МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Чехов Владислав Ігорович

УДК 629.33.083:621.43.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Організація технічного сервісу автомобілів з розробкою стенду для діагностики турбокомпресорів

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 _____ Чехов В.І.

Керівник роботи
Боровський В.М.
старший викладач

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Чехов Владислав Ігорович. Організація технічного сервісу автомобілів з розробкою стенду для діагностики турбокомпресорів. *– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

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

У роботі розглянуто питання підвищення ефективності технічного сервісу автомобільної техніки в умовах сільськогосподарського підприємства. Актуальність теми зумовлена поширеним використанням автомобілів із дизельними двигунами, обладнаними турбонаддувом, та потребою своєчасного виявлення несправностей турбокомпресорів, які впливають на потужність двигуна, витрату палива, надійність і технічну готовність машин. У першому розділі виконано розрахунок параметрів машинно-ремонтної майстерні сільськогосподарського підприємства площею 5000 га, розташованого в зоні Лісостепу Житомирської області. Підібрано сучасний машинно-тракторний і автомобільний парк, визначено річний обсяг ремонтно-обслуговуючих робіт, трудомісткість технічного сервісу, кількість працівників, постів і виробничу площу майстерні. У другому розділі проаналізовано будову, умови роботи та характерні несправності турбокомпресорів автомобільних двигунів. Встановлено, що основними причинами відмов є недостатнє мащення, забруднення оливи, перегрів, зношування підшипникового вузла, дисбаланс ротора, пошкодження ущільнень і порушення герметичності впускного та випускного трактів. Розглянуто способи діагностування, дефектації, очищення, складання, балансування і ремонту турбокомпресорів.У проектній частині обґрунтовано доцільність розробки стенда для діагностики турбокомпресора без встановлення його на двигун. Запропоноване обладнання дає змогу виявляти сторонні шуми, вібрації, витоки, порушення обертання ротора та інші дефекти, що сприяє підвищенню якості ремонту і скороченню простоїв автомобільної техніки. У розділі з охорони праці визначено небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час діагностування й ремонту турбокомпресорів. У техніко-економічному розділі розраховано капітальні вкладення, експлуатаційні витрати, річний економічний ефект, строк окупності та коефіцієнт економічної ефективності. Встановлено, що впровадження стенда є доцільним, оскільки дозволяє зменшити витрати на сторонні діагностичні послуги, скоротити простої автомобілів і підвищити якість технічного сервісу.

Ключові слова: автомобіль, технічний сервіс, машинно-ремонтна майстерня, турбокомпресор, діагностика, стенд, несправність, ремонт

ANNOTATION

Vladislav Igorevich Chekhov. Organisation of a vehicle technical service, including the development of a test bench for diagnosing turbochargers. – *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 paper examines ways of improving the efficiency of technical servicing for motor vehicles within an agricultural enterprise. The relevance of the topic stems from the widespread use of vehicles with turbocharged diesel engines and the need for the timely detection of turbocharger faults, which affect engine power, fuel consumption, reliability and the operational readiness of the vehicles. The first chapter presents a calculation of the parameters for the machinery and repair workshop of an agricultural enterprise covering an area of 5,000 hectares, located in the Forest-Steppe zone of Zhytomyr Oblast. A modern fleet of machinery, tractors and motor vehicles has been selected, and the annual volume of repair and maintenance work, the labour intensity of technical servicing, the number of employees, workstations and the workshop’s production area have been determined. The second chapter analyses the design, operating conditions and typical faults of turbochargers in automotive engines. It has been established that the main causes of failure are insufficient lubrication, oil contamination, overheating, wear of the bearing assembly, rotor imbalance, damage to seals and leaks in the intake and exhaust systems. Methods for diagnosing, identifying faults, cleaning, assembling, balancing and repairing turbochargers are discussed. The design section justifies the feasibility of developing a test bench for diagnosing a turbocharger without installing it on the engine. The proposed equipment makes it possible to detect abnormal noises, vibrations, leaks, rotor rotation irregularities and other defects, thereby helping to improve the quality of repairs and reduce vehicle downtime. The section on health and safety identifies hazardous and harmful occupational factors during the diagnosis and repair of turbochargers. The technical and economic section calculates capital investment, operating costs, annual economic benefit, payback period and economic efficiency ratio. It has been established that the introduction of the test bench is feasible, as it reduces expenditure on external diagnostic services, minimises vehicle downtime and improves the quality of technical servicing.

Keywords: car, technical service, vehicle repair workshop, turbocharger, diagnostics, test bench, fault, repair

.

ЗМІСТ

ВСТУП……..6
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАШИННО-РЕМОНТНОЇ МАЙСТЕРНІ ПРОЕКТНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА…….……10
1.1. Вихідні умови та виробнича характеристика проектного підприємства……..10
1.2. Підбір сучасної техніки для проектного підприємства……...….11
1.3. Обґрунтування автомобільного парку підприємства……..…….13
1.4. Методика розрахунку обсягу ремонтно-обслуговуючих робіт автомобілів…….…14
1.5. Розрахунок кількості технічних обслуговувань автомобілів……..….16
1.6. Розрахунок трудомісткості технічного сервісу автомобілів……....16
1.7. Визначення загального обсягу робіт машинно-ремонтної майстерні……18
1.8. Розрахунок чисельності виробничих працівників…….……..18
1.9. Розрахунок кількості постів автомобільної дільниці……...……19
1.10. Розрахунок виробничих площ майстерні……..…..20
1.11. Організаційна структура машинно-ремонтної майстерні……..…21
Висновки по розділу……..21
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ НЕСПРАВНОСТЕЙ ТУРБОКОМПРЕСОРІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПОСОБІВ ЇХ РЕМОНТУ……...…23
2.1. Призначення та умови роботи турбокомпресора автомобільного двигуна……23
2.2. Основні несправності турбокомпресорів та їх зовнішні ознаки……...…..24
2.3. Причини виникнення відмов турбокомпресорів……..26
2.4. Методи діагностування технічного стану турбокомпресорів……..…27
2.5. Технологічні способи ремонту турбокомпресорів……...……28
2.6. Контроль якості та профілактика повторних відмов……...….29

Висновки по розділу……..30
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА……..……32
3.1 Огляд існуючих конструкцій……..….32
3.2 Призначення та принцип дії розроблюваного обладнання……..….35
3.3. Розрахунок вузлів і деталей установки……...……..37
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ…….……..46
4.1. Загальні положення……...…..46
4.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори……..47
4.3. Вимоги до робочого місця та діагностичного стенду……..47
4.4. Безпечне виконання робіт…….…….48
4.5. Розрахунок вентиляції дільниці……49
4.6. Розрахунок штучного освітлення……..….49
4.7. Електробезпека, пожежна безпека та засоби захисту……..……50
4.8. Висновки з охорони праці……..…….51
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ……..……52
5.1. Мета та вихідні дані розрахунку……...…….52
5.2. Розрахунок капітальних вкладень……..53
5.3. Річні експлуатаційні витрати……..…53
5.4. Економічний результат від впровадження стенда……54
5.5. Розрахунок економічної ефективності……..…55
Висновки по розділу……..56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……...……57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..……60

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Автомобільний транспорт є важливою складовою виробничої інфраструктури сільськогосподарських підприємств, оскільки забезпечує перевезення продукції, матеріалів, запасних частин, пального, добрив, засобів захисту рослин, а також обслуговування машинно-тракторного парку в польових і стаціонарних умовах. Від технічного стану автомобілів значною мірою залежить своєчасність виконання технологічних операцій, ритмічність виробничих процесів, рівень експлуатаційних витрат і загальна ефективність роботи підприємства. Особливо важливого значення набуває організація якісного технічного сервісу в умовах сучасного аграрного виробництва, де автомобільна техніка експлуатується з високим навантаженням, часто у складних дорожніх, кліматичних і виробничих умовах.

Сучасні автомобілі, які використовуються в аграрному секторі, переважно оснащуються дизельними двигунами з турбонаддувом. Турбокомпресор є одним із найбільш відповідальних агрегатів двигуна, оскільки забезпечує подачу підвищеної кількості повітря в циліндри, сприяє зростанню потужності, поліпшенню паливної економічності та зниженню токсичності відпрацьованих газів. Водночас турбокомпресор працює в складних умовах: при високій частоті обертання ротора, значних температурах, дії відпрацьованих газів, підвищених вібраціях та залежності від якості мащення. Тому навіть незначні порушення умов експлуатації можуть призвести до зниження його ресурсу, появи несправностей або повної відмови.

Несправність турбокомпресора негативно впливає на роботу двигуна автомобіля. При цьому спостерігається зниження потужності, збільшення витрати палива, підвищена димність, сторонній шум, витік оливи, погіршення динамічних характеристик і збільшення навантаження на інші системи двигуна. У багатьох випадках несправності турбокомпресора виявляються несвоєчасно, що призводить до поглиблення дефектів, збільшення вартості ремонту та тривалого простою автомобіля. Для сільськогосподарського підприємства це

особливо небажано в періоди напружених польових робіт, коли транспортні засоби повинні працювати безперервно й надійно.

