

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Загородній Дмитро Олександрович

УДК 629.33.083:621.436.038:631.3.07

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Підвищення ефективності технічного обслуговування
автомобілів з модернізацією стенда для діагностики**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Загородній Д.О.

Керівник роботи

Міненко С.В.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Загородній Дмитро Олександрович. Підвищення ефективності технічного обслуговування автомобілів з модернізацією стенда для діагностики. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності технічного обслуговування автомобілів у складі машинно-тракторного парку сільськогосподарського підприємства. Для проєктного підприємства зони Полісся з площею орних земель 5000 га підібрано сучасний машинно-тракторний парк, що включає трактори, комбайни, ґрунтообробну, посівну, транспортну та допоміжну техніку. Виконано розрахунок трудомісткості ремонтно-обслуговувальних робіт і складено графік завантаження машинно-ремонтної майстерні протягом року. Окрему увагу приділено організації технічного обслуговування сучасного вантажного автомобіля, який використовується для транспортного забезпечення виробничих процесів підприємства. У конструктивній частині роботи обґрунтовано необхідність модернізації стенда для діагностики паливних систем дизельних двигунів типу Common Rail. Запропоноване технічне рішення дає змогу підвищити точність діагностування, скоротити час пошуку несправностей і зменшити витрати на ремонт автомобілів. У роботі наведено конструктивні та технологічні розрахунки основних елементів діагностичного пристрою, а також обґрунтовано його працездатність і доцільність використання в умовах майстерні. Техніко-економічні розрахунки підтвердили ефективність проєктних рішень, що проявляється у зменшенні простоїв техніки, економії коштів на діагностиці та скороченні строку окупності модернізованого обладнання.

Ключові слова: технічне обслуговування, автомобіль, машинно-ремонтна майстерня, діагностика, Common Rail, економічна ефективність.

ANNOTATION

Dmytro Oleksandrovykh Zagorodniy. Improving the efficiency of vehicle maintenance through the modernisation of a diagnostic test bench. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This thesis examines ways of improving the efficiency of vehicle maintenance within the machinery and tractor fleet of an agricultural enterprise. For a model enterprise in the Polissya region with 5,000 hectares of arable land, a modern fleet of machinery and tractors has been selected, comprising tractors, combine harvesters, soil cultivation, sowing, transport and auxiliary equipment. The labour intensity of repair and maintenance work has been calculated, and a workload schedule for the machinery repair workshop has been drawn up for the year. Particular attention has been paid to the organisation of maintenance for a modern lorry used to provide transport support for the enterprise's production processes. The design section of the thesis justifies the need to modernise the test bench for diagnosing fuel systems in Common Rail diesel engines. The proposed technical solution makes it possible to improve diagnostic accuracy, reduce fault-finding time and lower vehicle repair costs. The thesis presents design and technical calculations for the main components of the diagnostic device, and justifies its operational capability and suitability for use in a workshop environment. Technical and economic calculations have confirmed the effectiveness of the design solutions, as evidenced by reduced equipment downtime, savings on diagnostic costs and a shorter payback period for the upgraded equipment.

Keywords: maintenance, motor vehicle, repair workshop, diagnostics, Common Rail, cost-effectiveness.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ПРОЄКТУВАННЯ МАШИННО-РЕМОНТНОЇ МАЙСТЕРНІ ПРОЄКТНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	8
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ АВТОМОБІЛІВ.....	23
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ.....	36
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасний розвиток аграрного виробництва безпосередньо пов'язаний із ефективним використанням машинно-тракторного парку, автомобільного транспорту та ремонтно-обслуговувальної бази підприємства. В умовах інтенсивного ведення сільського господарства своєчасне виконання технологічних операцій значною мірою залежить від технічного стану тракторів, комбайнів, автомобілів, ґрунтообробних, посівних і транспортних агрегатів. Особливо важливе значення має підтримання справності вантажних автомобілів, які забезпечують перевезення насіння, добрив, паливно-мастильних матеріалів, сільськогосподарської продукції та запасних частин.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена тим, що значна частина простоїв автомобілів і сільськогосподарської техніки виникає через несвоєчасне або недостатньо якісне технічне обслуговування та діагностування. Сучасні вантажні автомобілі обладнані складними електронними системами керування, дизельними двигунами з паливними системами високого тиску типу Common Rail, електронними датчиками та виконавчими механізмами. Це потребує використання спеціалізованого діагностичного обладнання, яке дозволяє швидко визначати технічний стан вузлів і агрегатів без зайвого демонтажу.

У сільськогосподарських підприємствах з великими площами орних земель, зокрема в умовах зони Полісся, навантаження на машинно-тракторний парк має виражений сезонний характер. У періоди сівби, догляду за посівами, збирання врожаю та транспортування продукції техніка працює з підвищеною інтенсивністю, тому будь-яка несправність автомобіля чи агрегату може призвести до порушення строків виконання робіт і зростання виробничих витрат. У зв'язку з цим важливим завданням є раціональна організація роботи машинно-ремонтної майстерні та впровадження ефективних засобів технічного діагностування.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності технічного обслуговування автомобілів сільськогосподарського підприємства шляхом удосконалення організації ремонтно-обслуговувальних робіт і модернізації стенда для діагностики.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**: підібрати склад сучасного машинно-тракторного парку для проектного сільськогосподарського підприємства зони Полісся; виконати розрахунок трудомісткості робіт із технічного обслуговування та ремонту машин; скласти графік завантаження машинно-ремонтної майстерні; розглянути особливості технічного обслуговування сучасного вантажного автомобіля; проаналізувати існуюче діагностичне обладнання для перевірки систем дизельних двигунів; обґрунтувати модернізацію стенда для діагностики; виконати техніко-економічну оцінку запропонованих проектних рішень.

Об'єктом дослідження є процес технічного обслуговування та діагностування автомобілів у складі машинно-тракторного парку сільськогосподарського підприємства.

Предметом дослідження є організаційні, технологічні та конструктивні рішення, спрямовані на підвищення ефективності технічного сервісу автомобілів і зменшення витрат на їх ремонт.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Міненко С.В., Хоменко С.М., Загородній Д.О., Мішута В.Д., Приднюк О.М. Особливості технічного сервісу сільськогосподарської техніки в країнах європейського союзу. Матеріали VI Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». URL: https://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/minenko_26-2.pdf (дата звернення: 11.06.2020).

2. Савченко В.М., Гайбу В.В., Загородній Д.О., Хоменко С.М., Сторожинський І.І. Система технічного обслуговування і ремонту техніки в АПК: підходи, проблеми та шляхи вдосконалення. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку

конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 104-105.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані рішення можуть бути використані під час організації роботи машинно-ремонтної майстерні сільськогосподарського підприємства, а також при вдосконаленні діагностичного обладнання для перевірки технічного стану паливних систем дизельних двигунів. Модернізація стенда для діагностики дає змогу скоротити час пошуку несправностей, зменшити простої автомобілів, підвищити якість технічного обслуговування та забезпечити більш раціональне використання ремонтної бази підприємства.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 25 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 50 сторінок комп'ютерного тексту, містить 20 рисунків, 18 таблиць та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1

ПРОЄКТУВАННЯ МАШИННО-РЕМОНТНОЇ МАЙСТЕРНІ ПРОЄКТНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Виробнича характеристика проєктного підприємства зони

Полісся

Проектне сільськогосподарське підприємство розміщується в зоні Полісся. Для цієї природно-кліматичної зони характерні дерново-підзолисті та сірі лісові ґрунти, підвищена вологозабезпеченість, короткий період польових робіт порівняно з Лісостепом, а також значна залежність якості технологічних операцій від своєчасності виходу техніки в поле. Тому система технічного обслуговування повинна мати високий рівень оперативності, запас ремонтної потужності в пікові періоди та можливість виконувати діагностування без тривалого простою машин.

Площа орних земель прийнята 5000 га. Основний напрям виробництва – вирощування зернових, олійних і кормових культур із часткою культур, типових для Полісся, зокрема жита, тритикале, картоплі, гречки та багаторічних трав. Така структура посівів формує нерівномірне сезонне навантаження на машинно-тракторний парк: найбільша інтенсивність роботи припадає на весняний посівний період, збирання зернових і осінній обробіток ґрунту.

Для забезпечення ритмічної роботи господарства машинно-ремонтна майстерня повинна виконувати поточне технічне обслуговування тракторів, комбайнів, самохідних обприскувачів, вантажних автомобілів, посівної та ґрунтообробної техніки. Окреме значення має діагностика автомобілів і дизельної паливної апаратури, оскільки сучасні вантажні автомобілі, задіяні на перевезенні зерна, насіння, добрив і пального, обладнуються електронними системами керування, Common Rail, системами нейтралізації відпрацьованих газів та розвиненою CAN-мережею.

Таблиця 1.1 – Орієнтовна структура посівних площ проєктного підприємства

Культура	Площа, га	Частка, %	Основні операції, що формують навантаження на МТП
Озима пшениця	900	18.0	обробіток ґрунту, сівба, внесення добрив, захист, збирання, перевезення
Жито/тритикале	500	10.0	обробіток ґрунту, сівба, внесення добрив, захист, збирання, перевезення
Кукурудза	1100	22.0	обробіток ґрунту, сівба, внесення добрив, захист, збирання, перевезення
Ріпак	550	11.0	обробіток ґрунту, сівба, внесення добрив, захист, збирання, перевезення
Соя	700	14.0	обробіток ґрунту, сівба, внесення добрив, захист, збирання, перевезення
Картопля	250	5.0	обробіток ґрунту, сівба, внесення добрив, захист, збирання, перевезення
Гречка/овес	400	8.0	обробіток ґрунту, сівба, внесення добрив, захист, збирання, перевезення
Кормові культури	600	12.0	обробіток ґрунту, сівба, внесення добрив, захист, збирання, перевезення
Разом	5000	100,0	–

Структура посівних площ підприємства, 5000 га

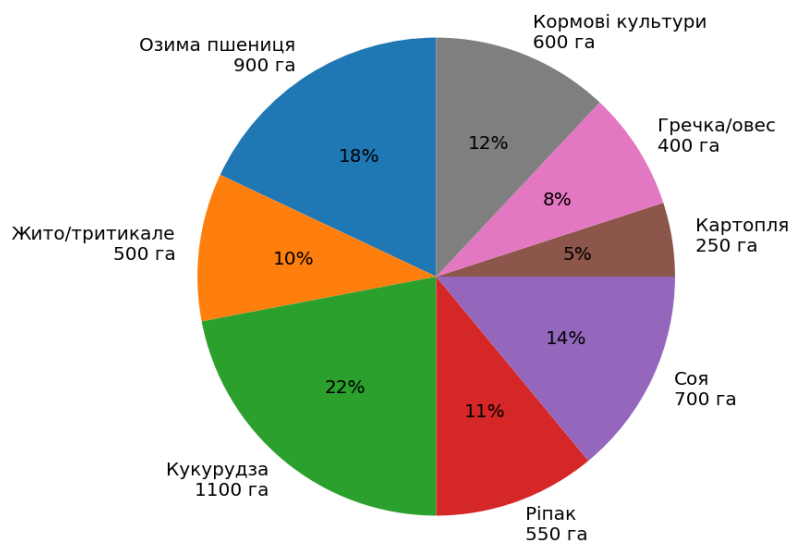


Рис. 1.1. Структура посівних площ підприємства.

