алмазне вигладжування; мікротекстурування поверхонь.

Комплексне використання зазначених методів дозволяє знизити інтенсивність зношування у 2-3 рази, зменшити коефіцієнт тертя, підвищити герметичність клапанного спряження та збільшити ресурс двигуна. У табл. 1.8 наведено ефективність комбінованих методів зміцнення клапанного спряження.

У табл. 1.9 наведено порівняльна характеристика методів підвищення зносостійкості клапанного зчеплення.

Проведений аналіз існуючих способів підвищення зносостійкості поверхонь клапанного зчеплення показав, що важливе значення для

Таблиця 1.8

Ефективність комбінованих методів зміцнення клапанного спряження

Комбінація технологій	Результат обробки	Зниження інтенсивності зношування
Азотування + притирання	Підвищення твердості та герметичності	35–45 %
Газотермічне напилення + полірування	Зменшення тертя та перегріву	40–60 %
Електроіскрове легування + суперфінішування	Формування зміцненого шару	45–55 %
Плазмове напилення + алмазне вигладжування	Висока теплостійкість і низька шорсткість	До 65 %
Карбонітрація + мікротекстурування	Покращення утримання мастила	50–70 %

Таблиця 1.9

Порівняльна характеристика методів підвищення
зносостійкості клапанного зчеплення

Метод зміцнення	Сутність методу	Переваги	Недоліки	Підвищення ресурсу
1	2	3	4	5
Азотування	Насичення поверхні азотом	Висока твердість, теплостійкість	Тривалий процес	1,5-2 рази
Карбонітрація	Насичення азотом і вуглецем	Підвищена зносостійкість	Складність контролю режимів	До 2 разів
Газотермічне напилення	Нанесення зносостійкого шару	Висока твердість покриття	Необхідність спеціального обладнання	2-3 рази
Електроіскрове легування	Локальне нанесення легувального шару	Висока адгезія покриття	Обмежена продуктивність	1,5-2,5 рази

1	2	3	4	5
Алмазне вигладжу- вання	Пластичне деформування поверхні	Зменшення шорсткості	Необхідність точного налаштуван- ня	До 1,5 разів
Плазмове напилення	Формування жаростійкого покриття	Висока теплостійкість	Висока вартість	До 3 разів

забезпечення високої зносостійкості має якість фінішної механічної обробки поверхонь клапанного спряження. Застосування суперфінішування, притирання, алмазного вигладжування та мікротекстурування забезпечує зменшення шорсткості поверхні, стабілізацію мастильної плівки та зниження коефіцієнта тертя. Комплексне поєднання методів термічного зміцнення, нанесення покриттів і фінішної обробки дозволяє отримати найбільший ефект підвищення довговічності деталей газорозподільного механізму.

На основі виконаного аналізу можна зробити висновок, що перспективним напрямом удосконалення технології відновлення клапанного з'єднання є застосування комбінованих методів зміцнення з використанням сучасних зносостійких покриттів та фінішної абразивної обробки, що забезпечує підвищення ресурсу двигуна та зниження експлуатаційних витрат автотранспортного підприємства.

2 АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ В АТП

2.1 Характеристика автотранспортного підприємства

Автотранспортне підприємство (АТП) є виробничо-технічним комплексом, призначеним для забезпечення перевезення вантажів або пасажирів, виконання технічного обслуговування, ремонту та зберігання рухомого складу. Основною метою діяльності АТП є підтримання автомобілів у технічно справному стані, забезпечення безпечної експлуатації транспортних засобів та підвищення ефективності транспортного процесу [18]. Ефективність роботи підприємства значною мірою залежить від технічного стану рухомого складу, зокрема двигунів внутрішнього згоряння.

Сучасне автотранспортне підприємство включає комплекс виробничих, допоміжних та адміністративних підрозділів, що забезпечують виконання транспортної роботи та технічного обслуговування автомобілів. До складу АТП входять основні підрозділи автотранспортного підприємства, які наведено у табл. 2.1 [19].

Таблиця 2.1

Основні підрозділи автотранспортного підприємства

Підрозділ АТП	Основне призначення
1	2
Зона ЩО	Щоденний контроль технічного стану автомобілів
Зона ТО-1	Проведення планового технічного обслуговування
Зона ТО-2	Виконання поглибленого технічного обслуговування
Дільниця поточного ремонту	Усунення несправностей агрегатів і систем
Моторна дільниця	Ремонт та відновлення двигунів

1	2
Агрегатна дільниця	Ремонт коробок передач, мостів та інших агрегатів
Складське господарство	Зберігання запасних частин і матеріалів
Стоянка рухомого складу	Зберігання автомобілів між рейсами

Основною виробничою одиницею підприємства є ремонтна зона, у якій виконуються операції технічного обслуговування, діагностування та ремонту агрегатів автомобілів. Значну частину ремонтних робіт займає відновлення деталей двигунів внутрішнього згоряння, зокрема елементів газорозподільного механізму.

Для умов автотранспортних підприємств характерна експлуатація автомобілів у змінних дорожньо-кліматичних умовах, що суттєво впливає на технічний стан двигунів. Робота автомобілів у режимах частих пусків, перевантажень, підвищених температур та запиленості спричиняє інтенсивне зношування клапанного механізму, зокрема робочих фасок клапанів, сідел і напрямних втулок [20].

На підприємствах автомобільного транспорту технічне обслуговування та ремонт виконуються відповідно до планово-попереджувальної системи. Вона передбачає періодичне виконання контрольних, діагностичних, регулювальних та ремонтних операцій, спрямованих на підтримання працездатності автомобілів [21].

Основними завданнями технічної служби АТП є:

- забезпечення технічно справного стану рухомого складу;
- підвищення коефіцієнта технічної готовності автомобілів;
- зменшення простоїв транспортних засобів;
- зниження витрат на ремонт;
- забезпечення безпечних умов експлуатації [22].

Для виконання ремонтних робіт на підприємстві застосовуються

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

спеціалізовані дільниці та обладнання. На моторній дільниці здійснюються: розбирання та дефектація двигунів; очищення деталей; відновлення гільз циліндрів; ремонт колінчастих валів; відновлення клапанного механізму; складання та випробування двигунів [23].

Рухомий склад АТП, як правило, включає вантажні автомобілі, автобуси та спеціалізовану техніку, оснащену бензиновими або дизельними двигунами. Умови експлуатації таких двигунів характеризуються значною різноманітністю режимів роботи: від тривалих навантажень при русі на міжміських маршрутах до частих зупинок і запусків у міських умовах.

Експлуатація автомобілів на АТП часто супроводжується впливом несприятливих факторів, таких як: нерівномірні навантаження; робота на холостому ході; часті холодні пуски; використання палива та мастильних матеріалів змінної якості; вплив пилу та забруднень. Ці фактори безпосередньо впливають на інтенсивність зношування деталей двигуна, особливо клапанного спряження головки циліндрів.

Технічний стан клапанного з'єднання також залежить від якості проведення технічного обслуговування. Недотримання регламентів ТО, використання неякісних мастильних матеріалів, перегрів двигуна та несвоєчасне регулювання теплових зазорів призводять до прискореного зношування клапанів і сідел [24].

На більшості АТП під час ремонту двигунів використовують традиційні методи відновлення клапанного механізму, які включають шліфування, притирання та заміну пошкоджених деталей. Однак застосування лише механічної обробки не завжди забезпечує необхідний рівень довговічності деталей. Тому актуальним напрямом є впровадження сучасних технологій зміцнення поверхонь клапанного спряження, зокрема використання абразивних і силікатних паст, електроіскрового легування та нанесення зносостійких покриттів [25].

Організація ремонтного виробництва на АТП повинна відповідати вимогам ДСТУ, нормам охорони праці та екологічної безпеки. Особлива увага

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

приділяється забезпеченню вентиляції виробничих приміщень, контролю рівня шуму та вібрації, організації освітлення, а також безпечній роботі з абразивними матеріалами та мастильно-охолоджувальними рідинами [26].

Ефективність роботи автотранспортного підприємства оцінюється такими основними показниками:

- коефіцієнтом технічної готовності рухомого складу;
- продуктивністю ремонтних дільниць;
- тривалістю простою автомобілів у ремонті;
- собівартістю технічного обслуговування та ремонту;
- ресурсом відновлених деталей [22].

Підвищення надійності двигунів автомобілів та вдосконалення технології відновлення клапанного з'єднання є одним із пріоритетних напрямів розвитку ремонтного виробництва АТП, оскільки дозволяє зменшити експлуатаційні витрати, підвищити моторесурс двигунів і покращити економічні показники підприємства [25].

У табл. 2.2 наведено основні фактори, що впливають на зношування клапанного механізму в умовах АТП.

Таблиця 2.2

Основні фактори, що впливають на зношування клапанного механізму в умовах АТП

Фактор	Характер впливу
Підвищене теплове навантаження	Викликає прогар фасок клапанів
Запиленість повітря	Спричиняє абразивне зношування
Низька якість мастильних матеріалів	Підвищує інтенсивність тертя
Перевантаження двигуна	Призводить до втомного руйнування
Несвоєчасне ТО	Викликає прискорене зношування деталей
Порушення регулювання клапанів	Погіршує герметичність спряження

У результаті аналізу встановлено, що автотранспортне підприємство є складним виробничо-технічним комплексом, ефективність роботи якого значною мірою залежить від технічного стану рухомого складу та якості виконання технічного обслуговування і ремонту. В умовах АТП двигуни автомобілів працюють при значних змінних навантаженнях, що призводить до інтенсивного зношування елементів газорозподільного механізму, зокрема клапанного з'єднання.

Встановлено, що основними причинами прискореного зношування клапанів і сідел є високі температури, абразивний вплив пилу, порушення режимів мащення та несвоєчасне технічне обслуговування. Тому вдосконалення технології відновлення клапанного спряження є важливим напрямом підвищення надійності двигунів та ефективності роботи автотранспортного підприємства.

2.2 Умови роботи двигунів в АТП

Умови експлуатації двигунів внутрішнього згоряння в автотранспортних підприємствах характеризуються значною різноманітністю навантажувальних, температурних та дорожньо-кліматичних факторів, які безпосередньо впливають на технічний стан деталей і вузлів двигуна. Найбільш складні умови роботи мають елементи газорозподільного механізму, зокрема клапанне зчеплення, яке функціонує в умовах високих температур, змінних ударних навантажень та недостатнього мащення [18].

У табл. 2.3 наведено основні фактори експлуатації двигунів в умовах АТП

У процесі експлуатації автомобілів двигуни працюють у нестационарних режимах, для яких характерні часті зміни частоти обертання колінчастого вала, навантаження та температурного режиму. Робота двигуна супроводжується циклічним відкриванням і закриванням клапанів, що викликає ударні навантаження між фасками клапанів і сідел. При цьому температура випускних клапанів може досягати 700-900 °С, а контактні

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Основні фактори експлуатації двигунів в умовах АТП

Фактор	Характер впливу на двигун	Наслідки
Часті пуски двигуна	Недостатнє мащення поверхонь тертя	Підвищене зношування деталей
Робота на холостому ході	Погіршення теплового режиму	Нагароутворення
Підвищене навантаження	Зростання контактних напружень	Втомне руйнування
Запиленість повітря	Потрапляння абразивних частинок	Абразивне зношування
Перегрів двигуна	Зниження міцності металу	Прогар клапанів
Низька якість мастила	Порушення мащення	Задири та заклинювання

напруження у зоні клапанного спряження – понад 400 МПа [27].

На автотранспортних підприємствах значна частина автомобілів експлуатується у міських умовах, для яких характерні: часті пуски та зупинки двигуна; робота на холостому ході; короткі поїздки; часті зміни швидкісних режимів; підвищене теплове навантаження [28].

У таких умовах погіршується тепловідведення від клапанів до сідел, збільшується інтенсивність нагароутворення та підвищується ймовірність виникнення прогару робочих фасок. Особливо небезпечним є порушення герметичності контакту між клапаном і сідлом, унаслідок чого гарячі гази прориваються через нещільності та викликають локальний перегрів поверхонь.

На технічний стан двигунів значно впливають дорожні умови експлуатації. Під час руху автомобілів по дорогах із незадовільним покриттям збільшується запиленість повітря, що сприяє потраплянню абразивних частинок у циліндро-поршневу групу та клапанний механізм. Це призводить до інтенсивного абразивного зношування робочих поверхонь клапанів, сідел та напрямних втулок.

Важливим фактором є температурний режим роботи двигуна. Перегрів двигуна викликає: зниження міцності металу клапанів; прискорення окиснення поверхонь; утворення мікротріщин; деформацію фасок; втрату герметичності клапанного спряження [29].

Особливо несприятливими є режими тривалої роботи двигуна при максимальному навантаженні та низькій частоті обертання колінчастого вала. У таких умовах збільшується теплова напруженість деталей і прискорюється процес втомного руйнування.

У процесі експлуатації двигунів в умовах АТП суттєве значення має якість паливно-мастильних матеріалів. Використання неякісного моторного масла або порушення строків його заміни призводить до погіршення мащення поверхонь тертя та накопичення відкладень у зоні клапанного механізму. Внаслідок цього збільшується коефіцієнт тертя, порушується рухливість клапанів та виникає небезпека заклинювання стержня клапана у напрямній втулці.

Негативний вплив на роботу двигунів мають також часті холодні пуски. У момент запуску двигуна мастильна плівка на поверхнях тертя є недостатньою, що спричиняє підвищене спрацювання деталей. Найбільше зношування при цьому спостерігається у перші секунди після пуску двигуна [24].

Однією з особливостей роботи двигунів у АТП є нерівномірність експлуатаційного навантаження. Частина автомобілів працює з перевантаженням або у важких дорожніх умовах, що викликає: підвищення температури деталей; збільшення питомих тисків; посилення вібрацій; інтенсивне втомне зношування [30].

На технічний стан клапанного механізму впливають також конструктивні особливості двигуна. Впускні клапани працюють у більш важких умовах порівняно з впускними, оскільки вони безпосередньо контактують із потоком гарячих відпрацьованих газів. Саме тому впускні клапани найчастіше піддаються прогару, викришуванню та корозійно-

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

механічному зношуванню [27].

Значний вплив на довговічність двигунів має організація технічного обслуговування на підприємстві. Несвоєчасне регулювання теплових зазорів клапанів, порушення режимів технічного обслуговування та недостатній контроль технічного стану двигунів сприяють розвитку дефектів клапанного механізму [23].

Для забезпечення надійної роботи двигунів в умовах АТП необхідно: своєчасно проводити технічне обслуговування; використовувати якісні паливно-мастильні матеріали; контролювати теплові зазори клапанів; здійснювати діагностування двигунів; застосовувати сучасні технології зміцнення та відновлення деталей [25].

У результаті проведеного аналізу встановлено, що умови роботи двигунів в автотранспортних підприємствах характеризуються високою інтенсивністю експлуатаційних навантажень, змінністю режимів роботи та впливом несприятливих дорожньо-кліматичних факторів. Найбільш складні умови роботи мають елементи газорозподільного механізму, зокрема клапанне зчеплення, яке працює при високих температурах, значних контактних навантаженнях та недостатньому мащенні.

Встановлено, що основними причинами прискореного зношування клапанного механізму є перегрів двигуна, потрапляння абразивних частинок, використання неякісних мастильних матеріалів, порушення регламентів технічного обслуговування та значні ударні навантаження. Це призводить до прогару клапанів, зношування сідел, утворення тріщин і порушення герметичності камери згоряння.

Проведений аналіз підтверджує необхідність удосконалення технологій відновлення та зміцнення поверхонь клапанного спряження з метою підвищення довговічності двигунів і зниження витрат на ремонт в умовах автотранспортного підприємства.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Методи діагностики технічного стану клапанного спряження

Технічний стан клапанного з'єднання суттєво впливає на потужність, економічність, екологічні показники та надійність роботи двигуна внутрішнього згоряння. Порушення герметичності клапанного спряження, збільшення теплових зазорів, зношування фасок клапанів і сідел призводять до зниження компресії, підвищення витрати палива та прискореного зношування деталей газорозподільного механізму. Тому своєчасне діагностування технічного стану клапанного механізму є важливою складовою технічного обслуговування та ремонту двигунів в умовах автотранспортного підприємства [18].

Діагностування клапанного зчеплення являє собою процес визначення технічного стану клапанів, сідел, напрямних втулок та елементів приводу без повного розбирання двигуна. Основною метою діагностики є своєчасне виявлення дефектів, визначення ступеня зношування деталей та прогнозування їх залишкового ресурсу [19].