Одним із шляхів підвищення ефективності технічного сервісу автомобілів є удосконалення діагностичного забезпечення ремонтної бази підприємства. Використання спеціалізованого стенда для діагностики турбокомпресора дає змогу визначати технічний стан агрегата без встановлення його на двигун, виявляти характерні несправності, перевіряти герметичність, плавність обертання ротора, наявність шумів, вібрацій і витоків оливи. Це дозволяє скоротити час пошуку несправностей, підвищити якість ремонтних робіт, зменшити кількість помилкових замін справних вузлів і забезпечити більш раціональне використання ремонтного фонду.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності підвищення рівня організації технічного сервісу автомобілів у сільськогосподарському підприємстві шляхом удосконалення процесу діагностування турбокомпресорів. Запровадження спеціалізованого діагностичного обладнання дає змогу покращити технічну готовність автомобільного парку, знизити витрати на ремонт, скоротити простої техніки та підвищити надійність роботи двигунів із турбонаддувом.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності технічного сервісу автомобілів сільськогосподарського підприємства шляхом розробки стенда для діагностики турбокомпресора.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

Проаналізувати умови роботи проектного сільськогосподарського підприємства та підібрати сучасний склад машинно-тракторного й автомобільного парку.

Виконати розрахунок обсягу ремонтно-обслуговуючих робіт і трудомісткості технічного сервісу автомобілів.

Проаналізувати основні несправності турбокомпресорів автомобільних двигунів, причини їх виникнення та способи усунення.

Обґрунтувати доцільність розробки стенда для діагностики турбокомпресора.

Розробити заходи з охорони праці під час виконання робіт із діагностування та ремонту турбокомпресорів.

Виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих проектних рішень.

Об’єктом дослідження є процес технічного сервісу автомобілів у машинно-ремонтній майстерні сільськогосподарського підприємства.

Предметом дослідження є організаційно-технологічні параметри діагностування турбокомпресорів автомобільних двигунів із використанням спеціалізованого стенда.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Боровський В.М., **Чехов В.І.,** Мішута В.Д. Хоменко С.М., Яриновський С.Т. Діагностика як ключовий елемент технічного сервісу сільськогосподарських машин. 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. 111-113

2. Боровський В.М., Прокопчук С.В., Пухтаєвич Є.В., **Чехов В.І.** Особливості технічного сервісу сільськогосподарської техніки в Китаї Технології обробітку ґрунту: види, застосування, переваги й недоліки. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/borovskyj_26.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані рішення можуть бути використані в умовах ремонтної майстерні сільськогосподарського підприємства для підвищення якості діагностування турбокомпресорів, зменшення витрат на ремонт, скорочення простоїв автомобілів і підвищення технічної готовності автомобільного парку.

Таким чином, розробка стенда для діагностики турбокомпресора є доцільним технічним рішенням, спрямованим на вдосконалення системи технічного сервісу автомобілів, підвищення надійності двигунів із турбонаддувом та забезпечення ефективної роботи транспортних засобів у сільськогосподарському виробництві.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновку та списку використаних джерел з 22 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 61 сторінок комп’ютерного тексту, містить 9 рисунків, 23 таблиці та 3 додатки.

РОЗДІЛ 1
РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАШИННО-РЕМОНТНОЇ МАЙСТЕРНІ ПРОЕКТНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА

1.1. Вихідні умови та виробнича характеристика проектного підприємства

Проектне сільськогосподарське підприємство розміщується у зоні Лісостепу Житомирської області та має площу ріллі 5000 га. Для цієї природно-кліматичної зони характерне поєднання зернових, зернобобових і технічних культур, а також значна сезонна концентрація транспортних операцій під час сівби, внесення добрив, захисту рослин і збирання врожаю. За таких умов машинно-ремонтна майстерня повинна забезпечувати не тільки підтримання тракторів і сільськогосподарських машин у працездатному стані, а й оперативний технічний сервіс автомобілів, які виконують основний обсяг перевезень зерна, матеріалів, пального, запасних частин та ремонтних бригад.

Тематика кваліфікаційної роботи передбачає організацію технічного сервісу автомобілів з розробкою стенду для діагностики турбокомпресора. Тому в цьому розділі основна увага приділена формуванню автомобільного парку, визначенню річного пробігу автомобілів, кількості регламентних обслуговувань, трудомісткості технічного сервісу та обґрунтуванню параметрів дільниці, де доцільно розмістити пост діагностування турбокомпресорів дизельних двигунів.

Підприємство розглядається як сучасне товарне господарство зерно-олійного напряму. Для забезпечення стабільного завантаження техніки прийнято структуру посівних площ, у якій переважають озима пшениця, кукурудза на зерно, соняшник, соя, ріпак і ячмінь.

Такий набір культур є типовим для великих господарств Лісостепу та потребує різних за потужністю тракторів, продуктивних зернозбиральних комбайнів, посівних комплексів, самохідних обприскувачів і розвиненого вантажного автотранспорту.

Таблиця 1.1 – Орієнтовна структура посівних площ і валовий збір продукції

Культура	Площа, га	Урожайність, т/га	Валовий збір, т
Пшениця озима	1200	6.0	7200
Кукурудза на зерно	1100	8.5	9350
Соняшник	800	3.0	2400
Соя	700	3.0	2100
Ріпак озимий	500	3.4	1700
Ячмінь ярий	400	5.2	2080
Інші культури, пари, насіннєві ділянки	300	-	-
Разом	5000	-	24830

Орієнтовний валовий збір товарної продукції становить 24830 т. Для розрахунку потреби в автомобілях враховуємо, що частина вантажів переміщується повторно: поле – тік, тік – склад, склад – елеватор або пункт реалізації. Тому транспортний обсяг приймаємо з коефіцієнтом повторності 1,15:

$$Q_{тр} = Q_{вр} \cdot k_{п} = 24830 \cdot 1{,}15 = 28555 \text{ т.} \quad (1.1)$$

Отже, автомобільний парк повинен забезпечити перевезення не менше 28555 т сезонних вантажів, а також виконувати цілорічні господарські, сервісні й забезпечувальні рейси.

1.2. Підбір сучасної техніки для проектного підприємства

Підбір машинно-тракторного парку виконано з урахуванням площі 5000 га, розміщення підприємства в Лісостепу, стислих агротехнічних строків виконання польових робіт і необхідності зменшення простоїв машин під час напружених сезонів. Основою парку прийнято техніку високого класу продуктивності з електронними системами керування, GPS-навігацією, телематикою, економічними дизельними двигунами та можливістю планового діагностування.

Для основного обробітку ґрунту і роботи з широкозахватними агрегатами доцільно застосувати трактори тягового класу 5–8 з потужністю понад 300 к.с.

Для посіву, культивації, внесення добрив і транспортних операцій необхідні універсальні трактори середньої та високої потужності. Зернозбиральні комбайни обираються за умовою своєчасного збирання зернових, кукурудзи, сої, соняшнику та ріпаку без істотних втрат урожаю.

Таблиця 1.2 – Рекомендований склад основної сільськогосподарської техніки

Група техніки	Рекомендована марка/модель	Кількість, од.	Призначення
Трактори надпотужні	John Deere 8R 410/8R 490 або 8RX 410/490	3	Глибоке рихлення, важке дискування, передпосівний обробіток, робота з широкозахватними агрегатами
Трактори потужні універсальні	John Deere 7R 290/350	4	Посів, культивація, транспортування, робота з агрегатами середнього й великого захвату
Трактори середньої потужності	John Deere 6M 180/230	6	Обприскування причіпними агрегатами, внесення добрив, транспорт, допоміжні операції
Трактори допоміжні	New Holland T5.120 / John Deere 6M 125	3	Внутрішньогосподарські роботи, навантаження, обслуговування складів
Зернозбиральні комбайни	CLAAS LEXION 7700 / 7600 з комплектом жаток	4	Збирання зернових, кукурудзи, сої, ріпаку та соняшнику
Самохідні обприскувачі	John Deere R4150i / Horsch Leeb PT	2	Захист рослин та внесення КАС у стислі агротехнічні строки
Посівні комплекси	Horsch Pronto 9 DC, Kinze/John Deere точного висіву	4	Сівба зернових, технічних і просапних культур
Ґрунтообробні агрегати	Дискові борони 6–8 м, глибокорозпушувачі 4–5 м, культиватори 8–12 м	10	Основний і передпосівний обробіток ґрунту
Навантажувачі	JCB 542-70 / Manitou MLT 737	2	Навантаження зерна, добрив, насіння, піддонів і ремонтних матеріалів

Наведений склад техніки є проектним і може уточнюватися залежно від фактичної структури посівів, способу обробітку ґрунту та наявності послуг сторонніх підрядників. Однак для господарства площею 5000 га такий парк забезпечує достатню концентрацію потужності, можливість виконання робіт у оптимальні строки та створює потребу в добре організованій ремонтно-обслуговуючій базі.

1.3. Обґрунтування автомобільного парку підприємства

Автомобільний парк у проектному господарстві має вирішальне значення, оскільки саме автомобілі забезпечують логістику зерна, насіння, добрив, засобів захисту рослин, пального, запасних частин і ремонтних бригад. На відміну від тракторного транспорту, автомобілі мають вищу швидкість руху дорогами загального користування, більшу сезонну продуктивність на відстанях понад 10–15 км і кращу економічність під час перевезень на елеватор або зовнішні склади.

Парк сформовано за принципом поєднання трьох груп машин: вантажні автомобілі для масових перевезень урожаю; спеціальні автомобілі для забезпечення виробництва й технічного сервісу; легкі пікапи та фургони для оперативного управління, доставки персоналу і невеликих вантажів. Особливу увагу приділено автомобілям з дизельними двигунами з турбонаддувом, оскільки саме вони потребують якісної діагностики системи повітропостачання і турбокомпресорів.