1.2 Обґрунтування складу машинно-тракторного парку.

Підбір машинно-тракторного парку виконано з урахуванням площі 5000 га, потреби у виконанні робіт у стислі агротехнічні строки, сучасного рівня

енергонасиченості машин і можливості застосування широкозахватних агрегатів. Для Полісся важливими є висока прохідність, можливість роботи на перезволожених ґрунтах, економічність двигунів і наявність електронних систем контролю, які полегшують планування технічного сервісу.

У складі парку доцільно передбачити високопотужні трактори для основного обробітку ґрунту та важких посівних агрегатів, трактори середнього класу для культивуації, внесення добрив і транспортних операцій, універсальні трактори для допоміжних робіт, сучасні зернозбиральні комбайни, самохідні обприскувачі, посівні комплекси, ґрунтообробні агрегати, причепи та вантажні автомобілі. Окрема група – сервісні автомобілі й мобільна майстерня, які забезпечують усунення дрібних відмов без перегону техніки до центральної майстерні.

До складу автомобільного парку включено вантажні автомобілі підвищеної вантажопідйомності та тягачі з напівпричепами. Вони використовуються для перевезення зерна від комбайнів до складів, доставки насіння, мінеральних добрив, засобів захисту рослин, запасних частин і пального. Саме автомобілі створюють значну частку щоденного експлуатаційного навантаження на майстерню, тому тема модернізації діагностичного стенда безпосередньо пов'язана з організацією технічного сервісу підприємства.

Таблиця 1.2 – Підібраний склад машинно-тракторного парку для підприємства площею 5000 га

Група техніки	Марка, модель	Кількість, од.	Основна характеристика	Призначення
Високопотужні трактори	John Deere 8R 410	3	двигун 9,0 л, номінальна потужність близько 410 hp	оранка, глибоке розпушування, широкозахватна сівба
Високопотужні трактори	CLAAS AXION 950	3	клас 400 к.с., автоматизоване керування трансмісією	важкі польові роботи, транспортування
Середні трактори	John Deere 6R 250	4	клас 250 к.с., навігація та ISOBUS	культивуація, внесення добрив, сівба

Продовження таблиці 1.2

Середні трактори	Fendt 724 Vario	3	клас 240 к.с., безступенева трансмісія	універсальні польові та транспортні роботи
Універсальні трактори	New Holland T5.120 / аналог	4	клас 110–120 к.с.	внутрішньогосподарські та допоміжні роботи
Зернозбиральні комбайни	CLAAS LEXION 8700	2	до 646 hp, зерновий бункер до 18 000 л	збирання зернових, ріпаку, кукурудзи
Зернозбиральні комбайни	John Deere S780 / New Holland CR8.90	2	роторна система обмолоту, бункер 12–14 тис. л	збирання зернових і олійних культур
Самохідні обприскувачі	AMAZONE Pantera 4504	2	бак 4500 л, штанга 21–48 м	захист рослин та підживлення
Посівні комплекси	HORSCH Pronto 9 DC	2	робоча ширина 9,0 м, бункер до 6000 л	сівба зернових і ріпаку
Ґрунтообробна техніка	Väderstad Carrier XL 925, Horsch Tiger, Lemken Diamant	10	робоча ширина 5–9,25 м	луцення, дискування, розпушування, оранка
Причепи та перевантажувачі	зерновози, бункери-перевантажувачі, платформи	16	вантажопідйомність 12–30 т	внутрішньогосподарська логістика
Вантажні автомобілі	MAN TGS 26.480 6×4, Volvo FH 460, Mercedes-Benz Arocs	7	дизельні двигуни Euro 6, електронне керування, Common Rail	перевезення зерна, добрив, пального, матеріалів
Сервісна техніка	пікапи, фургони, мобільна майстерня	5	інструмент, компресор, діагностичний сканер	виїзний технічний сервіс

1.3 Розрахунок річної трудомісткості робіт з технічного обслуговування і ремонту

Річний обсяг робіт машинно-ремонтної майстерні визначено за групами техніки. У розрахунку враховано планове технічне обслуговування, сезонне обслуговування, діагностику, поточний ремонт, підготовку машин до зберігання та роботи з відновлення окремих вузлів. Для попереднього проектування майстерні доцільно використовувати укрупнені нормативи трудомісткості, скориговані з урахуванням сучасної енергонасиченої техніки, складності електронних систем і потреби в комп'ютерній діагностиці.

Розрахунок виконуємо за залежністю:

$$T_p = \sum(n_i \cdot t_i), \text{ люд.-год,} \quad (1.1)$$

де T_p – річна трудомісткість робіт майстерні, люд.-год; n_i – кількість машин i -ї групи; t_i – прийнята річна трудомісткість технічного обслуговування і ремонту однієї машини відповідної групи, люд.-год.

Для вантажних автомобілів річну трудомісткість уточнюють за пробігом: планові ТО залежать від міжсервісного інтервалу, а поточний ремонт – від умов експлуатації, запиленості, перевантажень, роботи на коротких плечах і кількості пусків двигуна. Для тракторів і комбайнів основним показником є річне напрацювання в мотогодинах та обсяг сезонної підготовки.

Таблиця 1.3 – Розрахунок річної трудомісткості робіт майстерні

Група машин	Кількість, од.	Прийнята трудомісткість на 1 машину, люд.-год/рік	Загальна трудомісткість, люд.-год/рік	Частка, %
Трактори високої потужності	6	520	3120	17.0
Трактори середньої потужності	7	390	2730	14.9
Універсальні трактори	4	270	1080	5.9
Зернозбиральні комбайни	4	650	2600	14.2
Самохідні обприскувачі	2	360	720	3.9
Причіпні посівні та ґрунтообробні агрегати	26	110	2860	15.6
Вантажні автомобілі	7	340	2380	13.0
Легкові та сервісні автомобілі	5	130	650	3.6
Діагностика, зварювання, відновлення деталей, непередбачені роботи	—	—	2160	11.8
Разом	—	—	18300	100,0

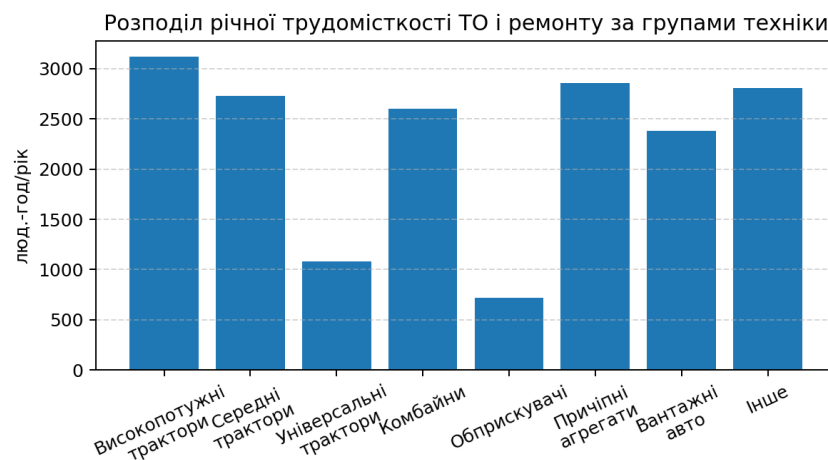


Рис. 1.2. Розподіл трудомісткості ТО і ремонту за групами техніки.

Отже, річний обсяг робіт майстерні приймається $T_p = 18\,300$ люд.-год. Найбільша частка припадає на трактори, комбайни, причіпні агрегати та вантажні автомобілі. Висока частка автомобільного парку пояснюється значним сезонним пробігом під час збирання врожаю, перевезенням добрив і роботою на внутрішньогосподарських дорогах, де навантаження на підвіску, гальмівну систему й трансмісію збільшується.

Для розрахунку кількості виробничих робітників використовуємо ефективний фонд часу одного робітника. Номінальний річний фонд за однозмінної роботи приймається 1840 год. З урахуванням відпусток, лікарняних, підготовчо-заключного часу та коефіцієнта використання робочого часу 0,85 ефективний фонд становить:

$$F_{\text{еф}} = 1840 \cdot 0,85 = 1564 \text{ год/рік.}$$

$$N_p = T_p / F_{\text{еф}} = 18300 / 1564 = 11,7 \approx 12 \text{ робітників.}$$

Для забезпечення стабільної роботи майстерні приймаємо 12 основних виробничих робітників. У пікові періоди, насамперед у листопаді–грудні та частково в лютому–березні, передбачаються сезонні надурочні роботи або залучення 2–4 тимчасових працівників для мийних, розбирально-складальних і допоміжних операцій.

Таблиця 1.4 – Рекомендований склад виробничих працівників майстерні

Професія / робоче місце	Кількість працівників	Основні функції
Слюсарі з ремонту тракторів і комбайнів	5	ТО, поточний ремонт, заміна вузлів, підготовка до сезону
Слюсарі з ремонту автомобілів	2	ТО вантажних автомобілів, ремонт ходової, гальм, трансмісії
Діагност-електрик	1	OBD/CAN-діагностика, датчики, електронні системи, АКБ
Спеціаліст паливної апаратури	1	Common Rail, перевірка форсунок, насоса, тиску та зворотного зливу
Зварник	1	ремонт рам, кронштейнів, причепів, навісного обладнання
Верстатник / слюсар механічної ділянки	1	токарні, свердлильні, дрібні відновлювальні роботи
Шиномонтажник-акумуляторник	1	шини, колеса, акумулятори, допоміжні роботи
Разом	12	—

1.4 Графік завантаження майстерні та організація ремонтного процесу

Завантаження машинно-ремонтної майстерні протягом року є нерівномірним. У весняно-літній період значна частина робіт виконується безпосередньо в полі або на місці експлуатації, тому в майстерні переважають термінові ремонти, діагностика та заміна швидкозношуваних деталей. Основний плановий ремонт тракторів, ґрунтообробної та посівної техніки доцільно переносити на пізню осінь і зиму.