У сучасній практиці технічної експлуатації автомобілів застосовують такі основні методи діагностики клапанного механізму: органолептичні; компресійні; пневматичні; віброакустичні; ендоскопічні; комп'ютерні методи діагностики [31]. Розглянемо вище наведені методи.

Органолептичні методи діагностики базуються на аналізі зовнішніх ознак роботи двигуна: шуму, стуку, димності, нестійкої роботи та зміни кольору відпрацьованих газів. Дані методи є найпростішими та широко використовуються під час первинного контролю технічного стану двигуна [23].

Основними ознаками несправностей клапанного механізму є: металевий стук у зоні клапанної кришки; зниження компресії; нестійка робота двигуна; перегрів двигуна; поява хлопків у впускному або випускному тракті; підвищена димність відпрацьованих газів. При збільшенні теплових зазорів між клапаном і коромислом виникає характерний різкий металевий стук,

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

який особливо добре прослуховується на малих обертах двигуна. Для прослуховування роботи клапанного механізму використовують механічні або електронні стетоскопи.

Таблиця 2.4

Основні зовнішні ознаки несправностей клапанного механізму

Ознака несправності	Ймовірна причина
Металевий стук	Збільшення теплового зазору
Хлопки у впускному колекторі	Негерметичність впускного клапана
Хлопки у випускній системі	Прогар випускного клапана
Перегрів двигуна	Порушення герметичності клапанів
Нестійка робота двигуна	Порушення фаз газорозподілу
Зниження потужності	Низька компресія

Компресійний метод діагностики є одним із найбільш поширених методів оцінки технічного стану клапанного з'єднання. Він базується на вимірюванні максимального тиску в циліндрі двигуна наприкінці такту стиск.

Для вимірювання компресії використовують: компресометри; компресографи; мотортестери.

Зниження компресії свідчить про: порушення герметичності клапанів; прогар фасок; зношування сідел; заклинювання клапанів; порушення теплових зазорів [24].

Нормальне значення компресії залежить від типу двигуна та ступеня стиску. Для бензинових двигунів компресія зазвичай становить 0,9-1,3 МПа, а для дизельних – 2,5-3,0 МПа [27].

У табл. 2.5 наведено оцінку технічного стану клапанного механізму за компресією.

Пневматичний метод діагностики полягає у подачі стисненого повітря в циліндр двигуна при закритих клапанах та визначенні величини витоку повітря.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Оцінка технічного стану клапанного механізму за компресією

Значення компресії	Технічний стан двигуна
Відповідає нормі	Клапанний механізм справний
Зниження на 10–15 %	Початкове порушення герметичності
Зниження понад 20 %	Значне зношування клапанів або сідел
Різде падіння компресії	Прогар або зависання клапана

Для діагностування використовують пневмотестери типу К-272, К-69М та сучасні електронні прилади [29].

Перевагою методу є можливість визначення місця порушення герметичності: витік через впускний колектор – несправність впускного клапана; витік через глушник – несправність випускного клапана; витік через сапун – зношування поршневої групи.

Пневматичний метод характеризується високою точністю та широко застосовується під час поглибленого діагностування двигунів.

У табл. 2.6 наведено визначення дефектів клапанного механізму пневматичним методом.

Таблиця 2.6

Визначення дефектів клапанного механізму пневматичним методом

Місце виходу повітря	Ймовірна несправність
Впускний колектор	Негерметичність впускного клапана
Випускна система	Прогар випускного клапана
Картер двигуна	Зношування поршневих кілець
Система охолодження	Пошкодження прокладки ГБЦ

Віброакустичний метод діагностики є одним із найбільш перспективних

способів нерозбірної діагностики газорозподільного механізму. Метод базується на аналізі шумів і вібрацій, які виникають у процесі роботи двигуна.

Джерелами коливань є: удари клапанів; коливання пружин; робота кулачків розподільного вала; процеси тертя у спряженнях.

Для діагностики використовують: вібродатчики; електронні стетоскопи; спектроаналізатори; комп'ютерні діагностичні комплекси.

Перевагами методу є: висока швидкість діагностики; можливість контролю без розбирання двигуна; висока чутливість до дефектів; можливість автоматизованого аналізу сигналів.

Дослідження показують, що перевищення амплітуди вібросигналу понад 182 мВ свідчить про необхідність регулювання клапанів або заміни гідрокомпенсаторів. Переваги та недоліки віброакустичної діагностики наведено у табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Переваги та недоліки віброакустичної діагностики

Переваги	Недоліки
Висока інформативність	Необхідність спеціального обладнання
Безрозбірний контроль	Вплив сторонніх шумів
Швидке визначення дефектів	Складність обробки сигналів
Можливість автоматизації	Необхідність кваліфікованого персоналу

Ендоскопічний метод діагностики передбачає візуальний контроль технічного стану клапанів та камери згоряння за допомогою ендоскопів або відеоскопів [28].

Метод дозволяє виявити: прогар клапанів; тріщини; нагар; викришування фасок; механічні пошкодження поверхонь. Основною

перевагою ендоскопічного контролю є можливість безпосереднього огляду робочих поверхонь без демонтажу головки блока циліндрів. Основні можливості ендоскопічної діагностики наведено у табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Основні можливості ендоскопічної діагностики

Контрольований параметр	Можливість визначення
Наявність нагару	Так
Прогар клапана	Так
Мікротріщини	Частково
Зношування фаски	Так
Герметичність клапана	Ні

Сучасні двигуни оснащуються електронними системами керування, що дозволяє використовувати комп'ютерні методи діагностики. За допомогою електронних сканерів визначають: пропуски запалювання; порушення фаз газорозподілу; нестабільність роботи циліндрів; зміни параметрів роботи двигуна [30].

Комп'ютерна діагностика дозволяє оперативно оцінювати технічний стан двигуна та локалізувати несправності клапанного механізму.

Проведений аналіз показав, що для визначення технічного стану клапанного з'єднання найбільш простими та доступними є органолептичні та компресійні методи, однак вони мають обмежену точність.

Найбільш перспективними напрямками є віброакустична та комп'ютерна діагностика, які забезпечують високу інформативність, можливість безрозбірного контролю та автоматизацію процесу визначення технічного стану клапанного механізму. Комплексне використання сучасних методів діагностування дозволяє своєчасно виявляти дефекти клапанного з'єднання, підвищувати надійність двигунів та знижувати витрати на ремонт в умовах автотранспортного підприємства.

З РОЗРОБКА ЗАХОДУ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ

3.1 Обґрунтування вибору методу підвищення зносостійкості клапанного спряження

З аналізу умов експлуатації двигунів автотранспортного підприємства (розділ 2) видно, що клапанне спряження піддається інтенсивному зносу, зумовленому високими температурами, ударними навантаженнями, абразивним та корозійним впливом, а також нерегулярним змащенням. Основними наслідками цього є: порушення герметичності клапанів та сідел; прогар клапанів; збільшення контактних зазорів; утворення нагару та мікропошкоджень робочих поверхонь.

Традиційні методи підвищення зносостійкості, такі як застосування жароміцних сталей, азотування або хіміко-термічна обробка, мають значні технологічні та економічні обмеження для умов АТП:

- вимагають складного обладнання та висококваліфікованого персоналу;
- потребують значних витрат на матеріали та обробку;
- не завжди ефективні при повторному ремонті двигуна в умовах підприємства.

Враховуючи вище наведене, перед нами стояло завдання запропонувати метод для умов АТП, який дозволить підвищити зносостійкість клапанного спряження головки циліндрів.

Якість робочих поверхонь деталей є найважливішим фактором, що зумовлює надійну та довговічну роботу механізмів. Високі показники точності зазвичай досягаються в результаті виконання механічної обробки, що є прийнятним для умов АТП [32].

Серед різних способів механічної обробки, що забезпечують виконання високих вимог до якості поверхневого шару і точності розмірів, важливе місце займає абразивне притирання, що дозволяє отримати поверхню з низькою шорсткістю і необхідними властивостями [32].

Як відомо, притиральна операція виконується за допомогою паст, які

					БР.АТ-09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

наносяться на поверхню деталей для знімання припуску на обробку, зміни розмірів і її форми. При цьому під хімічним і механічним впливом абразивних зерен відбувається зняття тонкого шару металу, що призводить до зменшення шорсткості поверхні. [33]. У процесі взаємного абразивного притирання зерна, перебуваючи між деталями, знімають з оброблюваних поверхней тонку металеву стружку. У той час хімічний вплив кислого середовища пасти поєднується з механічним впливом. Абразивні зерна перебувають у складі сполучної рідини між оброблюваними поверхнями деталей, вдавлюються в поверхню деталі, виконаної з м'якшого матеріалу і шаргуються у з'єднанні. Під впливом хімічних складових пасти утворюється плівка, яку видаляють абразивні зерна під час переміщення деталей. Одночасно ці зерна знімають найтонші стружки. Спочатку мікронерівності стикаються по малій контактній площі. Зрізаються окисні плівки з виступів мікронерівностей. Цей етап характеризується великими питомими тисками і пластичним деформуванням виступів мікронерівностей. Зі збільшенням контактної площі тиск зменшується, знижується товщина шару, що знімається. При цьому знімаються тільки окисні плівки. Значну роль у цьому випадку відіграє в'язкість рідини. Товщина шару рідини між деталями має бути меншою за величину ріжучих зерен, що знаходяться у з'єднанні. Як сполучну рідину використовують машинну оливу, гас, стеарин, вазелін. Як абразив використовують порошки, мікропорошки електрокорунду, карбіду кремнію, карбіду бору, оксиду хрому, оксиду заліза тощо. До складу притиральних паст входять хімічно активні речовини олеїнова або стеаринова кислота, які утворюють на оброблюваній поверхні м'яку оксидну плівку, що легко знімається з поверхні ущільнюючих гребінців, чим забезпечується висока чистота і продуктивність притирання [34].

Недоліком абразивної доводочно-притиральної обробки є низька продуктивність процесу. Усунення цього недоліку неможливе без впровадження у виробництво прогресивної технології, дешевих та ефективних абразивно-довідкових сумішей.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

В даний час існує широкий асортимент різних складів притиральних паст. Вони відрізняються за своїми характеристиками, зернистістю, в'язкістю, типом, наявністю додаткових присадок і таким чином впливають на механізм обробки.

У роботі [33] авторами запропоновано склад силікатної пасти, який можна використовувати для підвищення довговічності деталей автомобільних двигунів.

В роботі [33] наведено результати експериментального дослідження можливості використання силікатної пасти для підвищення довговічності деталей при їх відновленні. Для визначення довговічності деталей, поверхні яких були оброблені абразивними пастами, проведено дослідження зносостійкості таких поверхонь.

Проведене дослідження підтверджує, що у процесі обробки силікатним абразивним складом утворюється поверхня близька до оптимальної, що зумовлює низькі коефіцієнт тертя, температуру і інтенсивність зношування і це відбувається за рахунок утворення аморфного кремнезему (SiO_2) [33].

Доведено, що найкращі антифрикційні властивості має пара тертя, яка оброблена абразивним силікатним складом, а це дозволить підвищити довговічність деталей автомобільних двигунів на 15-20 % [33].

Встановлено, що пара тертя, яка оброблена абразивним силікатним складом, витримує навантаження до заїдання у 1,8-2 рази більше, ніж пари тертя, які оброблені існуючими складами [33].

Отже, одним із оптимальних та доступних рішень в умовах АТП є застосування силікатної пасти для притирання клапанів і сідел, що дозволить:

1. виправити нерівності поверхонь без демонтажу дорогих компонентів;
2. Підвищити щільність прилягання з'єднання «клапан – сідло», покращуючи герметичність камери згоряння;
3. Знизити контактні напруження та тертя, уповільнюючи знос;
4. Повторно застосовувати метод під час регламентного обслуговування;

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

5. Зменшити витрати на ремонт і підвищити ресурс деталей без зміни конструкції двигуна.

3.2 Фізико-механічні властивості силікатної пасти

Силікатна паста поєднує хіміко-механічний вплив абразиву, що забезпечує знімання найтонших шарів металу, в результаті чого змінюються макро-і мікронерівності, виправляється геометрія. Крім того, притирання силікатною пастою покращує фізико-механічні властивості клапанного спряження – підвищує опір зносу оброблених поверхонь, збільшує площу їх контакту (майже вдвічі), що сприяє підвищенню зносостійкості клапанного спряження.

Основні фізико-механічні властивості силікатної пасти:

1. Склад. Основним компонентом силікатної пасти є рідке натрієве скло, яке впливає на мікрогеометрію поверхні притирання.

В роботі [20] наведено, що Рідке натрієве скло – водний лужний розчин силікатів $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, в яких аніонна частина представлена у вигляді полікремнієвих кислот різної полімерності. При підвищенні концентрації силікатні розчини послідовно проходять стани малорухливих рідин, желеподібних мас і тендітного склоподібного тіла, при будь-якому вмісті води зберігаючи гомогенність (відповідно, зі збільшенням у системі води ці стани чергуються у зворотному порядку). Головна роль у силікатах належить хімічній зв'язку Si–O.

Властивості силікатних розчинів – їх висока в'язкість, що зростає експоненційно зі збільшенням концентрації, стійкість щодо кристалізації, утворення склоподібних плівок, прояв в'язучих властивостей – так чи інакше, вказують на їхню полімерну будову. Прояв розчинами силікатів лужних металів в'язучих властивостей обумовлено їхньою полімерною природою, здатністю при висиханні (зневодненні) утворювати жорсткий полімерний каркас, що скріплює частинки речовин, що наповнюють систему. Внаслідок цих процесів формується міцний силікатний камінь [32].

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Приймаючи до уваги властивості рідкого натрієвого скла виявлено, що стабільність силікатної пасти для притирання в часі може бути досягнута за рахунок введення трихлористого заліза (FeCl_3), яке є, у даному випадку, загусником рідкого скла і, крім цього, володіє високими гігроскопічними властивостями. Суміш трихлористого заліза (FeCl_3) та рідкого натрієвого скла назвали силікатною композицією. Адгезійні властивості силікатної композиції покращувалися за рахунок введення в склад для притирання мастила 1-13. Вибір даного мастила обумовлений розчинністю у воді. Для збільшення абразивної здатності пасти притирання був введений абразивний порошок [32].

В роботі [35] виконано оптимізацію складу силікатної пасти. Параметром оптимізації була шорсткість поверхонь, які притиралися. За результатами оптимізації складу силікатної пасти відмічено, що для досягнення мінімального значення параметра оптимізації (R_a) при притиранні абразивним складом оптимальні концентрації компонентів силікатного складу повинні бути наступними: концентрація абразиву (А) 10 % мас., концентрація силікатної композиції (СК) 40 % мас., концентрація мастила 1-13 (С) 8 % мас., решта вода.

2. Абразивні властивості. Ефективність будь-якого абразивного складу визначається видом абразиву. Наприклад, при виготовленні пасти для притирання клапанів застосовуються мікропорошки корунду, електрокорунду, карбіду кремнію, бору та титану. За розмірами зерен вони застосовуються для грубого притирання та отримання поверхні з шорсткістю $R_a = 1,25$ мкм – 50 % (зернистість від 5 до 3), для попереднього притирання з отриманням шорсткості $R_a = 0,63$ мкм – 50 % (мікропорошки від M28 до M14) і для остаточного притирання з отриманням шорсткості $R_a = 0,16$ мкм – 50 % (мікропорошки від M10 до M5)[36].

В Україні для притирання клапанів застосовують абразивну пасту «КТ» (виробник України, Полтавський алмазний інструмент). Абразивні пасти «КТ» складаються з класифікованих по зернистості порошоків

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

карбіду титану та наповнювача – композиції зі змащувальних матеріалів та поверхнево-активних речовин [37].

На характер формування поверхневого шару оброблених деталей у процесі полірування істотно впливає розмір абразивних зерен. Зменшення значень висотних параметрів шорсткості поверхні R_a та R_{max} відбувається із зменшенням зернистості абразиву [38].

При абразивному поліруванні зразків з різних матеріалів (з різною вихідною шорсткістю поверхонь) зі збільшенням значень висотних параметрів шорсткості до обробки відношення R_a/R_{max} зменшується (при рівних значеннях зернистості абразиву, тиску та часу обробки) [38].

В роботі [39] проведено дослідження впливу твердості абразиву силікатної пасти на якість обробленої поверхні. Для проведення дослідження були приготовлені склади силікатної пасти з абразивним мікропорошками електрокорунду (мікротвердість 1000-2200 кгс/мм²), карбіду кремнію зеленого (2850-3600 кгс/мм²), карбіду титану (2980-3300 кгс/мм²), карбіду бору (4000-5000 кгс/мм²) зернистістю 50/40.