Таблиця 1.3 – Проектний склад автомобільного парку

Тип автомобіля	Прийнята модель	Кількість, од.	Орієнтовна вантажність	Основне призначення
Зерновоз-самоскид	MAN TGS 33.480 6x4	5	24	Польове і міжскладське перевезення зерна, робота з причепом у сезон збирання
Сідловий тягач з напівпричепом-зерновозом	MAN TGS 18.430 4x2	3	30–34	Перевезення зерна на елеватор, насіння, мінеральних добрив та ЗЗР
Магістральний тягач	Mercedes-Benz Actros L 1845 LS	2	32–34	Дальнє транспортування зерна, матеріалів і комплектуючих
Пересувна майстерня	IVECO Daily 4x4	2	до 4,0	Виїзне ТО автомобілів і техніки, доставка інструменту, компресора, запчастин
Сервісно-агрономічний пікап	Ford Ranger 4x4	4	до 1,0	Оперативний контроль полів, доставка персоналу, діагностичного обладнання та дрібних вузлів
Автопаливоз	MAN TGM / IVECO Eurocargo 4x2	1	8–10 м³	Підвезення дизельного пального до комбайнів, тракторів і автомобілів
Вантажопасажирський фургон	Renault Master / Mercedes-Benz Sprinter	2	1,2–1,5	Доставка ремонтної бригади, електроінструменту і запасних частин

Для перевезення врожаю основне навантаження покладається на зерновози-самоскиди та автопоїзди з напівпричепами. Їх кількість прийнята з урахуванням валового збору, повторності перевезень і необхідності роботи у пікові періоди збирання. Пікапи та фургони не формують основний

вантажообіг, але забезпечують мобільність агрономічної і сервісної служб. Пересувні майстерні дозволяють усувати частину несправностей у полі або на віддалених виробничих майданчиках без транспортування машини до центральної майстерні.

Прийнятий автомобільний парк налічує 19 одиниць. Більшість автомобілів оснащується турбодизельними двигунами, тому організація діагностування турбокомпресорів у власній майстерні є технічно обґрунтованою. Крім автомобілів, такий стенд може використовуватися для первинної перевірки турбокомпресорів тракторних і комбайнових двигунів після демонтажу, що підвищує завантаження дільниці та скорочує час пошуку несправностей.

1.4. Методика розрахунку обсягу ремонтно-обслуговуючих робіт автомобілів

Річний обсяг ремонтно-обслуговуючих робіт автомобілів визначаємо за плановим річним пробігом кожної групи машин. До складу робіт включаємо технічне обслуговування першого рівня (ТО-1), технічне обслуговування другого рівня (ТО-2), сезонне технічне обслуговування (СО) та поточний ремонт (ПР). Щоденне обслуговування в розрахунку трудомісткості окремо не виділяємо, оскільки його значна частина виконується водіями перед виїздом і після повернення автомобіля.

Кількість ТО-2 визначаємо за формулою:

$$N_{ТО\text{-}2} = L_р / l_{ТО\text{-}2}, \quad (1.2)$$

де $L_р$ – сумарний річний пробіг автомобілів певної групи, км; $l_{ТО\text{-}2}$ – періодичність виконання ТО-2, км.

Кількість ТО-1 визначаємо з урахуванням того, що при виконанні ТО-2 операції ТО-1 не плануються окремо:

$$N_{ТО\text{-}1} = L_р / l_{ТО\text{-}}1 – N_{ТО\text{-}2}. \quad (1.3)$$

Кількість сезонних обслуговувань приймаємо два рази на рік для кожного автомобіля:

$$N_{СО} = 2 \cdot n_{авт}, \quad (1.4)$$

де $n_{авт}$ – кількість автомобілів у групі.

Трудомісткість технічного обслуговування і ремонту визначаємо за формулами:

$$T_{ТО\text{-}1} = N_{ТО\text{-}1} \cdot t_{ТО\text{-}1}; \quad (1.5)$$

$$T_{ТО\text{-}2} = N_{ТО\text{-}2} \cdot t_{ТО\text{-}2}; \quad (1.6)$$

$$T_{СО} = N_{СО} \cdot t_{СО}; \quad (1.7)$$

$$T_{ПР} = (L_р / 1000) \cdot t_{ПР}, \quad (1.8)$$

де $t_{ТО\text{-}1}$, $t_{ТО\text{-}2}$, $t_{СО}$ – трудомісткість одного відповідного обслуговування, люд.-год; $t_{ПР}$ – питома трудомісткість поточного ремонту на 1000 км пробігу, люд.-год/1000 км.

Прийняті нормативи мають навчально-проектний характер і враховують сучасність парку: збільшену міжсервісну періодичність для легких автомобілів і тягачів, але також підвищену складність діагностики електронних систем, паливної апаратури та турбонаддуву.

Таблиця 1.4 – Вихідні дані для розрахунку технічного сервісу автомобілів

Група/модель автомобіля	К-сть	Пробіг 1 авто, тис. км/рік	Сумарний пробіг, тис. км	ТО-1, км	ТО-2, км	$t_{ПР}$, люд.-год/1000 км
MAN TGS 33.480 6x4, зерновоз-самоскид	5	35.0	175.0	5000	20000	6.0
MAN TGS 18.430 4x2, сідловий тягач із зерновим напівпричепом	3	45.0	135.0	5000	20000	5.5
Mercedes-Benz Actros L 1845 LS, магістральний тягач	2	60.0	120.0	10000	40000	5.0
IVECO Daily 4x4, пересувна майстерня	2	25.0	50.0	10000	40000	3.5
Ford Ranger 4x4, сервісно-агрономічний пікап	4	30.0	120.0	10000	30000	2.0
Автопаливоз MAN TGM/IVECO Eurocargo 4x2	1	18.0	18.0	5000	20000	5.5
Renault Master/MB Sprinter, вантажопасажирський фургон	2	22.0	44.0	10000	40000	3.0
Разом	19	-	662.0	-	-	-

1.5. Розрахунок кількості технічних обслуговувань автомобілів

За прийнятими періодичностями визначаємо річну кількість ТО-1, ТО-2 та сезонних обслуговувань для кожної групи автомобілів. Результати розрахунків наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Річна кількість обслуговувань автомобілів

Група/модель автомобіля	Кількість ТО-1	Кількість ТО-2	Кількість СО
MAN TGS 33.480 6×4, зерновоз-самоскид	26.2	8.8	10
MAN TGS 18.430 4×2, сідловий тягач із зерновим напівпричепом	20.2	6.8	6
Mercedes-Benz Actros L 1845 LS, магістральний тягач	9.0	3.0	4
IVECO Daily 4×4, пересувна майстерня	3.8	1.2	4
Ford Ranger 4×4, сервісно-агрономічний пікап	8.0	4.0	8
Автопаливоз MAN TGM/IVECO Eurocargo 4×2	2.7	0.9	2
Renault Master/MB Sprinter, вантажопасажирський фургон	3.3	1.1	4
Разом	73.2	25.8	38

Загалом протягом року необхідно виконати 73.2 ТО-1, 25.8 ТО-2 та 38 сезонних обслуговувань. Дробові значення у плановому розрахунку характеризують середньорічне завантаження майстерні; під час складання календарного графіка їх округлюють до цілого значення з урахуванням фактичного пробігу конкретних автомобілів.

1.6. Розрахунок трудомісткості технічного сервісу автомобілів

Трудомісткість регламентних робіт і поточного ремонту визначаємо за наведеними вище формулами. Поточний ремонт враховує усунення відмов і несправностей ходової частини, гальмівної системи, електрообладнання, системи живлення, охолодження, мащення, наддуву, а також заміну швидкозношуваних деталей.

Таблиця 1.6 – Трудомісткість технічного сервісу автомобілів

Група/модель автомобіля	ТТО-1, люд.-год	ТТО-2, люд.-год	ТСО, люд.-год	ТПР, люд.-год	Разом, люд.-год
MAN TGS 33.480 6×4, зерновоз-самоскид	144.4	157.5	80.0	1050.0	1431.9
MAN TGS 18.430 4×2, сідловий тягач із зерновим напівпричепом	111.4	121.5	48.0	742.5	1023.4
Mercedes-Benz Actros L 1845 LS, магістральний тягач	40.5	48.0	32.0	600.0	720.5
IVECO Daily 4×4, пересувна майстерня	13.1	12.5	16.0	175.0	216.6
Ford Ranger 4×4, сервісно-агрономічний пікап	16.0	24.0	24.0	240.0	304.0
Автопаливоз MAN TGM/IVECO Eurocargo 4×2	13.5	14.4	16.0	99.0	142.9
Renault Master/MB Sprinter, вантажопасажирський фургон	9.9	9.9	16.0	132.0	167.8
Разом	348.8	387.8	232.0	3038.5	4007.1

Сумарна річна трудомісткість технічного сервісу автомобілів без урахування допоміжних робіт становить 4007.1 люд.-год. Найбільша частка припадає на поточний ремонт – 3038.5 люд.-год, або 75.8 % від загального обсягу робіт. Це пояснюється інтенсивною сезонною експлуатацією зерновозів, роботою автомобілів на польових дорогах, значними навантаженнями на трансмісію, гальмові системи і двигуни в період перевезення врожаю.