Для підприємства площею 5000 га прийнято такий розподіл річної трудомісткості: у листопаді та грудні виконуються капітальні підготовчі роботи, дефектування, відновлення деталей і поглиблена діагностика; у січні–березні завершується ремонт посівної техніки, тракторів і вантажних автомобілів; у квітні–жовтні основний акцент робиться на поточне обслуговування, експрес-діагностику, ремонт у польових умовах та підтримання готовності автомобільного транспорту.

Таблиця 1.5 – Помісячний розподіл завантаження майстерні

Місяць	Трудомісткість, люд.-год	Характер робіт
Січ	1450	зимовий ремонт тракторів і агрегатів
Лют	1600	підготовка до посівної, ремонт автомобілів
Бер	1750	завершення підготовки посівної техніки
Кві	1100	поточне ТО під час весняних робіт
Тра	950	експрес-діагностика і виїзний сервіс
Чер	1000	поточний ремонт, підготовка до жнив
Лип	1250	сервіс комбайнів і зерновозів
Сер	1350	жнива, ремонт автомобілів і причепів
Вер	1050	підготовка до осіннього обробітку
Жов	1300	післясезонне обслуговування
Лис	2700	основний ремонт і дефектування
Гру	2800	основний ремонт, відновлення деталей
Разом	18300	–

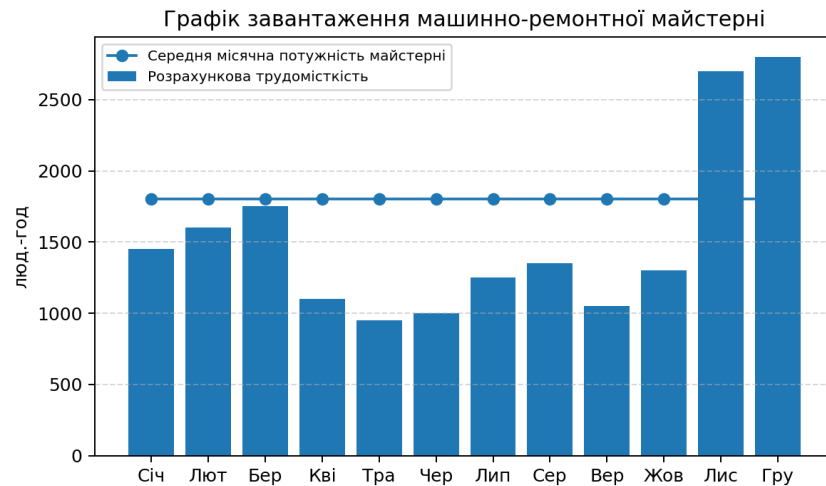


Рис. 1.3. Річний графік завантаження машинно-ремонтної майстерні.

Із графіка видно, що середня місячна потужність майстерні за 12 основних робітників становить близько 1800 люд.-год. У листопаді та грудні розрахункова потреба перевищує середню потужність, тому для вирівнювання завантаження запропоновано частину робіт з дефектування та закупівлі запасних частин виконувати ще у вересні–жовтні, а ремонт причіпних агрегатів і автомобілів розподіляти між зимовими місяцями.

Організаційно ремонтний процес доцільно побудувати за потоково-постовою схемою: приймання машини, мийка, первинна діагностика, дефектування, виконання ТО або ремонту, контроль якості, оформлення технічної карти й видача техніки в експлуатацію. Для машин, що не потребують повного ремонту, передбачено короткий маршрут: приймання – експрес-діагностика – регулювання – контрольний запуск – видача.



Рис. 1.4. Планувальна схема машинно-ремонтної майстерні.

1.5 Визначення складу ділень та площі майстерні

Площа майстерні визначається кількістю робочих постів, габаритами техніки, складом обладнання та потребою в безпечних проходах. Для господарства з площею орних земель 5000 га доцільно передбачити універсальну майстерню, здатну обслуговувати як трактори й комбайнові вузли, так і вантажні автомобілі. Особлива увага приділяється діагностичній зоні, оскільки сучасна техніка має велику кількість електронних датчиків, виконавчих механізмів, електрогідравлічних систем і цифрових блоків керування.

Орієнтовна виробнича площа визначена за складом постів і допоміжних приміщень. Прийнято, що великогабаритні трактори й комбайнові вузли обслуговуються на двох універсальних постах, автомобілі – на двох окремих постах, а діагностика паливної апаратури та електронних систем – у спеціалізованій зоні з підвищеними вимогами до чистоти, освітлення й електробезпеки.

Таблиця 1.6 – Орієнтовний склад і площа ділень МРМ

Дільниця / приміщення	Кількість постів	Орієнтовна площа, м ²	Призначення
Пости ТО тракторів і комбайнів	2	144	обслуговування великогабаритної техніки та вузлів
Пости ТО вантажних автомобілів	2	90	ТО-1, ТО-2, ходова частина, гальма, трансмісія
Діагностична дільниця	1	36	OBD/CAN, датчики, електронні блоки, стенд діагностики
Дільниця паливної апаратури Common Rail	1	24	форсунки, насос високого тиску, зворотний злив
Мийна дільниця	1	40	очищення перед дефектуванням та ремонтом
Агрегатна та слюсарно-механічна дільниця	2	96	розбирання вузлів, механічна обробка, складання
Зварювальна дільниця	1	36	ремонт рам, навісного обладнання, причепів
Шиномонтажна та акумуляторна зона	1	24	шини, диски, АКБ, дрібний сервіс
Склад запасних частин та інструментальна	—	84	зберігання запчастин, мастил, інструменту
Побутові та адміністративні приміщення	—	54	кабінет майстра, роздягальні, санітарні приміщення
Разом	—	628	—

З урахуванням проходів, зон маневрування та можливого розширення приймаємо загальну площу майстерні 620–650 м². Така площа забезпечує одночасне обслуговування кількох одиниць техніки, виділення чистої зони для паливної апаратури та розміщення модернізованого діагностичного стенда.

1.6 Обладнання майстерні та роль модернізованого стенда діагностики

Сучасна майстерня для господарства на 5000 га не може обмежуватися лише слюсарним інструментом і підйомними пристроями. Основою ефективного технічного сервісу є поєднання механічного ремонту з діагностикою: перед заміною вузла необхідно точно встановити причину відмови. Це зменшує витрати на запасні частини, скорочує простої та підвищує ресурс автомобілів і сільськогосподарських машин.

До основного обладнання майстерні належать оглядові канави або підйомники для автомобілів, домкрати великої вантажопідйомності, компресорна установка, мийна установка високого тиску, зварювальний апарат, токарний і свердлильний верстати, прес, стенд для перевірки генераторів і стартерів, зарядно-пускові пристрої, шиномонтажний комплект, мастилороздавальне обладнання, діагностичні сканери, мультиметри, осцилограф, димогенератор та стенд для перевірки елементів паливної системи.

Таблиця 1.7 – Основні групи обладнання машинно-ремонтної майстерні

Група обладнання	Приклад оснащення	Очікуваний ефект
Діагностичне	сканер OBD/CAN, осцилограф, мультиметр, стенд перевірки паливної апаратури	швидке виявлення несправних датчиків, форсунок, насосів, електронних блоків
Підйомно-транспортне	домкрати 20–30 т, кран-балка, талі, візки	безпечне переміщення вузлів та агрегатів
Слюсарно-механічне	верстак, прес, токарний, свердлильний верстат	відновлення посадок, втулок, кронштейнів, пальців
Мастильно-заправне	маслороздавальні колонки, ємності для відпрацьованої оливи	дотримання регламенту ТО та екологічних вимог
Зварювальне	напівавтомат, інвертор, витяжна вентиляція	ремонт рам, причепів, навісних машин
Шиномонтажне	гайковерти, балансувальний комплект, компресор	скорочення часу підготовки автомобілів і тракторів

Модернізований стенд для діагностики доцільно розмістити в окремій дільниці, ізольованій від пилу, вологи й зварювальних робіт. Його призначення

– перевірка датчиків тиску, герметичності елементів високого тиску, контроль параметрів паливоподачі, тестування виконавчих механізмів і порівняння фактичних параметрів з еталонними. У поєднанні зі сканером OBD/CAN стенд дає змогу перейти від заміни деталей «наосліп» до обґрунтованого ремонту.



Рис. 1.5. Приклад стенда для діагностики елементів паливної системи Common Rail.

1.7 Технічне обслуговування вантажного автомобіля MAN TGS 26.480 6×4

Для детального розгляду вибрано вантажний автомобіль MAN TGS 26.480 6×4, який у складі підприємства використовується як зерновоз, самоскид або тягач із напівпричепом. Автомобіль доцільний для господарства зони Полісся, оскільки має достатню вантажопідйомність для перевезення продукції з поля, надійну раму, потужний дизельний двигун, електронне керування та можливість роботи з причепами на внутрішньогосподарських дорогах.

Сучасні модифікації MAN TGS комплектуються дизельними двигунами сімейства D26 або D30, автоматизованою коробкою передач MAN TipMatic, електронними системами керування двигуном, системами SCR/AdBlue, датчиками тиску, температури, витрати повітря, системою контролю гальм і бортовою діагностикою. Це підвищує економічність та екологічність, але

одночасно вимагає якісної діагностики та чіткого дотримання регламенту технічного обслуговування.

Таблиця 1.8 – Загальна характеристика автомобіля MAN TGS 26.480 6×4 для умов підприємства

Параметр	Прийняте значення для розрахунку
Колісна формула	6×4
Двигун	рядний 6-циліндровий дизель MAN D26, Common Rail
Потужність	приблизно 480 к.с.
Екологічний клас	Euro 6 / Euro 6e залежно від комплектації
Коробка передач	автоматизована MAN TipMatic
Середній річний пробіг у господарстві	45 000 км
Основні умови роботи	зерно, добрива, матеріали; дороги загального користування та польові під'їзди
Критичні системи для діагностики	Common Rail, турбонаддув, SCR/AdBlue, гальмівна пневмосистема, електроніка

Система ТО вантажного автомобіля в господарстві включає щоденне обслуговування, періодичне ТО-1, поглиблене ТО-2, сезонне обслуговування та діагностичні роботи. Щоденне обслуговування виконує водій перед виїздом і після повернення автомобіля. Воно включає огляд шин, перевірку рівня оливи, охолоджувальної рідини, AdBlue, стану світлотехніки, пневмосистеми, кріплення кузова або напівпричепа, відсутності підтікання пального й мастил.