В роботі [39] автор відмічає, що на перших хвилинах притирання силікатною пастою з відповідними абразивами в коефіцієнта тертя збільшення. І це відбувається завдяки дії гострих ріжучих кромek абразивних зерен. Далі ріжуча здатність абразиву зменшується. При взаємному переміщенні поверхонь абразивні зерна перекочуючись зношуються і набувають округлої форми. Оскільки силікатна паста у своєму складі містить рідке скло (Na_2SiO_3), основним елементом якого є SiO_2 , відбувається обволікання плівкою оксидом кремнію абразивних зерен, що призводить до зменшення їх ріжучої здатності [39].

Результати дослідження [39] поверхней вихідних абразивних зерен та абразивних зерен після обробки силікатним складом показали, що ріжучі кромки мають округлену форму і покриті плівкою SiO_2 .

Оскільки абразивні зерна покриті плівкою оксиду кремнію (SiO_2), то під багаторазовою дією абразиву SiO_2 проникає в западини мікронерівностей і

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

зчіплюється з поверхнею. Таким чином, автори роботи [32] стверджують, що оброблювана поверхня насичується оксидом кремнію, а це призводить до зниження коефіцієнту тертя. При подальшому притиранні силікатною пастою коефіцієнт тертя залишається постійним у наступні п'ять хвилин. Стабілізація коефіцієнту тертя свідчить про закінчення процесу формування остаточної шорсткості поверхней тертя [32].

На підставі результатів дослідження авторами роботи [32], запропоновано для остаточного притирання використовувати силікатну пасту з абразивом електрокорунду та карбід кремнієм зеленим, так як процес формування закінчується на четвертій хвилини притирання і коефіцієнт тертя є найменшим.

В роботі [36] автори стверджують, що зі збільшенням зернистості абразиву силікатного складу збільшується час формування поверхневого шару. Авторами запропоновано для виготовлення силікатної пасти використовувати абразив електрокорунд зернистістю 63/50 та 50/40.

Таким чином, фізико-механічні властивості силікатної пасти роблять її ефективним засобом підвищення ресурсу та зносостійкості клапанного спряження без зміни конструкції двигуна.

На підставі вище наведеного, пропонуємо для підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндрів автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства використовувати силікатну притиральну пасту при відновленні пари тертя.

3.3 Технологія застосування силікатної пасти для обробки клапанного спряження

Обробка клапанного спряження абразивною пастою застосовується під час ремонту головок блока циліндрів автомобільних двигунів з метою забезпечення герметичності прилягання клапана до сидла, відновлення правильної геометрії контактної поверхні та підвищення надійності роботи газорозподільного механізму. Технологічний процес виконується після

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

механічної обробки сідел та клапанів і є завершальною операцією підготовки клапанного механізму до експлуатації [41].

Притирання клапанів забезпечує: щільне прилягання фаски клапана до сидла; усунення незначних нерівностей після механічної обробки; підвищення компресії двигуна; зменшення прориву газів; покращення тепловідведення від клапана до головки блока циліндрів [42].

Для виконання операції пропонуємо застосовувати: силікатну пасту з абразивом електрокорунд зернистістю 50/40; верстат ОПР-1841А призначений для притирання клапанів тракторних та автомобільних двигунів; промивальну рідину на водній основі; чисті серветки та засоби контролю герметичності.

Технічні характеристики верстата ОПР-1841А:

Кількість шпинделів, шт	12
Кут повороту шпинделів при прямому ході, град.....	360
Зсув шпинделів за подвійний хід, град.....	14
Кількість подвійних ходів корпусу шпинделів за хвилину	140
Кількість подвійних ходів рейки за хвилину	70
Найбільший підйом опорної площадки.....	500
Найбільша відстань між осями крайніх шпинделів, мм.....	750
Номінальна потужність електродвигунів, кВт.....	1,7

Верстат складається з таких вузлів і деталей (рис. 3.1): блоку шпинделів 1, перехідника 2, маховиків керування 3, 6, правої стійки 4, лівої стійки, підйомної платформи 5, станини 7.

Привід верстата здійснюється мотор-редуктором потужністю 1,1 кВт. Зворотно-обертальний рух шпинделів на 360 градусів здійснюється за допомогою кривошипно-шатунного механізму, рейки та шестерень шпинделів. Крім зворотно-обертального руху навколо горизонтальної осі, шпинделі мають зворотно-поступальні рухи у вертикальній площині, які здійснюються кривошипно-шатунним механізмом шпинделів.

Зсув початкових положень шпинделів здійснюється за допомогою

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

гідравлічного механізму зсуву. В результаті такого поєднання рухів верстат ніби копіює ручний режим притирання.

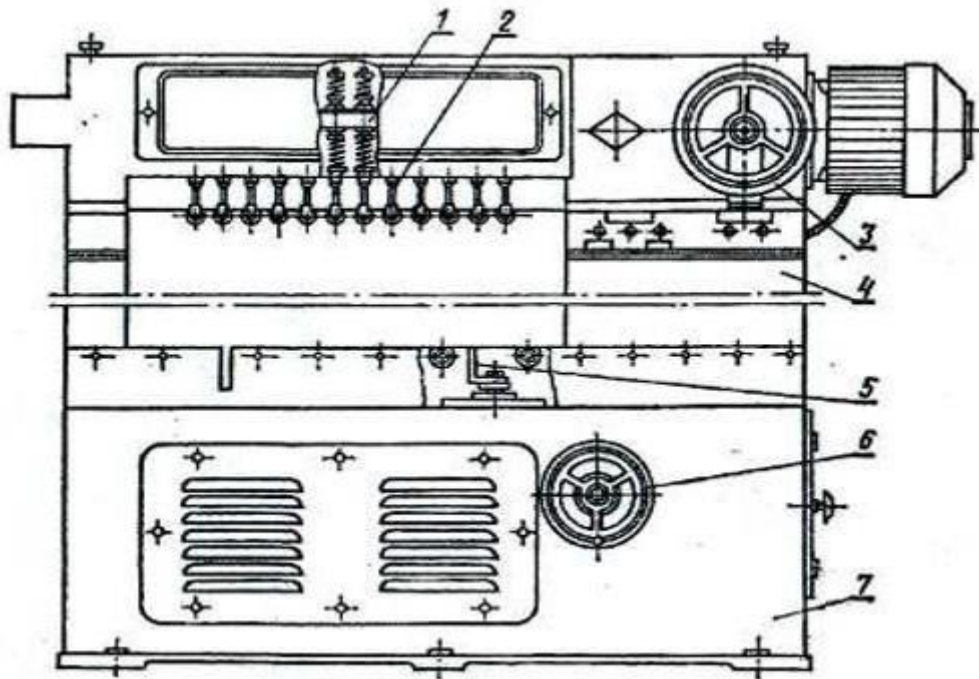


Рис. 3.1. Верстат ОПр-1841А для притирання клапанів:

- 1 – блок шпинделів; 2 – перехідник; 3, 6 – маховичок; 4 – права стійка;
5 – кутник підйомної платформи; 7 – станина

Для установки головок блоку та блоків на верстат він оснащений підйомним столом. Зміна висоти столу здійснюється або вручну маховиком 6, через черв'ячну пару та рейкове зачеплення, або електродвигуном через клиноремінну передачу, для чого необхідно натиснути кнопку керування.

Механізм зміщення дозволяє здійснювати зміщення циліндра відносно поршня за один подвійний хід на 3-5 мм. Повний оберт зміщення клапана, що притирається, відбувається за 25-35 подвійних ходів рейки. Зміщення клапана відносно гнізда необхідне для забезпечення рівномірності притирання клапана по всьому діаметру запірної фаски.

Притирання клапанів на верстаті ОПр-1841А необхідно виконувати у наступній послідовності:

- встановити головку блоку на кутники підйомної платформи верстата площиною роз'єму догори;

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- підібрати комплект клапанів придатних за всіма параметрами, надіти на стрижень клапанів спеціальні віджимні пружини та встановити їх у головку блоку;

- ослабити гайку шпинделів, розставити їх по осях клапанів, які притираються і закріпити верхні та нижні гайки втулок шпинделів так, щоб шпинделі могли вручну переміщатися в осьовому напрямку та під дією пружини встановлюватися у початкове положення;

- обертанням маховичка 3 (рис. 3.1) підняти корпус шпинделів у верхнє положення;

- обертанням маховичка 6 підйому столу підняти головку блоку так, щоб можна було вставити перехідники в прорізи шпинделів і тарілки клапанів;

- нанести на фаски клапанів силікатну пасту тонким рівномірним шаром 0,2-0,5 мм. Надмірна кількість пасти не допускається, оскільки це спричиняє появу подряпин та прискорене зношування поверхонь;

- обертанням штурвала 6 підйому столу встановити головку блоку в таке положення, щоб зазор між запірною фаскою клапана і поверхнею сідел при верхньому розташуванні шпинделів був у межах 8-10 мм;

- провести притирання протягом 4 хвилини.

Після закінчення притирання опустити стіл, вийняти клапани з пружинами, оглянути за допомогою лупи запірні фаски клапанів і сідла. Притирання вважається закінченим, якщо на запірних фасках клапана і сідла утворилася матова суцільна рівна смужка завширшки 1,5-2,0 мм, яка розташована в середині фаски клапана. Не допускаються розриви, риски та темні плями.

Після завершення притирання залишки пасти необхідно повністю видалити промиванням водним розчином.

Перевірити якість притирання:

- для перевірки щільності посадки клапана в сідлі використовувати вакуум-тестер. Необхідно встановити клапан на місце, піднести до отвору клапана насадку вакуум-тестера і зчитати показання приладу. За падінням

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вакууму судять про прилягання клапана:

- для перевірки герметичності на тарілку клапана зверху пензликом нанести гас. Пневматичний прилад для перевірки герметичності притискати до впускного та випускного отвору головки, грушою під клапан нагнітати повітря під тиском і спостерігати за появою бульбашок. Наявність бульбашок на змоченій поверхні клапана при подачі в канали близько 0,04 МПа (0,4 кгс/см²) свідчить про погане прилягання клапана. Якщо бульбашки відсутні, то клапан притертий задовільно.

3.4 Вплив обробки силікатною пастою на зносостійкість клапанного спряження

Обробка поверхонь тертя силікатною пастою є одним із ефективних способів підвищення зносостійкості деталей клапанного спряження двигунів внутрішнього згоряння. Основна мета такої обробки полягає у формуванні поверхневого шару з покращеними антифрикційними властивостями, зменшенні шорсткості та підвищенні довговічності спряжених деталей. Під час притирання клапана до сідла силікатна паста забезпечує рівномірне зняття мікронерівностей та створення оптимальної площі контакту між деталями.

У процесі обробки абразивні зерна силікатної пасти здійснюють мікрорізання та пластичне деформування поверхневого шару металу. Внаслідок цього відбувається зменшення висоти мікронерівностей, покращення геометричної точності поверхонь і зниження коефіцієнта тертя. Дослідження показують, що після застосування силікатної пасти формується поверхня, близька до оптимальної за своїми триботехнічними характеристиками, що сприяє зменшенню температури тертя та інтенсивності зношування [33].

Якість обробки значною мірою залежить від зернистості абразиву силікатної пасти. Використання дрібнозернистих паст дозволяє отримати меншу шорсткість поверхні та підвищити герметичність клапанного вузла. При цьому забезпечується рівномірний контакт клапана із сідлом, що

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

позитивно впливає на тепловідведення та зменшує локальні напруження в зоні контакту [36].

В роботі [39] автором було досліджено зносостійкість поверхонь тертя оброблених силікатною пастою з абразивом різною твердістю та зернистістю у порівнянні з існуючим складом пасти «КТ», що застосовується у даний час для притирання клапанів автомобільних двигунів.

Автор роботи [39] відмічає, що інтенсивність зношування пар тертя, які притерти силікатними складами, в залежності від твердості абразиву, в 1,3-1,5 рази менше, чим пара тертя, яка оброблена пастою «КТ». У процесі притирання силікатною пастою з абразивами різної твердості утворюється поверхня близька до оптимальної і, як було вказано раніше, ця поверхня насичена оксидом кремнію. Така вихідна якість поверхні зумовлює низькі коефіцієнти тертя, температур та інтенсивність зношування.

В роботі [39] підтверджено, що значення коефіцієнта тертя при роботі спряження, яке притерте силікатною пастою в 1,25 рази менше, чим у пари тертя, яке притерте пастою «КТ». Доведено, що процес припрацювання спряження, яке притерте силікатною пастою проходить швидше в 1,25 -1,65 рази, чим у пари тертя, яке притерте пастою «КТ». Підтверджено, що у процесі притирання силікатною пастою з абразивами різної зернистістю утворюється поверхня близька до оптимальної за рахунок зміни структури поверхневого шару притертої поверхні та насичення її оксидом кремнію.

Під зносостійкістю розуміють властивість матеріалу чинити опір зношування за визначених умов тертя, яка оцінюється величиною, оберненою швидкості зношування чи інтенсивності зношування [40]. Застосування силікатної пасти дозволяє підвищити цей показник завдяки формуванню більш стабільного та зміцненого поверхневого шару.

Таким чином, на підставі вище наведеного, можна стверджувати, що застосування силікатної пасти для притирання клапанів призводить до:

- покращення контактної поверхні: усунення нерівностей; формування рівномірної контактної площі; зменшення локальних напружень;

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

- зменшення коефіцієнту тертя поверхонь при роботі пари тертя;
- покращення герметичності: щільніше прилягання клапан – сідло, зменшення витрат палива, підвищення потужності, зниження викидів.

Застосування силікатної пасти є доступним та ефективним методом, що дозволяє одночасно підвищити ресурс, зносостійкість і герметичність клапанного спряження, зменшити ремонтні витрати та покращити експлуатаційні характеристики двигуна.

3.5 Оцінка ефективності запропонованих заходів підвищення зносостійкості клапанного спряження

Метою даного підрозділу є оцінка впливу застосування силікатної пасти на ресурс клапанного спряження та економічну доцільність впровадження цього методу в умовах автотранспортного підприємства.

На основі даних експериментальних досліджень та практики застосування притирання силікатною пастою встановлено:

- підвищення продуктивності абразивної обробки клапанного спряження автомобільних двигунів на 10-15 % [35];
- підвищення ресурсу клапанів і сідел на 15-20 %, що дозволяє збільшити термін експлуатації між капітальними ремонтами двигуна [33].

Приведемо розрахунок ресурсу:

Якщо стандартний ресурс клапанного спряження після обробки існуючими складами паст становить $R_0 = 120\,000$ км, а очікуване підвищення ресурсу при застосуванні силікатної пасти – $\Delta R = 20\%$, то новий ресурс R_1 обчислюємо за формулою:

$$R_1 = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta R}{100}\right), \text{ км}, \quad (3.1)$$

де R_0 – стандартний ресурс клапанного спряження після обробки

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

існуючими складами паст, км;

ΔR – очікуване підвищення ресурсу при застосуванні силікатної пасту, %.

$$R_1 = 120000 \cdot \left(1 + \frac{20}{100}\right) = 144000 \text{ км.}$$

Таким чином, застосування пасту дозволяє збільшити ресурс клапанного спряження на 24 000 км, що знижує частоту ремонтів двигуна.

Розрахуємо економічну вигоду від застосування силікатної пасту на прикладі одного двигуна:

1. Вартість заміни клапанів та сідел при застосуванні існуючих складів паст: $C_0 = 15000$ грн;
2. Частота ремонтів при застосуванні існуючих складів паст: 1 раз на 120000 км;
3. Частота ремонтів після впровадження методу: 1 раз на 144 000 км;
4. Економія на одному ремонті розраховуємо за формулою:

$$E = C_0 \cdot \frac{\Delta R}{R_1}, \text{ грн,} \quad (3.2)$$

де C_0 – вартість заміни клапанів та сідел при стандартному ремонті, грн;

R_1 – ресурс клапанного спряження після обробки силікатною пастою, км.

$$E = 15000 \cdot \frac{24000}{144000} = 2500 \text{ грн.}$$

Якщо на АТП експлуатується 10 двигунів, економія становитиме:

$$E_{\text{АТП}} = 2500 \cdot 10 = 25000 \text{ грн на один ремонтний цикл.}$$

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Додаткові переваги:

- скорочення простоїв транспортних засобів;
- зниження витрат на пальне завдяки підвищеній герметичності камери згоряння;

- менше матеріалів та трудових витрат на ремонт.