Для умов реальної майстерні до розрахованого обсягу додаємо допоміжні роботи: приймання автомобіля, мийно-очисні операції, діагностику, переміщення, підготовку запасних частин, контроль якості та оформлення технічної документації. Приймаємо коефіцієнт додаткових робіт kд = 1,18.

$$T_{авт} = T_{осн} \cdot k_д = 4007.1 \cdot 1{,}18 = 4728.3 \text{ люд.-год.} \quad (1.9)$$

Отже, річний виробничий обсяг робіт дільниці технічного сервісу автомобілів становить 4728 люд.-год.

1.7. Визначення загального обсягу робіт машинно-ремонтної майстерні

Оскільки майстерня проектного підприємства обслуговує не тільки автомобілі, а й трактори, комбайни та сільськогосподарські машини, необхідно оцінити загальний річний обсяг робіт ремонтно-обслуговуючої бази. Для попереднього проектування приймаємо укрупнений норматив трудомісткості технічного сервісу машинно-тракторного парку 7,8 люд.-год на 1 га ріллі. Цей норматив охоплює планове технічне обслуговування, поточний ремонт, підготовку машин до сезону, зберігання, діагностику, дрібне відновлення деталей і допоміжні операції.

$$T_{МРМ} = F \cdot q_{МРМ}, \quad (1.10)$$

де F – площа ріллі, га; $q_{МРМ}$ – питомий норматив трудомісткості, люд.-год/га.

$$T_{МРМ} = 5000 \cdot 7{,}8 = 39000 \text{ люд.-год.}$$

Частка автомобільного технічного сервісу в загальному обсязі робіт майстерні становить 12.1 %. Це підтверджує необхідність виділення окремої автомобільної дільниці, але водночас дозволяє використовувати спільні виробничі ресурси: мийну зону, склад запасних частин, компресорну, електротехнічний пост, зварювальне відділення та діагностичне обладнання.

1.8. Розрахунок чисельності виробничих працівників

Чисельність виробничих працівників визначаємо за ефективним річним фондом часу одного робітника. Для навчального проекту приймаємо: 250 робочих днів на рік, тривалість зміни 8 год, втрати часу на відпустки, хвороби та організаційні перерви – 10 %. Тоді ефективний фонд часу одного працівника становить:

$$F_e = 250 \cdot 8 \cdot 0{,}90 = 1800 \text{ год.}$$

Чисельність робітників визначаємо за формулою:

$$P = T / (F_e \cdot k_{вн}), \quad (1.11)$$

де Т – річна трудомісткість робіт, люд.-год; $k_{вн}$ – коефіцієнт виконання норм часу, приймаємо $k_{вн} = 1,05$.

Для автомобільної дільниці: $P_{авт} = 4728.3 / (1800 \cdot 1,05) = 2.50$, приймаємо 3 виробничих працівники.

Для всієї машинно-ремонтної майстерні: $P_{МРМ} = 39000 / (1800 \cdot 1,05) = 20.63$, приймаємо 21 виробничих працівників.

До складу автомобільної дільниці доцільно включити: слюсаря з ремонту автомобілів, автоелектрика-діагноста та майстра-налагоджувальника дизельної апаратури й турбонаддуву. У пікові періоди частина робіт може виконуватися спільно з універсальними слюсарями центральної майстерні.

1.9. Розрахунок кількості постів автомобільної дільниці

Кількість постів для технічного обслуговування і ремонту автомобілів визначаємо за річною трудомісткістю робіт, фондом часу поста, кількістю виконавців на посту та коефіцієнтом використання поста:

$$X = T_{авт} / (D_р \cdot t_{зм} \cdot c \cdot P_п \cdot \eta_п), \qquad (1.12)$$

де $D_р = 250$ днів – кількість робочих днів; $t_{зм} = 8$ год – тривалість зміни; $c = 1$ – кількість змін; $P_п = 1,5$ – середня кількість робітників на посту; ηп = 0,85 – коефіцієнт використання поста.

$$X = 4728.3 / (250 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,85) = 1.85.$$

Приймаємо 2 універсальні пости ТО і поточного ремонту автомобілів. Окремо передбачається один спеціалізований діагностичний пост для електронної діагностики дизельних двигунів, перевірки системи наддуву та роботи стенду діагностики турбокомпресорів.

Орієнтовна трудомісткість робіт, пов’язаних із системою наддуву, приймається як 10 % трудомісткості поточного ремонту дизельних автомобілів плюс 0,3 люд.-год на кожне ТО-2. Тоді $T_{турбо} = 0,10 \cdot 3038.5 + 0,3 \cdot 25.8 = 311.6$ люд.-год/рік.

Річний фонд часу стенда за однозмінної роботи й коефіцієнта використання 0,75 становить $F_{ст} = 250 \cdot 8 \cdot 0,75 = 1500$ год. Коефіцієнт

завантаження стенда: $k_з$ = 311.6 / 1500 = 0.21. Отже, один стенд повністю забезпечує потребу підприємства і має резерв для діагностики турбокомпресорів тракторів та комбайнів.

1.10. Розрахунок виробничих площ майстерні

Виробничу площу центральної машинно-ремонтної майстерні визначаємо за укрупненими нормативами на одного виробничого працівника та з урахуванням площі, яку займають пости, обладнання, проходи і зони безпечного обслуговування. Для попереднього проектування приймаємо питому виробничу площу 18 м² на одного робітника найбільш завантаженої зміни:

$$F_{вир} = P_{МРМ} \cdot f_{пит} = 21 \cdot 18 = 378 \text{ м}^2. \quad (1.13)$$

З урахуванням складських, допоміжних, санітарно-побутових і адміністративних приміщень приймаємо коефіцієнт розширення 1,30:

$$F_{заг} = 378 \cdot 1{,}30 = 491 \text{ м}^2.$$

Таким чином, орієнтовна загальна площа машинно-ремонтної майстерні становить 491 м². Для автомобільної дільниці площу уточнюємо за кількістю постів. Один пост для вантажного автомобіля з проходами та обладнанням приймаємо 54 м², діагностичний пост – 36 м², мийно-очисну зону – 54 м², склад запасних частин і агрегатів автомобільної дільниці – 24 м².

Таблиця 1.7 – Орієнтовна площа автомобільної дільниці

Елемент дільниці	Кількість	Площа одиниці, м²	Загальна площа, м²
Пости ТО і поточного ремонту автомобілів	2	54	108
Діагностичний пост і стенд турбокомпресорів	1	36	36
Мийно-очисна зона	1	54	54
Склад запасних частин автомобільної дільниці	1	24	24
Разом автомобільна дільниця	-	-	222

Орієнтовна площа автомобільної дільниці становить 222 м². Її доцільно розмістити суміжно з мийною зоною, складом запасних частин і

електротехнічною дільницею, що скорочує непродуктивні переміщення автомобілів і підвищує якість діагностики.

1.11. Організаційна структура машинно-ремонтної майстерні

Для проектного підприємства доцільно передбачити центральну машинно-ремонтну майстерню з такими основними виробничими зонами: дільниця технічного обслуговування та ремонту автомобілів; тракторно-комбайнова дільниця; агрегатна дільниця; слюсарно-механічна дільниця; електротехнічна та діагностична дільниця; зварювальна дільниця; шиномонтажний пост; мийно-очисна зона; склад запасних частин і матеріалів; приміщення майстра та технічної документації.

Автомобільна дільниця повинна виконувати планове ТО, поточний ремонт, комп’ютерну діагностику, перевірку гальмівної системи, контроль стану підвіски, заміну мастил і фільтрів, обслуговування системи охолодження, паливної системи та турбонаддуву. Наявність окремого стенда для діагностики турбокомпресорів дасть змогу перевіряти герметичність, наявність люфтів, продуктивність повітряного тракту та стан керування геометрією турбіни до встановлення агрегату на двигун.

Запровадження такого поста особливо важливе для сучасних дизельних автомобілів, оскільки падіння тиску наддуву, зношення підшипникового вузла, забруднення геометрії турбіни або негерметичність повітряних патрубків спричиняють збільшення витрати пального, втрату потужності, перегрів двигуна і підвищену димність. Рання діагностика дозволяє не доводити несправність до руйнування турбокомпресора й простою автомобіля під час збирання врожаю.

Висновки по розділу

1. Для проектного підприємства площею 5000 га у зоні Лісостепу Житомирської області підібрано сучасний машинно-тракторний і автомобільний парк, орієнтований на зерно-олійний напрям виробництва.

Автомобільний парк включає 19 одиниць: зерновози-самоскиди, сідлові тягачі з напівпричепами, магістральні тягачі, пересувні майстерні, пікапи, автопаливоз і вантажопасажирські фургони.

2. Орієнтовний валовий збір продукції за прийнятою структурою посівів становить 24830 т, а розрахунковий транспортний обсяг з урахуванням повторності перевезень – 28555 т. Це обґрунтовує застосування продуктивних зерновозів і автопоїздів.

3. Сумарний річний пробіг автомобілів прийнятого парку становить 662000 км. За рік потрібно виконати 73.2 ТО-1, 25.8 ТО-2 та 38 сезонних обслуговувань.

4. Річна трудомісткість технічного сервісу автомобілів з урахуванням допоміжних робіт становить 4728 люд.-год. Для виконання цих робіт потрібно 3 виробничих працівники автомобільної дільниці та 2 універсальні пости ТО і поточного ремонту.

5. Загальний річний обсяг робіт машинно-ремонтної майстерні за укрупненим нормативом становить 39000 люд.-год, що відповідає потребі у 21 виробничому працівнику. Орієнтовна площа всієї майстерні становить 491 м², з них автомобільна дільниця – 222 м².