ТО-1 для умов господарства доцільно виконувати через 10 000 км або після завершення інтенсивного транспортного циклу. До його складу входять комп'ютерна діагностика помилок, контроль фактичного тиску в паливній рейці, перевірка корекцій форсунок, огляд повітряного фільтра, перевірка рівнів робочих рідин, підтягування з'єднань, діагностика гальмівної системи, огляд шин і ходової частини.

ТО-2 виконується орієнтовно через 30 000 км або перед початком найбільш відповідального сезону перевезень. Під час ТО-2 проводять заміну моторної оливи та фільтрів за регламентом, перевірку паливних фільтрів, огляд турбокомпресора, системи охолодження, карданних валів, мостів, рульового керування, пневматичних магістралей, ресиверів, осушувача повітря, гальмівних механізмів, електропроводки та датчиків.

Сезонне обслуговування виконується двічі на рік. Перед зимою перевіряють ємність акумуляторів, стан пускової системи, щільність і температуру замерзання охолоджувальної рідини, роботу автономного підігрівача, осушувача пневмосистеми, стан шин і антикорозійний захист. Перед літнім сезоном очищають радіатори, перевіряють вентилятор, систему кондиціонування, стан ременів, герметичність паливної системи та чистоту повітрязабірника.

Таблиця 1.9 – Регламент технічного обслуговування MAN TGS 26.480 у господарстві

Вид ТО	Періодичність для розрахунку	Основні операції	Орієнтовна трудомісткість, люд.-год
Щоденне обслуговування	кожна зміна	огляд, рівні рідин, шини, світло, гальма, зчпний пристрій	0,35–0,50
ТО-1	кожні 10 000 км	OBD/CAN-діагностика, огляд фільтрів, ходової, гальм, шин, кріплень	5–6
ТО-2	кожні 30 000 км	заміна оливи та фільтрів, поглиблена діагностика, перевірка трансмісії, пневмосистеми	16–20
Сезонне ТО	2 рази на рік	підготовка до зими/літа, АКБ, охолодження, осушувач, радіатори, кондиціонер	4–6
Діагностика Common Rail	під час ТО-1/ТО-2 або за ознаками несправності	тиск у рейці, корекції форсунок, зворотний злив, датчики, герметичність	2–4
Поточний ремонт	за потреби	усунення відмов, заміна вузлів, ремонт ходової та електрики	за дефектною відомістю

Алгоритм технічного обслуговування MAN TGS 26.480

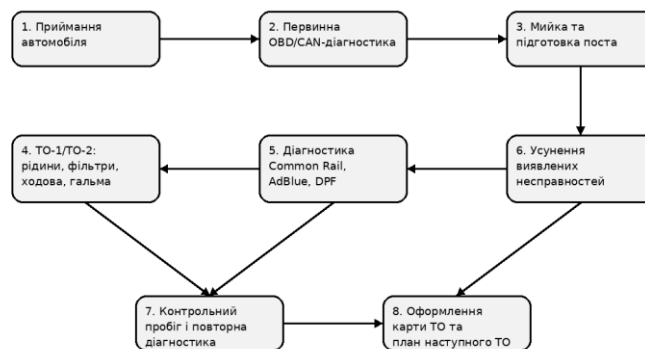


Рис. 1.6. Алгоритм технічного обслуговування вантажного автомобіля MAN TGS 26.480

Під час діагностики паливної системи Common Rail першочергово перевіряють наявність кодів несправностей, фактичний і заданий тиск у паливній рейці, стабільність тиску при різних режимах роботи двигуна, корекції подачі палива по циліндрах, герметичність магістралей високого тиску, продуктивність насоса та величину зворотного зливу форсунок. У разі відхилення параметрів від допустимих значень вузол не замінюють відразу, а додатково перевіряють на стенді.

Модернізований стенд для діагностики в майстерні дозволяє скоротити час пошуку несправності. Наприклад, при утрудненому запуску двигуна вантажного автомобіля причиною може бути низький тиск у паливній рейці, несправність датчика тиску, підсмоктування повітря, зношення насоса високого тиску або надмірний зворотний злив форсунок. Без стендової перевірки ці несправності мають схожі зовнішні ознаки, що часто призводить до зайвої заміни справних деталей.

Запропонована організація ТО передбачає обов'язкове ведення карти обслуговування автомобіля. У карті фіксують пробіг, мотогодини, виконані операції, коди несправностей, результати вимірювання тиску, замінені фільтри та оливи, стан шин, гальм і підвіски. Така інформація використовується для планування наступного ТО та прогнозування відмов у найбільш напружені періоди перевезень.

Таблиця 1.10 – Уточнений розрахунок трудомісткості ТО і ремонту вантажних автомобілів

Показник	Розрахунок	Значення
Річний пробіг одного автомобіля	прийнято для умов господарства	45 000 км
Кількість ТО-1	45 000 / 10 000	4,5 $\approx$ 4–5 разів
Кількість ТО-2	45 000 / 30 000	1,5 $\approx$ 1–2 рази
Трудомісткість ТО-1	4,5 $\cdot$ 6	27 люд.-год
Трудомісткість ТО-2	1,5 $\cdot$ 18	27 люд.-год
Сезонне ТО	2 $\cdot$ 5	10 люд.-год
Діагностика та поточний ремонт	прийнято за умовами експлуатації	близько 276 люд.-год
Разом на автомобіль	27 + 27 + 10 + 276	340 люд.-год/рік
Разом на 7 вантажних автомобілів	340 $\cdot$ 7	2380 люд.-год/рік

Висновки по розділу

У першому розділі виконано проектування машинно-ремонтної майстерні для сільськогосподарського підприємства зони Полісся з площею орних земель 5000 га. Для підприємства підібрано сучасний машинно-тракторний парк, що включає високопотужні та середні трактори, зернозбиральні комбайни, самохідні обприскувачі, широкозахватні посівні й ґрунтообробні агрегати, вантажні автомобілі та сервісну техніку.

Розрахункова річна трудомісткість робіт з технічного обслуговування і ремонту становить 18 300 люд.-год. Для виконання цього обсягу робіт необхідно 12 основних виробничих працівників, а в пікові зимові місяці доцільно передбачити сезонне посилення або перерозподіл частини робіт. Розроблений графік завантаження показав, що найбільше навантаження припадає на листопад і грудень, коли виконується основний ремонт та підготовка техніки до наступного сезону.

Запропоновано структуру майстерні площею близько 620–650 м² із постами для тракторів, комбайнів і вантажних автомобілів, діагностичною дільницею, зоною Common Rail, мийною, агрегатною, зварювальною, шиномонтажною та складською зонами. Детально розглянуто технічне обслуговування автомобіля MAN TGS 26.480 6×4, визначено основні операції ТО-1, ТО-2, сезонного обслуговування та діагностики паливної системи. Обґрунтовано, що модернізація стенда діагностики є важливим резервом підвищення ефективності технічного сервісу, оскільки дозволяє скоротити час пошуку несправностей, зменшити простой автомобілів і підвищити надійність транспортного забезпечення господарства.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ АВТОМОБІЛІВ

2.1 Передумови модернізації діагностичного стенда

Ефективність технічного обслуговування автомобілів значною мірою визначається швидкістю та точністю встановлення причини несправності. Для сучасних дизельних автомобілів це питання є особливо важливим, оскільки робота двигуна залежить від узгодженої дії паливного насоса високого тиску, паливної рампи, електронних форсунок, датчиків, регуляторів і блока керування.

У конструкціях легкових і вантажних автомобілів дедалі ширше застосовуються системи впорскування Common Rail. Їх перевагою є високий тиск упорскування, точне дозування палива та можливість електронного керування фазами подачі. Водночас такі системи чутливі до забруднення палива, зношування плунжерних пар, порушення герметичності форсунок і помилок у роботі датчиків тиску.

Традиційний підхід до пошуку дефекту часто передбачає демонтаж окремих елементів, їх доставлення на спеціалізований стенд і подальшу повторну установку. Така технологія збільшує тривалість ремонту, потребує додаткової оплати праці та не завжди дає змогу швидко оцінити систему в реальних умовах роботи двигуна. Тому для станції технічного обслуговування доцільно використовувати стенд або пристосування, яке може виконувати первинну перевірку без повного розбирання паливної апаратури.

Метою модернізації є створення діагностичного модуля, здатного контролювати тиск у паливній рампі, оцінювати продуктивність насоса високого тиску та виявляти надмірний злив палива через форсунки. Такий підхід дозволяє скоротити час діагностування, зменшити кількість необґрунтованих замін справних деталей і підвищити якість сервісних робіт.

Проектований пристрій повинен відповідати таким вимогам: забезпечувати безпечну роботу з високим тиском, мати змінні адаптери для різних типів систем, давати зрозумілий результат вимірювання, бути придатним для використання в умовах звичайної майстерні та не потребувати складного переналагодження перед кожною перевіркою.

2.2 Огляд і оцінювання наявних технічних рішень

Ускладнення конструкції автомобільних двигунів спричинило появу значної кількості спеціалізованих засобів діагностики. Якщо раніше основними приладами були компресометри, газоаналізатори та мотортестери, то сьогодні до них додаються сканери електронних систем, стенди для перевірки форсунок, витратомірні комплекси, тестери високого тиску й програмні бази даних із заводськими параметрами.

Для перевірки паливної апаратури Common Rail застосовують як великогабаритні стаціонарні стенди, так і переносні діагностичні комплекти. Кожна група обладнання має свої переваги. Стаціонарні стенди забезпечують високу точність, широкий діапазон випробувань і можливість регулювання вузлів після ремонту. Переносні комплекти, навпаки, зручні для експрес-перевірки безпосередньо на автомобілі, але мають менші можливості щодо повного випробування агрегатів.

Стенди Rabotti серії TEC використовуються для діагностики елементів систем Common Rail та дають змогу працювати з насосами й форсунками різних виробників. Їх перевагою є спеціалізація саме на високотисковій паливній апаратурі, проте вартість такого обладнання та потреба у підготовленому персоналі обмежують його застосування у невеликих СТО.

Універсальний стенд Bosch EPS 815 належить до професійного обладнання для випробування паливних насосів високого тиску. Завдяки потужному приводу та електронним вимірювальним модулям він може використовуватися для перевірки рядних, розподільчих і сучасних електронно-керованих насосів. Додаткові комплекти оснащення розширюють його

функціональні можливості, однак для проведення перевірки здебільшого необхідно знімати агрегат з автомобіля.



