МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«___»_____ 2026 р.
Зав. кафедри _д.т.н., професор___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ __Володимир ДІДУР___
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення ремонтно-обслуговуючої бази в СТОВ «Агрофірма «Маяк» Золотоніського району Черкаської області з розробкою пристосування для безрозбірного діагностування циліндро-поршневої групи автотракторних двигунів»

Виконав: студент _4 курсу, групи 41-ім
освітньої програми___бакалавр_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
__Бородавець Андрій Володимирович_____
(прізвище та ініціали)
Керівник доцент Петриченко Є.А.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії
Освітня програма «Бакалавр»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри
_____ Володимир ДІДУР
«___» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

Бородавцю Андрію Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Удосконалення ремонтно-обслуговуючої бази в СТОВ «Агрофірма «Маяк» Золотоніського району Черкаської області з розробкою пристосування для безрозбірного діагностування циліндро-поршневої групи автотракторних двигунів»
керівник проекту Петриченко Євгеній Анатолійович, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від
" 01 " травня 2026 р. № 01-06/129

2. Строк подання студентом проекту 18.05.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: загальні відомості про господарство; виробничий напрям і машинно-тракторний парк; стан ремонтно-обслуговуючої бази господарства

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
аналіз стану досліджуваного питання; експериментальні дослідження; питання охорони праці; техніко-економічне обґрунтування проекту.

5. Ілюстративний матеріал: підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 10 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломного проекту: мета і завдання дослідження; план-графік технічного обслуговування; розрахунок річного обсягу робіт з технічного обслуговування МТП господарства; будова та принцип роботи пристосування; результати розрахунку економічного ефекту; висновки.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	При-мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	15.10.2025 р.	
2.	Розділ 1. Виробничо-технічна характеристика господарства	19.11.2025 р.	
3.	Розділ 2. Конструкційно-технологічна частина	18.12.2025 р.	
4.	Розділ 3. Охорона праці	12.02.2026 р.	
5.	Розділ 4. Техніко-економічна частина	09.03.2026 р.	
6.	Виконання ілюстративної частини проекту	15.04.2026 р.	
7.	Представлення проекту керівнику на перевірку	18.05.2026 р.	

Студент _____ Бородавець А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Петриченко Є.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

1. ВИРОБНИЧО-ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА 5
1.1 Загальні відомості про господарство 5
1.2 Виробничий напрям і машинно-тракторний парк 5
1.3 Стан ремонтно-обслуговуючої бази господарства 6
1.4 Необхідність безрозбірного діагностування циліндро-поршневої групи 7
2. КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 9
2.1 Система технічного обслуговування машинно-тракторного парку 9
2.2 Управління і планування технічного обслуговування 14
2.3 Розрахунок річного обсягу робіт з технічного обслуговування МТП господарства 18
2.4 Обґрунтування необхідності конструкторської розробки 19
2.5 Будова та принцип роботи пристосування 21
2.6 Розрахунок замикаючої та регулювальної пружин 24
2.7 Розрахунок гвинта на міцність 29
3 ОХОРОНА ПРАЦІ 31
3.1 Загальні вимоги охорони праці в ремонтно-обслуговуючій базі 31
3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів 31
3.3 Вимоги безпеки під час безрозбірного діагностування двигунів 32
3.4 Вимоги до мікроклімату, вентиляції та освітлення 33
3.5 Засоби індивідуального захисту та навчання персоналу 33
3.6 Заходи щодо поліпшення умов праці 34
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 35
4.1 Економічне обґрунтування технологічної частини проєкту 35
4.2 Розрахунок освітлення та вентиляції. Розрахунок освітлення 39
4.3 Розрахунок витрат на виготовлення пристрою 40
4.4 Розрахунок витрат на експлуатацію пристрою 42
ВИСНОВОК 47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 48

1. ВИРОБНИЧО-ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА

1.1 Загальні відомості про господарство

СТОВ «Агрофірма “Маяк”» є сільськогосподарським підприємством, розташованим у селі Піщане Золотоніського району Черкаської області. Господарство функціонує в зоні Лісостепу України, яка характеризується сприятливими природно-кліматичними умовами для вирощування зернових, зернобобових і технічних культур. Основним напрямом діяльності підприємства є виробництво продукції рослинництва, зокрема вирощування зернових культур, бобових культур і насіння олійних культур [1, 2].

Розміщення господарства у Черкаській області має важливе виробниче значення, оскільки регіон належить до традиційно розвинених аграрних територій України. Природно-кліматичні умови області дають змогу ефективно вирощувати озиму пшеницю, кукурудзу, ячмінь, сою, соняшник та інші культури, які потребують своєчасного виконання механізованих технологічних операцій [2, 3].

Виробнича діяльність агрофірми безпосередньо пов’язана з використанням машинно-тракторного парку. До складу такого парку, як правило, входять трактори різних тягових класів, зернозбиральні комбайни, автомобілі, ґрунтообробні агрегати, сівалки, обприскувачі, причіпна техніка, машини для внесення добрив та інше обладнання. Технічний стан цих машин значною мірою визначає ритмічність польових робіт, якість виконання технологічних операцій, витрати пального, продуктивність праці та собівартість сільськогосподарської продукції [4, 5].

Особливістю сучасного сільськогосподарського виробництва є висока сезонність робіт. У періоди посівної, догляду за посівами та збирання врожаю техніка працює з підвищеним навантаженням. Через це ремонтно-обслуговуюча база господарства повинна забезпечувати швидке виявлення несправностей, своєчасне технічне обслуговування, поточний ремонт та підготовку машин до сезонної експлуатації [5, 6].

1.2 Виробничий напрям і машинно-тракторний парк

Основу виробничої діяльності СТОВ «Агрофірма “Маяк”» становить рослинництво. Для забезпечення технологічного процесу вирощування сільськогосподарських культур підприємство використовує комплекс механізованих операцій: основний і передпосівний обробіток ґрунту, сівбу, внесення добрив, захист рослин, міжрядний обробіток, збирання врожаю, транспортування зерна та післязбиральне обслуговування техніки [3, 5].

Машинно-тракторний парк є матеріально-технічною основою виробництва. Його

справність визначає можливість виконання робіт у стислі агротехнічні строки. Для господарств зернового та зерно-олійного напряму особливо важливими є трактори загального призначення, енергонасичені трактори для роботи з широкозахватними агрегатами, транспортні засоби, комбайни та допоміжна ремонтна техніка [4, 6].

Автотракторні двигуни працюють у складних умовах: змінні навантаження, запиленість повітря, тривала робота на високих обертах, сезонні коливання температури, нерівномірність завантаження упродовж року. За таких умов одним із найвідповідальніших вузлів двигуна є циліндро-поршнева група. Її технічний стан впливає на компресію, витрату пального й оливи, потужність двигуна, токсичність відпрацьованих газів і загальну надійність машини [7, 8].

До основних несправностей циліндро-поршневої групи належать зношування гільз циліндрів, поршневих кілець і канавок поршня, залягання кілець, порушення герметичності камери згоряння, підвищений прорив газів у картер, зниження компресії, збільшення витрати моторної оливи та утруднений пуск двигуна [8, 9]. Несвоєчасне виявлення таких несправностей призводить до зростання витрат на ремонт, простоїв техніки та зниження ефективності використання машинно-тракторного парку.

1.3 Стан ремонтно-обслуговуючої бази господарства

Ремонтно-обслуговуюча база сільськогосподарського підприємства призначена для підтримання техніки у працездатному стані. Вона має забезпечувати проведення щоденного технічного обслуговування, планових ТО, діагностування, поточного ремонту, регулювальних робіт, заміни мастильних матеріалів, підготовки машин до зберігання та введення їх в експлуатацію після міжсезонного періоду [5, 6].

У типовій ремонтній зоні господарства доцільно передбачати такі виробничі дільниці: пост зовнішнього очищення машин, дільницю технічного обслуговування тракторів і автомобілів, пост діагностування двигунів, слюсарно-механічну дільницю, дільницю ремонту паливної апаратури, зварювальну зону, склад запасних частин, мастильних матеріалів та інструменту. Наявність таких елементів дозволяє скоротити час перебування техніки в ремонті та підвищити якість обслуговування [4, 6].

Однак у багатьох сільськогосподарських підприємствах ремонтна база використовується переважно для усунення вже виявлених відмов, тоді як діагностичні роботи часто виконуються недостатньо системно. Такий підхід знижує ефективність технічного сервісу, оскільки несправність виявляється тоді, коли вона вже призвела до

погіршення роботи двигуна або до аварійного зупинення машини [7, 10].

Одним із перспективних напрямів удосконалення ремонтно-обслуговуючої бази СТОВ «Агрофірма “Маяк”» є впровадження пристосування для безрозбірного діагностування циліндро-поршневої групи автотракторних двигунів. Застосування такого пристосування дає змогу оцінювати технічний стан двигуна без повного розбирання, що особливо важливо в умовах господарства, де простої техніки в сезон польових робіт мають значні економічні наслідки [8, 10].

1.4 Необхідність безрозбірного діагностування циліндро-поршневої групи

Безрозбірне діагностування є важливою складовою сучасної системи технічного сервісу. Його сутність полягає у визначенні технічного стану агрегатів за непрямими діагностичними параметрами без демонтажу основних вузлів. Для циліндро-поршневої групи такими параметрами можуть бути компресія в циліндрах, відносна різниця компресії між циліндрами, витік стисненого повітря, тиск картерних газів, витрата оливи, характер димності, акустичні ознаки роботи двигуна та зміна струму стартера під час прокручування колінчастого вала [7, 8, 10].

Найбільш поширеним способом оцінювання стану циліндро-поршневої групи є вимірювання компресії. Зниження компресії може свідчити про зношування гільз циліндрів, поршневих кілець, негерметичність клапанів або пошкодження прокладки головки блока циліндрів [8, 9]. Водночас лише вимірювання компресії не завжди дозволяє точно встановити характер несправності, тому доцільним є поєднання компресійного методу з методом контролю витоку повітря з циліндра [9, 10].

Метод контролю витоку повітря полягає у подачі стисненого повітря до циліндра за встановленого положення поршня та визначенні втрат тиску. За напрямом виходу повітря можна орієнтовно визначити місце порушення герметичності: через картер — зношування або залягання поршневих кілець; через впускний тракт — негерметичність впускного клапана; через випускний тракт — негерметичність випускного клапана; через систему охолодження — можливе пошкодження прокладки або тріщина в головці блока [9, 11].

Для умов СТОВ «Агрофірма “Маяк”» доцільно розробити пристосування, яке забезпечуватиме:

– швидке підключення до циліндра двигуна через отвір форсунки або свічки розжарювання;

– можливість подачі стисненого повітря з контрольованим тиском;

– вимірювання падіння тиску або відносного витоку;

– порівняння показників між циліндрами;

– простоту конструкції, ремонтопридатність і можливість виготовлення в умовах ремонтної майстерні господарства;

– безпечність під час роботи з пневматичним обладнанням [9, 10, 11].

Упровадження такого пристосування дозволить підвищити рівень технічної готовності машин, скоротити тривалість діагностування, зменшити обсяг необґрунтованого розбирання двигунів і своєчасно планувати ремонтні роботи [7, 10].

2. КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Система технічного обслуговування машинно-тракторного парку

Ефективна робота ремонтно-обслуговуючої бази сільськогосподарського підприємства значною мірою залежить від правильно організованої системи технічного обслуговування машинно-тракторного парку. Для СТОВ «Агрофірма “Маяк”» це має особливе значення, оскільки справність тракторів, автомобілів, комбайнів та іншої сільськогосподарської техніки безпосередньо впливає на своєчасність виконання польових робіт, витрати пального, продуктивність агрегатів і загальну економічну ефективність виробництва.

У практиці експлуатації сільськогосподарської техніки застосовується планово-попереджувальна система технічного обслуговування. Її основне призначення полягає не лише в усуненні вже наявних несправностей, а насамперед у запобіганні їх виникненню. Такий підхід дає змогу своєчасно виявляти початкові ознаки зношування деталей, порушення регулювань, втрату герметичності вузлів, погіршення мастила, зниження компресії двигуна та інші відхилення, які можуть призвести до відмови машини під час роботи.