6. Розрахункова трудомісткість робіт, пов’язаних із діагностуванням турбокомпресорів автомобільних дизелів, становить 311.6 люд.-год/рік. Один спеціалізований стенд має достатній резерв пропускної здатності, тому його впровадження є доцільним для зменшення простоїв автомобілів і підвищення якості технічного сервісу.

РОЗДІЛ 2
АНАЛІЗ НЕСПРАВНОСТЕЙ ТУРБОКОМПРЕСОРІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПОСОБІВ ЇХ РЕМОНТУ

2.1. Призначення та умови роботи турбокомпресора автомобільного двигуна

Турбокомпресор є одним із найвідповідальніших агрегатів сучасного автомобільного двигуна, особливо дизельного двигуна вантажних автомобілів сільськогосподарського підприємства. Його основне призначення полягає у використанні енергії відпрацьованих газів для приводу компресорного колеса, яке стискає повітря перед подачею у впускний тракт. Завдяки цьому в циліндри двигуна надходить більша маса повітря, поліпшується згоряння палива, зростає потужність і крутний момент, а також знижується питома витрата палива.

Умови роботи турбокомпресора є значно важчими порівняно з більшістю інших вузлів автомобіля. Ротор обертається з дуже високою частотою, вузол підшипників працює в умовах тонкої масляної плівки, а корпус турбіни постійно контактує з потоком гарячих відпрацьованих газів. Для автомобілів, що експлуатуються у складі аграрного підприємства, додатковими чинниками є запиленість повітря під час руху польовими дорогами, змінні навантаження, часті пуски, робота з причепами та тривале функціонування на середніх і високих обертах.

Конструктивно турбокомпресор складається з турбінного колеса, компресорного колеса, ротора, корпусу підшипників, радіальних і упорних підшипників ковзання або кочення, ущільнювальних кілець, каналів підведення й відведення оливи, а також елементів регулювання тиску наддуву.

На сучасних двигунах застосовуються турбокомпресори з перепускним клапаном, змінною геометрією турбіни, вакуумним або електронним приводом актуатора. Тому під час ремонту необхідно враховувати не тільки механічний стан ротора, а й справність системи керування наддувом.

Надійність турбокомпресора безпосередньо залежить від стану систем мащення, повітропостачання, випуску відпрацьованих газів та охолодження двигуна. Якщо до агрегату надходить забруднена або недостатня за кількістю олива, пошкодження підшипників і ротора може виникнути за короткий час. Аналогічно небезпечними є підсмоктування нефільтрованого повітря, руйнування патрубків, засмічення інтеркулера, підвищений протитиск у випускній системі та неправильна експлуатація після тривалої роботи під навантаженням.

2.2. Основні несправності турбокомпресорів та їх зовнішні ознаки

Несправності турбокомпресорів доцільно поділяти на механічні, гідродинамічні, теплові, аеродинамічні та несправності системи керування. Такий поділ дає можливість швидше встановити першопричину відмови і не обмежуватися заміною самого агрегату. У практиці технічного сервісу поширеною помилкою є встановлення нового або відновленого турбокомпресора без усунення несправності двигуна, системи мащення чи повітряного тракту, що призводить до повторної відмови.

До найхарактерніших зовнішніх ознак несправності належать зниження потужності двигуна, підвищена димність випуску, збільшена витрата оливи, свист або сторонній шум під час розгону, нестабільний тиск наддуву, поява оливи у впускному чи випускному тракті, перегрівання двигуна та помилки електронної системи керування. Однак кожна з цих ознак може бути зумовлена не тільки турбокомпресором, а й повітряним фільтром, інтеркулером, паливною апаратурою, клапаном EGR, датчиками тиску або станом циліндро-поршневої групи.

Таблиця 2.1 – Типові несправності турбокомпресорів автомобільних двигунів

Зовнішня ознака	Ймовірна несправність	Основна причина
Падіння тяги, повільний розгін	Недостатній тиск наддуву, заклинювання геометрії, витік повітря	Негерметичність патрубків, забруднення інтеркулера, несправність актуатора
Синій дим, висока витрата оливи	Підтікання оливи через ущільнення турбіни або компресора	Зношення підшипників, підвищений тиск у картері, забитий злив оливи
Чорний дим	Недостатня подача повітря або порушення керування наддувом	Засмічений фільтр, негерметичний впуск, несправність EGR чи датчика тиску
Свист, гул, скрегіт	Дисбаланс ротора, контакт коліс з корпусом, пошкодження лопаток	Знос підшипників, сторонні предмети, робота без належного мащення
Олива у впускному тракті	Порушення ущільнення з боку компресора	Надлишковий люфт ротора, забруднений повітряний фільтр, неправильна вентиляція картера
Надмірний тиск наддуву	Не відкривається перепускний клапан або заклинює геометрія	Несправність вакуумного приводу, електронного актуатора або механізму VGT

Наведені ознаки необхідно розглядати комплексно. Наприклад, наявність оливи у патрубках наддуву не завжди свідчить про повне руйнування турбокомпресора, оскільки незначна кількість масляного туману може потрапляти у впуск через систему вентиляції картера. Остаточний висновок роблять після перевірки люфтів ротора, огляду лопаток, контролю тиску оливи, вимірювання тиску наддуву та перевірки герметичності магістралей.

2.3. Причини виникнення відмов турбокомпресорів

Першою групою причин є порушення мащення. Підшипниковий вузол турбокомпресора потребує безперервного підведення чистої моторної оливи під установленим тиском. Зниження рівня оливи, засмічення маслопроводу, використання невідповідної в'язкості, забруднений фільтр або відкладення нагару в каналах призводять до перегрівання, задирів шийок ротора, руйнування підшипників і появи осьового та радіального люфту.

Другою поширеною причиною є забруднення оливи механічними домішками, сажею або продуктами зношування двигуна. Абразивні частинки проходять через підшипниковий вузол і пошкоджують робочі поверхні. Ознаками такого дефекту є риски на шийках вала, потемніння підшипників, збільшення зазорів і нестабільність обертання ротора. Тому заміна турбокомпресора без промивання системи мащення та заміни оливи не забезпечує довговічного результату.

Третя група причин пов'язана з потраплянням сторонніх предметів у компресорну або турбінну частину. З боку компресора це можуть бути частинки пилу, уламки повітряного фільтра, фрагменти патрубків або кріпильні елементи, які залишилися після ремонту. З боку турбіни небезпеку становлять уламки клапанів, частинки нагару, елементи прокладок, частини випускного колектора. Наслідком є забоїни, деформація або руйнування лопаток, дисбаланс ротора і зниження продуктивності.

Четвертою причиною є перевищення допустимої частоти обертання ротора. Такий режим виникає при витоках повітря після компресора, засміченому повітряному фільтрі, несправності регулювання геометрії або некоректному тюнінгу двигуна. Електронний блок керування намагається підтримати потрібний тиск наддуву, турбокомпресор працює з підвищеним навантаженням, що спричиняє перегрівання, втомні тріщини лопаток і руйнування колеса.

Окремо слід враховувати теплові перевантаження. Різка зупинка двигуна після тривалої роботи під навантаженням погіршує охолодження турбіни, в

корпусі підшипників утворюються коксові відкладення, а олива втрачає свої властивості. Для автомобілів, що виконують перевезення зерна, добрив, пального та технічних матеріалів у межах господарства, такі режими є типовими під час сезонних робіт, тому водії повинні дотримуватися правил поступового охолодження агрегату.

2.4. Методи діагностування технічного стану турбокомпресорів

Діагностування турбокомпресора починають без демонтажу агрегату з автомобіля. На цьому етапі перевіряють скарги водія, коди помилок електронного блока керування, стан повітряного фільтра, герметичність патрубків, наявність тріщин у впускному і випускному трактах, стан вакуумних шлангів або електроприводу актуатора. Обов’язковою є перевірка рівня, якості та тиску моторної оливи, оскільки значна частина відмов виникає саме через порушення мащення.

Наступним етапом є контроль робочих параметрів. За допомогою діагностичного сканера визначають фактичний і заданий тиск наддуву, положення актуатора, масову витрату повітря, температуру повітря після інтеркулера, корекції паливної системи. Якщо фактичний тиск відстає від заданого, перевіряють герметичність системи наддуву та справність приводу геометрії. Якщо тиск надмірний, увагу приділяють перепускному клапану, механізму VGT і датчикам.

Після демонтажу виконують зовнішній огляд турбокомпресора. Оцінюють стан компресорного і турбінного коліс, наявність механічних пошкоджень лопаток, слідів контакту з корпусами, тріщин, деформацій, нагару та підтікання оливи. Радіальний люфт ротора перевіряють індикатором годинникового типу, а осьовий люфт порівнюють із допустимими значеннями для конкретної моделі. Значне перевищення зазорів свідчить про зношення підшипникового вузла.

Для поглибленої перевірки застосовують спеціалізовані стенди. На стенді можна перевірити герметичність корпусу, опір обертанню ротора, роботу

актуатора, реакцію механізму змінної геометрії, стабільність тиску наддуву та відсутність надмірної вібрації. Саме необхідність точної стендової діагностики обґрунтовує розробку стенду для діагностики турбокомпресора у межах даної кваліфікаційної роботи.

2.5. Технологічні способи ремонту турбокомпресорів

Ремонт турбокомпресора доцільно виконувати за технологічним маршрутом, який забезпечує повне виявлення дефектів і відновлення працездатності агрегату. Основними етапами є приймання у ремонт, попереднє очищення, розбирання, дефектація деталей, промивання каналів, заміна зношених елементів, відновлення посадкових поверхонь, балансування ротора, складання, стендова перевірка та оформлення результатів контролю.

