

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Розробка конструкції пристрою для безрозбірної діагностики
технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна сільськогосподарського
трактора»

КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»
спеціалізації 133 «Галузеве
машинобудування»*
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_42
РУДИК Ростислав

Керівник: канд. техн. наук, доцент
ДУДНИК Володимир

Полтава – 2026 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Освітньо-професійна програма *«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»*

Спеціальність *133 «Галузеве машинобудування»*
Ступінь вищої освіти *бакалавр*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
механічної та електричної
інженерії,
канд. техн. наук, доцент,
_____ Станіслав ПОПОВ
03 грудня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ростислав РУДИК

1 Тема роботи: ***«Розробка конструкції пристрою для безрозбірної діагностики технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна сільськогосподарського трактора»***,

керівник роботи ***канд. техн. наук, доцент Володимир ДУДНИК***,
затверджено засіданням кафедри, протокол №9 від 03 грудня 2025 р.

2 Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – до 31 травня 2026 р.

3 Вихідні дані до роботи – *аналіз літературних джерел Полтавської обласної універсальної наукової бібліотеки імені Івана Котляревського; аналіз літературних джерел Національної бібліотеки України імені Володимира Вернадського; сучасний досвід підприємств машинобудування та АПК за тематичним спрямуванням.*

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Розділ 1. *Загальний*

Розділ 2. *Технологічний*

Розділ 3. *Конструкторський*

Розділ 4. *Економіка, охорона праці та навколишнього середовища*

5 Перелік графічного матеріалу: *складальний креслення розробки, що вноситься на розгляд; креслення складальних одиниць; техніко-економічні показники конструкторської розробки.*

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Економіка, охорона праці та навколишнього середовища	Інна МИКОЛЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
	Володимир ДУДНИК, доцент кафедри механічної та електричної інженерії		
	Павло ПИСАРЕНКО, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля		

7 Дата видачі завдання 03 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з.п.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір, затвердження теми роботи	До 03.12.2025 р.	
2	Складання, затвердження розгорнутого плану, завдання на кваліфікаційну роботу	15.12-28.12.2025 р.	
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення, обробка інформації, необхідної для виконання роботи		
5	Виконання розділів роботи, графічної частини	04.05-31.05.2026 р.	
6	Оформлення тексту роботи		
7	Попередній захист роботи на кафедрі	До 31.05.2026 р.	
8	Нормалізаційний контроль		
9	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій		
10	Захист кваліфікаційної роботи	3 01.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____ Ростислав РУДИК
(підпис)

Керівник роботи _____ Володимир ДУДНИК
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 1 додаток, 6 рисунків, 15 таблиць, 28 використаних джерел, 45 сторінок.

Об'єкт розробки – процес технічного обслуговування двигунів сільськогосподарських тракторів, зокрема циліндро-поршневої групи.

Предмет розробки – пневматичний пристрій для безрозбірної діагностики технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна.

Постановка актуальної технічної задачі – підвищення точності та ефективності визначення технічного стану циліндро-поршневої групи шляхом створення вдосконаленого пневматичного пристрою, який забезпечує достовірні результати вимірювання.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – розробка конструкції пневматичного калібратора для безрозбірної діагностики циліндро-поршневої групи двигуна із забезпеченням високої точності вимірювання, надійності роботи та можливості використання в умовах ремонтного виробництва.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра – полягає у створенні вдосконаленого пневматичного пристрою, який дозволяє оперативно визначати технічний стан двигуна без його розбирання, зменшувати прості техніки, підвищувати ефективність технічного обслуговування та знижувати експлуатаційні витрати.

У **загальному розділі** наведені аналіз умов та технологія використання базової машини, можливі варіанти вирішення технічної задачі. Обґрунтовано вибір доцільного варіанту, приведена розробка та обґрунтування принципів технічних рішень. Представлена постановка технічної задачі та актуальність розробки.

У **технологічному розділі** здійснено вибір матеріалу основної деталі (штока), обґрунтовано тип заготовки, визначено припуски, способи базування та режими різання. Розроблено маршрут виготовлення деталі, складено технологічну карту та обґрунтовано технологічний процес виготовлення.

У **конструкторському розділі** виконано розробку пневматичного

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

калібратора, обґрунтовано його конструктивну схему, визначено склад і функції основних елементів. Запропоновано вдосконалення конструкції шляхом введення магістралі продування, що забезпечує підвищення точності діагностики.

У розділі **економіки, охорони праці та навколишнього середовища** розглянуто питання безпечної експлуатації пристрою, визначено небезпечні та шкідливі фактори, а також розроблено заходи щодо їх усунення. Проведено оцінку економічної ефективності розробки та визначено її доцільність.

Практичні результати роботи – розроблено конструкцію пневматичного калібратора, вдосконалено принцип його роботи, розроблено технологічний процес виготовлення основної деталі та визначено режими обробки.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – впровадження розробленого пристрою у процесі технічного обслуговування сільськогосподарської техніки для підвищення точності діагностики та зниження витрат на ремонт.

Сфера застосування результатів роботи – підприємства агропромислового комплексу, ремонтні майстерні, сервісні центри технічного обслуговування тракторів і сільськогосподарської техніки.

Графічна частина роботи становить 4 аркуші.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою профільного сервісу – унікальність 97,41 %.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці пневматичного пристрою для безрозбірної діагностики технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна сільськогосподарського трактора з метою підвищення ефективності технічного обслуговування машин.

Особливістю розробки є використання вдосконаленого пневматичного методу з двоступеневою подачею повітря та магістраллю продування, що

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє створити умови, наближені до реальної роботи двигуна, та підвищити точність визначення нещільностей.

Запропонований пристрій відзначається простотою конструкції, надійністю та технологічністю виготовлення, придатний для використання як у ремонтних майстернях, так і в польових умовах. Його застосування забезпечує скорочення часу діагностики, зменшення простоїв техніки та підвищення достовірності оцінки технічного стану двигуна.

Ключові слова: ПНЕВМАТИЧНИЙ КАЛІБРАТОР, ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВА ГРУПА, ДІАГНОСТИКА, ВИТОКИ ПОВІТРЯ, ТЕХНІЧНИЙ СТАН, ДВИГУН, СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ТЕХНІКА, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ.

ANNOTATION

The bachelor's qualification work is devoted to the development of a pneumatic device for non-disassembly diagnostics of the technical condition of the cylinder-piston group of the engine of an agricultural tractor in order to increase the efficiency of technical maintenance of machines.

A feature of the development is the use of an improved pneumatic method with a two-stage air supply and a purge line, which allows you to create conditions close to the real operation of the engine and increase the accuracy of determining leaks.

The proposed device is characterized by simplicity of design, reliability and manufacturability of manufacture, suitable for use both in repair shops and in field conditions. Its use ensures a reduction in diagnostic time, reduced equipment downtime and increased reliability of assessing the technical condition of the engine.

Keywords: PNEUMATIC CALIBRATER, CYLINDER-PISTON GROUP, DIAGNOSTICS, AIR LEAKS, TECHNICAL CONDITION, ENGINE, AGRICULTURAL EQUIPMENT, MAINTENANCE.

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 ЗАГАЛЬНИЙ	10
1.1 Умови та технологія використання базової машини	10
1.2 Можливі варіанти вирішення технічної задачі	11
1.3 Обґрунтування вибору доцільного варіанту	14
1.4 Розробка та обґрунтування принципів технічних рішень	17
1.5 Постановка технічної задачі та актуальність розробки	21
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ	22
2.1 Загальні відомості про деталь та теоретичні основи обробки	22
2.2 Матеріал деталі та можливі замітники	23
2.3 Відомості про заготовку	25
2.4 Припуски, базування, точність і маршрут виготовлення деталі	26
2.5 Ескіз деталі, режими обробки та технологічна карта	28
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	30
3.1 Обґрунтування необхідності конструкторської розробки	30
3.2 Будова та принцип роботи пристрою	31
3.3 Розрахунок замикаючої й регулювальної пружин	32
3.4 Розрахунок гвинта на міцність	38
4 ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	39
4.1 Техніко-економічне обґрунтування конструкторської розробки	39
4.2 Охорона праці	41
4.3 Охорона навколишнього середовища	43
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46
ДОДАТКИ	49

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Розробка конструкції пристрою для безрозбірної діагностики технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна сільськогосподарського трактора	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		Рудик Р.В.					7	43
<i>Перевідив</i>		Дудник В.В.						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Керівник</i>		Дудник В.В.						
<i>Зав.кафедр</i>		Попов С.В.				ПДАУ, каф. МЕІ		

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Умови та технологія використання базової машини

Базовою машиною дослідження є двигуни сільськогосподарського трактора, які широко використовуються у сільськогосподарському виробництві для перевезення вантажів, виконання допоміжних технологічних операцій та обслуговування виробничих процесів. Особливістю експлуатації даної техніки є її використання в умовах підвищеної складності, що суттєво впливає на надійність і довговічність агрегатів, зокрема двигуна [1].

Експлуатаційні умови тракторів у сільському господарстві характеризуються комплексом несприятливих факторів [2]:

- підвищена запиленість повітря, що викликає абразивне зношування циліндрів і поршневих кілець;
- змінний характер навантаження, що призводить до нерівномірного зношування деталей;
- часті запуски двигуна, при яких відбувається його робота в умовах граничного змащення;
- широкий температурний діапазон експлуатації, що впливає на теплові зазори;
- підвищена вологість і агресивне середовище, які сприяють корозійним процесам.