Планово-попереджувальна система передбачає виконання кількох видів технічного обслуговування залежно від типу машини, умов її експлуатації, напрацювання, сезону року та технічного стану. Основні види технічного обслуговування тракторів і сільськогосподарських машин наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Види технічного обслуговування тракторів і сільськогосподарських машин

Види технічного обслуговування	Трактори, самохідні шасі	Комбайни, складні самохідні і причіпні машини	Сівалки і саджалки, жатки, косарки, машини для внесення добрив	Ґрунтообробні машини, причепи
ТО при експлуатаційній обкатці	+	+	+	+
ЩТО	+	+	+	+
ТО-1	+	+	+	+
ТО-2	+	+	-	-
ТО-3	+	-	-	-
СТО-ВЛ, СТО-ОЗ	+	-	-	-
ТО-Е	-	+	+	+
ТО в особливих умовах експлуатації	+	-	-	-
ТО при зберіганні (підготовці, зберіганні, закінченні)	+	+	+	+

Технічне обслуговування машинно-тракторного парку може плануватися за різними показниками: кількістю відпрацьованих мотогодин, витратою пального, обсягом виконаних робіт у фізичних або умовних одиницях. Для тракторів доцільним є планування за кількістю використаного палива, оскільки цей показник більш повно відображає фактичне навантаження на двигун і основні вузли машини. Крім того, облік витрати пального в господарстві, як правило, ведеться систематично, тоді як лічильники мотогодин можуть бути несправними або не завжди використовуватися в оперативній звітності.

Періодичність проведення технічного обслуговування тракторів за напрацюванням у більшості випадків становить 125 годин роботи. Для техніки старіших років випуску може застосовуватися інша періодичність, зокрема 60 годин. Допускаються незначні відхилення від установлених строків проведення обслуговування, однак вони не повинні призводити до пропуску чергового ТО. Експлуатація машин без проведення необхідного технічного обслуговування є недопустимою, оскільки це прискорює зношування деталей і підвищує ймовірність аварійних відмов.

Під час експлуатаційної обкатки нових або відремонтованих машин технічне обслуговування виконують у три етапи: перед початком обкатки, у процесі її проведення та

після завершення. Такий підхід забезпечує поступове припрацювання деталей і дозволяє своєчасно усунути початкові дефекти складання, регулювання або мастила.

Щозмінне технічне обслуговування виконується перед початком роботи або між змінами. Його основним завданням є перевірка загального технічного стану машини, рівня пального, оливи й охолоджувальної рідини, стану шин або гусеничного рушія, герметичності систем, справності рульового керування, гальм, освітлення та сигналізації. Для машин, які працюють у напруженому режимі, щозмінне обслуговування має вирішальне значення, оскільки дозволяє попередити раптові відмови в польових умовах.

Сезонне технічне обслуговування тракторів виконують під час переходу до весняно-літнього або осінньо-зимового періоду експлуатації. Зазвичай його поєднують із черговим плановим ТО. Під час сезонного обслуговування змінюють або перевіряють експлуатаційні матеріали, готують системи охолодження, живлення, пуску й електрообладнання до роботи в нових температурних умовах. Особливої уваги потребують акумуляторні батареї, паливна система дизельних двигунів, система охолодження та мастильна система.

Технічне обслуговування в особливих умовах експлуатації проводиться тоді, коли техніка працює під впливом підвищеного пилового навантаження, низьких або високих температур, на заболочених, піщаних, кам’янистих ґрунтах, а також у складних рельєфних умовах. У таких випадках періодичність перевірок може скорочуватися, а обсяг робіт збільшуватися. Це пояснюється тим, що забруднення повітря, підвищені навантаження, вібрації та температурні коливання прискорюють зношування деталей і погіршують умови роботи двигуна.

Окремим елементом системи технічного обслуговування є підготовка машин до зберігання. Її необхідно виконувати не пізніше ніж через десять днів після завершення сезонного використання техніки. Під час постановки на зберігання машини очищують від ґрунту, рослинних решток і пилу, проводять мийку, змащування, консервацію відкритих металевих поверхонь, знімають або захищають окремі вузли, перевіряють комплектність і усувають виявлені несправності.

У процесі зберігання техніка також потребує періодичного контролю. Якщо машини розміщені на відкритому майданчику або під навісом, перевірку доцільно проводити щомісяця. При зберіганні в закритих приміщеннях контроль можна здійснювати рідше — приблизно один раз на два місяці. Перед зняттям машин зі зберігання їх необхідно підготувати до експлуатації не пізніше ніж за п’ятнадцять днів до початку польових робіт.

У сучасних умовах технічне обслуговування машинно-тракторного парку може здійснюватися за кількома стратегіями. Найпростішою є обслуговування за потребою, коли ремонтні дії виконують після появи несправності. Проте така система має суттєвий недолік, оскільки не попереджає відмови й може призвести до простою техніки у відповідальний виробничий період (рис. 2.1).

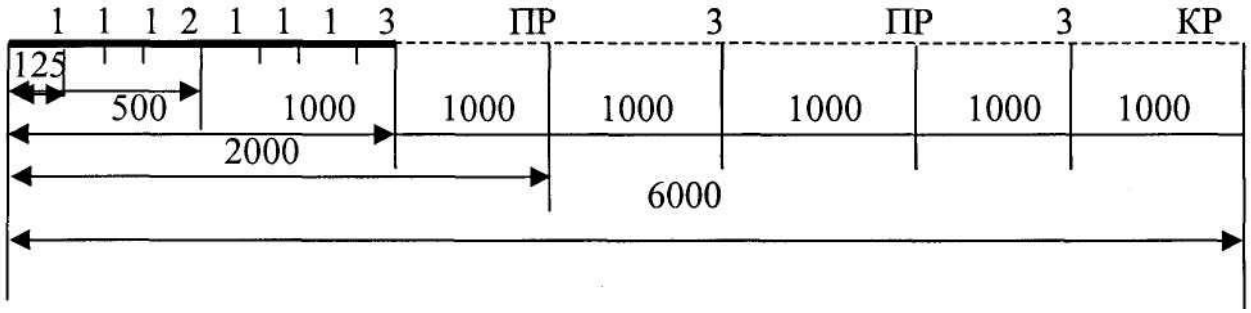


Рисунок 2.1 – Схема періодичності проведення технічних обслуговувань і ремонтів

Більш ефективною є регламентована система, за якої обслуговування проводять через установлені проміжки часу, після певного напрацювання або після витрати визначеної кількості палива. Такий підхід дозволяє підтримувати техніку в працездатному стані, однак не завжди враховує фактичний технічний стан конкретної машини.

Найбільш перспективним напрямом є обслуговування за технічним станом із використанням діагностування. У цьому випадку рішення про необхідність регулювання, ремонту або заміни деталей приймається на основі виміряних діагностичних параметрів. Для автотракторних двигунів такими параметрами можуть бути компресія в циліндрах, тиск оливи, температура охолоджувальної рідини, витрата палива, димність відпрацьованих газів, тиск картерних газів і величина витоку повітря з циліндра.

Саме тому для СТОВ «Агрофірма “Маяк”» актуальним є впровадження пристосування для безрозбірного діагностування циліндро-поршневої групи автотракторних двигунів. Його застосування дозволить не розбирати двигун без потреби, а попередньо оцінити стан гільз, поршнів, поршневих кілець і клапанного механізму. Це скорочує витрати часу на виявлення несправностей, зменшує трудомісткість ремонтних робіт і підвищує обґрунтованість прийняття рішень щодо подальшої експлуатації або ремонту двигуна.

Періодичність проведення технічного обслуговування в інших облікових одиницях для різних марок тракторів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Періодичність планових технічних обслуговувань і ремонтів тракторів у літрах витраченого палива

Марка трактора	Рік введення	Види технічного обслуговування і ремонту				
		ТО-1	ТО-2	ТО-3	Поточний ремонт	Капітальний ремонт
1	2	3	4	5	6	7
Т-130М	1985	2750	11000	22000	44000	132000
Т-4А	1985	3375	13500	27000	54000	162000
Т-150	1985	3125	12500	25000	50000	150000
ДТ-75М	1986	1925	7700	15400	30800	92400
ДТ-75Н	1985	1975	7900	15800	31600	94800
ДТ-75,Т-74		800	3200	12800	25600	76800
Т-70С		700	2800	11200	22400	67200
К-701	1987	5625	22500	45000	90000	270000
К-700А	1987	4150	16600	33200	66400	199200
К-701 М	1987	4400	7600	35200	70400	211200
Т-150К	1985	3375	13500	27000	54000	162000
МТЗ-80/82	1986	1675	6700	13400	26800	80400
ЮМЗ-6Л/М	1985	1250	5000	10000	20000	60000
Т-40М/АМ	1986	1050	4200	8400	16800	50400
Т-25А1/А3	1983	500	2000	4000	8000	24000
Т-16М	1986	500	2000	4000	8000	24000

На підприємстві необхідно вести постійний облік напрацювання кожної одиниці техніки. Облік доцільно здійснювати наростаючим підсумком з моменту введення машини в експлуатацію або після капітального ремонту. Це дає змогу точно визначати строки проведення ТО-1, ТО-2, ТО-3, поточного та капітального ремонту.

Для тракторів найбільш практичним є облік за витратою пального, оскільки кількість спожитого палива прямо пов’язана з навантаженням двигуна і тривалістю його роботи. Чим важчі умови експлуатації та більший обсяг виконаної роботи, тим вищою є витрата пального, а отже, швидше настає потреба у проведенні чергового технічного обслуговування.

Для комбайнів та інших складних сільськогосподарських машин напрацювання може визначатися в мотогодинах, фізичних гектарах або інших виробничих одиницях. Якщо комбайн за сезон відпрацював значний обсяг часу, доцільно виконувати ТО-2. Якщо ж сезонне напрацювання є незначним, відповідні операції можна поєднувати з підготовкою машини до тривалого зберігання.

Таким чином, система технічного обслуговування машинно-тракторного парку повинна поєднувати планове виконання регламентних робіт із періодичним діагностуванням

технічного стану основних вузлів. Для умов СТОВ «Агрофірма “Маяк”» найбільш доцільною є комбінована система, за якої частина робіт виконується відповідно до встановленої періодичності, а стан двигунів і відповідальних агрегатів додатково контролюється за допомогою діагностичних пристроїв. Це дозволить підвищити технічну готовність машин, зменшити кількість аварійних відмов, скоротити простої техніки та забезпечити своєчасне виконання сільськогосподарських робіт.

2.2 Управління і планування технічного обслуговування

Управління постановкою машин на всі види технічного обслуговування, за винятком щозмінного, здійснюється з метою забезпечення дотримання встановленої періодичності та строків їх виконання, а також раціонального завантаження майстрів-наладчиків. При цьому обов’язково враховується виробнича ситуація і фактичний технічний стан машинно-тракторного парку, тобто чергове технічне обслуговування може бути виконане раніше або пізніше встановленого строку (в межах допустимих відхилень) залежно від терміновості виконання сільськогосподарських робіт.

Глибина опрацювання планів ремонтів і технічного обслуговування визначається рівнем планування та обліку механізованих робіт у господарстві. За відсутності необхідних вихідних даних складання обґрунтованих планів є неможливим.

Таблиця 2.3 – Періодичність технічного обслуговування комбайнів і складних сільськогосподарських машин

Марка комбайна, сільськогосподарської машини	Періодичність, л. /фіз.га	
		ТО-2
1	2	3
Зернозбиральні комбайни:		
СК-5 "Нива"	1020/90(100)	4080/360(400)
СКД-5 "Сибиряк"	960/80(90)	3840/320(360)
СК-6 "Колос"	1720/110(120)	6880/440(480)
РСМ-8"ДОН-1500"	2200/160	8800/640
Коренезбиральні машини:		
РКС-6, РКМ-6	620/36	2480/144
КС-6Б	/3О	/120
Гичкозбиральна машина БМ-6А	/36	-
Кормозбиральний комбайн КСК-100	/80	/320
Самохідна косарка КПС-5Г	/75	/300
Силосозбиральні комбайни:		
КС-1,8	/33	-
КСС-2,6	/40	-
Е-281	/65	/260
Кукурудзозбиральні комбайни:		
КОП-1,4"Херсонець-7"	/24	/96
КСКУ-6 "Херсонець-200"	/75	/300
Картоплезбиральний комбайн ККУ-2	/10	-
Льонозбиральний комбайн ЛКВ-4Т	/20	-

У дужках наведено періодичність технічного обслуговування під час підбирання валків.