Рис. 2.1. Стенд Rabotti TEC 200 для діагностування систем Common Rail



Рис. 2.2. Універсальний стенд Bosch EPS 815.

Електронна система КМА використовується для безперервного визначення подачі палива. Вона дає змогу відображати результати у цифровому та графічному вигляді, порівнювати параметри з допустимими межами і зменшувати вплив суб'єктивного фактора під час оцінювання стану насоса. Водночас ефективне застосування такого обладнання потребує наявності відповідних тест-планів і бази технічних даних.



Рис. 2.3. Електронна вимірювальна система КМА 822

Стенд Bosch EPS 200 орієнтований передусім на перевірку форсунок. Він дає змогу автоматизувати тестову процедуру, контролювати кількість поданого палива та використовувати базу еталонних параметрів. Перевагою приладу є компактність і простота роботи. Основним обмеженням є те, що стенд не охоплює повну діагностику всієї паливної системи, зокрема насоса високого тиску та паливної рампи у режимі роботи на автомобілі.



Рис. 2.4. Стенд Bosch EPS 200 для перевірки форсунок.

Портативні сканери, зокрема Bosch KTS 200, застосовуються для доступу до електронних блоків керування автомобіля. Вони дозволяють зчитувати коди помилок, переглядати поточні параметри, виконувати сервісні адаптації та скидати міжсервісні інтервали. Такі прилади є необхідними під час

діагностування, але вони не замінюють фізичного вимірювання тиску й витрат палива, оскільки оцінюють переважно електронну частину системи.



Рис. 2.5. Портативний системний тестер Bosch KTS 200.

Окрему групу становлять переносні комплекти для перевірки Common Rail. Вони зазвичай містять тестер високого тиску, адаптери, шланги та ємності для контролю зворотного зливу через форсунки. Перевагою таких комплектів є можливість визначити несправний компонент без повного демонтажу системи. Разом з тим їхня ціна та обмежена універсальність для різних модифікацій паливної апаратури залишаються істотними недоліками.

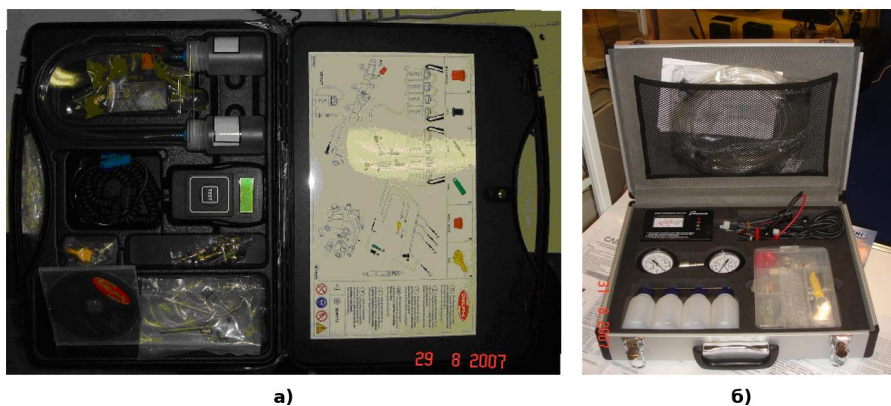


Рис. 2.6. Переносні комплекти для перевірки систем Common Rail: а – Delphi; б – NIXTECH.

Порівняльна характеристика основних засобів діагностики наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння діагностичного обладнання для паливних систем дизельних автомобілів

Обладнання	Основне призначення	Переваги	Обмеження	Оцінка для СТО
Rabotti TEC	Випробування компонентів Common Rail	Спеціалізація на високотисковій апаратурі; достатня точність	Висока вартість, потреба у спеціальній підготовці	Доцільний для спеціалізованих дизель-сервісів
Bosch EPS 815	Перевірка ПНВТ різних типів	Універсальність, потужний привод, робота з базами даних	Необхідність демонтажу насоса; значні габарити	Ефективний для ремонтних дільниць з великим обсягом робіт
KMA 822	Електронний облік подачі палива	Наглядне відображення результатів і висока повторюваність вимірювань	Працює як частина стендового комплексу	Корисний як вимірювальний модуль
Bosch EPS 200	Перевірка форсунок	Автоматизований тест, компактність, сенсорне керування	Не перевіряє паливну систему в зборі	Підходить для спеціалізованої перевірки форсунок
KTS 200	Електронна діагностика автомобіля	Мобільність, швидке зчитування помилок і параметрів	Не вимірює фактичний гідравлічний тиск	Необхідний як допоміжний сканер
Переносні комплекти CR	Перевірка тиску та зворотного зливу на автомобілі	Мінімальний демонтаж, швидке виявлення несправного вузла	Вартість комплектів і обмеження за адаптерами	Найближчий аналог для проєктованої модернізації

2.3 Конструктивна схема та принцип роботи модернізованого стенда

За результатами аналізу встановлено, що для підвищення ефективності технічного обслуговування доцільно модернізувати діагностичний стенд шляхом введення універсального вимірювального модуля високого тиску. Він повинен працювати спільно зі штатною паливною системою автомобіля і давати можливість оцінювати фактичні параметри без повного демонтажу насоса або форсунок.

Модернізований стенд пропонується виконати у вигляді комплексу, який містить корпус вимірювального блока, високотискові штуцери, електронний датчик тиску, запобіжний клапан, комплект перехідників, шланги з підвищеним запасом міцності, блок індикації та набір мірних ємностей для оцінювання зворотного зливу. Така компоновка робить стенд придатним для діагностики автомобілів із системами Bosch, Delphi, Denso та Siemens за умови використання відповідних адаптерів.

Основна відмінність запропонованого рішення полягає у поєднанні електронного контролю тиску з механічним захистом від перевищення допустимого навантаження. Електронний датчик формує сигнал, що передається до індикатора або тестера, а запобіжний клапан відкривається у разі надмірного тиску та відводить паливо у зворотну магістраль.

Структурна схема модернізованого діагностичного стенда



Примітка: скидання надлишкового тиску виконується через запобіжний клапан у зворотну магістраль.

Рис. 2.7. Структурна схема модернізованого стенда для діагностики паливної системи.

До складу вимірювального блока входить корпус із каналами для проходження палива. У корпус вкручуються штуцер підключення, датчик тиску та регульований запобіжний клапан. Клапан складається з регульовального гвинта, пружини, кульки та жиклера. Навантаження на пружину змінюється гвинтом, завдяки чому задається тиск спрацьовування захисного вузла.

Під час роботи паливо через штуцер надходить у внутрішню порожнину корпуса. Датчик перетворює тиск у електричний сигнал, який подається на

вимірювальний прилад. Якщо тиск перевищує налаштовану межу, кулька клапана відходить від сидла, відкривається канал скидання і частина палива відводиться у зливну лінію. Після зниження тиску пружина повертає кульку у вихідне положення.

Робота зі стендом виконується у чіткій послідовності. Спочатку перевіряють зовнішній стан паливопроводів, герметичність з'єднань і відсутність повітря у системі. Після цього сканером зчитують помилки електронного блока керування та поточні значення тиску. Далі підключають вимірювальний модуль до контрольної точки або через спеціальний перехідник до паливної рампи. Показники фіксують на холостому ходу, при підвищенні частоти обертання та під час короткочасного навантаження.



Рис. 2.8. Послідовність діагностування паливної системи із застосуванням модернізованого стенда.

Отримані значення тиску порівнюють із нормативними або експериментально встановленими залежностями для конкретного типу двигуна. Якщо тиск не досягає необхідного рівня, ймовірною причиною є несправність ПНВТ, регулятора тиску, засмічення фільтра або негерметичність форсунок. Якщо тиск надмірно коливається, додатково перевіряють електричний сигнал датчика, стан регулятора та стабільність зворотного зливу.

Функціональне призначення основних елементів модернізованого пристрою наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Призначення елементів модернізованого діагностичного стенда

Елемент	Призначення	Вимоги до виконання
Корпус вимірювального блока	Об'єднує канали, штуцери, датчик і клапан	Стійкість до високого тиску, герметичність різьбових з'єднань
Датчик тиску	Перетворює гідравлічний тиск у електричний сигнал	Діапазон вимірювання не нижче максимального тиску системи
Запобіжний клапан	Захищає блок від перевантаження	Наявність регулювання тиску відкривання
Комплект адаптерів	Забезпечує підключення до різних систем Common Rail	Сумісність зі стандартними різьбами й штуцерами
Мірні ємності	Дають змогу оцінити зворотний злив форсунок	Однаковий об'єм, прозорий матеріал, зручне маркування
Електронний індикатор	Відображає поточне значення тиску	Чітка індикація, можливість фіксації результатів

2.4 Технологічні та конструктивні розрахунки пристосування

Розрахункова частина потрібна для перевірки працездатності елементів, які сприймають дію високого тиску. Основну увагу приділено запобіжному клапану, пружині та різьбовому кріпленню датчика тиску. При виконанні розрахунків приймаємо максимальний робочий тиск системи $p_{\text{max}} = 160$ МПа, модуль зсуву для сталі $G = 8 \cdot 10^4$ МПа, кількість активних витків пружини $n = 15$.

2.4.1 Визначення навантаження на запобіжний клапан

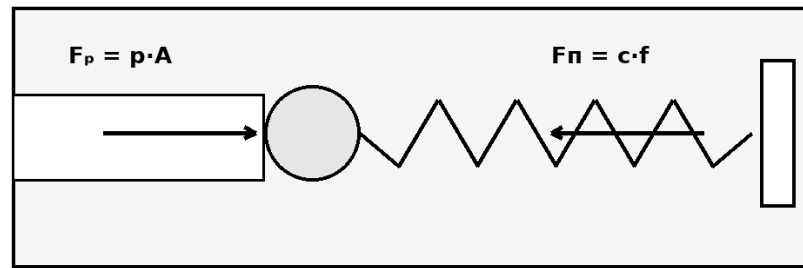
Зусилля, яке створюється тиском палива на запірний елемент клапана, визначається за залежністю:

$$F = p \cdot A = p \cdot \pi d_{\text{ж}}^2 / 4, \quad (2.1)$$

де F – сила тиску палива, Н; p – тиск у каналі, Н/мм²; A – площа дії тиску, мм²; $d_{\text{ж}}$ – діаметр прохідного отвору жиклера, мм.

Для розрахунку приймаємо $d_{\text{ж}} = 2$ мм. Тоді площа дії тиску становить $A = 3,14$ мм². За максимального тиску 160 МПа сила, яка діє на кульку клапана, дорівнює $F = 160 \cdot 3,14 = 502,4$ Н. Саме це зусилля повинна врівноважувати пружина з урахуванням запасу на тертя та динамічні коливання.