Ці фактори призводять до інтенсивного зношування деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ), що є основною причиною зниження ефективності роботи двигуна.

У процесі експлуатації в ЦПГ відбуваються такі види зношування, що призводить до негативних наслідків (табл. 1.1).

Збільшення зазорів у спряженнях призводить до [3]:

- зниження компресії;
- погіршення процесу згоряння;

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- збільшення витрати палива;
- підвищення витрати мастила;
- зниження потужності двигуна.

Таблиця 1.1 – Види зношування та їх наслідки

Вид зношування	Причина	Наслідок
Абразивне	Пил	Збільшення зазорів
Адгезійне	Недостатнє змащування	Задири
Корозійне	Волога	Руйнування поверхні
Втомне	Навантаження	Тріщини

Традиційна технологія технічного контролю передбачає [4]:

- демонтаж двигуна;
- розбирання;
- дефектування;
- вимірювання зносу.

Недоліки:

- велика трудомісткість;
- тривалий простій;
- висока вартість.

У зв'язку з цим актуальним є використання безрозбірних методів.

1.2 Можливі варіанти вирішення технічної задачі

Технічна задача, що розглядається у роботі, полягає у визначенні технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна без його розбирання, із забезпеченням достатньої точності та мінімальних витрат часу і ресурсів. Для її вирішення в сучасній практиці застосовуються різні методи діагностики, які відрізняються за фізичною суттю, складністю реалізації та інформативністю отриманих результатів [5].

З урахуванням специфіки об'єкта дослідження всі можливі варіанти доцільно класифікувати за принципом дії на кілька основних груп: механічні,

параметричні, пневматичні та сучасні інструментальні методи [4].

Розбірні (механічні) методи контролю.

До цієї групи належать методи, що передбачають повне або часткове розбирання двигуна з подальшим вимірюванням геометричних параметрів деталей. Контроль здійснюється за допомогою нутромірів, мікрометрів, індикаторів та інших вимірювальних засобів.

Основною перевагою даного підходу є висока точність, оскільки визначення зносу здійснюється безпосередньо за фактичними розмірами деталей. Однак цей метод має суттєві недоліки:

- значна трудомісткість і тривалість виконання робіт;
- необхідність виведення машини з експлуатації;
- висока вартість виконання операцій;
- ризик додаткового пошкодження деталей при розбиранні.

З огляду на це, розбірні методи застосовуються переважно при капітальному ремонті і є малопридатними для оперативної діагностики в умовах виробництва [6].

Параметричні методи (компресійний контроль).

Параметричні методи базуються на вимірюванні експлуатаційних показників роботи двигуна, зокрема тиску стиску в циліндрах. Найбільш поширеним є компресійний метод, який дозволяє швидко оцінити загальний технічний стан двигуна.

До переваг методу належать:

- простота реалізації;
- мінімальні витрати часу;
- відсутність необхідності розбирання.

Разом з тим, компресійний метод має обмежену інформативність [7]. Зниження компресії може бути викликане різними причинами (знос кілець, несправність клапанів, порушення герметичності прокладки головки блока), що ускладнює точне визначення джерела дефекту. Крім того, результати

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювання суттєво залежать від умов проведення діагностики (температури двигуна, частоти обертання, стану акумулятора).

Таким чином, компресійний метод доцільно використовувати як попередній етап оцінки стану двигуна, але його точність є недостатньою для прийняття обґрунтованих рішень щодо ремонту.

Пневматичні методи діагностики.

Пневматичні методи базуються на подачі стисненого повітря в циліндр двигуна і визначенні витоку через нещільності. Величина витоку або перепаду тиску є інтегральним показником технічного стану спряжень циліндро-поршневої групи [8].

Принцип роботи пневматичного калібратора ґрунтується на вимірюванні сумарних зазорів у спряженнях за допомогою перепаду тиску між камерами.

Переваги пневматичного методу:

- можливість проведення діагностики без розбирання двигуна;
- достатньо висока точність;
- можливість локалізації місця витоку (через прослуховування або аналіз напрямку витоку повітря);
- незалежність від режимів роботи двигуна.

Недоліки:

- чутливість до параметрів подачі повітря;
- необхідність стабілізації тиску;
- залежність точності від конструкції вимірювального пристрою.

Саме цей метод є найбільш перспективним для подальшого вдосконалення, оскільки забезпечує оптимальне поєднання точності та економічності.

Сучасні інструментальні методи.

До сучасних методів належать електронні, акустичні та тепловізійні способи діагностики, які базуються на аналізі непрямих параметрів роботи

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двигуна [8].

Зокрема:

- акустичні методи використовують аналіз шумів витоку повітря;
- вібраційні методи визначають стан вузлів за спектром коливань;
- тепловізійні методи дозволяють оцінити розподіл температур.

Незважаючи на високу інформативність, ці методи мають обмежене застосування через:

- високу вартість обладнання;
- складність обробки результатів;
- потребу у кваліфікованому персоналі.

Порівняльна оцінка варіантів.

Для узагальнення аналізу доцільно порівняти розглянуті методи за основними критеріями (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Порівняння варіантів вирішення задачі

Метод	Точність	Трудомісткість	Вартість	Швидкість	Доцільність
Розбірний	Висока	Висока	Висока	Низька	Обмежена
Компресійний	Середня	Низька	Низька	Висока	Часткова
Пневматичний	Висока	Середня	Середня	Висока	Висока
Інструментальний	Висока	Середня	Дуже висока	Середня	Обмежена

Аналіз можливих варіантів вирішення технічної задачі показав, що найбільш доцільним є використання пневматичного методу діагностики, який забезпечує необхідний рівень точності при прийнятних витратах часу та ресурсів.

Інші методи або є надто трудомісткими (розбірні), або недостатньо інформативними (компресійні), або економічно недоцільними (сучасні інструментальні). Це визначає доцільність подальшого вдосконалення саме пневматичних засобів контролю технічного стану двигуна.

1.3 Обґрунтування вибору доцільного варіанту

На основі проведеного аналізу можливих варіантів вирішення технічної

задачі необхідно визначити найбільш ефективний метод діагностики технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна, який відповідає умовам експлуатації базової машини та вимогам сучасного технічного сервісу [9].

Для об'єктивного обґрунтування доцільного варіанту доцільно використовувати систему критеріїв, що відображають технічні та економічні вимоги до діагностичного процесу [9]:

- інформативність – здатність методу відображати реальний технічний стан ЦПГ;
- точність вимірювання – ступінь відповідності результатів фактичному зносу;
- оперативність – тривалість проведення діагностики;
- трудомісткість – обсяг витрат праці;
- економічність – витрати на реалізацію методу;
- безрозбірність – можливість контролю без демонтажу двигуна;
- адаптивність до виробничих умов – придатність до використання в умовах ремонтної майстерні.

Порівняльна оцінка варіантів за критеріями.

Для обґрунтування вибору проведено якісне оцінювання розглянутих методів за зазначеними критеріями (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Оцінка методів за критеріями ефективності

Критерій	Розбірний	Компресійний	Пневматичний	Інструментальний
Інформативність	Висока	Середня	Висока	Висока
Точність	Висока	Середня	Висока	Висока
Оперативність	Низька	Висока	Висока	Середня
Трудомісткість	Висока	Низька	Середня	Середня
Економічність	Низька	Висока	Середня	Низька
Безрозбірність	Ні	Так	Так	Так
Придатність до виробництва	Низька	Висока	Висока	Обмежена

Аналіз показує, що розбірний метод, незважаючи на високу точність, не відповідає вимогам оперативності та економічності, що виключає його використання для регулярного контролю технічного стану двигуна.

Компресійний метод є простим і швидким, однак його інформативність є недостатньою, оскільки він не дозволяє визначити характер і локалізацію дефектів. Крім того, результати вимірювань значною мірою залежать від зовнішніх умов, що знижує достовірність діагностики.

Сучасні інструментальні методи забезпечують високу точність, проте їх використання обмежується високою вартістю обладнання та складністю обробки результатів, що робить їх малоприматними для умов сільськогосподарського виробництва.

Найбільш збалансованим за сукупністю критеріїв є пневматичний метод, який поєднує достатню точність, відносну простоту реалізації та можливість проведення діагностики без розбирання двигуна [8].

Виявлення недоліків базового пневматичного методу.

Незважаючи на переваги, базовий пневматичний метод має суттєвий конструктивний недолік. При подачі повітря з тиском близько 0,72 МПа поршневі кільця не забезпечують повного прилягання до опорних поверхонь канавок поршня, це призводить до виникнення додаткових витоків повітря, які не пов'язані з реальним зношуванням деталей, а отже:

- спотворюють результати вимірювання;
- знижують точність діагностики;
- ускладнюють інтерпретацію результатів.

Для підвищення точності пневматичного методу необхідно забезпечити умови, максимально наближені до реального режиму роботи двигуна. Це передбачає:

- створення достатнього тиску для притискання поршневих кілець;
- стабілізацію параметрів подачі повітря;
- мінімізацію паразитних витоків;
- уніфікацію умов проведення вимірювання.

Виконання цих умов дозволяє суттєво підвищити достовірність отриманих результатів.

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пневматичний метод має такі переваги [4]:

- скорочення часу діагностики у декілька разів;
- зменшення витрат на технічне обслуговування;
- підвищення коефіцієнта технічної готовності машин;
- можливість використання в умовах ремонтної майстерні без дорогого обладнання.