Управління постановкою машин на технічне обслуговування включає три взаємопов’язані етапи:

– планування технічного обслуговування;

– оперативне управління постановкою машин на ТО;

– контроль своєчасності виконання технічного обслуговування.

Відповідно до ГОСТ 20793–86 «Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание» передбачається розроблення річних і місячних планів технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарської техніки.

Складання планів ремонтів і ТО передбачає, по-перше, визначення видів і строків виконання ремонтів та технічного обслуговування для кожної машини. По-друге, необхідно встановити трудомісткість робіт, чисельність обслуговуючого персоналу та потребу в засобах механізації ТО. Крім того, слід розрахувати потребу в матеріальних ресурсах і фінансових витратах.

Вихідними даними для розроблення планів-графіків ремонтів і технічного обслуговування є:

– обліковий склад машинно-тракторного парку;

– річний план використання машин або госпрозрахункове завдання з календарними строками виконання сільськогосподарських робіт;

– плановий виробіток і витрата палива;

– технічний стан кожної машини на початок планового періоду;

– встановлена періодичність технічних обслуговувань і ремонтів;

– нормативи трудомісткості ТО і ремонтів;

– нормативи витрат на технічне обслуговування та ремонти;

– режим роботи машинно-тракторного парку (тривалість зміни, норми виробітку та витрати палива);

– наявність засобів механізації ремонтних і обслуговуючих робіт;

– режим роботи спеціалізованих ланок технічного обслуговування;

– віддаленість польових станів від центральної майстерні або майстерні пункту технічного обслуговування.

Існує кілька методик визначення кількості ремонтів і технічних обслуговувань. У

даному дипломному проєкті використовується аналітичний метод, який покладено в основу інших способів розрахунку.

Кількість технічних обслуговувань і ремонтів (К) для кожного трактора визначається за такими формулами [5]:

$$N_{\text{КР}} = \frac{Q_o + Q_{\text{пл}}}{\text{Р}_{\text{кр}}} \tag{2.1}$$

$$N_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}} + Q_{\text{пл}}}{\text{Р}_{\text{пр}}} - N_{\text{кр}} \tag{2.2}$$

$$N_{\text{ТО}-3} = \frac{Q_{\text{ТО}-3} + Q_{\text{пл}}}{\text{Р}_{\text{ТО}-3}} - N_{\text{кр}} - N_{\text{пр}} \tag{2.3}$$

$$N_{\text{ТО}-2} = \frac{Q_{\text{ТО}-2} + Q_{\text{пл}}}{\text{Р}_{\text{ТО}-2}} - N_{\text{кр}} - N_{\text{пр}} - N_{\text{ТО}-3} \tag{2.4}$$

$$N_{\text{ТО}-1} = \frac{Q_{\text{ТО}-1} + Q_{\text{пл}}}{\text{Р}_{\text{ТО}-1}} - N_{\text{кр}} - N_{\text{пр}} - N_{\text{ТО}-3} - N_{\text{ТО}-2} \tag{2.5}$$

де Q_o, $Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{ТО}-3}$, $Q_{\text{ТО}-2}$, $Q_{\text{ТО}-1}$ — кількість витраченого палива з початку експлуатації або після відповідно останнього капітального ремонту, поточного ремонту, ТО-3, ТО-2 та ТО-1;

$Q_{\text{пл}}$ — запланована витрата палива на розрахунковий період.

Відомості про розподіл механізованих робіт за марками тракторів упродовж року наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розподіл механізованих робіт протягом року

Марка трактора	Обсяг робіт по місяцям року,											
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Т-150К	8	7	4	9	4	5	8	11	17	13	8	6
ДТ-75	5	5	6	9	8	8	8	14	15	8	8	6
Т-70С	-	-	-	14	16	15	15	14	13	13	-	-
МТЗ-80	4	6	8	9	10	10	11	11	10	8	7	6
ЮМЗ-6	4	5	8	10	10	11	11	9	10	11	7	5
Т-40М	6	6	7	8	10	11	12	12	9	7	7	5
Т-25А	3	3	8	11	14	11	10	11	10	10	9	3
Т-16М	3	3	8	11	14	11	10	11	10	10	9	3

На підставі даних таблиці 10 виконуємо розподіл річного навантаження в одиницях витрати палива та формуємо таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Розподіл річного навантаження за місяцями, л палива

Марка трактора	Планове напрацювання	Розподіл річного навантаження і по місяцях, л											
		Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Т-150К	6904	552	483	276	622	276	345	552	760	1174	898	552	414
ДТ-75М	4483	224	224	269	404	359	359	359	627	672	359	359	264
Т-70С	2824	-	-	-	395	452	424	424	345	367	367	-	-
МТЗ-80	4027	161	242	322	362	403	403	443	443	404	322	322	241
ЮМЗ-6	3452	138	173	276	345	345	380	345	310	345	380	242	173
Т-40М	3138	188	188	220	251	314	345	377	376	282	220	220	159
Т-25А	1726	52	52	138	190	190	190	172	190	172	172	156	52

Розрахунки за формулами (2.1-2.5) виконаємо на прикладі трактора Т-150К (господарський номер 1), використовуючи дані таблиці 1.3.

$$N_{\text{КР}} = \frac{\frac{131590}{0{,}836} + 69904}{162000} = 1$$

$$N_{\text{ПР}} = \frac{49404 + 6904}{54000} - 1 = 0$$

$$N_{\text{ТО}-3} = \frac{22404 + 6904}{27000} - 1 - 0 = 0$$

$$N_{\text{ТО}-2} = \frac{8904 + 6904}{13500} - 1 - 0 - 0 = 0$$

$$N_{\text{ТО}-1} = \frac{2154 + 6904}{3375} - 1 - 0 - 0 - 0 = 1{,}68$$

Приймаємо до виконання два технічних обслуговування типу ТО-1.

Отже, у наступному році для трактора Т-150К № 1 необхідно виконати капітальний ремонт та два технічних обслуговування першого виду.

Аналогічні розрахунки проводимо для всіх інших тракторів, після чого отримані результати зводимо в узагальнювальну таблицю. З огляду на одноманітність і значну трудомісткість таких розрахунків доцільно використати просту програму, а обчислення виконувати за допомогою електронних таблиць Microsoft Excel 97. План-графік технічних обслуговувань і ремонтів тракторів наведено в додатку, а також на аркуші 2 графічної частини проєкту.

Таблиця 2.6 – План-графік технічного обслуговування комбайнів

Марка комбайна	Кількість	Планований обсяг робіт, га		Число ТО на одну машину	
			На машину	ТО-1	ТО-2
СК-5 "Нива"	5	300	60	Ц5)	-
СК-6 "Колос"	5	450	90	1(5)	-
Е-281	1	205	205	2(1)	-
КСС-2,6	3	240	80	1(3)	-
КПИ-2,4	1	86	86	1(1)	-
КПК-2	5	130	26	1(5)	-

2.3 Розрахунок річного обсягу робіт з технічного обслуговування МТП господарства

Для визначення річного обсягу робіт з технічного обслуговування тракторів і комбайнів розраховують витрати праці на виконання ТО-1, ТО-2, ТО-3, сезонного технічного обслуговування перед весняно-літнім періодом (СТО-ВЛ) та перед осінньо-зимовим періодом (СТО-ОЗ) для кожної марки машин. Витрати праці на технічне обслуговування позначаються $З_{Тj}$ і визначаються за відповідною формулою:

$$З_{Тj} = \sum_{j=1}^{m} З_{Тi} n_{iГ} \quad (2.6)$$

де$З_{Тi}$ — нормативна трудомісткість *і*-го виду планового технічного обслуговування для кожної марки машин;

$n_{iГ}$ — кількість обслуговувань *і*-го виду, запланованих на рік для кожної марки машин;

т — кількість марок машин.

Трудомісткість технічного обслуговування та ремонтів тракторів наведена в таблиці 2.7, а комбайнів — у таблиці 2.8.

Таблиця 2.7 – Трудомісткість технічного обслуговування та ремонтів тракторів

Марка трактора	Трудомісткість, год					
	ТО-1	ТО-2	ТО-3	СТО	ПР	КР
ДТ-75М	2,7	6,4	21,4	17,1	225	369
К-700А	2,5	10,6	43,2	29,3	318	660
К-701М	2,2	11,6	25,2	18,2	299	726
МТЗ-80	2,7	6,9	19,8	3,5	136	311
Т-150	2	7,5	27	7,3	260	566
Т-150К	1,9	6,8	42,3	5,3	249	565
Т-16	0,9	2,7	7,7	1,8	68	184
Т-170	3,2	15,3	28,8	13,5	556	615
Т-25	2,1	2,8	10,8	0,9	96	213
Т-40М	2	6,8	18	19,8	105	251
Т-70С	2,3	6,9	14	6,8	162	330

ЮМЗ-6АМ	2,5	7,3	26,1	14,9	112	272

Для наведеного вище трактора Т-150К № 1 сумарна трудомісткість технічного обслуговування становитиме 3,8 год, оскільки $1{,}9 \times 2 = 3{,}8$.

Таблиця 2.8 – Трудомісткість технічного обслуговування та ремонтів комбайнів

Марка комбайна	Трудомісткість, год.			
	ТО-1	ТО-2	ПР	Зберігання
СК-5 "Нива"	5Д	6,6	150	45
СК-6 "Колос"	5Д	6,6	157	50
Е-281	2,7	7,2	200	45
КСС-2,6	2,7	4,8	40	14
КПИ-2,4	2,7	4,8	40	14
КПК-2	3,6	8,2	69	19

Трудомісткість періодичних технічних обслуговувань нескладних сільськогосподарських машин приймається на рівні 0,35…0,45 від трудомісткості виконання ТО-1, ТО-2 і ТО-3 тракторів. Для врахування затрат праці на усунення дрібних несправностей під час технічного обслуговування машинно-тракторного парку сумарну трудомісткість обслуговування тракторів доцільно збільшувати на 15…20 %.

На основі даних про технічний стан машин, річне та помісячне навантаження кожного трактора, а також установлену періодичність технічних обслуговувань і ремонтів формується річний план-графік виконання ТО та ремонтів. Розроблення плану-графіка здійснюється у два етапи.

І етап — побудова річних планів технічного обслуговування і ремонтів для окремих марок тракторів.

ІІ етап — формування зведеного плану-графіка технічного обслуговування та ремонтів для всіх тракторів господарства.

Річний план-графік технічного обслуговування і ремонтів за окремими марками тракторів будується у прямокутній системі координат і подається у вигляді таблиці. По осі абсцис відкладається шкала часу в місяцях, а по осі ординат — марки та інвентарні номери тракторів (див. графічну частину проєкту).

2.4 Обґрунтування необхідності конструкторської розробки

Одним із важливих завдань дипломного проєкту є підвищення ефективності ремонтно-обслуговуючої бази господарства шляхом упровадження технічного засобу, який дозволить скоротити трудомісткість діагностичних робіт і підвищити точність визначення технічного стану двигунів. Конструкторська розробка повинна відповідати умовам експлуатації в

сільськогосподарському підприємстві та бути придатною для використання безпосередньо в ремонтній майстерні.

До основних вимог, які висуваються до запропонованої конструкції, належать:

– підвищення продуктивності праці під час діагностування двигунів;
– можливість виготовлення пристрою силами ремонтної майстерні господарства;
– простота конструкції та зручність експлуатації;
– відповідність вимогам охорони праці, техніки безпеки та виробничої санітарії;
– підвищення якості виконання діагностичної операції;
– мінімальна собівартість виготовлення;
– економічно доцільний строк окупності, який не повинен перевищувати трьох років.