На підставі виконаного розрахунку можна стверджувати, що:

- застосування силікатної пасти дозволяє підвищити ресурс клапанів і сідел на 15-20 %, що відповідає додатковим 24 000 км пробігу для одного двигуна;

- економічний ефект впровадження методу складає приблизно 25 000 грн на 10 двигунів за один ремонтний цикл, не враховуючи зменшення витрат палива та простоїв днів;

- метод є технологічно доступним і безпечним для використання в умовах АТП, не потребує значних капітальних вкладень та спеціального обладнання;

- загалом, запропонована технологія є ефективним та економічно доцільним заходом підвищення зносостійкості клапанного спряження.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

4 ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ПРИТИРАННЯ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ СИЛКАТНОЮ ПАСТОЮ

4.1 Етапи проведення оптимізації параметрів режиму притирання клапанного спряження

Оптимізацію параметрів режиму притирання клапанного спряження силкатною пастою проводили за методикою Бокса-Вілсона [43], яка використовує «активний експеримент», а планування точок у досліджуваному факторному просторі проводиться так, щоб отримати максимальну інформацію з поставлених дослідів та обробити отримані дані з найменшими обчислювальними витратами.

Метод Бокса-Вілсона – метод оптимізації активного експерименту шляхом крутого сходження поверхнею відгуку (параметрів оптимізації) до оптимуму, суть якого полягає в наступному: рух у напрямі градієнта за наявності лінійного рівняння моделі здійснюється із центра експерименту послідовними кроками, які пропорційні добутку коефіцієнта регресії кожного фактора на значення його інтервалу зміни [43].

Метод крутого сходження, або метод Бокса-Вілсона поєднує позитивні сторони трьох методів – методу Гауса-Зейделя, методу градієнта та методу повного (або дробового) факторного експерименту, як способу отримання лінійної математичної моделі [44].

Повним факторним експериментом (ПФЕ) називається такий експеримент, при реалізації якого визначається значення параметру оптимізації при всіх можливих поєднаннях рівнів варіювання факторів. Якщо мається k факторів, кожний із яких може встановлюватися на q рівнях, то для того, щоб здійснити повний факторний експеримент необхідно поставити $n = q^k$ дослідів [44].

Планування, проведення та обробка результатів ПФЕ складається з наступних обов'язкових етапів: кодування факторів; складання план-матриці експерименту; рандомізація дослідів; реалізація плану експерименту;

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевірка відтворюваності дослідів; перевірка адекватності лінійної моделі; оцінка значимості коефіцієнтів регресії [44].

Оптимізацію проводили у такі етапи [45]:

1. Вибір параметра оптимізації, незалежних факторів та рівнів їх варіювання. Параметром оптимізації прийнята шорсткість (R_a) обробленої поверхні; як незалежні параметри, прийняті значення параметрів режиму притирання; задані рівні варіювання.

2. Складання таблиці, що містить значення незалежних факторів та рівнів їх варіювання, що відображають значення параметрів режиму притирання (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Незалежні фактори та рівні їх варіювання

Рівень змінних факторів	Позначення кодове	Параметри режиму притирання		
		Тиск на зразок, МПа (P)	Зворотно-обертальна швидкість зразка, м/с ($V_{з-о}$)	Час притирання, с (t)
		x_1	x_2	x_3
Основний рівень	x_0	0,03	0,45	420
Інтервал варіювання	Δx_i	0,02	0, 15	180
Верхній рівень	$+$ 1	0,05	0,6	600
Нижній рівень	$-$ 1	0,01	0,3	240

3. Кодування незалежних факторів – переведення натуральних значень рівнів факторів у кодові безрозмірні величини та побудова матриці експерименту (табл. 4.2) для повного факторного експерименту типу $N=2^3$.

Кодування факторів необхідно для переведення натуральних факторів у безрозмірні величини, щоб мати можливість побудувати стандартну

Стандартна матриця експерименту

№ дослід	План								Результат y_i
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	y_1
2	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	y_2
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	y_3
4	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	y_4
5	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	y_5
6	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	y_6
7	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	y_7
8	1	1	1	1	1	1	1	1	y_8

ортогональну план-матрицю експерименту. Для переведення натуральних змінних у кодові x_i заповнюється таблиця кодованих змінних на двох рівнях. В якості нульового рівня факторів (центра плану) зазвичай обирається центр інтервалу, в якому передбачається проводити експеримент [43].

4. Виготовлення восьми складів силікатної пасти для проведення випробування на працездатність відповідно до матриці експерименту.

5. Реалізація плану експерименту на лабораторній установці для дослідження працездатності притирального складу. Попередня обробка результатів із визначенням середніх значень параметра оптимізації.

6. Перевірка однорідності дисперсії паралельних дослідів та їх відтворюваності.

7. Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії, їх помилок та значущості, а також перевірка адекватності моделі.

8. Проведення дослідження з рухом лінією «крутого сходження».

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ				Арк.
									58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

4.2 Обладнання та зразки для проведення оптимізації

Для оптимізації параметрів режиму притирання пропонуємо використовувати установку на якій виконують притирання клапанів головки циліндрів (рис. 3.1). Це дозволить з високою точністю відтворити процес притертя зразка та контрзразка силікатною пастою.

Для проведення дослідів необхідно було переобладнати універсальний верстат ОПР-1841А, встановивши робочий вузол для закріплення зразка і контрзразка.

Установка для проведення оптимізації режиму притирання клапанного спряження наведено на рис. 4.1.

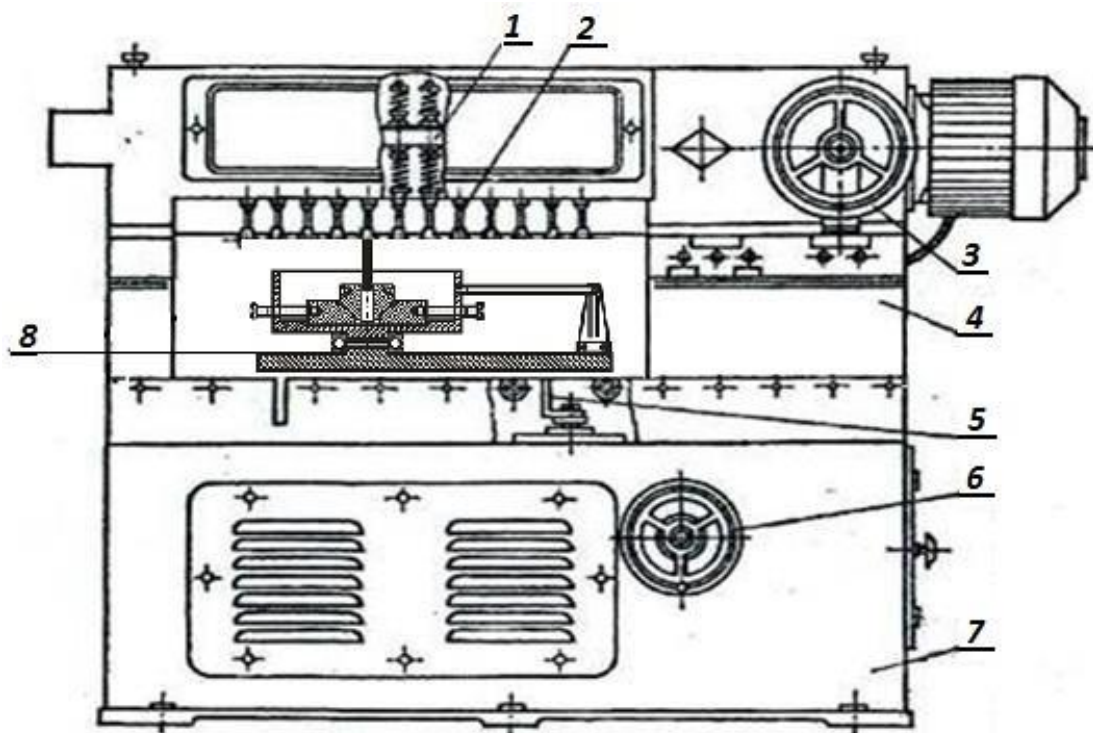


Рис. 4.1. Установка для проведения оптимізації режиму притирання клапанного спряження [33]: 1 – блок шпинделів; 2 – перехідник; 3, 6 – маховик; 4 – стійка права; 5 – косинець підйомного столу; 7 – станина; 8 – робочий вузол для притирання

Схема розташування зразка і контрзразка та робочий вузол для притирання наведено на рис. 4.2 та 4.3.

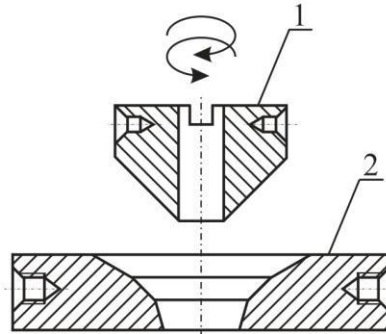


Рис. 4.2. Схема розташування зразків [35]: 1 – зразок; 2 – контрзразок

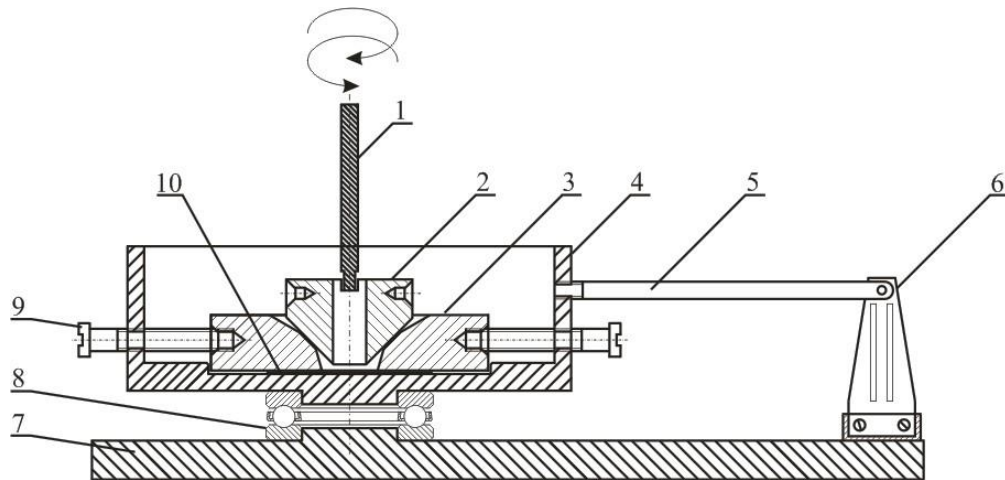
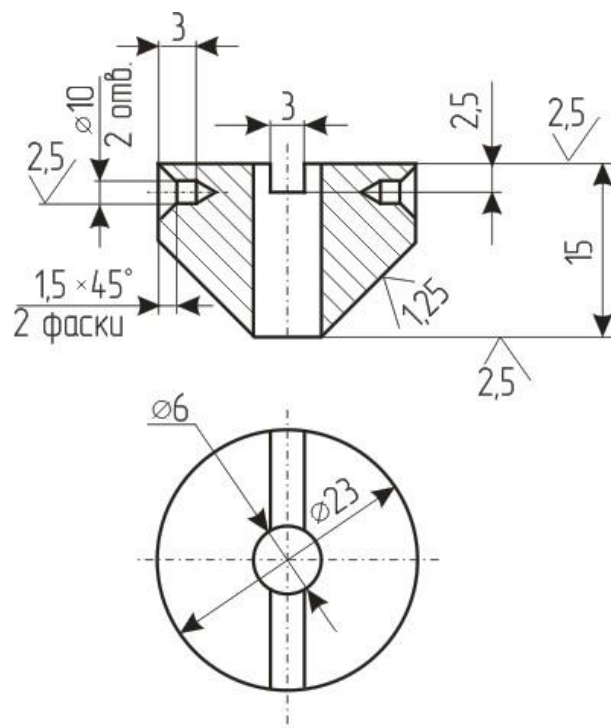


Рис. 4.3. Робочий вузол для притирання [35]: 1 – перехідник; 2 – зразок; 3 – контрзразок; 4 – чашка; 5 – стрижень; 6 – тензометрична балка з електротензодатчиком; 7 – опорна плита; 8 – наполегливий кульковий підшипник 51103; 9 – гвинт для кріплення контрзразка; 10 – електротензодатчик

Випробування проводилися за схемою торцевого тертя «конус (зразок) – кільце (контрзразок)». У якості зразка використовували конус зі сталі 40Х (HRC 48) діаметром 23 мм, шириною 15 мм. Контрзразок мав форму кільця із чавуну СЧ 18-36 (HRC 32) діаметром 50 мм, шириною 10 мм з шириною робочої поверхні 3 мм (рис. 4.4).

Контрзразок 3 (рис. 4.3) встановлювали в чашку 4, яка спирається на наполегливий кульковий підшипник 51103, і закріплюється гвинтом 9 (рис.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



a)

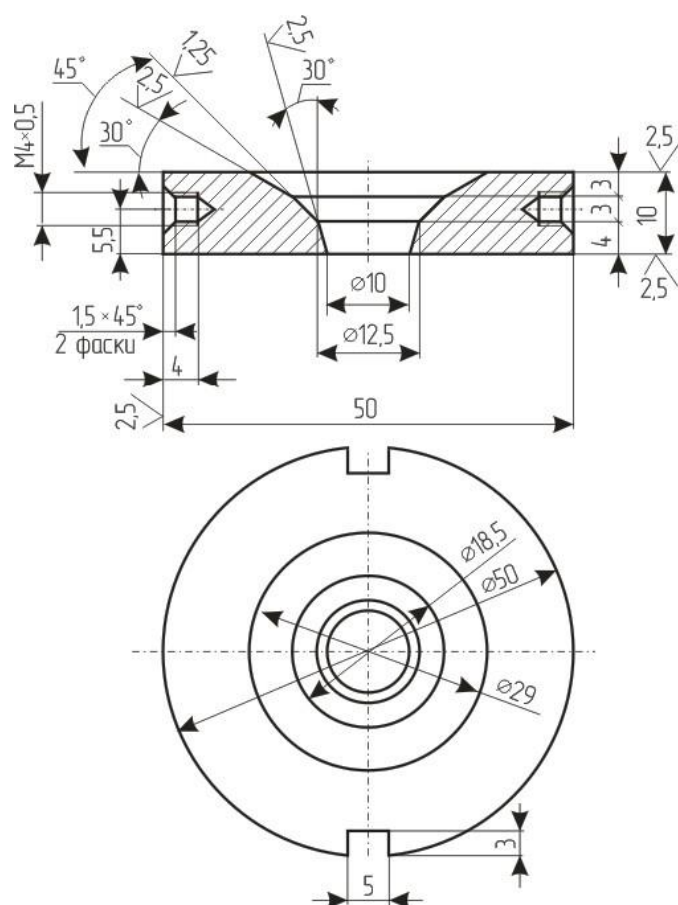


Рис. 4.4. Зразок та контрзразок для випробування [35]:

a) – конус (зразок); б) – кільце (контрзразок)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ

Арк.

61

4.3). На контрзразок 3 встановлювали зразок 2 (рис. 4.3). Зразок 2 з'єднували з шпинделем за допомогою перехідника 1 (рис. 4.3). Зворотно-обертальний рух шпинделя передавався на зразок у результаті чого виконувалося притирання поверхонь тертя [39].

Поверненню чашки перешкоджає стрижень 5 (рис. 4.3), що є рівномічною консольно закріпленою балкою, на яку були наклеєні електротензодатчики, що служать плечима моста [45].

Деформація вигину балки, тобто, величину моменту тертя, вимірювали приладом і одночасно записували на діаграмну стрічку приладу самопису Н 327-1. Похибка виміру не перевищувала $\pm 3\%$. Для більш достовірних результатів перед кожною серією випробувань проводили тарування тензобалки (рис. 4.3) [45].

Оцінка велася за тривалістю притирання та якістю поверхні. Стабілізація моменту тертя показувала завершення процесу обробки.

Коефіцієнт тертя визначали за формулою [39]:

$$f_{\text{тер.}} = \frac{M_{\text{тер.}}}{N \cdot R}, \quad (4.1)$$

де $M_{\text{тер.}}$ – момент тертя, показання реєструючого приладу, Н·м;

R – радіус тертя на середній лінії робочої поверхні зразка, м;

N – осьове навантаження на зразок, визначається за формулою [39]:

$$N = P \cdot S, \quad (4.2)$$

де P – контактний тиск, Н/м²;

S – площа контакту зразка з контр зразком, м².

По закінченню притирання за допомогою профілографа-профілометра контролювали профіль поверхонь, які притиралися. Одним із факторів, що

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

визначають якість оброблених поверхонь, є мікрогеометрія поверхні. Відомо, що вихідна шорсткість, тобто шорсткість, отримана після притирання, істотно впливає на тертя і зношування. Тому визначення мікрогеометрії поверхонь після притирання є необхідною умовою оцінки якості поверхні. Дослідження шорсткості поверхні здійснювалося за допомогою профілографа-профілометра моделі 201 [39].