З урахуванням того, що розробка повинна мати невисоку вартість і короткий термін окупності (до 3 років), саме пневматичний метод найбільш повно відповідає цим вимогам.

На основі комплексного аналізу встановлено, що найбільш доцільним варіантом вирішення технічної задачі є застосування пневматичного методу діагностики з подальшим його вдосконаленням.

Обраний напрямок дозволяє:

- забезпечити високу точність контролю;
- зберегти простоту конструкції;
- мінімізувати витрати;
- підвищити ефективність технічного обслуговування.

Таким чином, подальші дослідження та конструкторська розробка будуть спрямовані на удосконалення пневматичного калібратора з метою усунення виявлених недоліків і підвищення достовірності діагностики.

1.4 Розробка та обґрунтування принципів технічних рішень

На основі проведеного аналізу існуючих методів діагностики та виявлених недоліків пневматичних пристроїв сформовано основні напрямки вдосконалення конструкції калібратора для визначення технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна [8].

Головною метою розробки є підвищення точності визначення нещільностей у циліндрі двигуна без ускладнення конструкції пристрою та

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збереження його доступності для використання в умовах ремонтної майстерні.

Аналіз показав, що основним джерелом похибки вимірювання є невідповідність умов діагностики реальним умовам роботи двигуна. Зокрема, при стандартному робочому тиску повітря (близько 0,72 МПа) поршневі кільця не притискаються до нижніх опорних поверхонь канавок поршня, що призводить до додаткових витоків повітря.

Для забезпечення правильної посадки поршневих кілець необхідно використовувати повний тиск компресорної установки, який становить близько 1,5 МПа [9].

Таким чином, принципове технічне рішення полягає у створенні двоступеневої системи подачі повітря:

- режим попереднього продування (підвищений тиск);
- режим вимірювання (стабілізований тиск).

Робота пристрою здійснюється у такій послідовності:

- до циліндра двигуна через спеціальний штуцер подається стиснене повітря під тиском компресора (до 1,5 МПа);
- відбувається продування циліндра, внаслідок чого поршневі кільця займають робоче положення і щільно прилягають до поверхонь канавок;
- після стабілізації положення кілець подача повітря переводиться у вимірювальний режим із редукованим тиском 0,72 МПа;
- за показаннями манометра визначається величина витoku повітря, яка характеризує технічний стан ЦПГ.

Такий підхід дозволяє виключити похибку, пов'язану з неповним контактом кілець, і забезпечити достовірність результатів.

Принципова структура модернізованого пристрою включає такі основні елементи (рис. 1.1):

- компресорна установка;
- редуктор тиску;

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- камера постійного тиску;
- камера змінного тиску;
- калібрувальні шайби;
- манометр;
- магістраль продування;
- розподільник повітря;
- штуцер для підключення до циліндра.

Рисунок 1.1 – Принципова схема модернізованого пристрою

Введення магістралі продування є ключовим елементом удосконалення конструкції. Її функціональне призначення полягає у створенні умов, близьких до реального робочого режиму двигуна.

Основні функції магістралі:

- подача повітря під підвищеним тиском;
- забезпечення правильного положення поршневих кілець;
- усунення паразитних витоків;
- підготовка системи до точного вимірювання.

Згідно з конструктивним рішенням, магістраль продування підключається до повітропроводу перед редуктором тиску, що дозволяє використовувати максимальний тиск компресора.

Роль основних елементів конструкції.

Редуктор тиску забезпечує стабілізацію робочого тиску під час вимірювання. Це необхідно для отримання достовірних і відтворених результатів.

Камери постійного і змінного тиску створюють умови для формування перепаду тиску, який використовується як діагностичний параметр.

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Калібрувальні шайби – змінні елементи, які дозволяють адаптувати пристрій до різного ступеня зношування двигуна. Вони формують контрольований витік повітря, що є еталоном для порівняння.

Манометр – основний вимірювальний прилад, який відображає результати діагностики.

Розподільник повітря забезпечує перемикання між режимами продування і вимірювання.

Технічними переваги запропонованого рішення у порівнянні з базовими (табл. 1.4):

- підвищена точність вимірювання за рахунок усунення похибок;
- стабільність результатів незалежно від умов вимірювання;
- простота конструкції, що не потребує складного виготовлення;
- універсальність застосування для різних двигунів;
- можливість використання у виробничих умовах без спеціалізованого обладнання.

Таблиця 1.4 – Порівняння характеристик пристрою

Параметр	Базовий пристрій	Модернізований
Точність	Середня	Висока
Похибка	Значна	Мінімальна
Надійність	Середня	Висока
Універсальність	Обмежена	Висока

Запропоноване рішення не потребує значного ускладнення конструкції, що забезпечує:

- низьку собівартість виготовлення;
- можливість виготовлення в умовах майстерні;
- швидку окупність;
- зменшення витрат на діагностику і ремонт.

Підвищення точності діагностики дозволяє своєчасно виявляти несправності та запобігати серйозним поломкам, що додатково підвищує економічну ефективність.

У результаті розробки сформовано принципове технічне рішення

модернізованого пневматичного калібратора, яке базується на використанні двоступеневої подачі повітря та введенні магістралі продування.

Запропонована конструкція дозволяє усунути основний недолік існуючих пристроїв, підвищити точність діагностики та забезпечити достовірність результатів без значного ускладнення конструкції.

Отже, прийняте технічне рішення є обґрунтованим, ефективним і доцільним для практичного впровадження.

1.5 Постановка технічної задачі та актуальність

У процесі експлуатації техніки значну роль відіграє технічний стан циліндро-поршневої групи двигуна, від якого залежать його потужність, економічність і надійність. Зношування деталей цієї групи призводить до порушення герметичності циліндрів, що спричиняє зниження компресії, погіршення пускових характеристик і збільшення витрат палива та мастильних матеріалів [10].

Традиційні методи контролю технічного стану передбачають розбирання двигуна, що є трудомістким і економічно не вигідним. У зв'язку з цим доцільним є використання безрозбірних методів діагностики, серед яких найбільш ефективним є пневматичний, що базується на визначенні витoku повітря через нещільності. Як зазначено вище, оцінка стану здійснюється за перепадом тиску, який залежить від сумарних зазорів у спряженнях.

Разом з тим, існуючі пневматичні пристрої мають недолік, пов'язаний із недостатнім тиском повітря, що не забезпечує повного прилягання поршневих кілець і знижує точність вимірювання. Це обумовлює необхідність їх удосконалення.

Отже, технічна задача полягає у розробці пристрою для безрозбірної діагностики циліндро-поршневої групи з підвищеною точністю визначення нещільностей. Актуальність розробки визначається необхідністю підвищення ефективності технічного обслуговування, зниження витрат і скорочення простоїв техніки.

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Загальні відомості про деталь та теоретичні основи обробки

Деталь «шток», наведена на кресленні (додаток А), відноситься до класу тіл обертання типу валів і використовується як елемент, що передає зусилля або забезпечує взаємодію окремих вузлів механізму. Конструктивно деталь має ступінчасту форму з чергуванням циліндричних поверхонь різного діаметра, що визначає специфіку її виготовлення [11]. Основними функціональними елементами є робоча циліндрична частина, різьбова ділянка типу М16, а також посадочні поверхні з підвищеними вимогами до точності.

Особливістю деталі є наявність точних ділянок з допусками за системою Н7, що вимагає високої точності обробки і дотримання співвісності поверхонь. Крім того, на кресленні (додаток А) передбачені фаски, які виконують як технологічну, так і експлуатаційну функцію, полегшуючи складання та запобігаючи концентрації напружень.

У процесі роботи шток піддається дії осьових і радіальних навантажень, а також сил тертя, що виникають у місцях контакту з іншими деталями. Це визначає підвищені вимоги до шорсткості поверхні, яка повинна відповідати значенню приблизно $Ra\ 3,2$ мкм, що забезпечує оптимальне поєднання зносостійкості та точності [12].

Теоретичні основи обробки деталей такого типу базуються на застосуванні токарної обробки як основного методу формоутворення. Токарна обробка забезпечує отримання циліндричних поверхонь із заданою точністю, а також дозволяє виконувати операції нарізання різьби, підрізання торців і формування фасок [13]. Основними параметрами процесу різання є швидкість різання, подача та глибина різання, які підбираються залежно від матеріалу деталі, вимог до точності та типу обробки (чорнової чи чистової).

У процесі різання відбувається складна взаємодія між інструментом і

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заготовкою, що супроводжується утворенням стружки, тепловиділенням і деформацією поверхневого шару. Тому правильний вибір режимів обробки має вирішальне значення для забезпечення якості готової деталі.

2.2 Матеріал деталі та можливі замітники

Матеріалом деталі є сталь 20, яка відноситься до конструкційних вуглецевих сталей середньої якості. Вибір цього матеріалу обумовлений його достатньою міцністю, хорошою оброблюваністю та доступністю [13]. Сталь 20 характеризується невисоким вмістом вуглецю, що забезпечує її пластичність і здатність до механічної обробки без утворення тріщин або значних деформацій.

Завдяки своїм властивостям (табл. 2.1) цей матеріал широко застосовується для виготовлення деталей, що працюють при помірних навантаженнях [14]. Його механічні характеристики дозволяють забезпечити необхідну міцність деталі без додаткових складних технологічних операцій, таких як глибока термічна обробка.