У межах дипломного проєкту як конструкторську розробку запропоновано використати пневматичний калібратор, призначений для безрозбірного діагностування циліндро-поршневої групи двигуна ЗМЗ-53. Даний пристрій дає можливість оцінювати технічний стан двигуна за величиною витоку повітря через нещільності в камері згоряння. Завдяки цьому можна визначити ступінь герметичності циліндра без повного розбирання двигуна.

Технічний стан циліндро-поршневої групи має значний вплив на роботу автомобіля або трактора. Від справності циліндрів, поршнів і поршневих кілець залежать потужність двигуна, легкість його запуску, витрата пального, витрата моторної оливи, стабільність роботи на різних режимах та загальна надійність машини. За нормального стану циліндро-поршневої групи втрати часу на запуск двигуна протягом робочої зміни є незначними, а витрати пального залишаються в межах нормативних значень. У разі зношування деталей запуск двигуна ускладнюється, знижується компресія, збільшується витрата пального й мастильних матеріалів, а також зростає ймовірність виникнення відмови під час роботи.

Найбільш поширеними причинами погіршення роботи двигуна є спрацювання робочої поверхні циліндрів, зношування або залягання поршневих кілець, пошкодження поршнів, збільшення зазорів у спряженнях і порушення герметичності камери згоряння. Традиційний спосіб визначення ступеня зношування цих деталей передбачає розбирання двигуна, демонтаж окремих вузлів і подальшу дефектацію деталей. Такий метод є трудомістким, потребує значних витрат часу та спричиняє тривалий простій техніки.

Застосування безрозбірного діагностування дозволяє значно скоротити час перевірки двигуна. Технічний стан циліндро-поршневої групи можна оцінити за величиною відносної нещільності циліндра, яку визначають за допомогою пневматичного калібратора. Принцип дії такого пристрою ґрунтується на подачі стисненого повітря в циліндр і вимірюванні перепаду тиску, що виникає внаслідок витоку повітря через зазори та нещільності.

Використання пневматичного калібратора на посту діагностування та технічного обслуговування дає змогу своєчасно виявляти несправності циліндро-поршневої групи, оцінювати доцільність подальшої експлуатації двигуна, планувати ремонтні роботи та уникати необґрунтованого розбирання агрегата. Це особливо важливо для господарства, де простої техніки в період виконання польових робіт можуть призводити до значних виробничих втрат.

Запропонований пристрій має просту конструкцію, не потребує складного обладнання для виготовлення та може бути виконаний у майстерні господарства. Його впровадження сприятиме підвищенню якості діагностичних робіт, зменшенню трудомісткості технічного обслуговування та покращенню загального рівня технічної готовності машинно-тракторного парку.

Отже, розробка пневматичного калібратора для безрозбірного діагностування циліндро-поршневої групи є технічно та економічно обґрунтованою. Вона відповідає потребам ремонтно-обслуговуючої бази господарства, дозволяє підвищити ефективність діагностування двигунів і забезпечує більш раціональне використання трудових та матеріальних ресурсів.

2.5 Будова та принцип роботи пристосування

Пневматичний калібратор для безрозбірного діагностування циліндро-поршневої групи двигуна є пристроєм, який працює на основі контролю витоку стисненого повітря з циліндра. За величиною цього витоку можна зробити висновок про ступінь герметичності камери згоряння та технічний стан основних деталей циліндро-поршневої групи.

Основними елементами пневматичного калібратора є камера постійного тиску, камера змінного тиску, редуктор тиску, манометри, змінні калібрувальні шайби, з’єднувальні штуцери, гумові патрубки та спеціальний перехідник для під’єднання пристрою до циліндра двигуна. Камера постійного тиску призначена для підтримання стабільного значення тиску повітря, а камера змінного тиску використовується для фіксації зміни тиску залежно від величини витоку в циліндрі.

Камери постійного і змінного тиску з’єднуються між собою за допомогою штуцерів через змінну шайбу з каліброваним отвором. Саме калібрований отвір створює необхідний опір руху повітря та забезпечує можливість порівняння показників тиску з величиною нещільності. Діаметр отвору шайби підбирають відповідно до очікуваного технічного стану циліндро-поршневої групи. Якщо двигун має незначне спрацювання, застосовують шайбу з меншим отвором, а за значного зношування — шайбу з більшим діаметром.

Камера змінного тиску за допомогою гумового патрубка з’єднується з циліндром двигуна, який перевіряється. Для цього використовується спеціальний штуцер, що встановлюється замість свічки запалювання. Таке конструктивне рішення дозволяє подавати стиснене повітря безпосередньо в камеру згоряння без розбирання двигуна.

Перед початком діагностування поршень циліндра, що перевіряється, встановлюють у необхідне положення. Після цього в отвір для свічки запалювання вкручують або фіксують спеціальний штуцер, до якого під’єднують патрубок пристрою. Далі до пневматичного калібратора подають стиснене повітря від ресивера компресорної установки.

За допомогою редуктора тиску в камері постійного тиску встановлюють заданий тиск, який контролюється манометром. У базовому варіанті пристрою цей тиск становить 0,72 МПа. Після стабілізації тиску спостерігають за показаннями манометра в камері змінного тиску. Значення цього тиску залежить від величини витоку повітря через нещільності циліндра. Чим більші зазори у спряженнях і гірша герметичність камери згоряння, тим нижчим буде тиск у вимірювальній камері.

За отриманими показаннями можна оцінити технічний стан циліндро-поршневої групи. Високий тиск у камері змінного тиску свідчить про задовільну герметичність циліндра та незначне спрацювання деталей. Зниження тиску вказує на збільшення витоків повітря, що може бути наслідком зношування гільзи циліндра, поршневих кілець, канавок поршня або порушення герметичності клапанів.

Для визначення величини нещільності за показаннями манометра використовують калібрувальні криві. Вони складаються окремо для кожної змінної шайби з діаметрами отворів 2, 3 і 5 мм. Наявність трьох калібрувальних шайб забезпечує можливість діагностування двигунів ЗМЗ-53 із різним ступенем зношування. При малих витоках доцільно використовувати шайбу з отвором 2 мм, при середніх — 3 мм, а при значних нещільностях — 5 мм.

Разом із перевагами базова конструкція пристрою має певний недолік. При тиску повітря в циліндрі до 0,72 МПа поршневі кільця не завжди достатньо щільно притискаються до нижніх опорних поверхонь канавок поршня. Через це можуть виникати додаткові витоки повітря, які не повністю відповідають реальному технічному стану циліндро-поршневої групи. Унаслідок цього точність визначення сумарної нещільності може знижуватися.

Для усунення цього недоліку в межах дипломного проєкту запропоновано модернізувати пристрій шляхом введення додаткової магістралі продування циліндра. Така магістраль складається зі спеціального штуцера, патрубка та розподільника повітря. Її призначення полягає в тому, щоб перед основним вимірюванням подати в циліндр повний тиск компресорної установки, який становить приблизно 1,5 МПа.

Подача повного тиску забезпечує надійніше прилягання поршневих кілець до нижніх поверхонь канавок поршня. Завдяки цьому умови вимірювання стають ближчими до реальних умов роботи двигуна, а результат діагностування — точнішим. Після короткочасного продування циліндра пристрій переводиться в режим вимірювання, і подальше визначення нещільності виконується за показаннями манометрів та калібрувальними кривими.

Магістраль продування під’єднується одним кінцем до повітропроводу перед редуктором тиску, тобто до зони повного тиску компресорної установки. Іншим кінцем вона з’єднується з розподільником, який одночасно має зв’язок із вимірювальною камерою та циліндром двигуна. Така схема дозволяє почергово виконувати продування та основне вимірювання без розбирання з’єднань.

Принцип роботи модернізованого пристрою можна подати в такій послідовності:

1. Двигун готують до діагностування, очищають зону встановлення штуцера та забезпечують нерухомість колінчастого вала.
2. Спеціальний штуцер установлюють замість свічки запалювання перевірюваного циліндра.
3. До штуцера під’єднують гумовий патрубок пневматичного калібратора.
4. У систему подають стиснене повітря від компресорної установки.
5. Через додаткову магістраль короткочасно виконують продування циліндра повним тиском.
6. Після цього редуктором установлюють робочий тиск у камері постійного тиску.

7. За показаннями манометра в камері змінного тиску визначають ступінь нещільності циліндра.

8. Отримані показники порівнюють із калібрувальними кривими та роблять висновок про стан циліндро-поршневої групи.

Перевагою запропонованої конструкції є те, що вона дозволяє проводити діагностування без розбирання двигуна, скорочує час перевірки, знижує трудомісткість ремонтних операцій і дає можливість своєчасно виявляти несправності. Крім того, пристрій має відносно просту будову, не потребує дорогих комплектуючих і може бути виготовлений у ремонтній майстерні господарства.

Отже, пневматичний калібратор із додатковою магістраллю продування є доцільним технічним рішенням для поста діагностування. Його використання дозволяє підвищити точність оцінювання технічного стану циліндро-поршневої групи, зменшити кількість необґрунтованих розбирань двигуна та покращити організацію технічного обслуговування автотракторної техніки в господарстві.

2.6 Розрахунок замикаючої та регулювальної пружин

Вихідні дані для розрахунку:

1. Тиск повітря, що надходить від ресивера компресорної установки:
   $\mathrm{P}_1 = 1{,}5\ \text{МПа} = 1{,}5 \cdot 10^6\ \text{Па}$
2. Тиск повітря на виході з редуктора:
   $\mathrm{P}_2 = 0{,}72\ \text{МПа} = 0{,}72 \cdot 10^6\ \text{Па}$
3. Коливання тиску повітря після редуктора:
   $\Delta\mathrm{P}_2 = 1{,}46\ \text{МПа} = 1{,}46 \cdot 10^6\ \text{Па}$
4. Площа клапана розраховується за формулою:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot Д_К^2}{4} \tag{2.8}$$

$$S_1 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}01^2}{4} = 0{,}785 \cdot 10^{-4}\ \text{м}^2$$

де $Д_к$ — діаметр клапана згідно з кресленням, м.

5. Площа мембрани розраховується:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_m^2}{4} \tag{2.9}$$

$$S_1 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}11^2}{4} = 4{,}9 \cdot 10^{-4}\ \text{м}^2$$

де d_m — діаметр мембрани відповідно до креслення, м.

6. Площа отвору, що перекривається клапаном:

$$S_3 = S_0 - S_{\text{шт}} = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_m^2}{4} \quad (2.10)$$

$$S_3 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}005^2}{4} - \frac{3{,}14 \cdot 0{,}002^2}{4} = 0{,}165 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

де d_0 — діаметр отвору згідно з кресленням, м;

$d_{\text{шт}}$ — діаметр штока клапана за кресленням, м.

Визначаємо зусилля, що діють на пружини під час роботи редуктора тиску:

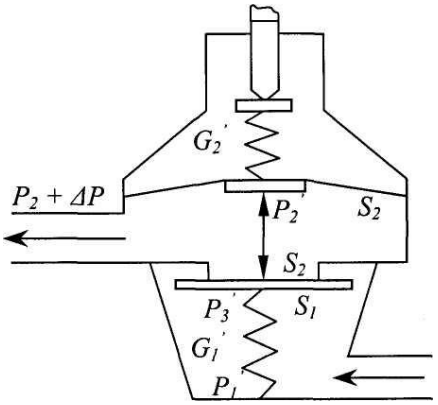


Рисунок. 2.2 – Схема прикладання сил при закритому клапані редуктора тиску.

На рисунку прийнято такі позначення:

G₁ — зусилля запірної пружини при закритому клапані, Н;

G₂ — зусилля регулювальної пружини при закритому клапані, Н;

P₁ — сила дії тиску повітря на клапан з боку входу, Н;

P₂ — сила тиску повітря, що діє на манометр, Н;

P₃ — сила тиску повітря безпосередньо на клапан, Н.