Середнє значення випробувань визначалося як середнє арифметичне п'ятих дослідів з похибкою $\pm 3\%$ [39].

4.3 Розрахунок оптимальних параметрів режиму притирання клапанного спряження

Отримані значення параметра оптимізації – шорсткості поверхні зразків (R_a , мкм) та значення незалежних факторів наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Значення незалежних факторів та параметра оптимізації

Номер дослідів	Значення незалежних факторів			Шорсткість поверхні зразків, R_a , мкм.
	Тиск на зразок МПа, x_1	Зворотно-обертальна швидкість зразка, м/с, x_2	Час притирання, с, x_3	
1	2	3	4	5
1	0,01	0,3	240	0,118
2	0,01	0,3	600	0,158
3	0,01	0,6	240	0,138
4	0,01	0,6	600	0,178
5	0,05	0,3	240	0,118
6	0,05	0,3	600	0,168
7	0,05	0,6	240	0,158
8	0,05	0,6	600	0,218

Проводився експеримент типу 2^3 , де число факторів $k=3$, кількість рівнів $p=2$, число дослідів $N=8$, повторних дослідів $n=5$.

Матриця планування наведена у табл. 4.4.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Матриця планування

Номер досліду	Матриця планування								Робоча матриця			Результати паралельних експериментів y_i мкм	Середнє значення, $\bar{y}_i$, мкм
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_{12}	x_{13}	x_{23}	x_{123}	Тиск на зразок, x_1	Зворотно-обертальна швидкість, x_2	Час притирання, x_3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,01	0,3	240	0,12 0,12 0,12 0,11 0,12	0,118
2	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	0,01	0,3	600	0,16 0,15 0,16 0,16 0,16	0,158
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0,01	0,6	240	0,14 0,14 0,14 0,13 0,14	0,138
4	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	0,01	0,6	600	0,18 0,18 0,18 0,18 0,17	0,178
5	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,05	0,3	240	0,12 0,12 0,12 0,11 0,12	0,118
6	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	0,05	0,3	600	0,17 0,16 0,17 0,17 0,17	0,168
7	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,05	0,6	240	0,16 0,16 0,16 0,16 0,15	0,158
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0,05	0,6	600	0,21 0,22 0,22 0,22 0,22	0,218

Після проведення дослідів виконано статистичну обробку результатів. Спочатку визначали помилки повторних (паралельних) дослідів. Середньоквадратичне відхилення визначаємо за формулою [43]:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}, \quad (4.3)$$

де $\bar{y}$ – середнє арифметичне значення параметра оптимізації з п'яти повторних дослідів (значення наведено у табл. 4.5).

Результати розрахунків зведено до табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Результати розрахунків

Номер дослідів	1	2	3	4	5	6	7	8	Сума
S_i^2	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00016
S_i	0,00447	0,00447	0,00447	0,00447	0,00447	0,00447	0,00447	0,00447	
$\frac{y_{max} - y_{min}}{S}$	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	
$\frac{\hat{y} - y_{min}}{S}$	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	

Для визначення браку використовуємо критерій Стюдента [35]:

$$\frac{y - \bar{y}}{S} \geq t, \text{ або } t_{\text{роз}} \geq t_{\text{табл.}}, \quad (4.4)$$

де t – критерій Стюдента, його значення для 5 повторних дослідів і довірчої ймовірності 0,95 дорівнює 2,78 [46].

Для всіх дослідів $t_{\text{роз}} = 1,79$ умова $t_{\text{роз}} \geq t_{\text{табл.}}$ не виконується, отже, результати повторних дослідів не можемо вважати помилковими.

Для проведення регресійного аналізу розраховували однорідності дисперсії паралельних дослідів за критерієм Кохрена:

$$G_{\text{роз.}} = \frac{S_{ax}^2}{\sum_{i=1}^m S_i^2} = \frac{0,00002}{0,0016} = 0,125. \quad (4.5)$$

Розрахункове значення критерію порівнювали з табличним для ступенів свободи: $f_1 = r - 1$; знаменника $f_2 = N$ за обраного рівня значущості $\alpha = 0,05$; $G_{\text{табл.}}$ – табличне значення критерію Кохрена – 0,5157 [47].

$$G_{\text{табл.}} = 0,5157 > G_{\text{роз.}} = 0,125. \quad (4.6)$$

Отже, гіпотеза про однорідність дисперсії паралельних дослідів приймається. Звідси дисперсія відтворюваності склала $S_i^2 = 0,00002$. Помилка експерименту склала $S_i = 0,00447$.

Рівняння математичної моделі з урахуванням парних взаємодій має вигляд [43]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (4.7)$$

Коефіцієнти регресії за повного факторного експерименту визначають за формулами [43]:

$$b_0 = \frac{\sum_1^N \hat{y}_u}{N}, \quad (4.8)$$

$$b_i = \frac{\sum_1^N x_{iu} \hat{y}_u}{N}, \quad (4.9)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_1^N x_{iu} x_{ju} \hat{y}_u}{N}; \quad i \neq j; \quad (4.10)$$

$$b_{ijk} = \frac{\sum_1^N x_{iu} x_{ju} x_{ku} \hat{y}_u}{N}; \quad i \neq j \neq k. \quad (4.11)$$

Коефіцієнти регресії, розраховані за наведеними вище виразами, дорівнюють: $b_0 = 0,15675$; $b_1 = 0,00875$; $b_2 = 0,01625$; $b_3 = 0,02375$; $b_{1,2} = 0,00625$.

З урахуванням значення дисперсії відтворюваності $S_i^2 = 0,00002$ довірчою ймовірністю $\alpha = 0,95$ знаходимо межі довірчих інтервалів для коефіцієнтів регресії [35]:

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$\Delta b_i = \pm \frac{t \cdot S_i}{\sqrt{N}} = \pm \frac{2,78 \cdot 0,00447}{\sqrt{8}} = \pm 0,004. \quad (4.12)$$

Порівнюючи значення коефіцієнтів регресії з межами довірчих інтервалів бачимо, що коефіцієнти b_{12} , b_{13} і b_{123} незначні. Тепер рівняння математичної моделі має вигляд:

$$\hat{y} = 0,15675 + 0,00875x_1 + 0,01625x_2 + 0,02375x_3 + 0,00625x_{1,2}. \quad (4.13)$$

Перевіряємо адекватність отриманого рівняння.

Обчислюємо теоретичні значення параметра оптимізації $\hat{y}$, величину похибки $\Delta y = y - \hat{y}$, результати занесені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Результати розрахунків

Номер досліджу	1	2	3	4	5	6	7	8
$\hat{y}$	0,114	0,162	0,134	0,18	0,119	0,167	0,164	0,212
Δy	0,004	-0,004	0,004	-0,002	-0,001	0,001	-0,006	0,006
Δy^2	0,00001	0,00001	0,00001	0,000006	0,000002	0,000002	0,00004	0,00004

$$S^2_{ад} = \frac{\sum^N \Delta y^2}{f} \quad (4.14)$$

де $f = N - (k + 1) = 8 - (3 + 1) = 4$ – число ступенів свободи.

$$S^2_{ад} = \frac{0,000129}{4} = 0,000032.$$

Адекватність математичної моделі визначаємо за критерієм Фішера [46]:

$$F_{роз.} = \frac{S^2_{ад}}{S^2_y} = \frac{0,000032}{0,00002} = 1,6. \quad (4.15)$$

$F_{табл.} = 6,39$ [47]. $F_{роз.} \leq F_{табл.}$, отже, модель адекватна.

Аналізуючи рівняння 3.11 математичної моделі можна відмітити, що на

параметр оптимізації впливають незалежні фактори. Кожен коефіцієнт характеризує роль відповідної змінної у процесі чи силу впливу факторів. Чим більша чисельна величина коефіцієнта, тим більше впливає фактор. Якщо коефіцієнт має знак «+», то зі збільшенням значення чинника параметр відгуку (оптимізації) збільшується, і якщо «-» зменшується. Величина коефіцієнта відповідає вкладу даного фактора величину параметра оптимізації при переході фактора з нульового рівня на верхній або нижній [35].

Якісний аналіз отриманого рівняння 4.13 дозволяє зробити такі висновки щодо впливу незалежних факторів при притиранні спряження силікатним абразивним складом на шорсткість обробленої поверхні (R_a). Найбільший вплив на шорсткість обробленої поверхні має час притирання. Про це свідчить значення коефіцієнта регресії b_3 у рівнянні 4.13, яке складає 0,02375. Менший вплив на шорсткість обробленої поверхні дають зворотно-обертальна швидкість зразка ($b_2 = 0,01625$) і тиск на зразок ($b_1 = 0,00875$).

З рівняння 4.13 також видно, що на шорсткість обробленої поверхні впливає взаємодія зворотно-обертальної швидкості зразка та тиск на зразок і цей вплив найменший ($b_{1,2} = 0,00625$).

З метою визначення оптимальних значень параметрів режиму притирання силікатним абразивним складом проводили оптимізаційне дослідження методом «крутого сходження». Під час руху в факторному просторі незалежні змінні змінювали пропорційно до величин коефіцієнтів регресії з урахуванням їх знаків. Для цього визначали крок руху по кожному фактору і проводили «уявні» досліди, які полягали у обчисленні значень функції відгуку в точках факторного простору, що лежать на шляху до оптимуму. Здійснювали уявний рух до оптимуму. Для зручності розрахунків кодові значення факторів були переведені у натуральні шляхом декодування за формулами [35]:

$$C_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (4.16)$$

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

де C_i – кодове значення i -го фактору;

x_i – натуральне поточне значення i -го фактору;

x_{i_0} – початковий (нульовий) рівень фактора;

Δx_i – інтервал варіювання i -го фактору:

$$\Delta x_i = \frac{x_{i_{max}} - x_{i_{min}}}{2}. \quad (4.17)$$

Отримані значення наведено у табл. 4.7.

У табл. 4.8 представлені результати здійснених та «уявних» дослідів руху по лінії «крутого сходження».

Таблиця 4.7

Стандартна матриця експерименту

Фактори	Верхній рівень, C_i^+	Нижній рівень, C_i^-	Основний рівень, C_i^0	Інтервал варіювання, Δx_i	Залежність кодової змінної від натуральної
1	2	3	4	5	6
C_1	0,05	0,01	0,03	0,02	$x_1 = \frac{C_1 - 0,03}{0,02}$
C_2	0,6	0,3	0,45	0,15	$x_2 = \frac{C_2 - 0,45}{0,15}$
C_3	600	240	420	180	$x_3 = \frac{C_3 - 420}{180}$

Таблиця 4.8

Результати здійснених та «уявних» дослідів

Досліди	Незалежні фактори			Параметр оптимізації R_a , мкм
	C_1 Тиск на зразок, МПа (Р)	C_2 Зворотно-обертальна швидкість зразка, м/с (V_{3-0})	C_3 Час притирання, с (t)	
1	2	3	4	5
1) Уявний	0,05	1,1	600	0,193
2) Здійснений	0,05	1,1	600	0,218
3) Уявний	0,01	1,1	600	0,163
4) Здійснений	0,01	1,1	600	0,178

1	2	3	4	5
5) Уявний	0,05	0,3	600	0,148
6) Здійснений	0,1	0,3	240	0,168
7) Уявний	0,1	0,3	600	0,143
8) Здійснений	0,1	0,3	600	0,158
9) Уявний	0,5	1,1	240	0,157
10) Здійснений	0,5	1,1	240	0,158
11) Уявний	0,1	1,1	240	0,131
12) Здійснений	0,1	1,1	240	0,138
13) Уявний	0,1	0,3	240	0,107
14) Здійснений	0,1	0,3	240	0,118
15) Уявний	0,3	0,3	240	0,109
16) Уявний	0,3	0,3	600	0,145
17) Уявний	0,3	1,1	420	0,16

Значення параметра оптимізації в «уявних» дослідях, на підставі значень таблиці 3.5 визначали за такою формулою:

$$R_a = 0,15675 + 0,00875 \cdot \left(\frac{C_1 - 0,3}{0,2} \right) + 0,01625 \cdot \left(\frac{C_2 - 0,7}{0,4} \right) + 0,02375 \cdot \left(\frac{C_3 - 420}{180} \right) + 0,00625 \cdot \left(\frac{C_1 - 0,3}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{C_2 - 0,7}{0,4} \right), \text{ мкм};$$

$$R_a = 0,0762 - 0,0109C_1 + 0,0172C_2 + 0,0001C_3 + 0,0781C_1C_2, \text{ мкм}, \quad (4.18)$$

де C_1 – тиск на зразок (P), МПа;

C_2 – зворотно-обертальна швидкість зразка ($V_{з-о}$), м/с;

C_3 – час притирання (t), с.

Уявні досліди були припинені в досліді 17. Подальше дослідження було припинено, оскільки, як видно з табл. 3.6, параметр оптимізації (R_a) починає зростати. Це дає підставу вважати, що область оптимуму досягнуто [35].

Аналіз результатів таблиці 3.6 показав, що найменша шорсткість (R_a) обробленої поверхні отримана у дослідях 13 (уявний, $R_a=0,107$) та 14

(здійснений, $R_a=0,118$) при наступних значеннях параметрів режиму: $P = 0,1$ МПа; $V_{з-о} = 0,3$ м/с; $t = 240$ с. При збільшенні тиску на зразок ($P = 0,3$ МПа), при тих же значеннях $V_{з-о} = 0,3$ м/с; $t = 240$ с, шорсткість обробленої поверхні незначно збільшується, як показано у таблиці 3.6 (дослід 15, уявний, $R_a=0,109$ мкм). При збільшенні часу притирання (дослід 16, уявний, $t = 600$ с) та зворотно-обертальної швидкості (дослід 17, уявний, $V_{з-о} = 1,1$ м/с) шорсткість обробленої поверхні значно погіршується, $R_a=0,145$ мкм та $R_a=0,16$, відповідно.

Таким чином, з аналізу результатів здійснених та «уявних» дослідів (табл. 4.8) видно, що за оптимальні значення параметрів режиму притирання силікатним абразивним складом можна прийняти результати дослідів 13 (уявний) та 15 (уявний) на підставі кращої шорсткості обробленої поверхні.

Враховуючи те, що при більшому тиску на зразок можна усунути більш глибокі нерівності, пропонуємо для досягнення мінімального значення параметра оптимізації (R_a) наступні значення параметрів режиму притирання силікатним абразивним складом:

- питомий тиск на зразок – $P = 0,03$ МПа;
- зворотно-обертальна швидкість зразка – $V_{з-о} = 0,3$ м/с;
- час притирання – $t = 240$ с.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

5 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ НА ДІЛЬНИЦІ З РЕМОНТУ ДВИГУНІВ НА АТП

5.1 Обов'язкові роботи на дільниці з ремонту двигунів

Ремонт двигунів автомобілів в умовах автотранспортного підприємства включає комплекс обов'язкових технологічних операцій, спрямованих на відновлення працездатності, надійності та довговічності двигуна. Своєчасне та якісне виконання ремонтних робіт дозволяє попередити аварійні відмови, знизити інтенсивність зношування деталей та забезпечити ефективну експлуатацію автомобільної техніки [10].

Обсяг ремонтних робіт залежить від технічного стану двигуна, пробігу автомобіля, результатів діагностики та умов експлуатації. Основні ремонтні операції виконуються відповідно до технологічних карт та нормативної документації підприємства [21].

Першим етапом ремонту двигуна є визначення його технічного стану. Діагностичні роботи включають: перевірку компресії в циліндрах; вимірювання тиску мастила; перевірку герметичності клапанного механізму; контроль роботи системи охолодження; перевірку паливної системи; контроль рівня шуму та вібрації [48].

Для проведення діагностики використовують компресометри, манометри, газоаналізатори та електронні діагностичні комплекси.

Після визначення несправностей виконують демонтаж двигуна з автомобіля. Роботи здійснюються із застосуванням вантажопідіймальних механізмів, спеціальних стендів та пристроїв [49].

Під час демонтажу виконують: відключення акумуляторної батареї; злив охолоджувальної рідини та мастила; від'єднання паливної системи; демонтаж навісного обладнання; зняття двигуна з автомобіля [21].

Після розбирання двигуна всі деталі підлягають очищенню від нагару, мастила та забруднень. Для цього використовують: мийні установки; лужні розчини; спеціальні мийні рідини; механічне очищення щітками [6].

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Якісне очищення деталей необхідне для проведення точного дефектування та подальшого ремонту.

Після очищення проводиться дефектування деталей з метою визначення ступеня їх зношування та можливості подальшого використання [48].