Таблиця 2.1 – Основні механічні властивості сталі 20

Показник	Значення
Межа міцності	370-470 МПа
Межа текучості	245-275 МПа
Твердість	НВ 120-170
Відносне подовження	20-25%
Оброблюваність	Висока

Зазначені механічні характеристики забезпечують достатню міцність деталі при збереженні високої технологічності. Це дозволяє виготовляти деталь без застосування складних термічних процесів, що позитивно впливає на собівартість виробництва.

Хімічний склад сталі 20 (табл. 2.2) визначає її основні властивості [13]. Низький вміст вуглецю забезпечує хорошу пластичність і ударну в'язкість, тоді як марганець підвищує міцність і зносостійкість. Обмежений вміст

шкідливих домішок, таких як сірка і фосфор, сприяє покращенню механічних характеристик і технологічності.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад сталі 20

Елемент	Вміст, %
Вуглець (C)	0,17-0,24
Кремній (Si)	0,17-0,37
Марганець (Mn)	0,35-0,65
Сірка (S)	≤0,04
Фосфор (P)	≤0,035

Разом з тим, у разі підвищених вимог до експлуатаційних характеристик можливе використання альтернативних матеріалів [14]. Сталь 45, яка містить більшу кількість вуглецю, дозволяє після термічної обробки отримати підвищену твердість і міцність. Це доцільно у випадках, коли деталь працює під значними навантаженнями або в умовах інтенсивного зносу.

Леговані сталі, такі як 40X, характеризуються підвищеною міцністю і зносостійкістю завдяки наявності хрому [14]. Вони застосовуються в більш відповідальних конструкціях, однак їх використання супроводжується підвищенням вартості та ускладненням технології обробки.

Порівняння матеріалів наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняння можливих матеріалів

Матеріал	Міцність	Зносостійкість	Оброблюваність	Вартість
Сталь 20	Середня	Середня	Висока	Низька
Сталь 45	Висока	Висока	Середня	Середня
40X	Дуже висока	Висока	Нижча	Висока

Вибір матеріалу деталі повинен здійснюватися з урахуванням комплексу факторів, включаючи умови роботи, тип навантаження, необхідну довговічність та економічні показники виробництва. У випадку деталі «шток» умови експлуатації не потребують застосування високоміцних або легованих сталей, що робить використання сталі 20 найбільш раціональним.

Таким чином, сталь 20 є оптимальним матеріалом для виготовлення деталі «шток», оскільки забезпечує необхідні механічні властивості, простоту

обробки та мінімальні витрати на виробництво. Рациональний вибір матеріалу дозволяє підвищити ефективність технологічного процесу та забезпечити надійну роботу деталі в умовах експлуатації.

2.3 Відомості про заготовку

Як заготовку для виготовлення штока доцільно використовувати круглий металопрокат, діаметр якого перевищує максимальний діаметр деталі на величину припуску. Такий вибір обумовлений простою геометричною формою деталі, яка наближена до циліндричної, а також економічною ефективністю використання стандартного прокату [15].

Заготовка відрізається від прутка на стрічкопильному або відрізнному верстаті з урахуванням припусків на обробку та торцювання (рис. 2.1). Довжина заготовки повинна перевищувати номінальну довжину деталі, що забезпечує можливість виконання всіх технологічних операцій, включаючи закріплення деталі в патроні та обробку торцевих поверхонь (табл. 2.4).

Рисунок 2.1 – Схема отримання заготовки

Таблиця 2.4 – Основні параметри заготовки

Параметр	Значення
Тип заготовки	Круглий прокат
Матеріал	Сталь 20
Діаметр заготовки	25 мм
Довжина заготовки	80-85 мм
Припуск на обробку	2-3 мм

Перевагами використання круглого прокату є його доступність, низька вартість, а також достатня точність геометричної форми, що дозволяє мінімізувати обсяг чорнової обробки. Крім того, відсутність складної підготовки заготовки значно спрощує технологічний процес і скорочує час виготовлення деталі [15].

Використання прокату також забезпечує раціональне використання матеріалу, оскільки втрати при обробці залишаються мінімальними. Це є важливим фактором при виготовленні деталей у ремонтному або дрібносерійному виробництві.

У деяких випадках для підвищення продуктивності та точності обробки може застосовуватися калібрований прокат. Він має більш точні геометричні розміри і менші відхилення форми, що дозволяє зменшити припуски та скоротити час обробки [15]. Проте використання такого матеріалу є економічно виправданим переважно в умовах серійного виробництва, де велика кількість однакових деталей дозволяє компенсувати вищу вартість заготовки. Переваг та недоліки видів заготовки представлені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Порівняння видів заготовок

Тип заготовки	Переваги	Недоліки
Прокат	Дешевий, доступний	Більші припуски
Калібрований прокат	Висока точність	Вища вартість
Поковка	Міцність	Складність виготовлення

Таким чином, використання круглого металопрокату як заготовки для виготовлення штока є найбільш раціональним рішенням, оскільки забезпечує оптимальне поєднання технологічності, економічності та достатньої точності для подальшої механічної обробки.

2.4 Припуски, базування, точність і маршрут виготовлення деталі

Припуски на механічну обробку визначаються з урахуванням точності заготовки, необхідної якості поверхні та технологічних можливостей обладнання. Для чорнової обробки припуски, як правило, становлять 1,5-2 мм, тоді як для чистової обробки вони зменшуються до 0,3-0,5 мм (табл. 2.6) [15]. Правильний вибір припусків забезпечує можливість усунення похибок форми заготовки та досягнення необхідної точності при мінімальних витратах часу і матеріалу.

Таблиця 2.6 – Припуски на обробку поверхонь

Вид обробки	Припуск, мм	Призначення
Чорнова	1,5-2,0	Видалення основного шару
Напівчистова	0,5-1,0	Уточнення розмірів
Чистова	0,3-0,5	Досягнення точності

Важливим етапом технологічного процесу є правильне базування деталі. У даному випадку за основну базу доцільно приймати вісь деталі, що забезпечує співвісність усіх оброблюваних поверхонь [16]. Додатковою базою може бути торець заготовки, який використовується для встановлення деталі у патроні верстата. Таке базування дозволяє забезпечити необхідну геометричну точність і стабільність процесу обробки (рис. 2.2).

Рисунок 2.2 – Схема базування деталі

Точність обробки визначається вимогами креслення і включає допуски на розміри, форму і взаємне розташування поверхонь. Для забезпечення посадок типу Н7 необхідно застосовувати чистову обробку із використанням точного інструменту та контролю параметрів різання [17]. Досягнення необхідної точності також залежить від жорсткості системи «верстат-інструмент-заготовка» та стабільності режимів різання.

Маршрут виготовлення деталі (табл. 2.7) формується з урахуванням принципу послідовності переходу від грубої обробки до точної (рис. 2.3). Спочатку виконується чорнова обробка для видалення основного припуску, після чого здійснюється формування основних поверхонь, включаючи точіння діаметрів і нарізання різьби [14]. Завершальним етапом є чистова обробка, яка забезпечує необхідну точність і шорсткість поверхні, а також контроль якості виготовлення.

Рисунок 2.3 – Схема маршруту обробки

Таблиця 2.7 – Технологічний маршрут виготовлення

№	Операція	Зміст
1	Різання	Відрізання заготовки
2	Чорнове точіння	Зняття припуску
3	Обробка діаметрів	Формування поверхонь
4	Нарізання різьби	Обробка М16
5	Чистова обробка	Досягнення точності
6	Контроль	Перевірка розмірів

Раціональний маршрут виготовлення дозволяє зменшити витрати часу, підвищити точність і забезпечити стабільність якості продукції. Правильне поєднання припусків, базування та послідовності операцій є основою ефективного технологічного процесу виготовлення деталі «шток».

2.5 Ескіз деталі, режими обробки та технологічна карта

Ескіз деталі представлений у кресленні (додаток А) відображає всі необхідні геометричні параметри, допуски та вимоги до шорсткості. Він є основним документом для розробки технологічного процесу виготовлення, оскільки визначає форму деталі, взаємне розташування поверхонь і точність їх обробки [17].

Режими обробки визначаються на основі властивостей матеріалу та вимог до якості поверхні. Для чорнової обробки застосовуються більші значення подачі та глибини різання, що дозволяє швидко зняти припуск і підвищити продуктивність. При чистовій обробці параметри різання зменшуються для забезпечення високої точності і необхідної шорсткості поверхні.

Швидкість різання визначається залежно від діаметра оброблюваної поверхні та частоти обертання шпинделя. Її розрахунок виконується за стандартними залежностями, що дозволяє встановити оптимальний режим роботи верстата (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Рекомендовані режими обробки

Вид обробки	Швидкість V, м/хв	Подача S, мм/об	Глибина t, мм
Чорнова	70-90	0,25-0,35	1,5-2,0
Напівчистова	90-110	0,15-0,25	0,8-1,2
Чистова	110-130	0,1-0,15	0,3-0,5

Вибір оптимальних режимів дозволяє забезпечити ефективність процесу, зменшити знос інструменту та підвищити якість оброблюваної поверхні. Невірно підібрані режими можуть призвести до перегріву, зниження точності або передчасного зношування ріжучого інструменту.

Технологічна карта (табл. 2.9) містить послідовність операцій, які виконуються під час виготовлення деталі [18]. Вона є основним документом, що регламентує технологічний процес і забезпечує його повторюваність.