З умови рівноваги штока у закритому положенні клапана одержуємо:

$$\mathrm{P}_1 + G_1 + \mathrm{P}_2 + \mathrm{P}_3 + G_2 = 0 \quad (2.11)$$

де $\mathrm{P}_1 = \mathrm{P}_1 \cdot S_1 = 1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 0{,}785 \cdot 10^{-4} = 78{,}5$ Н.

$G_1 = 0$ для спрощення розрахоунків.

$$\mathrm{P}_2 = (\mathrm{P}_2 + \mathrm{P}_2)S_2 = (0{,}72 \cdot 10^6 + 1{,}46 \cdot 10^6) \cdot 4{,}9 \cdot 10^{-4} = 186 \text{ Н}$$

$$\mathrm{P}_3 = (\mathrm{P}_2 + \mathrm{P}_2)S_2 = (0{,}72 \cdot 10^6 + 1{,}46 \cdot 10^6) \cdot 0{,}165 \cdot 10^{-4} = 6{,}26 \text{ Н}$$

$$G_2 = G_{2max} = \mathrm{P}_1 + \mathrm{P}_2 - \mathrm{P}_3 = 78{,}5 + 186 - 6{,}26 = 258{,}2 \text{ Н} \quad (2.12)$$

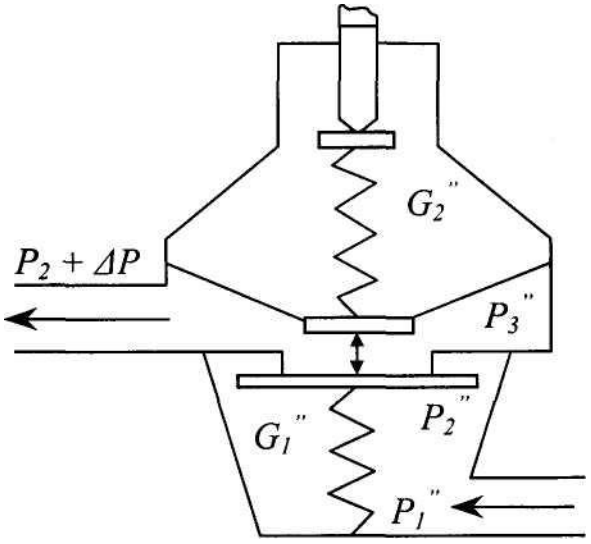


Рисунок 2.3 – Схема розташування редуктора та прикладання сил при відкритому клапані.

На рисунку 2.3 прийнято такі умовні позначення:

G_1 — зусилля запірної пружини при відкритому клапані, Н;

G_2 — зусилля регулювальної пружини при відкритому клапані, Н;

P_1 — сила тиску повітря, що діє на клапан з боку входу, Н;

P_2 — сила тиску повітря, яка впливає на манометр, Н;

P_3 — сила тиску повітря, що діє безпосередньо на клапан, Н.

З умови рівноваги штока у відкритому положенні клапана маємо:

$$\mathrm{P}_1 - G_1 + \mathrm{P}_2 - \mathrm{P}_3 - G_2 = 0 \qquad (2.13)$$

де $\mathrm{P}_1 = \mathrm{P}_1 = 78{,}5$ Н.

$$\mathrm{P}_2 = (\mathrm{P}_2 + \mathrm{P}_2)S_2 = (0{,}72 \cdot 10^6 + 1{,}46 \cdot 10^6)4{,}9 \cdot 10^{-4} = 196 \text{ Н}$$

$$\mathrm{P}_3 = (\mathrm{P}_2 + \mathrm{P}_2)S_2 = (0{,}72 \cdot 10^6 + 1{,}46 \cdot 10^6)0{,}165 \cdot 10^{-4} = 6{,}7 \text{ Н}$$

Тоді зусилля, яке розвиває замикаюча пружина, визначається як:

$$G_1 = G_{1max} = \mathrm{P}_1 + \mathrm{P}_2 - \mathrm{P}_3 = 78{,}5 + 196 - 6{,}7 = 267{,}8 \text{ Н} \qquad (2.14)$$

Хід клапана від одного крайнього положення до іншого приймаємо таким, що дорівнює:

$$\lambda_{lim} = 10\text{мм} = 0{,}1\text{м} \qquad (2.15)$$

Вибір матеріалу та визначення основних параметрів пружини

Для пружини відповідного призначення, що працює за відносно невеликих напружень, доцільно застосовувати холоднотягнутий пружинний дріт підвищеної міцності зі сталі 8АЕ-1350.

Позначення дроту відповідно до вимог ГОСТ має вигляд: дріт-І-П-2,00 ГОСТ 9389–75.

Для зазначеного матеріалу приймаємо такі характеристики:

– $\tau_з = 15 \cdot 10^8$ Н/м^2;

– допустиме максимальне напруження $[\tau]_{max} = 4{,}5 \cdot 108$ Н/м^2.

Модуль пружності матеріалу приймаємо рівним $E = 8 \cdot 108$ Н/м^2.

Граничне робоче напруження приймаємо як частку від максимально допустимого:

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

Для визначення основних параметрів пружини необхідно встановити навантаження, яке створює в пружині напруження $9{,}8 \cdot 10^7$Н/м^2.

Дане навантаження визначаємо за формулою:

$$\mathrm{P}_{10} = \frac{9{,}8 \cdot 10{,}7}{[\tau]} \cdot G_{min} \qquad (2.16)$$

Виходить:

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

$$\mathrm{P}_{10} = \frac{9{,}8 \cdot 10{,}7}{3{,}37 \cdot 10^8} \cdot 267{,}8 = 79 \text{ Н}$$

За визначеним значенням навантаження встановлюємо основні геометричні параметри пружин.

Регулювальна пружина (P_{10} = 75 Н):

– діаметр дроту $d = 0{,}004$ м;

– середній діаметр пружини $D' = 0{,}020$ м;

– внутрішній діаметр пружини $D_1{}' = 0{,}016$ м;

– відстань між витками при $\mathrm{P}_{10} = 75$ Н становить $\delta = 0{,}3 \cdot 10^{-3}$ м.

Запірна пружина (P_{10} = 79 Н):

– діаметр дроту $d = 0{,}004$ м;

– середній діаметр пружини $D = 0{,}020$ м;

– внутрішній діаметр пружини $D_1 = 0{,}016$ м;

– відстань між витками при $\mathrm{P}_{10} = 79$ Н становить $\delta = 0{,}3 \cdot 10^{-3}$м.

Далі виконуємо уточнений розрахунок пружини.

Найбільше напруження у перерізі витків τ_{max} визначаємо за формулою:

$$\tau_{max} = \frac{8 \cdot k \cdot G_{max} \cdot Д}{\pi \cdot d^2} \qquad (2.17)$$

де k — коефіцієнт, значення якого залежить від співвідношення (відношення) відповідних розмірів:

$$l = \frac{Д}{d} \tag{2.18}$$

При:

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

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

Отже:

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

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

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

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

Необхідну кількість робочих витків пружини визначаємо за формулою:

$$\text{i} = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{10} \frac{G_{max}}{9{,}8 * 10^{-7}}} \tag{2.19}$$

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

$$\text{i}_1 = \frac{0{,}010}{0{,}3 \cdot 10^{-3} \frac{267{,}8}{98}}$$

Для забезпечення надійної опорної поверхні на кожному кінці пружини додають по 0,75 опорного витка, які частково шліфуються по площині, перпендикулярній до осі пружини. Отже, загальна кількість витків пружини становить:

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

$$\text{i}_1 = 12{,}2 + 2 \cdot 0{,}75 = 13{,}7 \text{ витків}$$

Довжину пружини, стисненої до моменту дотику витків, визначаємо за формулою:

$$\text{H}_\text{a} = (\text{i}_n - 0{,}5) \cdot d \tag{2.20}$$

Тоді:

$$\text{H}_\text{a} = (14 - 0{,}5)0{,}004 = 0{,}054 \text{ м}$$

$$\text{H}_{\text{a}1} == (\text{i}_{n1} - 0{,}5) \cdot d = (13{,}7 - 0{,}5)0{,}004 = 0{,}053 \text{ м}$$

Зазор між витками регулювальної та запірної пружин приймаємо таким, що дорівнює:

$$\delta_\text{p} = 0{,}004(\delta_\text{p} \cdot 0{,}1 \cdot d) \tag{2.21}$$

Крок пружини визначається як:

$$h = d + \left(\frac{\varphi_{max}}{i}\right) - \delta_\text{p} \tag{2.22}$$

Тоді

$$h = 0{,}004 + \left(\frac{0{,}010}{14}\right) - 0{,}004 = 0{,}076 \text{ м}$$

$$h_1 = 0{,}004 + \left(\frac{0{,}010}{13{,}7}\right) - 0{,}004 = 0{,}076 \text{ м}$$

Повний хід пружини до граничного стиску визначається як:

$$\lambda_{\text{гр}} = \lambda_{max} + \text{i}\delta_{\text{р}} \tag{2.23}$$

$$\lambda_{\text{гр}} = 0{,}010 + 14 \cdot 0{,}004 = 0{,}016 \text{ м}$$

$$\lambda_{\text{гр1}} = 0{,}010 + 13{,}7 \cdot 0{,}004 = 0{,}016 \text{ м}$$

Силу стиску пружини до моменту повного дотику витків визначаємо за виразом:

$$\text{P}_{\text{гр}} = G_{max} \cdot \frac{\lambda_{\text{гр}}}{\lambda_{max}} \tag{2.24}$$

$$\text{P}_{\text{гр}} = 258{,}2 \cdot \frac{0{,}016}{0{,}004} = 1030{,}0 \text{ Н}$$

$$\text{P}_{\text{гр1}} = 267{,}8 \cdot \frac{0{,}016}{0{,}004} = 1070{,}0 \text{ Н}$$

Загальна (вільна) довжина пружини визначається як:

$$\text{H}_0 = \text{H}_d + i(h - d) \tag{2.25}$$

$$\text{H}_0 = 0{,}057 + 12{,}5(0{,}076 - 0{,}004) = 0{,}164 \text{ м}$$

$$\text{H}_{01} = 0{,}057 + 12{,}8(0{,}077 - 0{,}004) = 0{,}105 \text{ м}$$

Кут підйому осі витків пружини визначається як:

$$tga_0 = \frac{h}{\pi \cdot \text{Д}} \tag{2.26}$$

$$tga_0 = \frac{0{,}076}{3{,}14 \cdot 0{,}020} = 1{,}21 \text{ отже } a_0 = 50°$$

$$tga_{01} = \frac{0{,}077}{3{,}14 \cdot 0{,}020} = 1{,}23 \text{ отже } a_0 = 50°$$

Довжина заготовки для виготовлення пружини визначається як:

$$l = \frac{\pi \cdot \text{Д} \cdot i_0}{cosa_0} \tag{2.27}$$

$$l = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}020 \cdot 14}{0{,}64} = 1{,}37 \text{ м}$$

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

2.7 Розрахунок гвинта на міцність

Напруження, що виникає у гвинті під час роботи, визначаємо за такою формулою:

$$\sigma = \frac{\text{P}}{F} \leq [\sigma] \tag{2.28}$$

де P — сила, що діє на гвинт,$P = 258{,}2$ Н;

F — площа поперечного перерізу гвинта, мм²;

$[\sigma]$ — допустиме напруження для сталі 45, $[\sigma] = 160$ МПа $= 160$ Н/мм².

Площу поперечного перерізу гвинта визначаємо за формулою:

$$F = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_{\text{ВН}}^2} \tag{2.29}$$

де $d_{\text{ВН}}$ — внутрішній (мінімальний) діаметр різьби гвинта, мм.