Під час дефектування перевіряють: зношування циліндрів; стан поршнів і поршневих кілець; зношування шийок колінчастого вала; технічний стан клапанів і сідел; наявність тріщин та механічних пошкоджень [1].

Вимірювання виконують за допомогою мікрометрів, нутромірів, індикаторів та шаблонів.

До обов'язкових робіт з ремонту циліндро-поршневої групи належать: розточування та хонінгування циліндрів; заміна поршневих кілець; заміна або ремонт поршнів; перевірка шатунів [6].

Хонінгування дозволяє отримати необхідну шорсткість поверхні гільз циліндрів та забезпечити нормальні умови мащення.

Ремонт колінчастого вала включає: шліфування корінних і шатунних шийок; перевірку биття вала; заміну вкладишів; балансування колінчастого вала [1].

Після шліфування шийки повинні відповідати ремонтним розмірам і вимогам щодо шорсткості поверхні.

Однією з основних операцій є ремонт клапанного механізму двигуна. До складу робіт входять: очищення клапанів від нагару; шліфування фасок клапанів; відновлення сідел клапанів; заміна напрямних втулок; притирання клапанного спряження [48].

Притирання клапанів виконується із застосуванням абразивних або силікатних паст для забезпечення герметичності камери згоряння [1].

Після завершення ремонтних робіт виконують складання двигуна відповідно до технологічної послідовності [21].

При складанні необхідно: дотримуватись моментів затягування різьбових з'єднань; контролювати теплові зазори; використовувати нові ущільнювальні елементи; перевіряти легкість обертання валів і механізмів [6].

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Після складання двигун підлягає обкатці та контрольним випробуванням. Під час випробувань перевіряють: тиск мастила; температуру охолоджувальної рідини; герметичність систем; відсутність сторонніх шумів; стабільність роботи двигуна [49].

Обкатка дозволяє забезпечити припрацювання деталей та підвищити довговічність двигуна.

5.2 Охорона праці під час ремонту двигунів внутрішнього згорання

Успішність боротьби з травмами пошкодженнями різного типу під час ремонту ДВЗ залежить переважно від знання правил техніки безпеки та їх чіткого дотримання. При цьому рівень техніки безпеки підвищується в залежності від застосування спеціального пристосування та інструментів: зйомників, розбірних стендів, гідравлічних і пневматичних пресів тощо. Для кожного типу ДВЗ є свої пристосування, які полегшують працю робітника і зводять до мінімуму роботу за допомогою ручного інструменту, а значить, і ймовірність травм. Працюючий зобов'язаний уміти користуватися спеціальними пристосуваннями, але в тих випадках, коли без найпростіших ручних інструментів не обійтися, слід дотримуватися загальних правил і прийомів техніки безпеки, які прийняті в слюсарному виробництві [50].

Особа, яка керує ремонтом, несе відповідальність за інструктаж безпосередніх виконавців робіт і бригадирів, за технічну підготовку робіт і забезпечення робітників справним інструментом, пристроями, запобіжними і захисними засобами та здійснює належний контроль за дотриманням правил безпеки. Особи, які беруть участь в ремонті, несуть відповідальність за дотримання правил безпеки в межах правил і обов'язків щодо займаної посади.

Протипожежні пристрої та інвентар на період ремонту, завжди мають бути справні, вентиляція увімкнена особливо при ремонті карбюраторних ДВЗ. У холодну пору року приміщення повинно опалюватися, освітлення на робочому місці має бути рівномірним. Користуватися відкритим полум'ям,

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переносними електролампами напругою більше 12 В забороняється. При випробуванні деталей гідравлічним або повітряним тиском не можна перевищувати значень випробувального тиску [50].

Роботи, пов'язані з підніманням і переміщенням важких деталей, повинні виконуватися підйомними механізмами і пристосуваннями. Забороняється піднімати колінчасті вали, зав'язані тільки одним кінцем тросу, застосовувати одинарні троси, накладати їх на гак підйомного механізму без петлі, здійснювати будь-які роботи з деталями, що знаходяться в припіднятому стані, проходити або стояти під ними, залишати в такому стані без підмостки не більше 5 хв деталі масою понад 250 кг.

Переносний електричний інструмент застосовують тільки за умови його повної справності і надійного заземлення, яке забезпечується за допомогою спеціальних розеток, у яких розташування контактів має бути таким, щоб увімкнення контакту «земля» штепсельної вилки на фазовий контакт було неможливим.

На обладнанні, введеному в ремонт, вентилях трубопроводів, що знаходяться в ремонті, потрібно вивішувати плакати з написом «Ремонт», а вентиля трубопроводів, які ведуть до діючого обладнання, обв'язувати ланцюгом і замикати на замок або пломбувати. Всі відкриті колодязі, канали, люки мають бути надійно огорожені, а виходи, проходи, трапи – вільні.

Коли при ремонті двигун треба демонтувати і доставити в дільницю, то для транспортування його встановлюють на спеціальні «козли» з обов'язковим закріпленням до них лап, щоб виключити можливість переміщення двигуна. Категорично забороняється розміщувати поблизу двигуна, резервуарів або баків з паливно-мастильними матеріалами балонів з киснем. При найменшому витіканні кисню станеться вибух рідкого палива або масла, навіть за відсутності відкритого полум'я [50].

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

5.3 Вимоги безпеки при виконанні робіт з притирання клапанів

Притирання клапанів є однією з технологічних операцій під час ремонту головок блока циліндрів автомобільних двигунів. Основною метою притирання, як було вже вказано вище, є забезпечення щільного контакту між робочими фасками клапана та сідла для підвищення герметичності камери згоряння і збільшення ресурсу газорозподільного механізму. Разом з тим процес притирання супроводжується дією небезпечних та шкідливих виробничих факторів, тому виконання таких робіт повинно здійснюватися відповідно до вимог охорони праці та виробничої санітарії [51].

Під час виконання притиральних робіт на працівників можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори: обертові частини обладнання; абразивний пил; підвищений рівень шуму та вібрації; можливість травмування рук гострими крайками деталей; хімічний вплив абразивних і силікатних паст; небезпека ураження електричним струмом при використанні електрифікованого інструменту [52].

Перед початком роботи працівник повинен перевірити справність обладнання, притиральних пристроїв, електроінструменту та наявність захисного заземлення. Робоче місце повинно бути очищене від сторонніх предметів, а проходи – вільними для безпечного пересування персоналу [53].

Притирання клапанів необхідно виконувати лише на справних стендах або спеціальних пристроях, що забезпечують надійну фіксацію головки блока циліндрів та клапанного механізму. Забороняється утримувати деталі руками під час роботи механізованого обладнання [54].

При використанні електричних притиральних машинок необхідно: застосовувати інструмент зі справною ізоляцією; перевіряти цілісність кабелів живлення; не працювати вологими руками; не допускати перегинання або пошкодження електропроводів; використовувати переносне освітлення напругою не більше 36 В [51].

Під час виконання притиральних робіт необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту: захисні окуляри; гумові або бавовняні рукавиці;

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спецодяг; респіратори при роботі з абразивними порошками або пастами [53].

Особливу небезпеку становить абразивний пил, який утворюється при використанні притиральних паст. Потрапляння дрібнодисперсних частинок у дихальні шляхи може викликати подразнення слизових оболонок та професійні захворювання органів дихання. Для зниження концентрації пилу робочі місця повинні бути обладнані місцевою витяжною вентиляцією [55].

Під час застосування абразивних паст необхідно уникати їх потрапляння на відкриті ділянки шкіри та в очі. У разі потрапляння паст на шкіру необхідно змити її теплою водою з милом, а при потраплянні в очі – негайно промити великою кількістю води та звернутися до медичного пункту [55].

Для запобігання травмуванню працівників забороняється: працювати без захисних окулярів; використовувати несправний інструмент; виконувати притирання деталей без їх надійного закріплення; залишати обладнання увімкненим без нагляду; виконувати очищення деталей при ввімкненому обладнанні [51].

Після завершення притиральних робіт необхідно: вимкнути електрообладнання; очистити робоче місце від абразивного пилу та залишків паст; скласти інструмент у відведене місце; прибрати використані матеріали у спеціальні контейнери; вимити руки теплою водою з милом [53].

Для покращення умов праці та зниження ризику виробничого травматизму рекомендується: механізувати процес притирання клапанів; використовувати сучасні малотоксичні притиральні паста (силікатна паста як раз відноситься до такого типу паст); застосовувати ефективні вентиляційні системи; проводити регулярний контроль технічного стану обладнання; здійснювати періодичне навчання працівників з питань охорони праці [55].

Дотримання наведених вимог безпеки дозволяє забезпечити безпечні умови праці на дільниці ремонту двигунів, знизити рівень виробничого травматизму та підвищити якість виконання притиральних робіт клапанного спряження.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндра автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства.

У процесі виконання роботи отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз конструктивних особливостей та умов роботи клапанного спряження автомобільних двигунів. Встановлено, що основними причинами зношування клапанів і сідел є високі температурні навантаження, ударний характер контакту, недостатнє змащування, дія абразивних частинок, корозійно-механічне зношування та порушення теплових зазорів газорозподільного механізму.

2. Досліджено теоретичні основи роботи клапанного спряження та закономірності його зношування. Виконано аналіз факторів, що впливають на довговічність клапанного механізму, а також визначено характерні дефекти спряження «клапан – сідло», до яких належать прогар фасок, овальність сідел, утворення рисок, раковин, мікротріщин і нагару.

3. Проаналізовано умови експлуатації автомобільних двигунів в умовах АТП та досліджено технічний стан клапанного спряження. Встановлено, що інтенсивність зношування значною мірою залежить від режимів роботи двигуна, якості паливно-мастильних матеріалів, своєчасності технічного обслуговування та дотримання технології ремонту.

4. Обґрунтовано вибір методу підвищення зносостійкості клапанного спряження. Відзначено, що одним із оптимальних та доступних рішень в умовах АТП є застосування силікатної пасти для притирання клапанів і сідел, що дозволить підвищити довговічність деталей автомобільних двигунів на 15-20 %. Підкреслено, що пара тертя, яка оброблена абразивним силікатним складом, витримує навантаження до заїдання у 1,8-2 рази більше, ніж пари тертя, які оброблені існуючими складами.

5. Наведено основні фізико-механічні властивості силікатної пасти, які

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роблять її ефективним засобом підвищення ресурсу та зносостійкості клапанного спряження без зміни конструкції двигуна. Запропоновано для підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндрів автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства використовувати силікатну притиральну пасту при відновленні пари тертя.

6. Запропоновано технологія застосування силікатної пасту для обробки клапанного спряження.

7. Встановлено, що застосування силікатної пасту для притирання клапанів призводить до: покращення контактної поверхні, зменшення коефіцієнту тертя поверхонь при роботі пари тертя; покращення герметичності з'єднання.

8. Виконано оцінка впливу застосування силікатної пасту на ресурс клапанного спряження та економічну доцільність впровадження цього методу в умовах автотранспортного підприємства. На підставі виконаного розрахунку встановлено, що:

- застосування силікатної пасту дозволяє підвищити ресурс клапанів і сідел на 15-20 %, що відповідає додатковим 24 000 км пробігу для одного двигуна;

- економічний ефект впровадження методу складає приблизно 25 000 грн на 10 двигунів за один ремонтний цикл, не враховуючи зменшення витрат палива та простоїв днів.

- метод є технологічно доступним і безпечним для використання в умовах АТП, не потребує значних капітальних вкладень та спеціального обладнання.

- загалом, запропонована технологія є ефективним та економічно доцільним заходом підвищення зносостійкості клапанного спряження.

9. Виконано розрахунок оптимальних параметрів режиму притирання клапанного спряження силікатною пастою. Визначено раціональні значення питомого тиску на клапан, його зворотно-обертальної швидкості та часу притирання.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті виконання бакалаврської роботи досягнуто поставленої мети – підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндра автомобільних двигунів шляхом удосконалення технології їх відновлення та оптимізації режиму притирання. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані в практичній діяльності автотранспортних підприємств для підвищення надійності та довговічності автомобільних двигунів.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Двигуни внутрішнього згоряння / В. І. Басков, А. П. Марченко. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – 680 с.
2. Газорозподільний механізм. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Тема 4.](#)
3. Ремонт автомобільних двигунів / П. М. Канило. – Київ : Либідь, 2020.
4. Полевський С. А. Надійність і довговічність автомобільних двигунів. – Київ : Либідь, 2017. – 256 с.
5. Кузнецов Ю. М. Деталі машин та основи конструювання. – Київ : Вища школа, 2016. – 415 с.
6. Бажинов О. В. Автомобільні двигуни. – Харків : Основа, 2020. – 368 с.
7. Шишкін В. С. Основи тертя та зношування в машинах. – Дніпро : Пороги, 2018. – 240 с.
8. Дяченко М. Д. Трибологія та основи надійності машин. – Київ : НТУ, 2019. – 284 с.
9. Говорущенко М. Я. Технічна експлуатація автомобілів. – Харків : ХНАДУ, 2018. – 312 с.
10. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів : підручник. – Київ : Знання, 2019. – 478 с.
11. Пухаренко Ю. В. Ремонт двигунів внутрішнього згоряння. — Львів : Новий Світ, 2020. — 356 с.
12. Технологічний процес ремонту газорозподільного механізму // сайт Studfile. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/7709007/page:26/>
13. Відновлення клапана та з'єднання «сідло – клапан» // сайт Studfile. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/6007584/page:17/>
14. Бутенко О. М. Трибологія деталей машин. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – 312 с.
15. Гуляєв А. П. Металознавство. – К.: Техніка, 2004. – 640 с.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

16. Марченко Д. Д. Технологія відновлення деталей машин пластичним деформуванням. – Харків: ХНАДУ, 2016. – 284 с.
17. Ковальов В. Г. Фінішна обробка деталей машин. – К.: Либідь, 2012. – 368 с.
18. Бажинов О. В. Технічна експлуатація автомобілів. – Харків: ХНАДУ, 2018. – 368 с.
19. Волков В. П. Організація технічного обслуговування та ремонту автомобілів. – К.: Каравела, 2015. – 304 с.
20. Говорущенко М. Я. Експлуатаційні матеріали та надійність автомобілів. – Харків: ХНАДУ, 2012. – 420 с
21. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Міністерство транспорту України, 1998.
22. Туренко А. М. Організація виробництва на автотранспортних підприємствах. – Харків: ХНАДУ, 2016. – 312 с.
23. Дяченко В. Г. Технологія ремонту автомобілів. – К.: Либідь, 2003. – 488 с.
24. Болотін В. В. Надійність і ресурс автомобільних двигунів. – Харків: Основа, 2011. – 356 с.
25. Марков О. Д. Відновлення деталей двигунів автомобілів. – К.: Техніка, 2009. – 296 с.
26. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – К.: Мінрегіон України, 2018.
27. Говорущенко М. Я. Експлуатаційні властивості автомобільних двигунів. – Харків: ХНАДУ, 2015. – 412 с.
28. Туренко А. М. Технічна експлуатація автомобілів. – Харків: ХНАДУ, 2013. – 292 с.
29. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. – К.: Знання, 2007. – 527 с.
30. Волков В. П. Надійність автомобілів та їх експлуатаційні

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

властивості. – К.: Каравела, 2016. – 256 с.

31. Марков О. Д. Діагностування двигунів внутрішнього згоряння. – К.: Техніка, 2012. – 296 с.

32. Макаров В. А., Макарова Т. В., Виноградов М. С., Мастепан С. М., Савенок Д. В., Левадний О. В. «Удосконалення механізму притирання вільним абразивом за допомогою використання силікатного складу», *Вісник машинобудування та транспорту*, №2(18), с. 94-100. 2023.

33. Макаров В. А., Макарова Т. В., Виноградов М. С., Мастепан М. А., Савенок Д. В., Левадний О. В. «Експериментальне дослідження можливості використання силікатної пасти для підвищення довговічності деталей автомобільних двигунів», *Вісник машинобудування та транспорту*, №1(17), с. 92-97. 2023.

34. Притирання ущільнюючих поверхонь. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Притирання ущільнюючих поверхонь \(ni.biz.ua\)](http://ni.biz.ua)

35. Левадний О. В. «Розробка силікатного абразивного складу для притирання з метою підвищення довговічності деталей автомобільних двигунів» Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра, Донб. нац. акад. буд. і арх., Івано-Франківськ, 2023.

36. Макаров В. А., Мастепан М. А., Виноградов М. С., Беляєв Д. С. «Експериментальне дослідження впливу зернистості абразиву силікатної пасти на якість поверхонь тертя», *Вісник машинобудування та транспорту*, №1(15), с. 100-105. 2022.