Таблиця 2.9 – Фрагмент технологічної карти

№	Операція	Обладнання	Інструмент	Призначення
1	Різання	Пилка	Диск	Отримання заготовки
2	Чорнове точіння	Токарний	Різець	Зняття припуску
3	Чистове точіння	Токарний	Різець	Точність
4	Нарізання різьби	Токарний	Різьбовий	Формування різьби
5	Контроль	Вимірювальний	ІЩ	Перевірка

Рациональна організація технологічного процесу дозволяє зменшити витрати часу, підвищити продуктивність праці та забезпечити стабільну якість виготовлення деталей. Оптимальне поєднання ескізу, режимів обробки та технологічної карти є основою ефективного виробництва деталі «шток».

Висновки до розділу.

У технологічному розділі розроблено процес виготовлення деталі «шток», що включає вибір матеріалу, визначення типу заготовки, призначення припусків, обґрунтування базування та формування маршруту обробки. Встановлено, що застосування токарної обробки є найбільш доцільним для виготовлення даної деталі.

Запропонована технологія забезпечує необхідну точність, якість поверхні та економічну ефективність виробництва. Простота конструкції та використання стандартних матеріалів дозволяють реалізувати процес в умовах ремонтного виробництва без значних витрат.

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Обґрунтування необхідності конструкторської розробки

Вимоги до конструкторської розробки [19]:

- підвищення продуктивності праці;
- можливість виготовлення в майстерні господарства;
- відповідність вимогам охорони праці, виробничої санітарії;
- підвищення якості операції, яка виконується;
- незначна вартість виготовлення;
- термін окупності – не більше трьох років.

В якості конструкторської розробки в роботі пропонується калібратор пневматичний – пристрій для безрозбірної перевірки циліндро-поршневої групи двигуна по витраті повітря через нещільності [20]. Цей пристрій дозволяє оцінити герметичність всієї камери згорання.

Технічний стан циліндро-поршневої групи двигуна має велике значення для продуктивного використання трактора. Якщо вона знаходиться у справному стані, то як показує практика, середні втрати часу на пуск двигуна за зміну не перевищує 1...2% її тривалості, витрата палива на експлуатацію зменшується на 8...10% [8]. Якщо ж вона несправна, то затрудняється запуск двигуна, збільшується витрата палива і мастила на експлуатацію трактора.

Нерідко подібні ускладнення пов'язані із спрацюванням циліндро-поршневої групи двигуна, тобто: циліндра, поршня, поршневих кілець.

Ступінь спрацювання деталей циліндро-поршневої групи звичайно визначають після розбирання двигуна і дефектування деталей, що приводить до тривалого простою машини.

Технічний стан циліндро-поршневої групи можна визначити по величині відносної нещільності, яка вимірюється пневматичним калібратором [9]. В основу конструкції таких пристроїв покладений принцип вимірювання

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сумарних зазорів нещільностей в спряженнях, які викликаються несправностями, тобто, по перепаду тиску повітря.

3.2 Будова та принцип роботи пристрою

Пневматичний калібратор (додаток А) складається із камери постійного 1 і змінного тиску 2, редуктора тиску 6. Камери постійного і змінного тиску з'єднуються між собою штуцерами через змінну шайбу з калібрувальним отвором.

Площа перерізу калібрувальним отвору змінної шайби підбирається в залежності від нещільності, яка вимірюється. Камеру змінного тиску з'єднують гумовим патрубком з циліндром, який перевіряється за допомогою спеціального штуцера, який ставлять замість свічки запалювання. Вкрутивши штуцер в потрібне положення – фіксують його і подають у пристрій стиснене повітря від ресивера компресорної установки. За допомогою редуктора тиску по манометру встановлюють в камері постійний тиск в 0,72 МПа. По показанням манометра, які при постійному тиску в камері залежать від нещільностей в циліндрі, роблять висновки про спрацювання двигуна. Чим менше тиск по манометру, тим більше спрацювання циліндро-поршневої групи двигуна.

Щоб від показів манометра перейти до величини нещільності циліндра, використовують калібровочні криві, які мають для кожної із трьох змінних шайб з діаметром отворів 2; 3 і 5 мм. Цих шайб достатньо для перевірки двигунів з різною ступінню спрацювання.

При малому спрацюванню слід користуватися змінною шайбою з меншим перерізом отвору, більшому – з більшим перерізом отвору.

Недоліком цього пристрою є те, що при подачі в циліндр повітря тиск якого не перевищує 0,72 МПа, поршневі кільця не прижимаються до нижніх опор площин канавок поршня. Це приводить до додаткового витікання повітря

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

із циліндра, а відповідно до неправильного визначення сумарних нещільностей в циліндрі. Відповідну посадку поршневих кілець на нижню опору поверхні канавок поршня можна здійснити, якщо використати повний тиск компресорної установки – 1,5 МПа.

Для подачі такого тиску в циліндр проектом пропонується в описаному вище пристрої встановити магістраль продування циліндра, яка складається із спеціального штуцера і патрубка, а також розподільника повітря.

За допомогою спеціального штуцера і патрубка магістраль продування одним кінцем приєднується до повітропроводу перед редуктором тиску. А іншим до розподільника, який одночасно з'єднується з вимірювальною камерою і циліндром двигуна, який перевіряємо.

За допомогою такої реконструкції пристрою можна перед початком вимірювання щільно посадити поршневі кільця на своє місце.

3.3 Розрахунок замикаючої й регулювальної пружин

Вихідні дані для розрахунку:

1. Тиск повітря, яке поступає від ресивера компресорної установки:

$$P_1 = 1,5 \text{ МПа} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

2. Тиск повітря на виході із редуктора:

$$P_2 = 0,72 \text{ МПа} = 0,72 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

3. Коливання тиску повітря, який виходить із редуктора:

$$P_2 = 1,46 \text{ МПа} = 1,46 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

4. Площа клапана:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 0,785 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, \quad (3.1)$$

де D_k – діаметр клапана по кресленню, м.

5. Площа мембрани [21]:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_m^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,11^2}{4} = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, \quad (3.2)$$

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

де d_m – діаметр мембрани по кресленню, м.

б. Площа отвору, який запирає клапан:

$$S_3 = S_0 - S_{um} = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{um}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,005^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 0,165 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, \quad (3.3)$$

де d_0 – діаметр отвору по кресленню, м;

d_{um} – діаметр штока клапана по кресленню, м.

Визначаємо зусилля, які діють на пружини під час роботи редуктора тиску рис. 3.1.

Рис.3.1 – Схема прикладання сил при закритому клапані редуктора:

G_1 – зусилля пружини (запірної) при закритому клапані, Н; G_2 – зусилля пружини (регулювальної) при закритому клапані, Н; P_1 – сила тиску повітря на клапан на вході, Н; P_2 – сила тиску повітря на манометр, Н; P_3 – сила тиску повітря на клапан, Н.

Із умови рівноваги штока в закритому положенні клапана маємо [21]:

$$P_1 + G_1 + P_2 + P_3 + G_2 = 0 \quad (3.4)$$

де $P_1 = P_1 \cdot S_1 = 1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,785 \cdot 10^{-4} = 78,5 \text{ Н}$;

$G_1 = 0$ (приймаємо для спрощення розрахунку).

$$P_2 = (P_2 + P_2) S_2 = (0,72 \cdot 10^6 + 1,46 \cdot 10^6) 4,9 \cdot 10^{-4} = 186 \text{ Н}$$

$$P_3 = (P_2 + P_2) S_2 = (0,72 \cdot 10^6 + 1,46 \cdot 10^6) 0,165 \cdot 10^{-4} = 6,26 \text{ Н}$$

$$G_2 = G_{2\max} = P_1 + P_2 - P_3 = 78,5 + 186 - 6,26 = 258,2 \text{ Н} \quad (3.5)$$

					КРБ.133ГМбД_42.07.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Рис. 3.2 – Схема положення редуктора і прикладання сил при відкритому клапані: G_1 – зусилля пружини (запірної) при відкритому клапані, Н; G_2 – зусилля пружини (регулювальної) при відкритому клапані, Н; P_1 – сила тиску повітря на клапан на вході, Н; P_2 – сила тиску повітря на манометр, Н; P_3 – сила тиску повітря на клапан, Н.

Із умови рівноваги штока в відкритому положенні клапана маємо:

$$P_1 - G_1 + P_2 - P_3 - G_2 = 0 \quad (3.6)$$

де $P_1 = P_1 = 78,5$ Н;

$$P_2 = (P_2 + P_2) S_2 = (0,72 \cdot 10^6 + 1,46 \cdot 10^6) 4,9 \cdot 10^{-4} = 196 \text{ Н.}$$

$$P_3 = (P_2 + P_2) S_2 = (0,72 \cdot 10^6 + 1,46 \cdot 10^6) 0,165 \cdot 10^{-4} = 6,7 \text{ Н.}$$

Тоді зусилля дії замикаючої пружини рівне:

$$G_1 = G_{1\max} = P_1 + P_2 - P_3 = 78,5 + 196 - 6,7 = 267,8 \text{ Н.} \quad (3.7)$$

Хід клапана із одного крайнього положення до другого приймаємо рівним:

$$\lambda_{\text{ім}} = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м} \quad (3.8)$$

Вибір матеріалу і визначення особливих параметрів пружини. Для пружини відповідного призначення з відносно невеликим напруженням рекомендується холодно-витягнутий пружинний дріт із сталі 8АЕ-1350 підвищеної міцності. Її позначення по ГОСТ слідуючи [12]: дріт-І-П-2.00 ГОСТ 9389-75. Для цього дроту: $\tau_3 = 15 \cdot 10^8$ Н/м²; $[\tau]_{\text{тах}} = 4,5 \cdot 10^8$ Н/м²;

$E = 8 \cdot 10^8$ Н/м². Приймаємо граничне робоче напруження рівним:

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$[\tau] = 0,75 \cdot [\tau]_{\text{тах}} = 0,75 \cdot 4,5 \cdot 10^8 = 3,37 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2.$$

Для визначення основних параметрів пружини необхідно визначити навантаження, яке викликає в пружині напруження в $9,8 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$. Це навантаження визначаємо по формулі [12]:

$$P_{10} = \frac{9,8 \cdot 10,7}{[\tau]} \cdot G_{\text{мін}}, \quad (3.9)$$

тоді:

$$P_{10} = \frac{9,8 \cdot 10,7}{3,37 \cdot 10^8} \cdot 258,2 = 75 \text{ Н},$$

$$P_{10} = \frac{9,8 \cdot 10,7}{3,37 \cdot 10^8} \cdot 267,8 = 79 \text{ Н}.$$

По знайденому навантаженню визначаємо основні розміри пружин:

Регульовальна пружина ($P_{10} = 75 \text{ Н}$).