Внутрішній діаметр різьби гвинта визначаємо з умови міцності за такою нерівністю:

$$[\sigma] = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_{\text{ВН}}^2} \tag{2.30}$$

Звідси:

$$d_{\text{ВН}} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot [\sigma]} = \frac{4 \cdot 258{,}2}{3{,}14 \cdot 160} = 4{,}53 \text{ мм} \tag{2.31}$$

З урахуванням конструктивних вимог приймаємо внутрішній діаметр різьби гвинта рівним 12,051 мм. Отже:

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

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

Визначимо напруження у небезпечних перерізах гвинта та побудуємо епюри поздовжньої сили N і напружень σ. Розрахунок виконуємо за такою формулою:

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

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

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні вимоги охорони праці в ремонтно-обслуговуючій базі

Охорона праці в ремонтно-обслуговуючій базі СТОВ «Агрофірма “Маяк”» має бути спрямована на створення безпечних умов праці під час технічного обслуговування, діагностування та ремонту автотракторної техніки. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов’язаний забезпечити належні умови праці, безпечну експлуатацію машин, механізмів, обладнання, засобів індивідуального захисту, а також організувати навчання та інструктаж працівників [12].

Роботи з технічного обслуговування і ремонту тракторів, автомобілів та двигунів належать до робіт підвищеної небезпеки, оскільки пов’язані з використанням підіймального обладнання, пневматичних систем, електроінструменту, паливно-мастильних матеріалів, стисненого повітря та рухомих частин машин [13]. Тому організація робочих місць повинна відповідати вимогам безпечного розміщення обладнання, достатнього освітлення, вентиляції, пожежної безпеки та ергономіки.

У системі управління охороною праці доцільно використовувати ризик-орієнтований підхід, передбачений ДСТУ ISO 45001:2019. Такий підхід передбачає виявлення небезпек, оцінювання ризиків, розроблення запобіжних заходів, навчання персоналу та постійне поліпшення умов праці [14].

3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час діагностування циліндро-поршневої групи автотракторних двигунів працівники можуть зазнавати впливу таких небезпечних і шкідливих факторів:

– рухомі та обертові частини двигуна під час прокручування колінчастого вала;

– підвищений тиск у пневматичній системі під час перевірки витоку повітря;

– небезпека раптового викиду повітря, пилу, залишків пального або оливи;

– нагріті поверхні двигуна, випускного колектора та деталей системи охолодження;

– підвищений рівень шуму під час роботи двигуна або компресора;

– забруднення повітря відпрацьованими газами;

– контакт зі шкідливими речовинами: моторною оливою, дизельним пальним, мийними рідинами;

– ризик ураження електричним струмом під час використання електроінструменту та зарядного обладнання;

– травмування під час демонтажу форсунок, свічок розжарювання, трубопроводів або захисних кожухів [13, 15].

Особливу увагу слід приділяти роботам із застосуванням стисненого повітря. Перед подачею повітря до циліндра необхідно перевірити справність шлангів, з'єднань, редуктора, манометрів і запірної арматури. Забороняється використовувати пошкоджені шланги, негерметичні штуцери та манометри з простроченим терміном повірки [13].

3.3 Вимоги безпеки під час безрозбірного діагностування двигунів

Перед початком діагностування двигун необхідно встановити на рівному майданчику або на посту технічного обслуговування. Машину слід загальмувати стоянковим гальмом, під колеса встановити противідкотні упори, а важелі керування перевести в нейтральне положення. Робоча зона повинна бути очищена від сторонніх предметів, розлитих паливно-мастильних матеріалів і зайвого інструменту [13].

Під час підготовки до перевірки циліндро-поршневої групи необхідно:

– зупинити двигун і дочекатися зниження температури деталей до безпечного рівня;

– відключити подачу палива або систему запуску відповідно до методики діагностування;

– перевірити справність акумуляторної батареї та електричних з'єднань;

– демонтувати форсунку або свічку розжарювання тільки справним інструментом;

– не допускати потрапляння бруду в отвір циліндра;

– використовувати захисні окуляри та рукавиці [13, 15].

Під час перевірки витоку повітря працівник повинен стояти збоку від з'єднувальних шлангів і штуцерів, не нахилятися над отвором циліндра та не спрямовувати струмінь повітря на себе або інших працівників. Подачу повітря слід здійснювати плавно через редуктор, контролюючи показники манометра. Забороняється перевищувати допустимий тиск, передбачений конструкцією пристосування [9, 13].

Якщо під час діагностування виявлено різке падіння тиску, сторонній шум, пошкодження шланга або негерметичність з'єднання, роботу необхідно негайно припинити, скинути тиск у системі та усунути несправність. Роз'єднувати шланги або адаптери під тиском забороняється [13].

3.4 Вимоги до мікроклімату, вентиляції та освітлення

У приміщенні ремонтно-обслуговуючої бази необхідно підтримувати нормативні параметри мікроклімату. Мікроклімат виробничого приміщення визначається температурою повітря, відносною вологістю, швидкістю руху повітря та температурою навколишніх поверхонь [16]. Для ремонтних робіт важливим є недопущення переохолодження працівників у холодний період року та перегрівання влітку.

Під час роботи двигунів у закритому приміщенні має бути організоване ефективне видалення відпрацьованих газів. Для цього доцільно використовувати місцеві відсмоктувачі, гнучкі газовідвідні рукави або загальнообмінну вентиляцію. Робота двигуна в непровітрюваному приміщенні забороняється, оскільки відпрацьовані гази містять шкідливі речовини, небезпечні для здоров’я працівників [13, 15].

Освітлення поста діагностування повинно забезпечувати чітку видимість приладів, шкал манометрів, з’єднань, отворів форсунок, трубопроводів і робочої зони двигуна. Недостатнє освітлення підвищує ризик помилок під час підключення пристосування, пошкодження різьбових з’єднань і травмування рук [13].

3.5 Засоби індивідуального захисту та навчання персоналу

Працівники, які виконують діагностування циліндро-поршневої групи, повинні бути забезпечені спецодягом, захисними рукавицями, окулярами, а за потреби — протишумовими навушниками та респіраторами. Спецодяг не повинен мати звисаючих елементів, які можуть потрапити до рухомих частин двигуна [13, 15].

До виконання робіт допускаються працівники, які пройшли вступний, первинний і повторний інструктажі з охорони праці, ознайомлені з інструкцією з експлуатації пристосування, правилами роботи з пневматичним обладнанням і методикою безпечного діагностування двигунів [12, 13].

Для зниження ризику травматизму доцільно розробити локальну інструкцію з охорони праці для працівника, який виконує безрозбірне діагностування циліндро-поршневої групи автотракторних двигунів. У ній слід передбачити порядок підготовки робочого місця, підключення пристосування, подачі повітря, контролю показників, завершення роботи та дій у разі аварійної ситуації [12, 14].

3.6 Заходи щодо поліпшення умов праці

Для підвищення безпеки робіт у ремонтно-обслуговуючій базі СТОВ «Агрофірма “Маяк”» доцільно впровадити такі заходи:

– обладнати окремий пост безрозбірного діагностування двигунів;

– забезпечити пост комплектом справного інструменту, манометрами, редукторами, адаптерами та шлангами;

– передбачити місцеве видалення відпрацьованих газів;

– організувати зберігання пристосування та змінних перехідників у спеціальній шафі;

– нанести на робочому місці попереджувальні знаки щодо роботи зі стисненим повітрям;

– регулярно перевіряти справність компресора, манометрів і запобіжних клапанів;

– проводити навчання персоналу щодо безпечного використання діагностичного обладнання;

– забезпечити робоче місце первинними засобами пожежогасіння [12, 13, 14].

Виконання зазначених заходів дозволить зменшити ризик травмування працівників, підвищити культуру виробництва, скоротити простої техніки та забезпечити більш ефективне використання ремонтно-обслуговуючої бази господарства.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Економічне обґрунтування технологічної частини проєкту

До основних показників ефективності технічного обслуговування та ремонту машинно-тракторного парку належать:

– зростання продуктивності машин, а відповідно зниження витрат праці та трудомісткості виконуваних робіт;

– скорочення втрат сільськогосподарської продукції;

– зменшення витрат енергії, матеріальних ресурсів і грошових коштів;

– строк окупності додаткових капіталовкладень.

Для оцінки ефективності визначимо підвищення продуктивності праці під час виконання технічного обслуговування машинно-тракторного парку.

Витрати праці на виконання технічних обслуговувань і ремонтів МТП визначаються за такою формулою:

$$\text{Н} = \sum h_{ij} \cdot N_{ij} \tag{4.1}$$

де Н — витрати праці, год;

h_{ij} — трудомісткість *i*-го виду технічного обслуговування *j*-го трактора, год;

N_{ij} — кількість технічних обслуговувань *j*-го трактора.

Розрахунки виконані в технологічній частині проєкту. Загальні витрати праці на ремонт і технічне обслуговування машинно-тракторного парку становлять $\text{Н} = 2016{,}2$ год.

Тоді економія праці за всім комплексом робіт дорівнюватиме:

$$\text{Е}_{\text{п}} = \text{Н}_{\text{ф}} - \text{Н} \tag{4.2}$$

де $\text{Н}_{\text{ф}}$ — витрати праці в господарстві за базовий період, год.

$$\text{Е}_{\text{п}} = 2700 - 2016{,}2 = 683{,}8 \text{ год}$$

Визначимо приріст продуктивності праці:

$$\text{Р} = \frac{\text{Е}_{\text{п}} \cdot 100}{\text{Н}_{\text{ф}}} \tag{4.3}$$

$$\text{Р} = \frac{683{,}8 \cdot 100}{2700} = 23{,}7\%$$

Отже, у результаті впровадження запропонованих заходів продуктивність праці підвищиться на 23,7 %.

Експлуатаційні витрати визначаються за такою формулою:

$$S_e = З + А + С_{пмм} + С_{рто} + С_д \quad (4.4)$$

де З — заробітна плата з урахуванням нарахувань, грн;

А — амортизаційні відрахування, грн;

$С_{пмм}$ — вартість паливно-мастильних матеріалів, грн;

$С_{рто}$ — витрати на ремонт і технічне обслуговування, грн;

$С_д$ — додаткові витрати, грн.

Заробітну плату за виконання робіт з технічного обслуговування визначаємо за таким виразом:

$$З = [(П_м Т_м + П_с Т_с)Н + 0{,}3 \cdot 11 \cdot n \cdot Т_{вм}] \cdot К_н \quad (4.5)$$

де $П_м, П_с$ — коефіцієнти, що враховують розподіл обсягу робіт між майстрами-наладчиками та їхніми помічниками (слюсарями);

$Т_м, Т_с$ — погодинні тарифні ставки майстра-наладчика і допоміжного працівника відповідно, грн/год;

n — кількість майстрів, задіяних у роботі пересувних агрегатів технічного обслуговування;

$Т_{вм}$ — місячна тарифна ставка водія, грн;

$К_н$ — коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату (приймаємо $К_н = 1{,}375$).

$$З = [(0{,}3 \cdot 1{,}00 + 0{,}7 \cdot 0{,}8) \cdot 2016{,}2 + 0{,}3 \cdot 11 \cdot 1 \cdot 142{,}00] \cdot 1{,}357 = 3028{,}48 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування визначаються за формулою:

$$А = \frac{Б_с \cdot а_с + Б_о \cdot а_о + Б_п \cdot а_п}{100} \quad (4.6)$$

де $Б_с, Б_о, Б_п$ — балансова вартість відповідно споруд, обладнання та пересувних агрегатів, грн;

$а_с, а_о, а_п$ — нормативні відсотки амортизаційних відрахувань для споруд, обладнання та пересувних агрегатів відповідно.

$$А = \frac{111340 \cdot 2{,}9 + 72800 \cdot 13 + 12150 \cdot 14}{100} = 14393{,}86 \text{ грн}$$

За формулою, аналогічною формулі (4.6), визначаються відрахування на ремонт і технічне обслуговування. При цьому замість відсотків амортизаційних відрахувань підставляються нормативні відсотки витрат на ремонт і технічне обслуговування споруд, обладнання та пересувних агрегатів, які становлять відповідно 3 %, 4 % і 7 %.

$$С_{рто} = \frac{111340 \cdot 3 + 72800 \cdot 4 + 12150 \cdot 7}{100} = 7102{,}70 \text{ грн}$$