37. *Абразивні пасти КТ*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://stanochnik.com.ua/ua/p136890540-pasta-karbid-titana.html>

38. Новіков Ф. В. та Шкурूपій В. Г. *Основи обробки металевих виробів з оптичними властивостями*, моногр. Харків, Україна: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015, 388 с.

39. Івасюк М. І. «Підвищення зносостійкості поверхонь клапанного спряження при їх відновленні та використанні силікатної пасти». Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра, Донб. нац. акад. буд. і

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

арх., Івано-Франківськ, 2024.

40. ДСТУ 2823-94 Зносостійкість виробів тертя, зношування та змащення. Терміни та визначення. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

[ДСТУ 2823-94. Зносостійкість виробів. Тертя, зношування та змащення. Терміни та визначення \(62330\) \(dnaop.com\)](#)

41. Нікітішин Є. «Оптимізація комплексу експериментів методом Бокса-Вілсона» / Євген Нікітішин, Олег Шевчук, Тарас Чайківський // Хімія та хімічні технології : матеріали II Міжнародної конференції молодих вчених ССТ-2011, 24-26 листопада 2011 року, Україна, Львів / Національний університет «Львівська політехніка». – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. – с. 100-101.[Електронний ресурс]. Режим доступу: [content \(lpnu.ua\)](#)

42. Кузнецов Ю. М. Ремонт автомобільних двигунів : підручник. – Київ : Вища школа, 2018. – 520 с.

43. Сутність методу Бокса-Уілсона. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [238. Сутність методу Бокса-Уілсона.](#)

44. Суть методу Бокса-Вілсона та його реалізація. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [\(1\) 3.5.2 Суть методу](#)

45. Пантюшенко М.І. «Формування якості поверхонь клапанного спряження з метою підвищення зносостійкості при використанні силікатного абразивного складу» Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра, Ів.-Франк. нац. техн. унів. нафти і газу, Івано-Франківськ, 2025.

46. Плічко А.М., Акбаш К.С., Луньова М.В. Математична статистика: навчальний посібник. – Кропивницький: «КОД», 2024. – 220 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Математична статистика: навчальний посібник](#)

47. Руденко В. М. Математична статистика. Навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 304 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [<4D6963726F736F667420576F7264202D20D2E8F2F3EB5FCCE0F2E5ECE0F2E8F7E DE05FF1F2E0F2E8F1F2E8EAE05FD0F3E4E5EDEAE>](#)

48. Кузнецов Є. С. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів :

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

підручник. – Київ : Вища школа, 2020. – 565 с.

49. Войналович В. М. Технологічне обладнання автотранспортних підприємств. – Київ : Центр учбової літератури, 2021. – 412 с.

50. Охорона праці під час ремонту двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) [Електронний ресурс]. Режим доступу: [Охорона праці під час ремонту двигунів внутрішнього згорання \(ДВЗ\) \(docx\) - Raillook](#)

51. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>

52. НПАОП 0.00-1.62-12. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://dnaop.com/html/56481/doc-НПАОП_0.00-1.62-12

53. Войналович В. М. Охорона праці в автомобільному транспорті : навчальний посібник. – Київ : Центр учбової літератури, 2020. – 352 с.

54. Запорожець О. І. Охорона праці на автомобільному транспорті. – Київ : Знання, 2019. – 382 с.

55. Гандзюк М. П. Основи охорони праці : підручник. – Київ : Каравела, 2021. – 408 с.

					БР.АТ - 09.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Тема бакалаврської роботи

**«Підвищення зносостійкості
клапанного спряження головки
циліндрів автомобільних двигунів
в умовах автотранспортного
підприємства»**

Ткаченко Володимир Геннадійович

УМОВИ РОБОТИ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ ДВИГУНА

Таблиця 1.1

Основні види навантажень клапанного спряження

Вид навантаження	Причина виникнення	Наслідки
Теплове	Дія гарячих газів	Перегрів, деформація
Ударне	Посадка клапана на сідло	Викришування фаски
Абразивне	Наявність твердих частинок	Зношування поверхонь
Корозійне	Продукти згоряння	Окиснення металу
Втомне	Циклічна робота	Утворення

Таблиця 1.2

Температура основних елементів клапанного механізму

Елемент клапанного механізму	Температура, °C
Впускний клапан	300-450
Випускний клапан	700-900
Сідло випускного клапана	250-400
Напрямна втулка	150-250

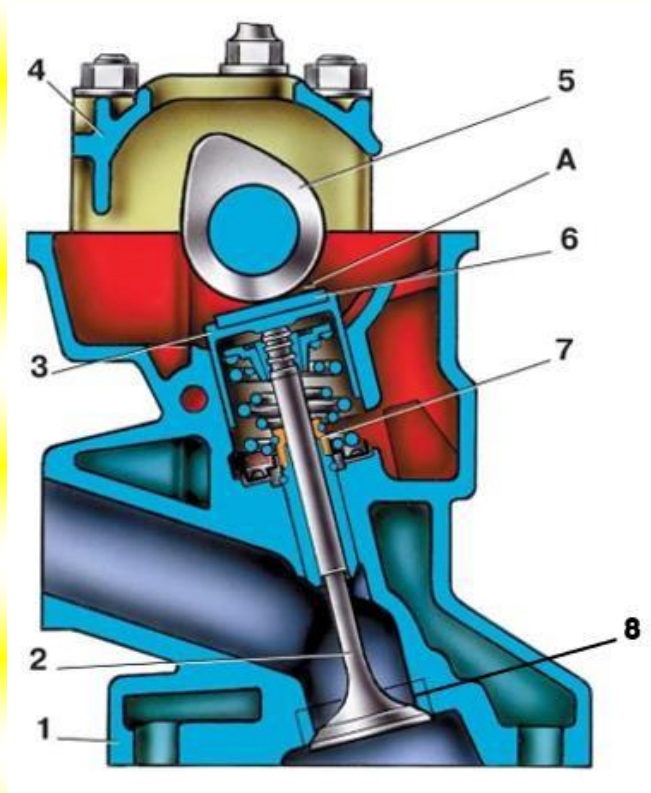


Рис. 1.1. Схема клапанного спряження автомобільного двигуна: 1 – головка циліндрів; 2 – клапан; 3 – штовхач; 4 – корпус підшипників розподільного вала; 5 – розподільний вал; 6 – регулювальна шайба; 7 – маслоснімний ковпачок; 8 – сідло клапана; А – зазор між кулачком і регулювальною шайбою

ОСНОВНІ ПРИЧИНИ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗНОШУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КЛАПАННОГО МЕХАНІЗМУ

Таблиця 1.3

Основні причини зношування елементів клапанного механізму

Причина зношування	Характер впливу на деталі	Наслідки
Високі температури	Перегрів клапанів та сідел	Прогар фасок, утворення тріщин
Ударні навантаження	Постійні удари клапана по сидлу	Зминання та деформація фасок
Недостатнє мащення	Порушення масляної плівки	Інтенсивний знос стержня клапана і прямої втулки
Абразивне зношування	Потрапляння пилу та продуктів згоряння	Риски, задири, підвищена шорсткість
Корозійний вплив	Дія агресивних продуктів згоряння	Корозія робочих поверхонь
Порушення теплових зазорів	Неправильна робота механізму	Негерметичність клапанів
Наявність нагару	Порушення щільності прилягання	Втрата компресії

Таблиця 1.4

Закономірності зношування клапанного механізму

Фактор експлуатації	Закономірність зношування	Результат
Збільшення температури	Прискорення окиснення металу	Зменшення ресурсу клапана
Підвищення навантаження	Зростання контактних напружень	Інтенсивне зминання фасок
Недостатня герметичність	Прорив гарячих газів	Прогар клапана
Погіршення мащення	Руйнування масляної плівки	Підвищений коефіцієнт тертя
Наявність абразивних частинок	Мікрорізання поверхонь	Прискорений знос деталей

ОСНОВНІ ДЕФЕКТИ З'ЄДНАННЯ «КЛАПАН – СІДЛО»

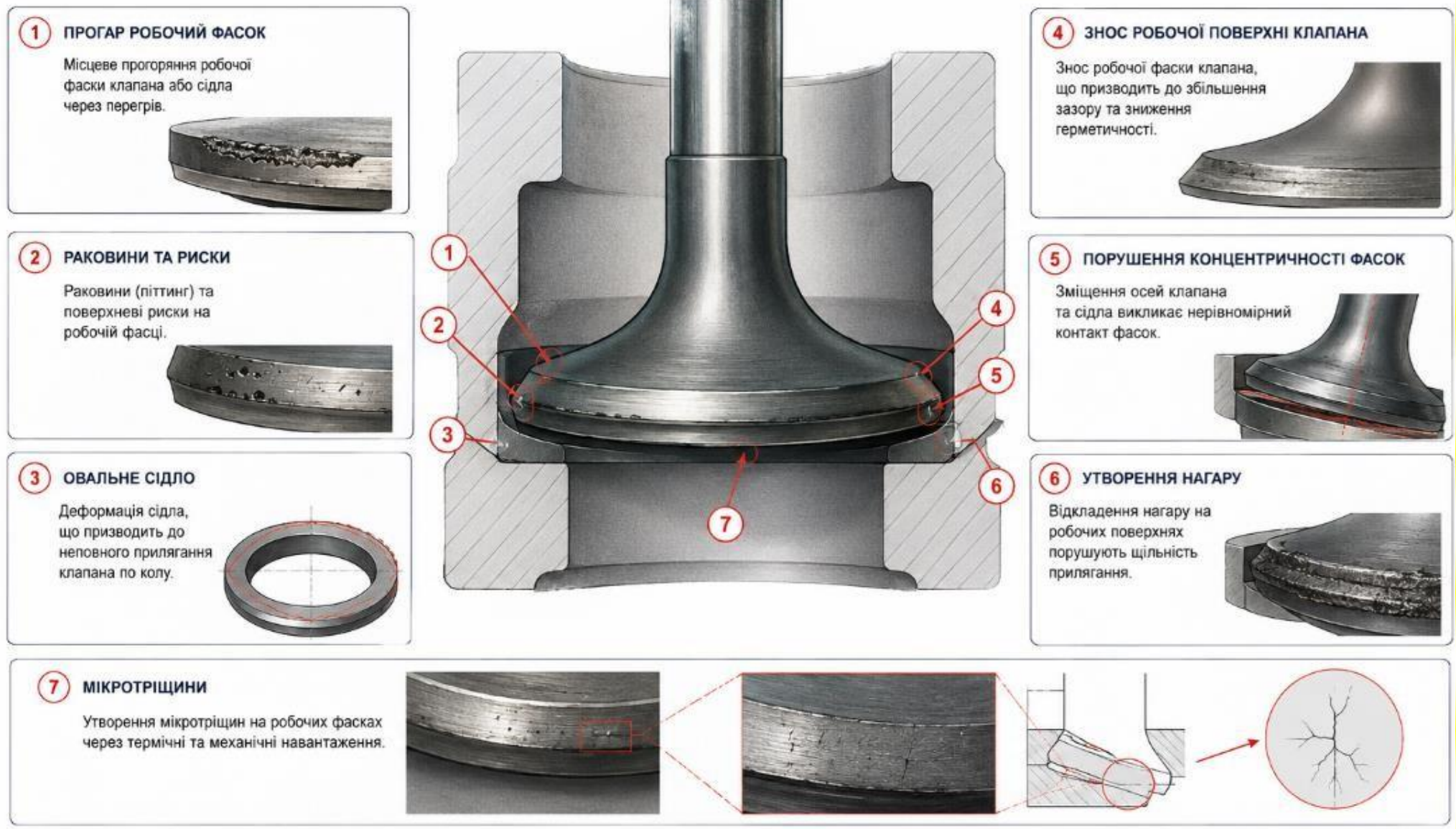


Рис. 1.2. Дефекти з'єднання «клапан – сидло»

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХОНЬ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ

Таблиця 1.9

Порівняльна характеристика методів підвищення
зносостійкості клапанного зчеплення

Метод зміцнення	Сутність методу	Переваги	Недоліки	Підвищення ресурсу
Азотування	Насичення поверхні азотом	Висока твердість, теплостійкість	Тривалий процес	1,5-2 рази
Карбонітра- ція	Насичення азотом і вуглецем	Підвищена зносостійкість	Складність контролю режимів	До 2 разів
Газотерміч- не напилення	Нанесення зносостійкого шару	Висока твердість покриття	Необхідність спеціального обладнання	2-3 рази
Електроіс- крово легування	Локальне нанесення легувального шару	Висока адгезія покриття	Обмежена продуктив- ність	1,5-2,5 рази
Алмазне вигладжу- вання	Пластичне деформування поверхні	Зменшення шорсткості	Необхідність точного налаштуван- ня	До 1,5 разів
Плазмове напилення	Формування жаростійкого покриття	Висока теплостійкість	Висока вартість	До 3 разів

Таблиця 1.8

Ефективність комбінованих методів зміцнення
клапанного спряження

Комбінація технологій	Результат обробки	Зниження інтенсив- ності зношуван- ня
Азотування + притирання	Підвищення твердості та герметичності	35–45 %
Газотермічне напилення + полірування	Зменшення тертя та перегріву	40–60 %
Електроіскрове легування + суперфінішу- вання	Формування зміцненого шару	45–55 %
Плазмове напилення + алмазне вигладжування	Висока теплостійкість і низька шорсткість	До 65 %
Карбонітрація + мікротексту- рування	Покращення утримання мастила	50–70 %

ОСНОВНІ ФАКТОРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДВИГУНІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЗНОШУВАННЯ КЛАПАННОГО МЕХАНІЗМУ В УМОВАХ АТП

Таблиця 2.2

Основні фактори, що впливають на зношування клапанного механізму в умовах АТП

Фактор	Характер впливу
Підвищене теплове навантаження	Викликає прогар фасок клапанів
Запиленість повітря	Спричиняє абразивне зношування
Низька якість мастильних матеріалів	Підвищує інтенсивність тертя
Перевантаження двигуна	Призводить до втомного руйнування
Несвоєчасне ТО	Викликає прискорене зношування деталей
Порушення регулювання клапанів	Погіршує герметичність спряження

Таблиця 2.3

Основні фактори експлуатації двигунів в умовах АТП

Фактор	Характер впливу на двигун	Наслідки
Часті пуски двигуна	Недостатнє мащення поверхонь тертя	Підвищене зношування деталей
Робота на холостому ході	Погіршення теплового режиму	Нагароутворення
Підвищене навантаження	Зростання контактних напружень	Втомне руйнування
Запиленість повітря	Потрапляння абразивних частинок	Абразивне зношування
Перегрів двигуна	Зниження міцності металу	Прогар клапанів
Низька якість мастила	Порушення мащення	Задири та заклинювання

ОСНОВНІ ЗОВНІШНІ ОЗНАКИ НЕСПРАВНОСТЕЙ ТА МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КЛАПАННОГО МЕХАНІЗМУ



ТЕХНОЛОГІЯ ПРИТИРАННЯ КЛАПАНІВ НА ВЕРСТАТІ ОПР-1841А

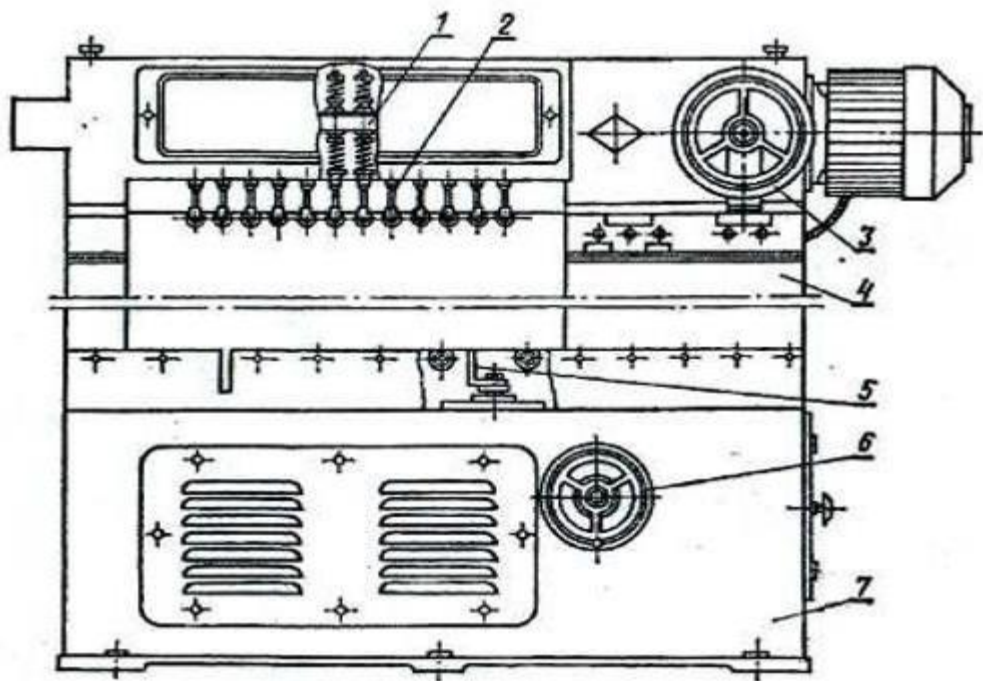


Рис. 3.1. Верстат ОПР-1841А для притирання клапанів:

1 – блок шпинделів; 2 – перехідник; 3, 6 – маховичок;
4 – права стійка; 5 – кутник підйомної платформи;
7 – станина

Послідовність операцій притирання клапанів силікатною пастою

Встановити головку блоку на кутники підйомної платформи верстата площиною роз'єму догори

Підібрати комплект клапанів придатних за всіма параметрами, надіти на стрижень клапанів спеціальні віджимні пружини та встановити їх у головку блоку

Ослабити гайку шпинделів, розставити їх по осях клапанів, які притираються і закріпити верхні та нижні гайки втулок шпинделів

Обертанням маховичка 3 (рис. 3.1) підняти корпус шпинделів у верхнє положення

Обертанням маховичка 6 підйому столу підняти головку блоку так, щоб можна було вставити перехідники в прорізи шпинделів і тарілки клапанів

Нанести на фаски клапанів силікатну пасту тонким рівномірним шаром 0,2-0,5 мм

Обертанням маховичка 6 підйому столу підняти головку блоку так, щоб можна було вставити перехідники в прорізи шпинделів і тарілки клапанів

Провести притирання протягом 4 хвилини

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ

На основі даних експериментальних досліджень та практики застосування притирання силікатною пастою встановлено:

- підвищення продуктивності абразивної обробки клапанного спряження автомобільних двигунів на 10-15 % [35];
- підвищення ресурсу клапанів і сідел на 15-20 %, що дозволяє збільшити термін експлуатації між капітальними ремонтами двигуна [33].