- діаметр дроту $d = 0,004 \text{ м}$;
- середній діаметр пружини $D' = 0,020 \text{ м}$;
- внутрішній діаметр пружини $D_1' = 0,016 \text{ м}$;
- відстань між витками при $P_{10} = 75 \text{ Н}$ – $\lambda = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.
- Запірна пружина ($P_{10} = 79 \text{ Н}$)
- діаметр дроту $d = 0,004 \text{ м}$;
- середній діаметр пружини $D = 0,020 \text{ м}$;
- внутрішній діаметр пружини $D_1 = 0,016 \text{ м}$;
- відстань між витками при $P_{10} = 79 \text{ Н}$ – $\lambda = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Проводимо уточнений розрахунок пружини.

Найбільше напруження в перерізі витків $G_{\text{тах}}$ знайдемо по формулі:

$$\tau_{\text{тах}} = \frac{8k \cdot G_{\text{тах}} \cdot D}{\pi \cdot d^2}, \quad (3.10)$$

де k – коефіцієнт, який залежить від відношення:

$$l = \frac{D}{d} \quad (3.11)$$

При:

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$l = \frac{0,020}{0,004} = 5 \quad k=1,29$$

$$l_1 = \frac{0,020}{0,004} = 5 \quad k=1,29$$

тоді:

$$\tau_{\max} = \frac{8 \cdot 1,29 \cdot 258,2 \cdot 0,020}{3,14 \cdot 0,004^2} = 2,64 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2,$$

$$\tau_{1\max} = \frac{8 \cdot 1,29 \cdot 267,8 \cdot 0,020}{3,14 \cdot 0,004^2} = 2,74 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2,$$

$$\tau_{\max} = 2,64 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2 < [\tau] = 3,37 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2,$$

$$\tau_{1\max} = 2,74 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2 < [\tau] = 3,37 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2.$$

Необхідну кількість робочих витків визначаємо по формулі:

$$i = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_0 \frac{G_{\max}}{9,8 \cdot 10^{-7}}}, \quad (3.12)$$

$$i = \frac{0,010}{0,3 \cdot 10^{-3} \frac{258,2}{98}} = 12,5 \text{ витків};$$

$$i_1 = \frac{0,010}{0,3 \cdot 10^{-3} \frac{267,8}{98}} = 12,2 \text{ витків}.$$

Для утворення надійної опорної поверхні на кожному кільці пружини добавляється по 0,75 опорних витків, частково з шліфованих на площу перпендикулярну до вісі пружини, отже, повне число витків пружини рівне:

$$i = 12,5 + 2 \cdot 0,75 = 14 \text{ витків};$$

$$i_1 = 12,2 + 2 \cdot 0,75 = 13,7 \text{ витків}.$$

Довжина пружини, стиснутої по витках, визначається по формулі:

$$H_a = (i_n - 0,5) \cdot d \quad (3.13)$$

Отже:

$$H_a = (i_n - 0,5) \cdot d = (14 - 0,5) \cdot 0,004 = 0,054 \text{ м}$$

$$H_{a1} = (i_{n1} - 0,5) \cdot d = (13,7 - 0,5) \cdot 0,004 = 0,053 \text{ м}$$

Зазор δ_p між витками регульовальної і запірної пружин вибираємо рівними:

$$\delta_p = 0,004 \text{ м} (\delta_p \cdot 0,1 \cdot d), \quad (3.14)$$

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Крок пружин:

$$h=d+(\varphi_{\max}/i) - \delta_p . \quad (3.15)$$

тоді:

$$h=0,004+(0,010/14)-0,004=0,076 \text{ м},$$
$$h_1=0,004+(0,010/13,7)-0,004=0,076 \text{ м}.$$

Повний хід пружини до граничного стиску рівний [14]:

$$\lambda_{ep} = \lambda_{\max} + i \cdot \delta_p \quad (3.16)$$
$$\lambda_{ep} = 0,010 + 14 \cdot 0,004 = 0,016 \text{ м},$$
$$\lambda_{ep1} = 0,010 + 13,7 \cdot 0,004 = 0,016 \text{ м}.$$

Сила стиску пружини до дотику витків [21]:

$$P_{ep} = G_{\max} \cdot \frac{\lambda_{ep}}{\lambda_{\max}} , \quad (3.17)$$
$$P_{ep} = 258,2 \cdot \frac{0,016}{0,004} = 1030,0 \text{ Н},$$
$$P_{ep1} = 267,8 \cdot \frac{0,016}{0,004} = 1070,0 \text{ Н}.$$

Довжина пружини рівна:

$$H_0 = H_d + i \cdot (h - d) , \quad (3.18)$$
$$H_0 = 0,057 + 12,5 \cdot (0,076 - 0,004) = 0,164 \text{ м},$$
$$H_{01} = 0,057 + 12,8 \cdot (0,077 - 0,004) = 0,105 \text{ м}.$$

Кут підйому осі витків:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{h}{\pi \cdot D} , \quad (3.19)$$
$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{0,076}{3,14 \cdot 0,020} = 1,21 \text{ отже кут } \alpha_0 = 50^\circ ,$$
$$\operatorname{tg} \alpha_{01} = \frac{0,077}{3,14 \cdot 0,020} = 1,23 \text{ отже кут } \alpha_0 = 50^\circ .$$

Довжина заготовки для пружини рівна:

$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot i_0}{\cos \alpha_0} , \quad (3.20)$$
$$l = \frac{3,14 \cdot 0,020 \cdot 14}{0,64} = 1,37 \text{ м},$$

$$l_1 = \frac{3,14 \cdot 0,020 \cdot 13,7}{0,64} = 1,34 \text{ м.}$$

Отже, довжина обох пружин сановитими: $l = 1,37 \text{ м.}$, $l_1 = 1,34 \text{ м.}$

3.4 Розрахунок гвинта на міцність

Визначимо напруження, яке виникає у гвинті за формулою [21]:

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq [\sigma], \quad (3.21)$$

де P – діюча на гвинт сила, $P = 258,2 \text{ Н}$;

F – площа перерізу гвинта, мм^2 ;

$[\sigma]$ – допустиме напруження для сталі 45, $[\sigma] = 160 \text{ МПа} = 160 \text{ Н/мм}^2$

Площа перерізу гвинта рівна:

$$F = \frac{\pi \cdot d_{BH}^2}{4}, \quad (3.22)$$

де d_{BH} – внутрішній діаметр різьби гвинта, мм .

Внутрішній діаметр різьби гвинта знайдемо із нерівності:

$$[\sigma] = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_{BH}^2}, \quad (3.23)$$

звідси:

$$d_{BH} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot [\sigma]} = \frac{4 \cdot 258,2}{3,14 \cdot 160} = 4,53 \text{ мм} \quad (3.24)$$

Із конструктивних міркувань приймаємо внутрішній діаметр різьби $12,051 \text{ мм}$. Отже:

$$F_1 = \frac{3,14 \cdot 12,052^2}{4} = 114 \text{ мм}^2,$$

$$F_2 = \frac{3,14 \cdot 8^2}{4} = 114 \text{ мм}^2.$$

Знайдемо напруження у небезпечних перерізах гвинта за формулою [21]:

$$\sigma_1 = \frac{258,2}{114} = 2,26 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_1 = \frac{258,2}{50,2} = 5,12 \text{ Н/мм}^2$$

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування конструкторської розробки

Економічна доцільність розробки пневматичного калібратора визначається зменшенням витрат часу на діагностику, скороченням простоїв машини та зниженням трудомісткості робіт. Конструкторська розробка повинна мати невисоку вартість виготовлення та термін окупності не більше трьох років.

Вартість виготовлення пристрою визначається за формулою [22]:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{м}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{н}} + C_{\text{ін}}, \quad (3.1)$$

де $C_{\text{м}}$ – вартість матеріалів, грн;

$C_{\text{зп}}$ – заробітна плата робітників, грн;

$C_{\text{н}}$ – накладні витрати, грн;

$C_{\text{ін}}$ – інші витрати, грн.