Визначимо вартість паливно-мастильних матеріалів за таким виразом:

$$С_{пмм} = Q \cdot Ц \quad (4.7)$$

де Q — нормативна витрата пального, л;

Ц — комплексна ціна пального з урахуванням витрат на масла та мастильні матеріали, грн/л.

$$С_{пмм} = 6236 \cdot 4{,}00 = 12472{,}0 \text{ грн}$$

Додаткові витрати охоплюють витрати на допоміжні матеріали ($С_м$), інвентар ($С_{інв}$), освітлення ($С_{осв}$), водопостачання ($С_в$), а також накладні витрати ($С_н$):

$$С_д = С_м + С_{інв} + С_{осв} + С_в + С_н \quad (4.8)$$

Витрати на допоміжні матеріали приймаємо на рівні 10 % від вартості основних матеріалів:

$$С_м = 2830 \cdot 0{,}1 = 283{,}00 \text{ грн}$$

Витрати на малоцінний інвентар приймаємо з розрахунку 100 грн на одного працівника:

$$С_{інв} = 4 \cdot 100 = 400{,}00 \text{ грн}$$

Витрати на освітлення визначають залежно від площі приміщення з урахуванням додаткових 15 % на чергове (вартове) освітлення:

$$С_{осв} = К_п \cdot Р_{вст} \cdot Т_{освт} \cdot Ц_е \quad (4.9)$$

де $К_п$ — коефіцієнт попиту (приймаємо $К_п = 0{,}8$);

$Р_{вст}$ — встановлена потужність освітлювальних приладів, кВт;

$Т_{освт}$ — річна тривалість використання освітлювальних приладів, год;

$Ц_е$ — вартість 1 кВт·год електричної енергії, грн.

$$С_{осв} = 0{,}8 \cdot 2{,}68 \cdot 2300 \cdot 0{,}156 = 769{,}27 \text{ грн}$$

Витрати на водопостачання для побутових потреб визначаються з розрахунку 13 грн на одного виробничого працівника та 5 грн на одного інженерно-технічного працівника:

$$С_в = 13 \cdot 4 + 5 \cdot 1 = 57{,}00 \text{ грн}$$

Накладні витрати охоплюють загальновиробничі та загальногосподарські витрати, величина яких становить 30…40 % від суми заробітної плати, амортизаційних відрахувань і витрат на ремонт та технічне обслуговування:

$$С_н = 0{,}3(З + А + С_{рто}) \quad (4.10)$$

До загальновиробничих витрат належать витрати на оплату праці допоміжного та інженерно-технічного персоналу, задіяного в експлуатації машинно-тракторного парку, а також витрати на охорону праці та техніку безпеки, канцелярські й інші супутні витрати.

До загальногосподарських витрат відносять адміністративно-управлінські та господарські витрати, пов'язані з організацією й забезпеченням експлуатації машинно-тракторного парку.

$$С_н = 0{,}3(3028{,}48 + 14393{,}86 + 7102{,}70) = 7357{,}51 \text{ грн}$$

Таким чином, додаткові витрати, розраховані за формулою (4.8), становитимуть 8866,78 грн, а експлуатаційні витрати, визначені відповідно до формули (4.5), складуть 45 863,82 грн.

Приведені витрати визначаються за таким виразом:

$$S_{прив} = S_e + e \cdot К_Д \quad (4.11)$$

де е — нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень (для сільського господарства приймається $е = 0{,}15$ [4]);

$К_Д$ — додаткові капіталовкладення на будівництво та придбання обладнання, грн.

Балансова вартість споруд і обладнання для технічного обслуговування в господарстві становить 186 640,00 грн, а за проєктом — 257 605,00 грн. Отже, величина додаткових капіталовкладень дорівнює $К_Д = 70\,965{,}00$ грн.

Тоді

$$S_{прив} = 45863{,}82 + 0{,}15 \cdot 70965{,}00 = 56508{,}57 \text{ грн}$$

Середні за останні три роки витрати на технічну експлуатацію в господарстві становлять 65 200,00 грн.

Річний економічний ефект визначається на основі порівняння приведених витрат за таким виразом:

$$Е_р = S_{прив.ф} - S_{прив.п} \quad (4.12)$$

$$Е_р = 65200{,}00 - 56508{,}57 = 8691{,}43 \text{ грн}$$

Визначимо строк окупності додаткових капіталовкладень за такою залежністю:

$$О = \frac{К_д}{Е_р} \quad (4.13)$$

$$О = \frac{70965{,}00}{8691{,}43} = 8{,}16$$

З огляду на те, що до складу додаткових капіталовкладень входить вартість об'єктів із тривалим строком амортизації (зокрема пункт діагностики, для якого він становить 25 років), отриманий строк окупності є прийнятним.

Визначимо коефіцієнт технічної готовності:

$$К_{тг} = \frac{Д_{інв} - Д_{пр}}{Д_{інв}} \quad (4.14)$$

де $Д_{інв}$ — тривалість перебування машин у господарстві протягом року, інвентарні дні;

$Д_{пр}$ — тривалість простоїв машин на ремонті, дні.

$$Д_{пр} = \left(К_{кр} \cdot Н_{кр} + К_{пр} \cdot Н_{пр}\right) \frac{N_{тр}}{7} \quad (4.15)$$

де $К_{кр}$, $К_{пр}$ — коефіцієнти охоплення відповідно капітальним і поточним ремонтом;

$Н_{кр}$, $Н_{пр}$ — річний обсяг робіт з капітального та поточного ремонту машин, год;

$N_{тр}$ — запланована кількість тракторів.

$$Д_{пр} = (0{,}2 \cdot 992 + 0{,}45 \cdot 1402) \cdot \frac{35}{7} = 1638$$

Отже, запроєктований коефіцієнт технічної готовності становитиме:

$$К_{тг} = \frac{12600 - 1638}{12600} = 0{,}87$$

Отримані результати розрахунків зведемо до підсумкової таблиці.

4.2 Розрахунок освітлення та вентиляції. Розрахунок освітлення

Розрахунок штучного освітлення виконуємо методом світлового потоку.

Вихідні дані:

Габаритні розміри поста — 12 × 6 × 5 м;

Напруга електромережі — 220 В;

Оздоблення стін і стелі — крейдове;

Розміщення обладнання — вздовж приміщення.

Приймаємо:

Світильники типу «Універсал» з розташуванням у два паралельні ряди;

Висота робочої поверхні — $Н_р$ = 1 м;

Нормована освітленість — $Е_н$ = 180 лк.

Розрахунковий світловий потік визначаємо за формулою:

$$F_{pn} = \frac{F_H \cdot Z \cdot S \cdot R}{N \cdot r} \quad (4.16)$$

де $S = 72$ м² — площа освітлюваного приміщення;

$R = 1{,}4$ — коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості внаслідок старіння ламп і забруднення світильників;

$Z = 1{,}2$ — коефіцієнт, який ураховує нерівномірність освітлення;

$r = 0{,}47$ — коефіцієнт використання світлового потоку ламп, що залежить від к.к.д. та кривої світлорозподілу світильників;

$N = 6$ — кількість світильників.

Розрахунок витяжної вентиляції:

Масове виділення оксиду вуглецю, оксидів азоту та альдегідів під час маневрування, технічного обслуговування, ремонту й регулювання двигунів у пункті технічного обслуговування та в майстернях визначається (для дизельних двигунів) за відповідною залежністю:

$$G = (160 + 13{,}5B)\ \frac{P}{100} \cdot \frac{T}{60} \tag{4.17}$$

де В — робочий об'єм циліндрів двигуна, л;

Р — об'ємна частка шкідливих речовин у відпрацьованих газах;

Т — тривалість роботи двигуна (приймається з урахуванням норм технологічного проєктування).

Масову частку (у г/кг) аерозолів свинцю, що виділяються під час роботи двигунів на етилованому бензині, визначаємо за формулою:

$$G = \frac{0{,}05 \cdot К(0{,}6 + 0{,}8В)}{1000} \cdot \frac{Т}{60} \tag{4.18}$$

де К — масовий вміст тетраетилсвинцю в бензині, г/кг.

Розрахунок природної вентиляції:

Площа прийнятого перерізу кватирки визначається в межах 2…4 % від площі підлоги приміщення.

$$S_{пр} = \frac{4 \cdot S}{100} \tag{4.19}$$

де S — площа підлоги приміщення, м².

$$S_{пр} = \frac{4 \cdot 72}{100} = 2{,}88$$

4.3 Розрахунок витрат на виготовлення пристрою

Витрати на виготовлення конструкції визначаються за формулою:

$$С_{виг} = С_{м} + С_{пв} + С_{зп} + С_{н} + С_{пр} \tag{4.20}$$

де $С_м$ — вартість матеріалів, грн;

$С_{пв}$ — вартість виробів, що підлягають закупівлі, грн;

$С_{зп}$ — заробітна плата, грн;

$С_н$ — нарахування на заробітну плату, грн;

$С_{пр}$ — накладні витрати, грн.

Орієнтовну вартість матеріалів допускається визначати за такою формулою:

$$С_м = G_м \cdot С_м \quad (4.21)$$

де $G_м$ — загальна маса матеріалу, кг;

$С_м$ — ціна матеріалу, грн.

$$С_м = 5 \cdot 1{,}80 = 9 \text{ грн}$$

Для виготовлення компресиметра необхідно придбати два манометри зі шкалою вимірювання 0…10 МПа, а також редуктор тиску.

$$С_{пв} = 2 \cdot С_{ман} + С_{ред} \quad (4.22)$$

$$С_{пв} = 2 \cdot 15 + 65 = 95 \text{ грн}$$

Заробітну плату на виготовлення пристрою визначаємо з урахуванням видів виконуваних робіт, тарифних ставок і коефіцієнтів доплат. Отримані результати розрахунків подаємо в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Тарифна заробітна плата

Види робіт	Розряд роботи	Трудомісткість, год.	Годинна ставка, грн./год.	Тарифна заробітна плата, грн.
Токарні роботи	IV	6.5	4.2	5.26
Фрезерні роботи	IV	1.5	4.2	1.21
Свердлильні роботи	III	1.5	3.9	1.08
Зварювальні роботи	VI	3.5	3.4	4.20
Слюсарні роботи	III	2.0	3.9	1.44
Збирання і налагодження	V	6.5	4.5	5.98
Всього:		21.5		19.17

Таким чином, загальна сума заробітної плати становитиме:

$$С_{зп} = С_т \cdot К_р \cdot К_{пд} \cdot К_д \quad (4.23)$$

де $С_т$ — тарифна ставка, грн;

$К_р$ — районний коефіцієнт (приймаємо $К_р = 1{,}03$);

$К_{пд}$ — коефіцієнт, що враховує премії та доплати ($К_{пд} = 1{,}22$);

$К_д$ — коефіцієнт додаткової оплати ($К_д = 1,062$).

$$С_{зп} = 19,17 \cdot 1,03 \cdot 1,22 \cdot 1,062 = 25,58 \text{ грн}$$

Накладні витрати приймаємо на рівні 150 % від загальної суми заробітної плати.

$$С_{нр} = 25,58 \cdot 1,5 = 38,37 \text{ грн}$$

Нарахування на заробітну плату та державне соціальне страхування становлять 51 %.

Отже

$$С_н = 38,37 \cdot 0,51 = 19,57 \text{ грн}$$

Загальні витрати на виготовлення пристрою зведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Загальні витрати на виготовлення пристрою

Статті витрат	Сума	
		%
Вартість матеріалів	9,00	4,9
Вартість закуплених виробів	95,00	52,3
Тарифна заробітна плата	19,70	10,8
Накладні витрати	38,37	21,1
Нарахування на заробітну плату	19,57	10,8
Всього витрат	181,64	100

4.4 Розрахунок витрат на експлуатацію пристрою

До складу експлуатаційних витрат входять амортизаційні відрахування, витрати на технічне обслуговування і ремонт пристрою, вартість матеріалів, паливно-мастильних матеріалів, заробітна плата обслуговуючого персоналу, витрати на електроенергію, водопостачання, послуги автотранспорту та інші супутні витрати.