Розбирання необхідно проводити з попереднім маркуванням взаємного положення корпусів, щоб зберегти монтажну орієнтацію. Забороняється застосовувати ударні методи, які можуть пошкодити корпуси або деформувати вал. Деталі очищають від оливи, нагару та продуктів корозії. Особливо ретельно промивають канали підведення і відведення оливи, оскільки залишки відкладень можуть стати причиною повторної відмови після ремонту.

Дефектація полягає у вимірюванні діаметрів шийок вала, перевірці биття ротора, контролі стану підшипників, ущільнювальних кілець, упорної шайби, корпусу підшипників, компресорного та турбінного коліс. Деталі з тріщинами, значним зношенням, викришуванням лопаток або перегрівом замінюють. У більшості випадків економічно доцільною є заміна ремонтного комплекту, до якого входять підшипники, стопорні кільця, ущільнювачі та упорні елементи.

Одним із ключових етапів є балансування ротора. Навіть незначний дисбаланс при високій частоті обертання призводить до вібрації, прискореного зношування підшипників і контакту коліс із корпусами. Балансування виконують спочатку для окремих деталей, а потім для картриджа у зборі. Після балансування перевіряють легкість обертання, відсутність зачіпання, відповідність осьового і радіального люфту технічним вимогам.

Ремонт турбокомпресорів зі змінною геометрією має додаткові операції. Механізм напрямних лопаток очищують від нагару, перевіряють свободу переміщення, зношення осей і важелів, герметичність вакуумного приводу або справність електронного актуатора. Після складання необхідно відрегулювати положення штока актуатора, оскільки неправильне регулювання може спричинити недостатній або надмірний тиск наддуву.

Таблиця 2.2 – Технологічний маршрут ремонту турбокомпресора

Етап	Зміст робіт	Технічний результат
Приймання і попередня діагностика	Фіксація скарг, огляд агрегату, визначення характеру відмови	Встановлення напряму дефектації
Очищення і розбирання	Видалення забруднень, маркування корпусів, демонтаж картриджа	Підготовка деталей до вимірювання
Дефектація	Огляд лопаток, корпусів, валу, підшипників, перевірка люфтів	Рішення про заміну або відновлення деталей
Відновлення і заміна деталей	Заміна ремкомплекту, очищення каналів, відновлення посадок	Усунення механічних і гідравлічних дефектів
Балансування	Балансування ротора і картриджа у зборі	Зменшення вібрації та підвищення ресурсу
Складання і регулювання	Монтаж корпусів, перевірка актуатора, регулювання геометрії	Готовність до стендової перевірки
Контроль	Перевірка герметичності, люфтів, обертання, роботи керування	Підтвердження працездатності агрегату

2.6. Контроль якості та профілактика повторних відмов

Якість ремонту оцінюють не тільки за зовнішнім виглядом турбокомпресора, а й за відповідністю контрольних параметрів. До них належать радіальний та осьовий люфт ротора, відсутність контакту коліс із корпусами, герметичність масляних каналів, справність актуатора, стабільність переміщення механізму змінної геометрії, відсутність надмірного шуму і

вібрації. Після встановлення агрегату на двигун обов’язково контролюють тиск оливи та тиск наддуву в різних режимах роботи.

Для запобігання повторним відмовам під час заміни або ремонту турбокомпресора необхідно усунути першопричину пошкодження. Слід замінити моторну оливу та фільтр, промити або замінити маслопроводи, перевірити злив оливи, очистити впускний тракт та інтеркулер, установити якісний повітряний фільтр, перевірити герметичність патрубків і стан системи вентиляції картера. Якщо у попередньому турбокомпресорі було руйнування коліс, потрібно переконатися, що уламки не залишилися у впускній або випускній системі.

Після монтажу відремонтованого агрегату перед першим запуском необхідно заповнити корпус підшипників чистою моторною оливою та короткочасно прокрутити двигун без подачі палива або без запуску, якщо це допускається конструкцією автомобіля. Перші хвилини роботи мають проходити на холостому ходу без різкого збільшення обертів. Такий порядок забезпечує формування масляної плівки в підшипниках і зменшує ризик сухого тертя.

Для автомобілів проектного сільськогосподарського підприємства профілактичне обслуговування турбокомпресорів має включати регулярний контроль стану повітряних фільтрів, своєчасну заміну оливи, огляд патрубків наддуву перед напруженими сезонними роботами, перевірку відсутності витоків повітря та оливи, а також діагностику тиску наддуву при планових ТО. Особливу увагу необхідно приділяти вантажним автомобілям, які працюють у пилових умовах і з підвищеним навантаженням під час перевезення зерна, силосу, добрив та запасних частин.

Висновки по розділу

У результаті аналізу встановлено, що турбокомпресор працює в умовах високих температур, значних частот обертання та залежить від справності систем мащення, повітропостачання, випуску й електронного керування

двигуном. Найпоширенішими причинами відмов є недостатнє мащення, забруднення оливи, потрапляння сторонніх предметів, перегрівання, перевищення частоти обертання ротора, зношення підшипникового вузла та несправність актуатора або механізму змінної геометрії.

Ефективний ремонт турбокомпресора можливий лише за умови комплексної діагностики. Просте встановлення нового агрегату без перевірки масляної системи, впускного тракту, інтеркулера, вентиляції картера та системи керування наддувом не гарантує відновлення працездатності двигуна. Технологічний процес ремонту повинен включати очищення, розбирання, дефектацію, заміну зношених деталей, балансування ротора, складання, регулювання і стендовий контроль.

Для умов проектного підприємства доцільним є використання спеціалізованого стенду для діагностики турбокомпресорів, оскільки він дає змогу перевіряти працездатність агрегату до встановлення на автомобіль, зменшувати кількість повторних відмов, скорочувати простої техніки та підвищувати якість технічного сервісу автомобільного парку.

РОЗДІЛ 3
КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА

3.1 Огляд існуючих конструкцій

3.1.1 Стенд для дослідження турбокомпресорів QZY-2

Стенд застосовується для тестування продуктивності турбокомпресора на різних моделях ДВЗ вантажівок. Стенд призначений для безмоторного випробування ТКР двигунів внутрішнього згоряння з метою визначення показників якості.

Технічні характеристики:

Габарити.....1350×850×1800 мм

Напруга мережі.....380 В

Потужність двигуна масляного насоса....4 кВт

Максимальні оберти ротора

турбокомпресора при випробуванні.....18000 об/хв

Тиск повітря..... 17,5 гсм

Максимальний тиск масла.....20 кг/см

Місткість масляного бака..... 10 л

Загальна маса не більше..... 4000 кг

Переваги: точність вимірювання.

Недоліки: необхідна мережа високої напруги; складність виготовлення; висока вартість; велика маса.



Рис. 3.1. Стенд для дослідження турбокомпресорів QY-2.

3.1.2 Стенд для дослідження турбокомпресорів ІТК-3.

Стенд замкнутого циклу являє собою безмоторну установку для моделювання різних режимів роботи турбокомпресора, що відповідають режимам його роботи на двигуні, та для визначення параметрів турбокомпресора на цих режимах відповідно до технічних умов на турбокомпресор. Він призначений для безмоторного випробування ТКР двигунів внутрішнього згоряння з метою визначення показників якості.

Технічні характеристики:

Габарити.....1520×680×1600 мм

Напруга мережі.....380 В

Потужність двигуна масляного насоса...4 кВт

Максимальні оберти ротора

турбокомпресора при випробуванні…...15000 об/хв

Тиск повітря.....15 кг/см²

Максимальний тиск масла.....20 кг/см²

Місткість масляного бака..... 5 л

Загальна маса не більше..... 380 кг

Переваги: простота експлуатації.

Недоліки: велика маса; необхідна мережа високої напруги; складність виготовлення; висока вартість



Рис. 3.2. Стенд для дослідження турбокомпресорів ІТК-3.

3.1.3 Стенд для дослідження турбокомпресорів СТТ-06

Стенд призначений для випробування турбокомпресорів тепловозних дизелів при номінальних обертах, визначення часу вибігу ротора турбокомпресора, розрядження на всмоктування, тиску масла в системі змащення.

Технічні характеристики:

Габарити.....800×1750×1900 мм

Напруга мережі.....380 В

Потужність двигуна масляного насоса...5 кВт

Максимальні оберти ротора

турбокомпресора при випробуванні…..10000 об/хв

Тиск повітря.....21,5 кг/см

Максимальний тиск масла.....27 кг/см²

Місткість масляного бака.....10 л

Загальна маса не більше.....450 кг



Рис. 3.3. Стенд для дослідження турбокомпресорів СТТ-06.

Переваги: висока якість обладнання.

Недоліки: потрібна електрична мережа; складність виготовлення; висока вартість; велика маса.

3.2 Призначення та принцип дії розроблюваного обладнання

Стенд призначений для безмоторного випробування ТКР двигунів внутрішнього згоряння з метою визначення показників продуктивності турбокомпресора.

Схема стенду, представлена на рис. 3.4, складається з таких основних елементів: випробуваного турбокомпресора; паливної системи; спеціального балона зі стисненим повітрям (замість нього може бути використана мережа живлення стисненим повітрям), що подає повітря в камеру згоряння (тип камери згоряння реактивного двигуна) на режимах запуску турбокомпресорів; багатоканального реєстратора сигналів, що надходять від первинних вимірювальних перетворювачів; панелі керування; ЕОМ, що застосовується для обробки інформації.