Приймаємо орієнтовно табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Узагальнені статті витрат

Стаття витрат	Значення, грн
Матеріали та комплектуючі	3200
Заробітна плата на виготовлення	1800
Накладні витрати	900
Інші витрати	600
Разом	6500

Отже, вартість виготовлення пристрою становить:

$$C_{\text{пр}} = 3200 + 1800 + 900 + 600 = 6500 \text{ грн.}$$

Економія часу на одну діагностику визначається як різниця між тривалістю традиційного способу та діагностикою з використанням пристрою:

$$T_{\text{ек}} = T_{\text{тр}} - T_{\text{пр}}, \quad (3.2)$$

де $T_{\text{тр}}$ – тривалість традиційного способу, год;

$T_{\text{пр}}$ – тривалість діагностики пристроєм, год.

Приймаємо:

$$T_{\text{тр}} = 4,0 \text{ год}, T_{\text{пр}} = 0,8 \text{ год.}$$

Тоді:

$$T_{\text{ек}} = 4,0 - 0,8 = 3,2 \text{ год.}$$

Економія коштів на одну діагностику [23]:

$$E_1 = T_{\text{ек}} \cdot C_{\text{год}}, \quad (3.3)$$

де $C_{\text{год}}$ – вартість однієї години роботи, грн.

Приймаємо $C_{\text{год}} = 250$ грн/год:

$$E_1 = 3,2 \cdot 250 = 800 \text{ грн.}$$

Якщо за рік виконується 25 діагностувань, річний економічний ефект становить:

$$E_p = E_1 \cdot N, \quad (3.4)$$

де N – кількість діагностувань за рік.

$$E_p = 800 \cdot 25 = 20000 \text{ грн.}$$

Термін окупності пристрою [22]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{пр}}}{E_p}, \quad (3.5)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{6500}{20000} = 0,325 \text{ року.}$$

Отже, термін окупності становить приблизно:

$$0,325 \cdot 12 = 3,9 \text{ місяця.}$$

Таблиця 4.1 – Узагальнені техніко-економічні показники розробки

№	Показник	Одиниця виміру	Значення
1	Вартість виготовлення пристрою	грн	6500
2	Час традиційної діагностики	год	4,0
3	Час діагностики пристроєм	год	0,8
4	Економія часу на одну операцію	год	3,2
5	Вартість 1 години роботи	грн/год	250
6	Економія коштів на 1 діагностику	грн	800
7	Кількість діагностувань за рік	од	25
8	Річний економічний ефект	грн	20000
9	Термін окупності	місяці	3,9

Таким чином, впровадження пневматичного калібратора є економічно доцільним. При орієнтовній вартості виготовлення 6500 грн пристрій окупається менш ніж за 4 місяці. Крім прямої економії часу, застосування пристрою забезпечує підвищення якості діагностики, скорочення простоїв техніки та своєчасне виявлення несправностей циліндро-поршневої групи двигуна.

4.2 Охорона праці

Охорона праці є невід'ємною складовою організації технологічних процесів у сфері технічного обслуговування та ремонту техніки. Виконання діагностичних робіт із застосуванням пневматичного обладнання супроводжується дією небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що потребує обов'язкового дотримання встановлених вимог безпеки [24]. Безпечні умови праці забезпечуються шляхом впровадження організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, а також використання засобів індивідуального захисту.

Під час експлуатації пневматичного калібратора для діагностики циліндро-поршневої групи двигуна основними небезпечними факторами є дія стисненого повітря під високим тиском, можливість розриву або пошкодження пневматичних шлангів, підвищений рівень шуму від роботи компресорної установки, а також ризик травмування при неправильному підключенні пристрою [25]. Додаткову небезпеку становлять нагріті поверхні двигуна, які можуть спричинити опіки, а також контакт із мастильними матеріалами, що негативно впливають на шкіру працівників.

Перед початком виконання робіт необхідно ретельно перевірити справність обладнання, зокрема стан пневматичних шлангів, герметичність з'єднань, показання манометрів та працездатність компресора. Особливу увагу слід приділяти відсутності витоків повітря та надійності кріплення

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементів системи. Працівник повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту, такими як захисні окуляри, рукавички та, за необхідності, засоби захисту органів слуху.

Під час проведення діагностичних робіт забороняється перевищувати допустимий робочий тиск у системі, оскільки це може призвести до аварійної ситуації. Подача стисненого повітря повинна здійснюватися плавно, без різких перепадів тиску. Не допускається направляти струмінь повітря на людей або використовувати його для очищення одягу. Підключення пристрою до циліндра повинно виконуватися тільки при зупиненому двигуні, а всі з'єднання мають бути надійно зафіксовані. У процесі роботи необхідно уникати контакту з гарячими деталями двигуна та дотримуватися обережності при роботі з мастильними матеріалами [26].

Після завершення робіт необхідно знизити тиск у системі, від'єднати обладнання та провести його огляд. Робоче місце повинно бути очищене від забруднень, а обладнання перевірене на наявність пошкоджень. Регулярне технічне обслуговування пневматичних пристроїв є важливою умовою забезпечення їх безпечної експлуатації.

З метою підвищення рівня безпеки праці доцільно застосовувати сучасні технічні рішення, такі як встановлення запобіжних клапанів, використання якісних пневматичних елементів, а також забезпечення належної вентиляції робочого приміщення. Важливим заходом є проведення регулярного інструктажу працівників з питань охорони праці та контроль за дотриманням встановлених правил [26].

Особливу увагу необхідно приділяти питанням пожежної безпеки. У приміщенні, де виконуються роботи, повинні бути наявні справні засоби пожежогасіння, а використання відкритого вогню або несправного електрообладнання не допускається. Своєчасне виявлення та усунення витоків паливно-мастильних матеріалів також є важливим фактором запобігання пожежам.

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, дотримання вимог охорони праці під час виконання діагностичних робіт із використанням пневматичного обладнання забезпечує зниження ризику виробничого травматизму, підвищує надійність технологічного процесу та сприяє створенню безпечних умов праці.

4.3 Охорона навколишнього середовища

Під час виконання робіт з технічного обслуговування та діагностики техніки важливе значення має дотримання вимог охорони навколишнього середовища. Експлуатація двигунів внутрішнього згоряння та використання допоміжного обладнання супроводжується утворенням шкідливих викидів, відходів і забруднюючих речовин, які можуть негативно впливати на атмосферне повітря, ґрунт і водні ресурси [27].

Основним джерелом забруднення є відпрацьовані гази двигуна, які містять оксиди вуглецю, азоту, сірки, а також незгорілі вуглеводні та тверді частинки. Погіршення технічного стану циліндро-поршневої групи призводить до збільшення викидів шкідливих речовин через неповне згоряння палива. У цьому контексті проведення своєчасної діагностики та підтримання двигуна у справному стані є важливим заходом зниження негативного впливу на довкілля.

У процесі виконання діагностичних робіт із застосуванням пневматичного обладнання утворюються також непрямі фактори впливу, зокрема шум від роботи компресора, а також можливі витoki мастильних матеріалів. Забруднення ґрунту і води може відбуватися при неправильному поводженні з відпрацьованими мастилами, технічними рідинами та іншими відходами.

Для мінімізації впливу на навколишнє середовище необхідно забезпечити дотримання екологічних вимог під час виконання робіт [28]. Важливим заходом є регулярний контроль технічного стану двигунів, що

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин. Використання справного обладнання та герметичних з'єднань запобігає витокам повітря і технічних рідин.

Особливу увагу слід приділяти правильній утилізації відходів. Відпрацьовані мастильні матеріали, ганчір'я, забруднене технічними рідинами, а також інші відходи повинні збиратися у спеціальні ємності та передаватися на утилізацію відповідно до встановлених норм. Забороняється їх злив у каналізацію або на ґрунт [27]. Організація місць збору та зберігання відходів є важливою умовою запобігання забрудненню навколишнього середовища.

З метою зниження рівня шумового впливу доцільно застосовувати компресорні установки з пониженим рівнем шуму або встановлювати шумопоглинальні екрани. Також необхідно забезпечити належну вентиляцію приміщень, що сприяє зменшенню концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Важливим напрямом охорони довкілля є раціональне використання енергетичних ресурсів [28]. Ефективна організація діагностичних робіт дозволяє зменшити витрати електроенергії та стисненого повітря, що позитивно впливає як на економічні показники, так і на екологічний стан.

Таким чином, впровадження запропонованого пристрою для діагностики циліндро-поршневої групи сприяє не лише підвищенню ефективності технічного обслуговування, але й зниженню негативного впливу на навколишнє середовище за рахунок своєчасного виявлення несправностей двигуна та зменшення шкідливих викидів. Дотримання екологічних вимог при виконанні робіт забезпечує збереження природних ресурсів і відповідає сучасним стандартам сталого розвитку.

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальну інженерну задачу підвищення ефективності технічного обслуговування тракторних двигунів шляхом розробки пневматичного пристрою для безрозбірної діагностики циліндро-поршневої групи.

1. Проведено аналіз умов експлуатації техніки та встановлено, що циліндро-поршнева група працює в умовах змінних навантажень, високих температур і забруднення, що призводить до її інтенсивного зношування. Визначено, що порушення герметичності циліндрів є однією з основних причин зниження потужності двигуна, підвищення витрат палива та мастильних матеріалів.

2. Обґрунтовано вибір конструкції пневматичного калібратора та запропоновано удосконалення, яке полягає у використанні додаткової магістралі продування циліндра. Розроблене технічне рішення забезпечує підвищення точності діагностики за рахунок створення умов, наближених до реального режиму роботи двигуна.

3. Розроблено технологічний процес виготовлення основної деталі пристосування – штока. Обґрунтовано вибір матеріалу (сталь 20), визначено параметри заготовки, припуски, способи базування та режими обробки. Складено маршрут виготовлення та технологічну карту, що забезпечують необхідну точність і якість поверхні деталі.