Для даного пристрою експлуатаційні витрати становлять:

$$С_{експ} = А + Р + С_{зп} + С_{ел} + С_{нр} \quad (4.24)$$

де А — амортизаційні відрахування, грн;

Р — витрати на технічне обслуговування та ремонт, грн;

$С_{зп}$ — заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн;

$С_{ел}$ — вартість спожитої електроенергії, грн;

$С_{нр}$ — накладні витрати, грн.

Загальні амортизаційні відрахування визначаються за такою залежністю:

$$А = \frac{Б_{пр} \cdot \alpha'}{100} \quad (4.25)$$

де $Б_{пр}$ — балансова вартість пристрою, грн;

α' — норма амортизаційних відрахувань (приймаємо $\alpha' = 20\ \%$).

$$А = \frac{181{,}64 \cdot 20}{100} = 36{,}33 \text{ грн}$$

Витрати на технічне обслуговування та ремонти визначаються так:

$$Р = \frac{Б_{пр} \cdot \alpha''}{100} \quad (4.26)$$

де α'' — норматив відрахувань на технічне обслуговування та ремонти (приймаємо $\alpha'' = 8\ \%$).

$$Р = \frac{181{,}64 \cdot 8}{100} = 14{,}53 \text{ грн}$$

Вартість електроенергії, необхідної для експлуатації пристрою, визначаємо за формулою:

$$С_{ел} = W_{ел} \cdot С_{ел} \quad (4.27)$$

де $W_{ел}$ — потреба в електроенергії, кВт·год;

$С_{ел}$ — вартість 1 кВт·год електроенергії, грн (приймаємо $С_{ел} = 0{,}40$ грн).

Оскільки діагностування циліндро-поршневої групи двигуна виконується під час проведення ТО-2 з використанням запропонованого пневматичного калібратора, кількість операцій із застосуванням даного пристрою становить 27. З урахуванням поточних ремонтів, що складають близько 20 % від загальної кількості автомобілів марки ГАЗ, загальна кількість таких операцій дорівнює:

$$N_{оп} = 27 + 4 = 31 \text{ операція}$$

Трудомісткість однієї операції з діагностування циліндро-поршневої групи двигуна становить 30…40 хв, або 0,5…0,66 год. Отже, сумарна тривалість використання пристрою дорівнюватиме:

$$Т_{оп1} = N_{оп} \cdot t_1 \quad (4.28)$$

де t_1 — трудомісткість виконання однієї операції, год.

$$Т_{оп1} = 31 \cdot 0{,}66 = 20{,}46 \text{ год}$$

Отже, з урахуванням потужності компресорної установки 3 кВт, загальна потреба в електроенергії становитиме:

$$W_{ел} = Т_{оп1} \cdot W_k \quad (4.29)$$

де W_k — потужність компресорної установки, кВт.

$$W_{ел} = 20{,}46 \cdot 3 = 61{,}38$$

Отже

$$С_{ел} = 61,38 \cdot 0,40 = 24,5 \text{ грн}$$

Діагностування циліндро-поршневої групи у разі виконання його вручну здійснюється після повного розбирання двигуна і потребує 4,5…5 год. У такому випадку річна трудомісткість робіт з діагностування циліндро-поршневої групи становитиме:

$$Т_{р2} = 31 \cdot 5 = 155 \text{ год}$$

Витрати на оплату праці визначаємо за таким виразом:

$$С_{зп} = Т_{р1} \cdot f \cdot К_{дот} \quad (4.30)$$

де $Т_{р1}$ — річний обсяг робіт, що виконується із застосуванням пристрою, год;

f — погодинна тарифна ставка одного працівника, грн;

$К_{дот}$ — коефіцієнт, який ураховує всі види доплат.

$$С_{зп} = 20,46 \cdot 3,4 \cdot 1,4 = 20,62 \text{ грн}$$

Накладні витрати приймаємо на рівні 30 % від суми заробітної плати, амортизаційних відрахувань та витрат на технічне обслуговування і ремонти.

$$С_{нр} = (20,46 + 36,33 + 14,53)0,3 = 21,44 \text{ грн}$$

Отже, загальні експлуатаційні витрати становитимуть:

$$С_{експ} = 36,33 + 14,53 + 20,62 + 6,75 + 21,44 = 99,67 \text{ грн}$$

Для проведення економічної оцінки конструкторської розробки пневматичного калібратора всі отримані в результаті попередніх розрахунків дані зводимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Вихідні дані для конструкторської розробки

Найменування показників	Значення показників	
		З пристроєм
Вартість виготовлення, грн.	-	181,64
Затрати на експлуатацію, грн.	-	99,67
В т.ч. заробітна плата	175,77	20,62
амортизація	-	36,33
вартість електроенергії	-	6,75
витрати на ТО, ремонт	-	14,53
накладні витрати	-	21,64
Обсяг робіт, год.	155	20,46

Заробітна плата під час виконання діагностування циліндро-поршневої групи ручним способом становить:

$$С_{зпвр} = 155 \cdot 0,81 \cdot 1,4 = 175,77 \text{ грн}$$

Зменшення витрат праці за всім обсягом робіт у разі застосування запропонованого пристрою становить:

$$\Delta T = T_ф - T_{пр} \quad (4.31)$$

$$\Delta T = 155 - 20{,}46 = 134{,}54 \text{ год}$$

Продуктивність праці становитиме:

– за умови виконання робіт вручну:

$$П_{вр} = \frac{N_{оп.вр}}{T_ф} \quad (4.32)$$

де $N_{оп.вр}$ — кількість операцій, що виконуються вручну.

$$П_{вр} = \frac{31}{155} = 0{,}2$$

– при виконанні робіт із застосуванням пристрою:

$$П_{пр} = \frac{N_{оп.пр}}{T_ф} \quad (4.33)$$

де $N_{оп.пр}$ — кількість операцій, що виконуються із застосуванням пристрою.

$$П_{пр} = \frac{31}{20{,}46} = 1{,}5$$

Приріст продуктивності праці визначається як:

$$\Delta П = \frac{П_{пр} - П_{вр}}{П_{вр}} 100\% \quad (4.34)$$

$$\Delta П = \frac{1{,}5 - 0{,}2}{0{,}2} 100 = 650\%$$

Економії за експлуатаційними витратами під час виконання операцій не спостерігається, оскільки застосування пристрою є дорожчим порівняно з ручним способом виконання робіт на 5,87 грн. Проте використання пристрою забезпечує скорочення простоїв автомобілів на 134,54 год, що, у свою чергу, відображається у вигляді річної економії:

$$E_р = \Delta T \cdot S_{пр} \quad (4.35)$$

де $S_{пр}$ — збитки від простою вантажного автомобіля за 1 годину, грн (у середньому 15 грн/год).

$$E_р = 134{,}54 \cdot 15 = 2018{,}1 \text{ грн}$$

Строк окупності пристрою визначаємо за такою формулою:

$$T_{ок} = \frac{К_{пр}}{E_р} \quad (4.36)$$

де $К_{пр}$ — додаткові капіталовкладення, тобто вартість пристрою, грн.

$$Т_{ок} = \frac{181,64}{2018,1} = 0,1$$

Аналіз виконаних розрахунків дає змогу зробити такі висновки: запропонований пристрій для безрозбірної перевірки циліндро-поршневої групи двигуна ЗМЗ-53 за витратою повітря через нещільності — пневматичний калібратор — повністю відповідає всім вимогам, що висуваються до процесу діагностування циліндро-поршневої групи. Вартість виготовлення пристрою в умовах майстерні є незначною та становить 181,64 грн, а експлуатаційні витрати — 99,67 грн. У результаті його використання забезпечується річна економія коштів у розмірі 2018,1 грн, а строк окупності пристрою складає лише 0,1 року.

Упровадження пневматичного калібратора дозволяє зменшити трудомісткість діагностування циліндро-поршневої групи на 134,54 год, а також суттєво підвищити ефективність і оперативність проведення діагностичних робіт.

ВИСНОВОК

Дане господарство за своїми масштабами належить до середніх. У його складі експлуатується понад 40 тракторів, близько 20 комбайнів та значна кількість іншої сільськогосподарської техніки. Водночас система технічного обслуговування в господарстві організована недостатньо ефективно.

Для підвищення продуктивності машинно-тракторного парку та зменшення витрат на його експлуатацію доцільно:

– здійснювати технічне обслуговування тракторів, комбайнів і сільськогосподарських машин відповідно до розробленого плану-графіка;

– підвищити якість виконання технічного обслуговування за рахунок використання обладнання, передбаченого для поста діагностики та ТО;

– організувати заправку сільськогосподарської техніки нафтопродуктами закритим способом, що сприятиме підвищенню надійності та довговічності паливної апаратури.

Реалізація зазначених заходів дозволить підвищити коефіцієнт технічної готовності машинно-тракторного парку з 0,84 до 0,87, збільшити річне напрацювання тракторів, знизити витрати на технічну експлуатацію з 1,78 грн/у.е.га до 1,6 грн/у.е.га та отримати загальний економічний ефект у розмірі 9400 грн за строку окупності 1,85 року.

Застосування пристрою для безрозбірної діагностики поршневої групи тракторів типу Т-150 забезпечить додатковий економічний ефект у сумі 119,9 грн при терміні окупності близько 60 днів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. СТОВ «Агрофірма “Маяк”». YouControl : вебсайт. URL: https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/03793159/ (дата звернення: 28.04.2026).

2. СТОВ «Агрофірма “Маяк”», ЄДРПОУ 03793159. Opendatabot : вебсайт. URL: https://opendatabot.ua/c/03793159 (дата звернення: 28.04.2026).

3. Агрофірма “Маяк”. Elevatorist.com : вебсайт. URL: https://elevatorist.com/kompanii/612-agrofirma-mayak-pischane(дата звернення: 28.04.2026).

4. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі : навч. посіб. / за ред. В. М. Бойка. Київ : Аграрна освіта, 2017. 432 с.

5. Ремонт машин та обладнання : підручник / О. І. Сідашенко, О. А. Науменко, А. Я. Поліський та ін. Харків : Міськдрук, 2014. 744 с.

6. Технологія технічного обслуговування і ремонту машин : навч. посіб. / В. І. Д’яков, М. Г. Березовий, С. П. Погорілий. Київ : Вища освіта, 2016. 368 с.

7. Діагностування технічного стану машин : навч. посіб. / В. М. Павленко, О. В. Гнатенко. Харків : ХНАДУ, 2019. 284 с.

8. Експертна оцінка технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна. Вісник машинобудування та транспорту. 2021. № 1(13). С. 135–142. URL: https://vmt.vntu.edu.ua/index.php/vmt/article/download/248/222/362 (дата звернення: 28.04.2026).

9. Спосіб діагностування технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згоряння : патент України на корисну модель. URL: https://sis.nipo.gov.ua/media/UTILITY_MOD/2024/u202405868/100_161803-%D0%9A_A_UA.pdf (дата звернення: 28.04.2026).

10. Bosch Automotive Handbook. 10th ed. Karlsruhe : Robert Bosch GmbH, 2018. 1750 p.

11. ALLDATA. Cylinder Leak-Down Testing. ALLDATA Technical Document. 2019. URL: https://www.alldata.com/sites/default/files/file-attachments/cylinder_leak-down_testing_011019.pdf (date of access: 28.04.2026).

12. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. Верховна Рада України : офіц. вебпортал. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12 (дата звернення: 28.04.2026).

13. Про затвердження Правил охорони праці на автомобільному транспорті : наказ МНС України від 09.07.2012 № 964. Верховна Рада України : офіц. вебпортал. URL:

https://zakon.rada.gov.ua/go/z1299-12 (дата звернення: 28.04.2026).

14. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров’я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 45 с.

15. ДСТУ 7239:2011. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 12 с.

16. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/va042282-99 (дата звернення: 28.04.2026).

17. Heywood J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd ed. New York : McGraw-Hill Education, 2018. 1056 p.

18. Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines. 4th ed. London : Palgrave Macmillan, 2012. 516 p.