Сили, що діють на пружину запобіжного клапана



1 – канал подачі палива; 2 – кулька клапана; 3 – пружина; 4 – регулювальний гвинт.

Рис. 2.9. Схема дії сил на пружину запобіжного клапана.

2.4.2 Розрахунок пружини клапана

Жорсткість циліндричної гвинтової пружини стиску визначається формулою:

$$c = G \cdot d^4 / (8 \cdot D^3 \cdot n), \quad (2.2)$$

де c – жорсткість пружини, Н/мм; d – діаметр дроту, мм; D – середній діаметр пружини, мм; n – кількість робочих витків; G – модуль зсуву матеріалу, Н/мм².

Приймаємо $d = 3,5$ мм, $D = 14$ мм, $n = 15$. Після підстановки отримуємо $c = 36,5$ Н/мм. Необхідний стиск пружини при максимальному зусиллі становить:

$$f = F / c = 502,4 / 36,5 = 13,8 \text{ мм.} \quad (2.3)$$

Отже, конструкція регулювального вузла повинна забезпечувати хід стиску пружини не менше 14 мм. Для перевірки роботи клапана на проміжних режимах визначимо стиск пружини за різних значень тиску.

Таблиця 2.3 – Розрахункова залежність стиску пружини від тиску

Тиск p , МПа	Сила F , Н	Стиск пружини f , мм
0	0.0	0.0
50	157.1	4.3
100	314.2	8.6
150	471.2	12.9
160	502.7	13.8

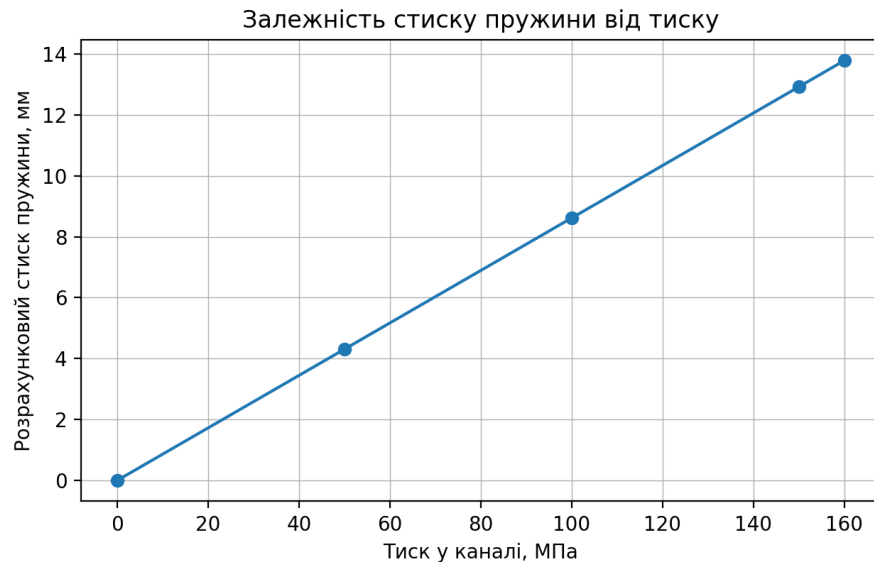


Рис. 2.10. Графік залежності стиску пружини запобіжного клапана від тиску.

Міцність дроту пружини перевіряємо за дотичними напруженнями:

$$\tau = K \cdot 8FD / (\pi d^3) \leq [\tau], \quad (2.4)$$

де K – коефіцієнт, який враховує кривизну витка та концентрацію напружень. Для прийнятих параметрів і $K = 1,4$ напруження становить приблизно 584 МПа. Для пружинної сталі це значення перебуває в допустимих межах, тому прийняті розміри пружини можуть бути використані в конструкції клапана.

2.4.3 Перевірка різьбового з'єднання датчика тиску

Датчик тиску кріпиться до корпусу пристрою різьбленням М14×2. Глибина загвинчування приймається $H = 15$ мм. Матеріал корпусу і різьбового елемента – сталь 45. Основними небезпечними видами руйнування такого з'єднання є зріз витків різьби та розтягування стрижня.

Схема навантаження різьбового з'єднання датчика тиску

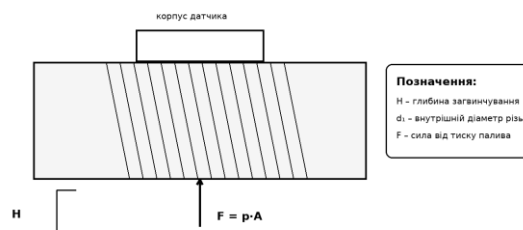


Рис. 2.11. Схема навантаження різьбового з'єднання датчика

Для перевірки приймаємо консервативний ефективний діаметр дії тиску $d_e = 10$ мм. Тоді розрахункова площа $A = 78,5$ мм², а сила від тиску за $p_{\max} = 160$ МПа становить:

$$F = p \cdot A = 160 \cdot 78,5 = 12560 \text{ Н.} \quad (2.5)$$

Напруження зрізу витків різьби визначаємо за формулою:

$$\tau_{зр} = F / (\pi \cdot d_1 \cdot H \cdot k \cdot k_t) \leq [\tau],$$

де $d_1 = 11,835$ мм – внутрішній діаметр різьби М14×2; $k = 0,87$ – коефіцієнт повноти профілю; $k_t = 0,7$ – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження за витками; $[\tau] = 85$ МПа – допустиме напруження зрізу.

Після підстановки отримуємо $\tau_{зр} = 36,9$ МПа, що менше допустимого значення 85 МПа. Отже, зріз витків різьби при заданому навантаженні не відбудеться.

Напруження розтягування у стрижні оцінюється залежністю:

$$\sigma = 4F / (\pi \cdot d_1^2) \leq [\sigma]. \quad (2.6)$$

Для прийнятих вихідних даних $\sigma = 114,2$ МПа. За допустимого напруження $[\sigma] = 120$ МПа умова міцності виконується. Тому різьбове кріплення датчика тиску має достатній запас для роботи в умовах діагностування паливної системи високого тиску.

2.5 Очікуваний технічний ефект від модернізації

Запропоноване конструктивне рішення забезпечує перехід від переважно демонтажної діагностики до перевірки паливної системи безпосередньо на автомобілі. Це дає змогу швидше відокремити несправність електронного керування від гідравлічної несправності насоса, регулятора або форсунок.

Модернізований стенд дозволяє виконувати три основні операції: контроль фактичного тиску в паливній рампі, перевірку здатності ПНВТ створювати необхідний тиск і оцінювання зворотного зливу форсунок. Отримані результати можна використовувати для прийняття рішення щодо подальшого ремонту, демонтажу або заміни окремого компонента.

Практичне застосування стенда повинно скоротити трудомісткість діагностичних робіт, зменшити простої автомобіля у ремонті, знизити витрати на необґрунтовану заміну справних деталей і підвищити якість технічного обслуговування. Універсальність комплекту адаптерів дає можливість використовувати його для різних моделей автомобілів, що особливо важливо для багатoproфільних СТО.

Висновки по розділу

У другому розділі обґрунтовано необхідність модернізації стенда для діагностування автомобілів із паливними системами Common Rail. Показано, що найбільші витрати часу виникають у випадках, коли для пошуку несправності необхідно демонтувати паливний насос або форсунки.

Проведений огляд наявного обладнання засвідчив, що стаціонарні стенди забезпечують високу точність, але мають значну вартість і потребують демонтажу агрегатів. Переносні комплекти зручніші для умов СТО, однак потребують адаптації до конкретних систем. Тому запропоновано модернізований вимірювальний модуль, який поєднує контроль високого тиску, захист від перевантаження і перевірку зворотного зливу форсунок.

Виконані конструктивні розрахунки підтвердили працездатність запобіжного клапана, пружини та різьбового кріплення датчика тиску. Прийняті параметри забезпечують роботу пристрою за тиску до 160 МПа і відповідають умовам міцності. Отже, запропонована модернізація може бути використана для підвищення ефективності технічного обслуговування автомобілів у ремонтно-сервісних підприємствах.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

3.1 Вихідні умови та мета економічної оцінки

Техніко-економічне обґрунтування виконано для проектного сільськогосподарського підприємства зони Полісся, яке обробляє 5000 га орних земель і має сучасний машинно-тракторний парк. У першому розділі прийнято річну трудомісткість робіт машинно-ремонтної майстерні 18300 люд.-год та потребу в 12 основних виробничих робітниках. Значну частину сервісного навантаження формують вантажні автомобілі, що працюють на перевезенні зерна, насіння, добрив, пального та запасних частин.

Проектним рішенням передбачено модернізацію стенда для діагностики автомобілів із дизельними двигунами та паливними системами типу Common Rail. Основна ідея модернізації полягає у встановленні універсального вимірювального модуля високого тиску, комплекту адаптерів, запобіжного клапана та засобів контролю зворотного зливу форсунок. Це дає можливість виконувати частину перевірок без повного демонтажу паливної апаратури.

Економічний ефект формується за рахунок скорочення тривалості діагностування, зменшення простоїв автомобілів у пікові періоди польових робіт, відмови від частини сторонніх сервісних послуг і зниження ймовірності необґрунтованої заміни справних агрегатів. Розрахунки виконано за укрупненими проектними даними, прийнятими для умов господарства, тому наведені величини використовуються як орієнтовні для оцінки доцільності впровадження рішення.