4. Проведене техніко-економічне обґрунтування показало, що застосування пристрою дозволяє скоротити час діагностики з 4,0 до 0,8 год, що забезпечує економію 3,2 год на одну операцію. Річний економічний ефект становить 20000 грн, а термін окупності – 0,325 року (близько 4 місяців), що підтверджує високу економічну ефективність розробки.

5. Розроблений пристрій відповідає сучасним вимогам технічного сервісу, є технологічним у виготовленні, економічно доцільним та ефективним у використанні. Отримані результати можуть бути впроваджені у практику технічного обслуговування техніки, а також використані для подальшого розвитку методів безрозбірної діагностики двигунів.

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ремонт тракторів і автомобілів: Навчально-методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи студентів спеціальності 208 «Агроінженерія» ОКР «Бакалавр». Ч. 1: Розбирання та дефектація деталей та агрегатів тракторів та автомобілів. Д.П. Домуші, П.І. Осадчук, П.М. Павлішин. Одеса: ОДАУ, 2019. 66 с.

2. Трактори та автомобілі. Ч.4. Робоче, додаткове і допоміжне обладнання. навч. посібник. В.М. Антощенко, М.Ф. Бойко, А.Т. Лебедев та ін.; за ред. проф. А.Т. Лебедева. Харків, 2006. 164 с.

3. Сідашенко О.І., Науменко О.А. Ремонт машин та обладнання агропромислового виробництва. Київ: Ліра-К, 2018. 544 с.

4. Практичні основи діагностування автомобільних двигунів: навч. посібник. В.Д. Мигаль, В.А. Корогодський, О.І. Воронков, І.М. Нікітченко. Харків: ХНАДУ, 2021. 412 с.

5. Конспект лекцій з дисципліни «Випробування автотракторної техніки» для здобувачів вищої освіти третього (доктор філософії) рівня вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» курс 2 [Текст]. укл.: М.А. Подригало, М.Л. Шуляк, А.Т. Лебедев. СНАУ. Суми. 2023. 50 с.

6. Ремонт тракторів і автомобілів: навчальний посібник: у 2-х кн. Кн.1. Д.П. Домуші, А.М. Яковенко, П.І. Осадчук та ін. Одеса: ТЕС, 2020. 191 с.

7. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигиринець А.Д. Експлуатаційна надійність автомобілів: підручник у 2 ч., 4 кн. Київ: Вища школа, 2000. Ч. 1: кн. 1. 609 с., кн. 2. 458 с.; Ч.2: кн.3. – 321 с.; кн. 4. 552 с.

8. Основи діагностики автомобіля: навчально-методичний посібник до практичних та самостійних робіт студентів вищих навчальних закладів України. В.С. Люлька, М.М. Коньок, Ю.Є. Перинський, О.М. Клімов. Чернігів: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. 188 с.

9. Войтюк В.Д., Рубльов В.І., Роговський І.Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ: НУБіП України, 2016. 360 с.

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

10. Молодик М.В. Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин. Кіровоград: КОД, 2009. 180 с.

11. Надійність машин та обладнання. Ч. 2. Ремонт машин та відновлення деталей. З. В. Ружи́ло та ін. Київ: Видавн. центр НУБіП України, 2023. 310 с.

12. Дубя́нський О.В., Хрунь В.М. Конструювання та розрахунок автомобіля: навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка», Ін-т дистанційного навчання. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2013. Ч. I.: Трансмісія автомобіля. 172 с.

13. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: підр. для студ. вищ. навч. закл. Освіти. А.А. Дудніков, І.С. Сірий, Г.О. Іванов та ін.; за ред. А.А. Дуднікова і І.С. Сірого. Київ: Аграрна освіта, 2015. 327 с.

14. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. 492 с.

15. Пастухов В.І. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Харків: Факт, 2021. 410 с.

16. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів: навчальний посібник. І.Б. Гевко, Р.М. Рогатинський, О.Л. Ляшук, І.З. Гудь, М.Г. Левкович. Тернопіль: в-во ТНТУ Івана Пулюя, 2021-234 с.

17. Кадомський С.В. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: курс лекцій для студ. спец. напряму 0902 «Інженерна механіка» всіх форм навч. Київ: НУХТ, 2012. 354 с.

18. Деталі машин. Розрахунок та конструювання: підручник. Г.В. Архангельський, М.С. Воробйов, В.С. Гапонов [та ін.]. Київ: Талком, 2014. 684 с.

19. Міцність та надійність машин. В.Я. Анілович, О.С. Гринченко, В.В. Карабін та ін.; за ред В.Я. Аніловича. Київ: Урожай, 1996. 248 с.

20. Булгаков В.М., Ружи́ло З.В. Надійність і ремонт машин. Київ: Центр учбової літератури, 2019. 380 с.

21. Деревенько І.А., Сивак Р.І. Короткий курс опору матеріалів. Вінниця: ВНАУ, 2020. 308 с.

					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

22. Азарова А.О., Нікіфорова Л.О. Економіка підприємства. практикум: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Вінниця: ВНТУ, 2016. 216 с.

23. Шваб Л.І. Економіка підприємства. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: Каравела. 2004, 568 с.

24. Закон України Про охорону праці. Київ: Відомості Верховної Ради України, чинна редакція.

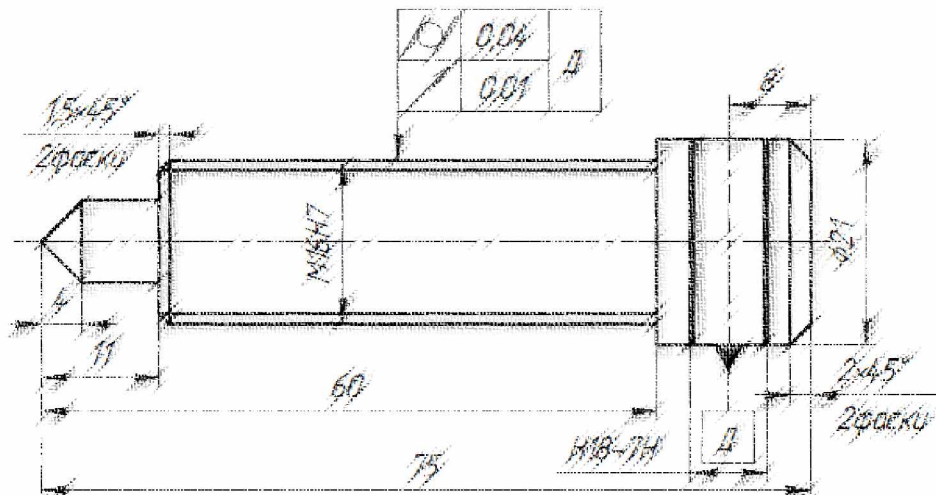
25. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Організація і управління. Київ: Знання-Прес, 2004. 478 с.

26. Геврик Є.О., Сомар Г.В., Пешко Н.П. Техніка безпеки. Київ: Ельга, 2006. 316 с.

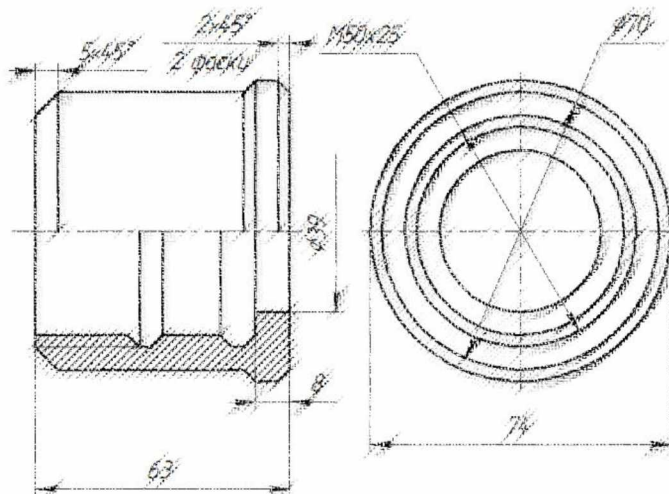
27. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г. Екологія та автомобільний транспорт: Київ: Арістей, 2006. 262 с.

28. Закон України «Про екологічну експертизу»: за станом на 9 лютого 1995р. Верховна Рада України. Офіц. вид. Київ: Парлам. вид-во, 1995. 36 с.

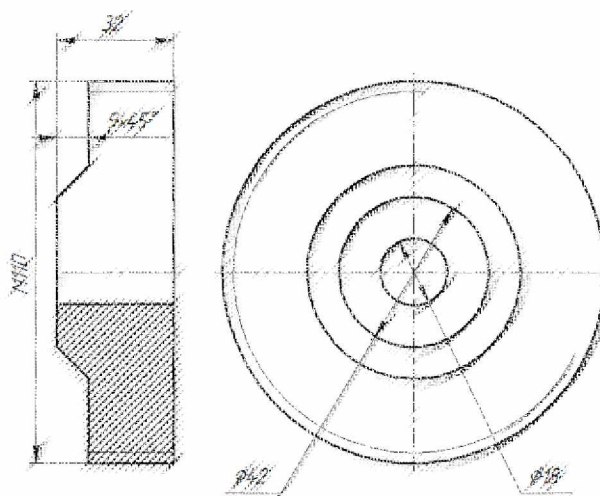
					КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



Шток



Муфта



Гайка спеціальна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.133ГМбд_42.07.00.00.000 ПЗ