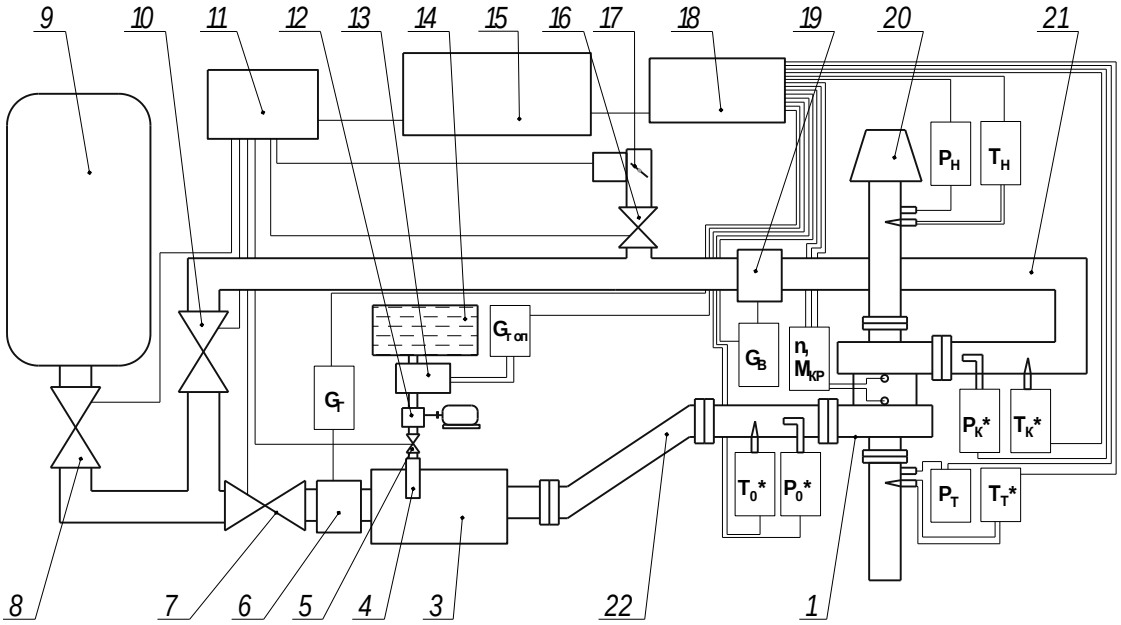


Рис. 3.4. Схема стенду.

Принцип дії установки наступний. На початку експерименту вентиль 8 знаходиться в закритому стані. Відкриваючи вентиль 10, повітря зі спеціального балона 9 (або з мережі живлення стисненим повітрям) надходить у камеру згоряння 3. У цей момент паливо з бака 14 за допомогою насоса 11 надходить до форсунки 4 через клапан 4, який регулює витрату палива. Потім газ із камери згоряння надходить у турбіну турбокомпресора 1, де після виконання роботи відводиться в атмосферу. У цей момент у компресорі відбувається стиснення повітря, яке надходить у нього з атмосфери через фільтр 3. Оскільки кран 10 у режимі запуску випробуваної установки знаходиться в закритому положенні, то стиснене повітря на виході з компресора через відкритий клапан 20 і дросельну заслінку 5 виходить в атмосферу.

Після того як частота обертання турбокомпресора досягла необхідного значення (тиск на виході з компресора перевищує 300 кПа), вентиль 14 відкривається, а 9 і 13 закриваються. У цей момент стиснене повітря з компресора перестає витікати в атмосферу і надходить у камеру згоряння. Тільки в цей момент можна приступати до вимірювань параметрів газу і турбокомпресора.

Режим роботи турбіни встановлюється шляхом регулювання витрати та температури газу. Зміна витрати газу, що проходить через турбіну, досягається за допомогою клапана 8, а через компресор (при закритому клапані 13) – за допомогою дросельної заслінки 15. Необхідна температура робочих газів, що надходять з камери згоряння в турбіну, встановлюється зміною кількості палива, що впорскується форсункою в камеру згоряння, за допомогою вентиля 5. Управління клапанами 6, 8, 9, 11, 14, дросельною заслінкою 14 та режимом роботи елемента 2 здійснюється за допомогою винесеної панелі управління 13 вручну або за допомогою ЕОМ 15, до якої підключаються органи управління з панелі 11. Реєстрація виміряних параметрів здійснюється за допомогою реєстратора 15, який передає всю інформацію в ЕОМ.

Потужність, що розвивається турбіною, поглинається компресором, який виконує роль повітряного гальма.

Для усунення теплових втрат у навколишнє середовище трубопроводи на ділянці від камери згоряння до входу в турбіну і виходу з неї, а також на виході з компресора, теплоізольовані.

Під час проведення випробувань вимірюються такі параметри: P_H – тиск навколишнього середовища; T_H – температура навколишнього середовища; P_K* – повний тиск на виході з компресора; T_K* – повна температура на виході з компресора; G_B – витрата повітря через компресор; $G_Г$ – витрата газу через турбіну; G_T – витрата палива; P_0* – повний тиск на вході в турбіну; T_0* – повна температура на вході в турбіну; P_T – статичний тиск на виході з турбіни; T_T* – повна температура на виході з турбіни; M_{KP} – крутний момент на валу турбокомпресора; n – частота обертання вала турбокомпресора.

3.3. Розрахунок вузлів і деталей установки

3.3.1 Розрахунок приводу масляного насоса

Технічні розрахунки установки проводимо з урахуванням форми та розміщення стандартних деталей.

Виходячи з масляного тиску, необхідного для турбокомпресора, обираємо масляний насос НМШ 2-40-2/5.

Технічні характеристики:

Подача……..……2 м^3 /год

Тиск…….....0,6 МПа

Потужність на привід масляного насоса можна розрахувати за виразом:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{нас}_\text{в}}}{\eta_{\text{мех}}} \quad (3.1)$$

де $N_{нас}$ – потужність на привід насоса;

$\eta_{мех}$ – повний механічний ККД.

$$\eta_{\text{мех}} = \eta_0 \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{г}}, \quad (3.2)$$

де $\eta_н$ – коефіцієнт корисної дії насоса

$\eta_о$ – об'ємний ККД, що враховує протікання рідини із зони більшого тиску в зону меншого ($\eta_о$ = 0,85 – 0,98);

$\eta_м$ – загальний механічний ККД, що враховує механічне тертя в підшипниках і ущільнення вала, а також гідравлічне тертя непрацюючих поверхонь коліс, приймається $\eta_м$ =0,92 – 0,96;

$\eta_г$ – гідравлічний ККД, що враховує гідравлічне тертя (для сучасних насосів $\eta_г$ = 0,85 – 0,96)

$$\eta_H = 0{,}92 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}88 = 0{,}704$$

Визначаємо втрати напору у всмоктувальній лінії за формулою:

$$\text{h п.в.л.} = (\lambda \cdot \frac{Lbc}{d\text{экв}} + \sum \xi bc) \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \quad (3.3)$$

де λ – коефіцієнт тертя;

Lbc – довжина трубопроводу на лінії всмоктування, м;

$d_{екв}$ – еквівалентний діаметр, м;

$\sum \xi bc$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів на лінії всмоктування.

$$\text{h п.в.л.} = (0{,}026 \cdot \frac{6}{0{,}064} + 4{,}7 + 4{,}7 + 0{,}5) \cdot \frac{1{,}86^2}{20}) = 2{,}134 \text{ м}$$

Визначаємо втрати напору в нагнітальній лінії за формулою:

$$\text{h п.л.н.} = (\lambda \frac{L\text{нагн}}{d\text{экв}} + \sum \xi\text{нагн}) \cdot \frac{\omega^2}{2g},$$

де $L_{нагн}$ – довжина трубопроводу на лінії нагнітання, м;

$\sum \xi$нагн – сума коефіцієнтів місцевих опорів на лінії нагнітання.

$$\text{h п.л.н.} = (0{,}026 \cdot \frac{15}{0{,}064} + 4{,}7 + 4{,}7 + 1 + 3{,}2) \cdot \frac{1{,}86^2}{20} = 3{,}40 \text{ м}$$

h повн. = 3,40+2,134=5,540 м

Визначаємо повний напір, що розвивається насосом, за формулою:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{pg} + H_г + h_п, \quad (3.4)$$

де P_1 – тиск в апараті, з якого перекачується рідина, Па;

P_2 – тиск в апараті, в який подається рідина, Па;

$H_г$ – геометрична висота підйому рідини, м;

$h_п$ – повна втрата напору у всмоктувальній та нагнітальній лініях.

$$H = \frac{0{,}6 \cdot 10^6}{900 \cdot 9{,}8} + 1{,}1 + 5{,}54 = 24{,}6 \text{ м}$$

$$N_а\text{нас} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot g \cdot H}{1000}, \quad (3.5)$$

де $Q_{дн}$ – дійсна продуктивність насоса;

γ – щільність масла, кг/м3;

g – прискорення сили тяжіння, що дорівнює 9,8 м/с^2

H – напір, що розвивається насосом.

$$N_а\text{нас} = \frac{900 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}0007 \cdot 24{,}6}{1000} = 0{,}62\text{кВт}.$$

Потужність на привід масляного насоса:

$$N_{пр} = \frac{0{,}62}{0{,}7} = 0{,}88 \text{ кВт}$$

Потужність на валу електродвигуна (споживана):

$$N\partial = \frac{N}{\eta\partial в}, \quad (3.6)$$

де $\eta\partial в$ – ККД електродвигуна, який приймається орієнтовно залежно від номінальної потужності.

$$N\partial = \frac{0{,}88}{0{,}90} = 0{,}97 \text{ кВт}$$

За споживаною потужністю електродвигуна $N_д$=0,97кВт та орієнтовними обертами обираємо електродвигун 4А80А

Електродвигуни серії 4А – закриті, з обдуванням, спеціально пристосовані для роботи в запилених приміщеннях. Характеризуються простотою конструкції та обслуговування, невисокою вартістю. Перевагу слід віддавати високообертовим двигунам, оскільки вони дешевші та мають менші габарити. потужність двигуна $N_∂$ = 1,1 кВт; частота обертання n = 1500 об/хв.