Загальна послідовність економічної оцінки показана на рис. 3.1. Спочатку визначаються вихідні умови роботи автомобільного парку, після цього розраховуються капітальні вкладення в модернізацію стенда, далі оцінюються річні результати від скорочення витрат і простоїв, а на завершальному етапі визначаються чистий економічний ефект, строк окупності та рентабельність проектного рішення.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Показник	Прийняте значення
Площа орних земель підприємства	5000 га
Річна трудомісткість робіт майстерні	18300 люд.-год
Кількість основних виробничих робітників	12 осіб
Кількість вантажних автомобілів у парку	8 од.
Кількість діагностичних звернень за рік	65 випадків
Середня тривалість діагностування до модернізації	4,2 год
Середня тривалість діагностування після модернізації	1,8 год
Вартість однієї люд.-год з нарахуваннями	260 грн
Орієнтовна вартість години простою вантажного автомобіля	900 грн

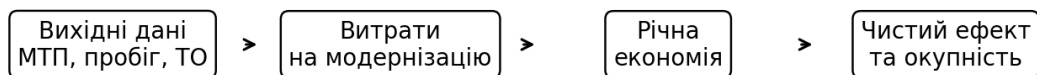


Рис. 3.1. Схема виконання техніко-економічного обґрунтування

3.2 Розрахунок капітальних вкладень у модернізацію стенда

Капітальні вкладення включають вартість придбання основних елементів, виготовлення корпусних деталей, монтаж, калібрування та підготовку технічної документації. Оскільки модернізація виконується на базі наявного стенда майстерні, витрати є значно нижчими, ніж придбання нового професійного випробувального комплексу. Загальна сума вкладень визначається за формулою:

$$K_{\Sigma} = K_{\text{обл}} + K_{\text{виг}} + K_{\text{мон}} + K_{\text{кал}} + K_{\text{дод}}, \quad (3.1)$$

де K_{Σ} – загальні капітальні вкладення, грн; $K_{\text{обл}}$ – вартість комплектувальних виробів; $K_{\text{виг}}$ – витрати на виготовлення деталей; $K_{\text{мон}}$ – витрати на монтаж; $K_{\text{кал}}$ – витрати на калібрування; $K_{\text{дод}}$ – додаткові та непередбачені витрати.

Таблиця 3.2 – Орієнтовний кошторис модернізації діагностичного стенда

№	Найменування витрат	К-ть	Ціна, грн	Сума, грн
1	Електронний датчик високого тиску 0–200 МПа	1	8 500	8 500
2	Блок індикації та реєстрації параметрів	1	13 000	13 000
3	Комплект високонапірних шлангів і штуцерів	1	12 000	12 000
4	Набір адаптерів для систем Bosch, Delphi, Denso, Siemens	1	18 000	18 000
5	Запобіжний клапан, пружина, кулька, жиклер, корпусні деталі	1	7 500	7 500
6	Мірні ємності та вузол контролю зворотного зливу	1	5 000	5 000
7	Захисний кожух, рама, кейс для транспортування	1	7 000	7 000
8	Механічна обробка, зварювальні й складальні роботи	1	18 000	18 000
9	Калібрування, випробування і введення в експлуатацію	1	9 500	9 500
10	Технічна документація, маркування, інструктаж персоналу	1	3 500	3 500
11	Транспортно-заготівельні та непередбачені витрати	1	6 000	6 000
	Разом за кошторисом			108 000
	Прийнято з резервом на уточнення цін і дрібні матеріали			120 000

За результатами кошторису загальні вкладення приймаємо $K\Sigma = 120\,000$ грн. Найбільшу частку становлять комплект адаптерів роботи з виготовлення та складання блок індикації а також високонапірні шланги й штуцери. Така структура витрат є типовою для модернізації діагностичного обладнання оскільки надійність з'єднань і точність вимірювання безпосередньо впливають на безпеку та достовірність результатів.

3.3 Визначення річної економії від впровадження проектного рішення

До модернізації виявлення несправностей паливної системи вантажного автомобіля часто виконувалося шляхом послідовної перевірки окремих вузлів, повторного зчитування помилок, демонтажу форсунок або звернення до стороннього сервісу. Після модернізації стенд дозволяє швидше визначити фактичний тиск у магістралі, оцінити роботу насоса високого тиску та перевірити інтенсивність зворотного зливу форсунок. Тому середня тривалість однієї діагностичної операції зменшується з 4,2 до 1,8 год.

Економія заробітної плати ремонтного персоналу визначається за залежністю:

$$E_{\Pi} = N_d \cdot (t_6 - t_{\Pi}) \cdot C_{\text{год}}, \quad (3.2)$$

де $N_d = 65$ – кількість діагностичних операцій за рік; $t_6 = 4,2$ год – тривалість діагностики до модернізації; $t_{\Pi} = 1,8$ год – тривалість діагностики після модернізації; $C_{\text{год}} = 260$ грн/год – вартість однієї люд.-год. Отже $E_{\Pi} = 65 \cdot 2,4 \cdot 260 = 40\,560$ грн/рік.

Найбільш відчутним результатом для сільськогосподарського підприємства є скорочення простою автомобілів. У період збирання врожаю затримка одного зернового або тягача з напівприцепом знижує продуктивність транспортної ланки і може спричинити простої комбайнів. За прийнятої вартості години простою 900 грн річна економія становить 140 400 грн.

Окремо враховано зменшення кількості звернень до сторонніх сервісних центрів. Якщо до впровадження рішення близько 32 випадків на рік потребували зовнішньої діагностики з орієнтовною вартістю 1900 грн то після модернізації більшість таких перевірок виконується власною майстернею. Додатковий ефект виникає від зменшення необґрунтованої заміни справних форсунок датчиків або регуляторів тиску.

Таблиця 3.3 – Річна економія за основними складовими

Складова економії	Розрахунок	Сума, грн/рік
Скорочення трудомісткості діагностування	$65 \cdot 2,4 \cdot 260$	40 560
Зменшення простоїв вантажних автомобілів	$65 \cdot 2,4 \cdot 900$	140 400
Відмова від частини сторонніх діагностичних послуг	$32 \cdot 1900$	60 800
Зменшення необґрунтованої заміни деталей	$18 \cdot 2500$	45 000
Скорочення транспортних і допоміжних витрат	прийнято розрахунково	9 000
Разом валова річна економія		295 760

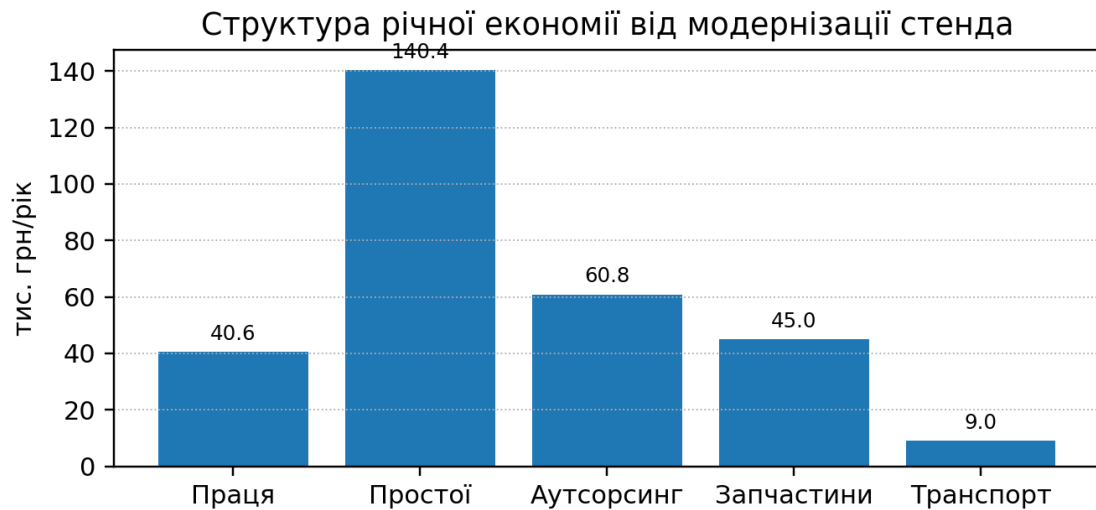


Рис. 3.2. Структура річної економії від модернізації стенда

3.4 Експлуатаційні витрати та чистий економічний ефект

Для об'єктивної оцінки проектного рішення необхідно врахувати не лише економію, а й додаткові експлуатаційні витрати на використання модернізованого стенда. До них належать амортизаційні відрахування, періодична перевірка точності датчика, заміна ущільнювачів, промивальних рідин, дрібний ремонт і витрати на електроенергію. Оскільки обладнання працює періодично, енергетична складова є незначною, а основні витрати пов'язані з підтриманням точності та безпечності вимірювань.

Таблиця 3.4 – Річні експлуатаційні витрати на модернізований стенд

Стаття витрат	Сума, грн/рік
Амортизаційні відрахування на стенд (строк служби 5 років)	24 000
Періодична перевірка, калібрування та метрологічний контроль	7 000
Витратні матеріали, ущільнювачі, промивальні рідини	8 500
Поточне обслуговування та дрібний ремонт стенда	6 000
Електроенергія та допоміжні витрати	1 600
Інструктаж і оновлення технологічних карт	4 000
Разом річні експлуатаційні витрати	51 100

Чистий річний економічний ефект визначається як різниця між валовою економією та додатковими експлуатаційними витратами:

$$E_{\text{ч}} = E_{\text{вал}} - Z_{\text{експ}}, \quad (3.3)$$

де $E_{\text{вал}} = 295\,760$ грн/рік – валова річна економія; $Z_{\text{експ}} = 51\,100$ грн/рік – експлуатаційні витрати. Тоді $E_{\text{ч}} = 295\,760 - 51\,100 = 244\,660$ грн/рік.

Собівартість однієї діагностичної операції також зменшується. До модернізації вона формується з оплати праці простою автомобіля і частки сторонніх послуг та становить близько 5 807 грн. Після модернізації з урахуванням меншої тривалості перевірки та витратних матеріалів вона знижується приблизно до 2 218 грн. Економія на одній операції становить близько 3 589 грн що підтверджує доцільність застосування стенда не тільки для складних відмов а й для планового контролю технічного стану.

3.5 Строк окупності, рентабельність та виробничий ефект

Строк окупності визначається відношенням капітальних вкладень до чистого річного економічного ефекту:

$$T_{\text{ок}} = K_{\Sigma} / E_{\text{ч}}. \quad (3.4)$$

Підставляючи розраховані значення отримуємо $T_{\text{ок}} = 120\,000 / 244\,660 = 0,49$ року. Отже витрати на модернізацію стенда повертаються менш ніж за один рік експлуатації. Такий результат пояснюється тим що рішення не потребує придбання повністю нового стенда а використовує наявну базу майстерні та доповнює її вимірювальним модулем.

Рентабельність проектного рішення визначаємо за формулою:

$$R = E_{\text{ч}} / K_{\Sigma} \cdot 100 \%. \quad (3.5)$$

$R = 244\,660 / 120\,000 \cdot 100 = 203,9 \%$. Отримане значення свідчить про високий рівень економічної ефективності модернізації. Крім прямої економії коштів підприємство отримує непрямі переваги: вищу готовність вантажних автомобілів у сезон точніше планування ремонту скорочення аварійних зупинок і підвищення якості роботи майстерні.