Якщо стандартний ресурс клапанного спряження після обробки існуючими складами паст становить $R_0 = 120\,000$ км, а очікуване підвищення ресурсу при застосуванні силікатної пасту – $\Delta R = 20\%$, то новий ресурс R_1 обчислюємо за формулою:

$$R_1 = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta R}{100}\right), \text{ км}, \quad (3.1)$$

де R_0 – стандартний ресурс клапанного спряження після обробки існуючими складами паст, км;

ΔR – очікуване підвищення ресурсу при застосуванні силікатної пасту, %.

$$R_1 = 120000 \cdot \left(1 + \frac{20}{100}\right) = 144000 \text{ км}.$$

Таким чином, застосування пасту дозволяє збільшити ресурс клапанного спряження на 24 000 км, що знижує частоту ремонтів двигуна.

Економія на одному ремонті розраховуємо за формулою:

$$E = C_0 \cdot \frac{\Delta R}{R_1}, \text{ грн}, \quad (3.2)$$

де C_0 – вартість заміни клапанів та сідел при стандартному ремонті, грн;

R_1 – ресурс клапанного спряження після обробки силікатною пастою, км.

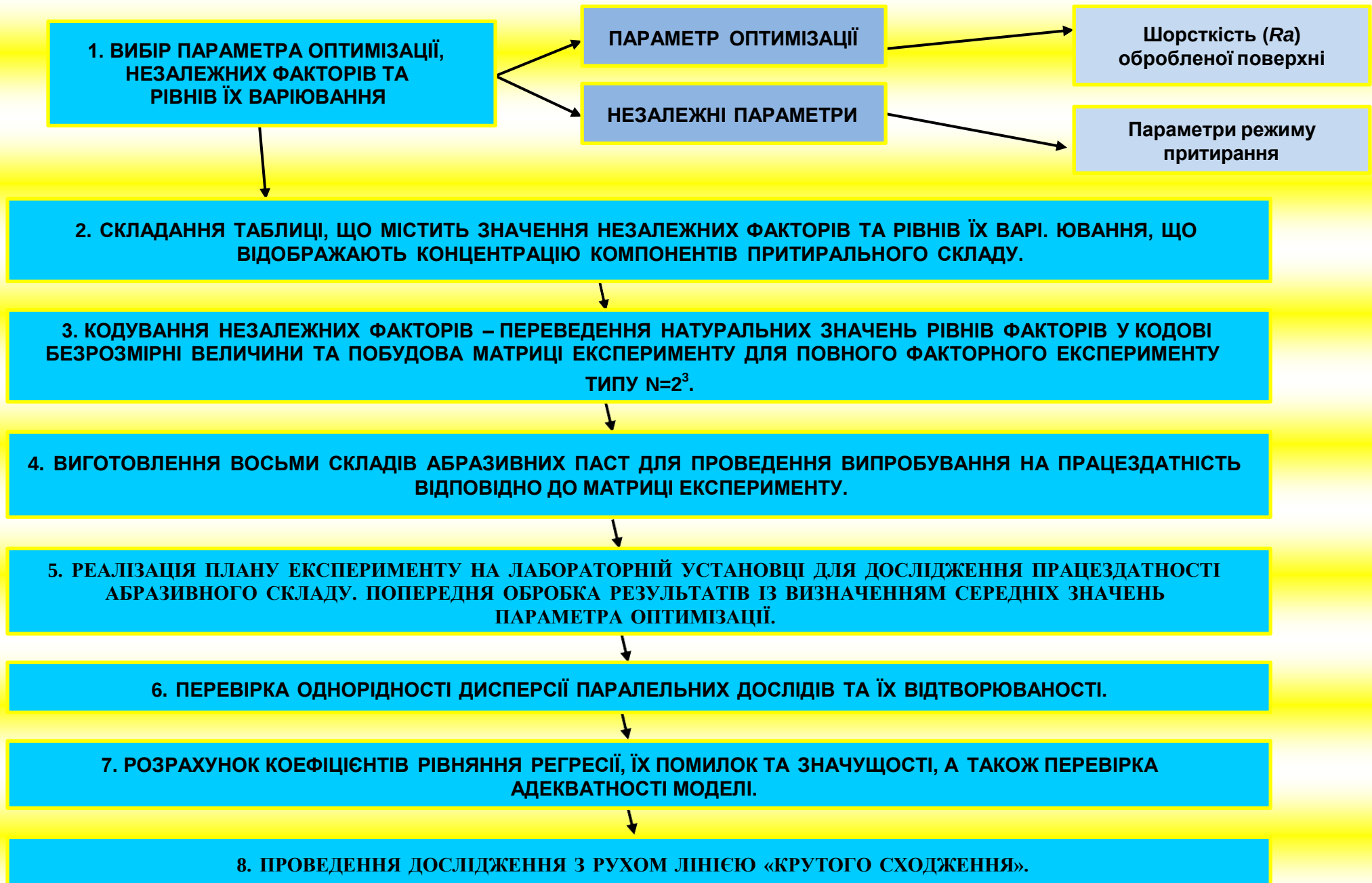
$$E = 15000 \cdot \frac{24000}{144000} = 2500 \text{ грн}.$$

Якщо на АТП експлуатується 10 двигунів, економія становитиме:

$$E_{\text{АТП}} = 2500 \cdot 10 = 25000 \text{ грн на один ремонтний цикл}.$$

Додаткові переваги: скорочення простоїв транспортних засобів; зниження витрат на пальне завдяки підвищеній герметичності камери згоряння; менше матеріалів та трудових витрат на ремонт.

ЕТАПИ ПРОВЕДЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ПРИТИРАННЯ КЛАПАННОГО СПРЯЖЕННЯ



ОБЛАДНАННЯ ТА ЗРАЗКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ПРИТИРАННЯ

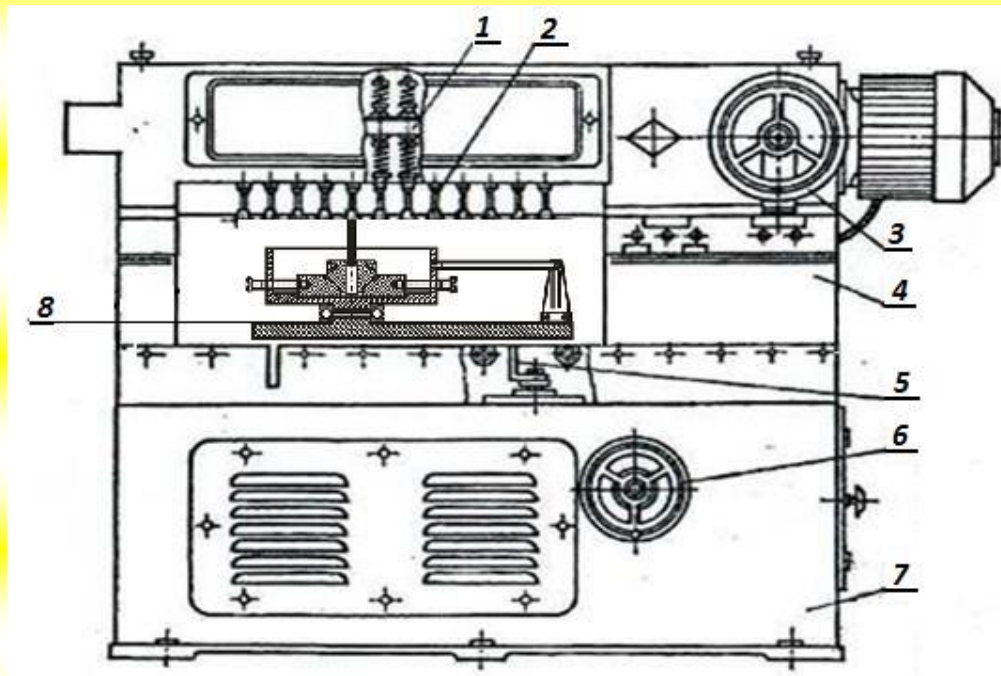


Рис. 4.1. Установка для проведения оптимизации режима притирания клапанного сопряжения [33]:

1 – блок шпинделів; 2 – перехідник; 3, 6 – маховик;
4 – стійка права; 5 – косинець підйомного столу;
7 – станина; 8 – робочий вузол для притирання

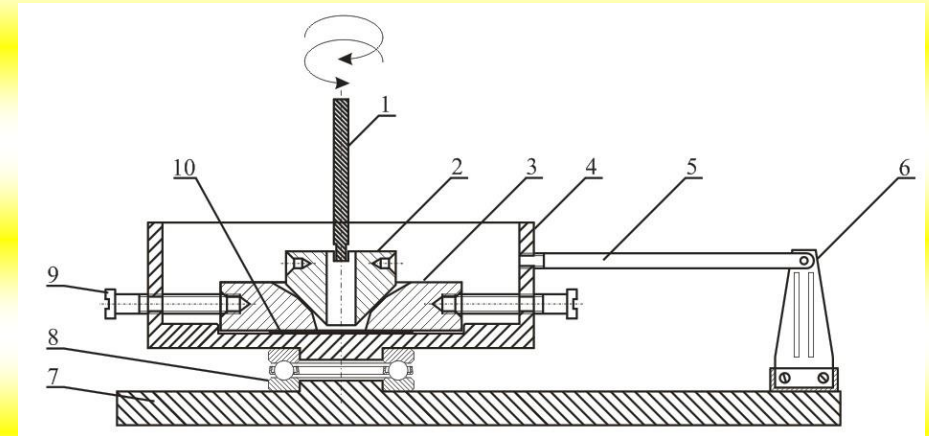


Рис. 4.3. Робочий вузол для притирання [35]:
1 – перехідник; 2 – зразок; 3 – контрзразок; 4 – чашка;
5 – стрижень; 6 – тензометрична балка з електротензодатчиком; 7 – опорна плита;
8 – напольгливий кульковий підшипник 51103;
9 – гвинт для кріплення контрзразка;
10 – електротензодатчик

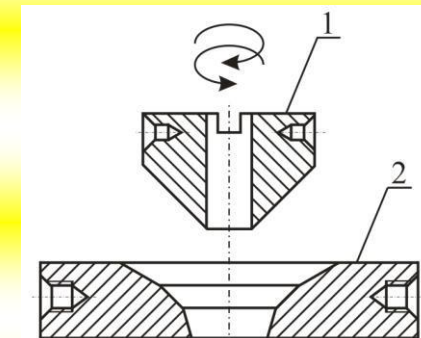


Рис. 4.2. Схема розташування зразків [35]:
1 – зразок; 2 – контрзразок

РЕЗУЛЬТАТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ПРИТИРАННЯ СИЛІКАТНОЮ ПАСТОЮ

Таблиця 4.4

Таблиця 4.3

Значення незалежних факторів та параметра

Номер досліджу	Значення незалежних факторів			Шорсткість поверхні зразків, Ra , мкм.
	Тиск на зразок, МПа, x_1	Зворотно-обертальна швидкість зразка, м/с, x_2	Час притирання, с., x_3	
1	2	3	4	5
1	0,01	0,3	240	0,118
2	0,01	0,3	600	0,158
3	0,01	0,6	240	0,138
4	0,01	0,6	600	0,178
5	0,05	0,3	240	0,118
6	0,05	0,3	600	0,168
7	0,05	0,6	240	0,158
8	0,05	0,6	600	0,218

Рівняння математичної моделі режиму притирання силікатною пастою

$$\hat{y} = 0,15675 + 0,00875x_1 + 0,01625x_2 + 0,02375x_3 + 0,00625x_{1,2} \quad (4.13)$$

Для досягнення мінімального значення параметра оптимізації (Ra) при притиранні силікатним абразивним складом оптимальні параметри режиму притирання повинні бути наступними:

- питомий тиск на зразок – $P=0,03$ МПа;
- зворотно-обертальна швидкість зразка – $V_{з-о}=0,3$ м/с;
- час притирання – $t=240$ с.

Матриця планування

Номер досліджу	Матриця планування								Робоча матриця			Результати паралельні експеримент з U_i мкм	Середнє значення, $\bar{U}$, мкм
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_{12}	x_{13}	x_{23}	x_{123}	Тиск на зразок,	Зворотно-обертальна швидкість,	Час притирання,		
1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,01	0,3	240	0,12 0,12 0,12 0,11 0,12	0,118
2	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	0,01	0,3	600	0,16 0,15 0,16 0,16 0,16	0,158
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0,01	0,6	240	0,14 0,14 0,14 0,13 0,14	0,138
4	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	0,01	0,6	600	0,18 0,18 0,18 0,18 0,17	0,178
5	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,05	0,3	240	0,12 0,12 0,12 0,11 0,12	0,118
6	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	0,05	0,3	600	0,17 0,16 0,17 0,17 0,17	0,168
7	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,05	0,6	240	0,16 0,16 0,16 0,16 0,15	0,158
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0,05	0,6	600	0,21 0,22 0,22 0,22 0,22	0,218

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндра автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства.

У процесі виконання роботи отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз конструктивних особливостей та умов роботи клапанного спряження автомобільних двигунів.
2. Досліджено теоретичні основи роботи клапанного спряження та закономірності його зношування. Виконано аналіз факторів, що впливають на довговічність клапанного механізму.
3. Проаналізовано умови експлуатації автомобільних двигунів в умовах АТП та досліджено технічний стан клапанного спряження. Встановлено, що інтенсивність зношування значною мірою залежить від режимів роботи двигуна, якості паливно-мастильних матеріалів, своєчасності технічного обслуговування та дотримання технології ремонту.
4. Обґрунтовано вибір методу підвищення зносостійкості клапанного спряження.
5. Наведено основні фізико-механічні властивості силікатної пасти, які роблять її ефективним засобом підвищення ресурсу та зносостійкості клапанного спряження без зміни конструкції двигуна. Запропоновано для підвищення зносостійкості клапанного спряження головки циліндрів автомобільних двигунів в умовах автотранспортного підприємства використовувати силікатну притиральну пасту при відновленні пари тертя.
6. Запропоновано технологія застосування силікатної пасти для обробки клапанного спряження.
7. Встановлено, що застосування силікатної пасти для притирання клапанів призводить до: покращення контактної поверхні, зменшення коефіцієнту тертя поверхонь при роботі пари тертя; покращення герметичності з'єднання.
8. Виконано оцінка впливу застосування силікатної пасти на ресурс клапанного спряження та економічну доцільність впровадження цього методу в умовах автотранспортного підприємства.
9. Виконано розрахунок оптимальних параметрів режиму притирання клапанного спряження силікатною пастою.