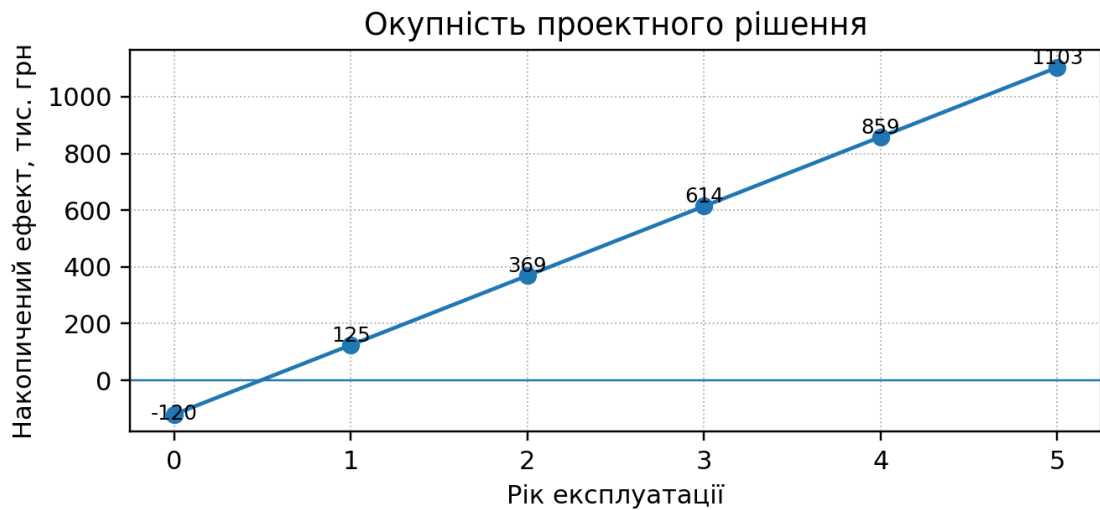


Рис. 3.3. Накопичений економічний ефект від використання модернізованого стенда.

Таблиця 3.5 – Основні техніко-економічні показники проектного рішення

Показник	Одиниця вимірювання	Значення
Капітальні вкладення у модернізацію стенда	грн	120 000
Кількість діагностичних операцій за рік	од.	65
Зменшення тривалості однієї операції	год	2,4
Валова річна економія	грн/рік	295 760
Річні експлуатаційні витрати	грн/рік	51 100
Чистий річний економічний ефект	грн/рік	244 660
Строк окупності	року	0,49
Рентабельність вкладень	%	203,9

Висновки по розділу

У результаті техніко-економічного обґрунтування встановлено, що модернізація стенда для діагностики автомобілів є доцільною для проектного сільськогосподарського підприємства зони Полісся. За прийнятих вихідних даних капітальні вкладення становлять 120000 грн, а чистий річний економічний ефект – 244660 грн. Строк окупності дорівнює 0,49 року, тобто вкладені кошти повертаються протягом першого року експлуатації.

Запропоноване рішення дає змогу зменшити тривалість діагностування одного автомобіля з 4,2 до 1,8 год, скоротити простої транспортних засобів, знизити залежність підприємства від сторонніх сервісних центрів і підвищити якість прийняття ремонтних рішень. Найбільший економічний результат

забезпечує саме зменшення простоїв, що особливо важливо для господарства площею 5000 га в періоди збирання врожаю та інтенсивного перевезення матеріалів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності технічного обслуговування автомобілів шляхом удосконалення організації ремонтно-обслуговувальних робіт у машинно-ремонтній майстерні та модернізації стенда для діагностики. Актуальність теми зумовлена тим, що сучасні сільськогосподарські підприємства широко використовують вантажні автомобілі, трактори, комбайни та іншу складну техніку, надійність якої безпосередньо впливає на своєчасність виконання виробничих процесів, зниження простоїв і собівартості робіт.

У першому розділі було виконано проектування машинно-ремонтної майстерні для умовного сільськогосподарського підприємства зони Полісся з площею орних земель 5000 га. Для забезпечення виробничих потреб підприємства підібрано сучасний машинно-тракторний парк, до складу якого включено енергонасичені трактори, зернозбиральні комбайни, вантажні автомобілі, ґрунтообробні, посівні, обприскувальні та допоміжні машини. Проведено розрахунок трудомісткості ремонтно-обслуговувальних робіт, визначено річний обсяг робіт майстерні та складено графік її завантаження. Встановлено, що найбільше навантаження на ремонтну базу припадає на періоди підготовки техніки до весняно-польових і збиральних робіт, тому важливе значення має правильне планування технічного обслуговування та діагностики.

Окрему увагу приділено технічному обслуговуванню сучасного вантажного автомобіля, який використовується для транспортування сільськогосподарської продукції, насіння, добрив, пального та запасних частин. Визначено основні операції щоденного, періодичного та сезонного обслуговування, зокрема контроль технічного стану двигуна, трансмісії, гальмівної системи, ходової частини, електрообладнання та паливної апаратури. Обґрунтовано, що якісне й своєчасне технічне обслуговування автомобілів дозволяє підвищити їх експлуатаційну надійність, зменшити

кількість відмов і забезпечити безперервність транспортного обслуговування виробничих процесів.

У другому розділі проаналізовано існуюче діагностичне обладнання, яке використовується для перевірки паливних систем дизельних двигунів, зокрема систем типу Common Rail. Встановлено, що сучасні стенди та тестери мають високі функціональні можливості, однак часто характеризуються значною вартістю, складністю обслуговування або потребою демонтажу окремих елементів паливної апаратури. Це підвищує трудомісткість діагностичних робіт і збільшує тривалість простою автомобіля. Тому в роботі обґрунтовано доцільність модернізації стенда для діагностики, яка дає змогу розширити його функціональні можливості, підвищити точність визначення несправностей і скоротити час перевірки технічного стану паливної системи.

Запропоноване конструктивне рішення передбачає використання пристрою для вимірювання тиску в системі подачі палива, що дозволяє оцінювати роботу паливного насоса високого тиску, акумулятора тиску та інших елементів системи Common Rail. Виконані конструктивні й технологічні розрахунки підтвердили працездатність основних елементів пристрою, зокрема пружини, різьбових з'єднань і корпусних деталей. Застосування модернізованого діагностичного стенда в умовах машинно-ремонтної майстерні дозволяє проводити перевірку паливної системи більш оперативно та з меншими витратами праці.

У третьому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування прийнятих проектних рішень. Розраховано капітальні вкладення, експлуатаційні витрати, річну економію, строк окупності та економічну ефективність модернізації діагностичного обладнання. Встановлено, що впровадження запропонованого рішення забезпечує зменшення витрат на діагностування та ремонт, скорочення простоїв автомобілів, раціональніше використання робочого часу ремонтного персоналу й підвищення якості технічного сервісу. Економічні розрахунки підтвердили доцільність

модернізації стенда для діагностики та можливість його ефективного використання в умовах сільськогосподарського підприємства.

Отже, поставлена мета кваліфікаційної роботи досягнута. Запропоновані організаційні, технологічні та конструктивні рішення спрямовані на підвищення ефективності технічного обслуговування автомобілів, зменшення трудомісткості діагностичних робіт, скорочення простоїв техніки та покращення роботи машинно-ремонтної майстерні. Практичне впровадження результатів роботи дасть змогу підвищити надійність автомобільного транспорту й машинно-тракторного парку підприємства, забезпечити своєчасне виконання сільськогосподарських робіт і знизити виробничі витрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борак К. В., Ткачук Б. М., Торгонський В. С. Перспективи розвитку технічного сервісу МТП в АПК. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України. С. 61-62.
2. Бендера І. М., Рудь А. В., Козачук О. В. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі : навч. посіб. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2014. 384 с.
3. Борак К. В., Вазінський М. Ю., Дубінін Д. Ю. Особливості технічного обслуговування сучасних дизельних двигунів. Напрями розвитку технологічних систем і логістики в АПВ: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 22 травня 2025 р. Харків: ДБТУ, 2025. С. 35-39.
4. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.
5. Гевко Р. Б., Рогатинський Р. М., Ткаченко І. Г. Машини сільськогосподарського виробництва : навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2005. 228 с.
6. Діагностика технічного стану автомобілів : навч. посіб. / уклад. В. П. Волков, В. М. Павленко, О. Я. Ніконов. Харків : ХНАДУ, 2016. 320 с.
7. Канарчук В. Є., Лудченко О. А., Чигринець А. Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів : підручник. Київ : Вища школа, 1994. 342 с.
8. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.

9. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів : підручник. Київ : Знання-Прес, 2003. 511 с.
10. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння : підручник. Харків : Прапор, 2004. 384 с.
11. Надикто В. Т. Основи наукових досліджень у механізації сільського господарства : навч. посіб. Мелітополь : ТДАТУ, 2015. 220 с.
12. Павленко В. М., Ніконов О. Я., Волков В. П. Технічна експлуатація та обслуговування автомобілів : навч. посіб. Харків : ХНАДУ, 2018. 292 с.
13. Поливач А. П., Сидоренко В. В. Організація технічного сервісу машин в агропромисловому виробництві : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2016. 248 с.
14. Bosch Automotive Handbook. 10th ed. Hoboken : Wiley, 2018. 1776 p.
15. Bosch. Diesel Engine Management : Systems and Components. 5th ed. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 450 p.
16. Heywood J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd ed. New York : McGraw-Hill Education, 2018. 1056 p.
17. Merker G. P., Schwarz C., Stiesch G., Otto F. Simulating Combustion: Simulation of Combustion and Pollutant Formation for Engine-Development. Berlin : Springer, 2006. 402 p.
18. Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines. 4th ed. London : Palgrave Macmillan, 2012. 516 p.
19. MAN Truck & Bus. MAN TGS: Technical Data and Vehicle Information. URL: <https://www.man.eu/> (дата звернення: 21.06.2026).
20. Robert Bosch GmbH. Common Rail System for Diesel Engines. URL: <https://www.bosch-mobility.com/> (дата звернення: 21.06.2026).
21. Robert Bosch GmbH. Diesel Test Equipment EPS Series. URL: <https://www.boschaftermarket.com/> (дата звернення: 21.06.2026).
22. John Deere. 8R 410 Tractor: Specifications. URL: <https://www.deere.com/> (дата звернення: 21.06.2026).

23. CLAAS. LEXION Combine Harvesters: Technical Data. URL: <https://www.claas.com/> (дата звернення: 21.06.2026).

24. HORSCH. Pronto DC Seed Drill: Technical Information. URL: <https://www.horsch.com/> (дата звернення: 21.06.2026).

25. AMAZONE. Pantera 4504 Self-Propelled Sprayer: Product Information. URL: <https://amazone.net/> (дата звернення: 21.06.2026).