Для з'єднання валів приймаємо пружну втулково-пальцеву муфту, яка виготовляється за ДСТУ. МУВП отримали найширше поширення на практиці, оскільки прості за конструкцією, надійні в експлуатації, забезпечують легкість монтажу та демонтажу. Муфта складається з двох напівмуфт, на одній з яких закріплюються пальці з надітими на них пружними втулками. Напівмуфти виготовляються з чавуну СЧ 21–40, а пальці – зі сталі 45, втулки – зі спеціальної гуми. Муфти вибираються за $M_{кр.\ розр.}$– розрахунковим крутним моментом і діаметрами хвостовиків, на які вона встановлюється.

$$M_{кр\ розр} = M_{кр\ ном} \cdot \alpha_0 \qquad (3.6)$$

$$M_{кр\ розр} = 5{,}3 \cdot 1{,}5 = 7{,}95\ Н \cdot м$$

Вибираємо МУВП–16, для якої: $M_{кр}$ = 16 Н·м; d=16 мм; D=15 мм; L=83 мм; D_0 =20 мм; $d_п$ =8 мм; z =6 мм; l_1 =14 мм; $l_п$ =20 мм; b=6 мм.

Перевірка на вигин і зминання:

$$\sigma_И = \frac{Ми}{W_0} \le [\sigma_И] \qquad (3.7)$$

$$M_i = F_t \cdot (l_n / 2) \qquad (3.8)$$

$$F_t = 2 \cdot M_{кр.\ розр.} / D_0 \cdot Z \qquad (3.9)$$

$$W_0 = \pi \cdot d_n^3 / 32 = 0{,}1 \cdot d_n^3 \qquad (3.10)$$

$$\sigma_И = \frac{6 \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 20}{8^3 \cdot 60 \cdot 6} = 16{,}6 МПа$$

σ_i = 16,6 МПа <[σ_0] = 80…120 МПа

$$\sigma_{ЗМ} = \frac{2 \cdot Мкр_{РАЩ}}{D_0 \cdot z \cdot d_П \cdot (l_П - y)} \qquad (3.11)$$

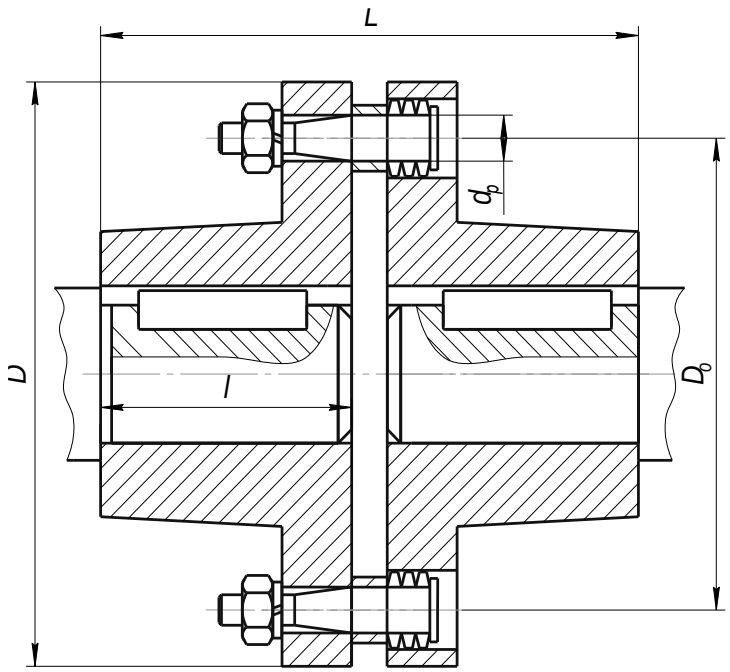


Рис. 3.5. Пружна втулково-пальцева муфта

$$\sigma_{ЗМ} = \frac{2 \cdot 8 \cdot 10^3}{20 \cdot 6 \cdot 8 \cdot (20-6)} = 1{,}2 \text{ МПа} < [\sigma_{зм}]$$

$\sigma_{зм}$ =1,2 МПа<[σ_0]=1,8…2,5 МПа

3.3.2 Розрахунок зварних з'єднань.

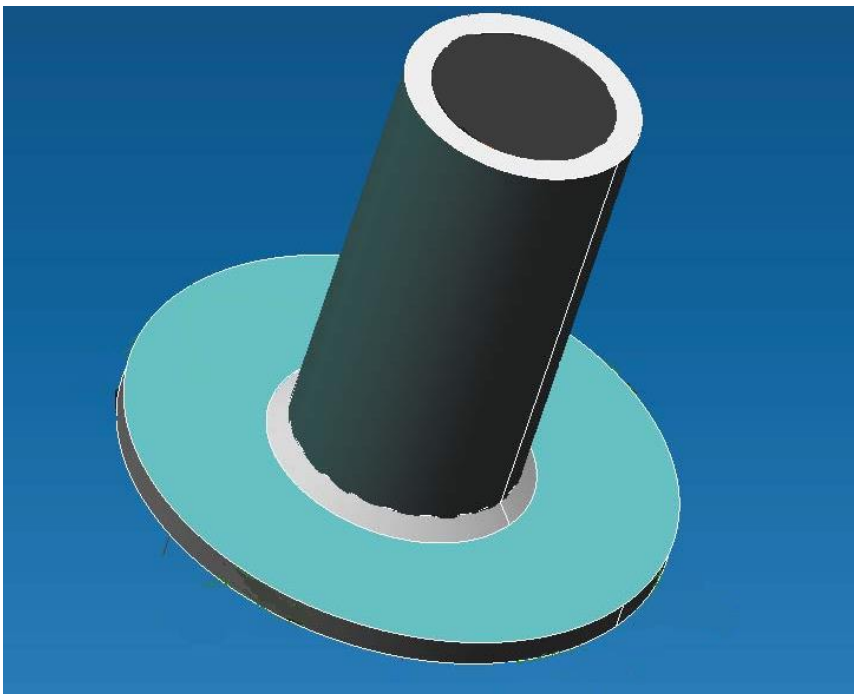


Рис. 3.6. З'єднання металевого патрубка з фланцем.

Тип з'єднання: Таврове з одностороннім швом.

Тип розрахунку: Проєктний.

Діапазон значень напружень [МПа].

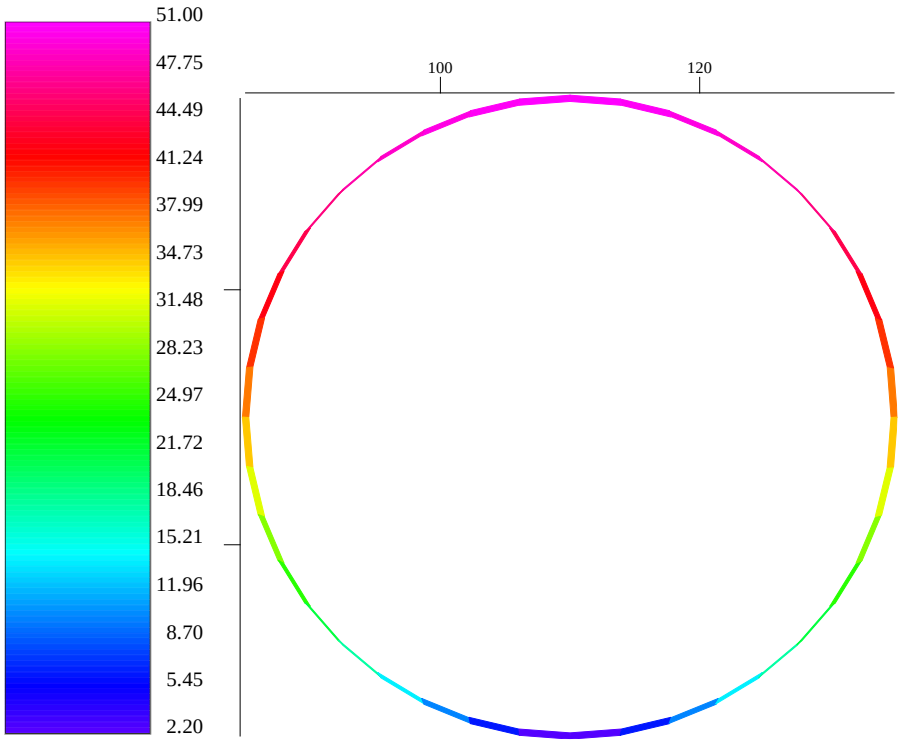


Рис. 3.7. Карта розподілу напружень у зварному шві.

Сумарні результати:

Центр маси зварного шва: X= 110,00 Y= 110,00 мм

Таблиця 3.1 – Розрахункові данні.

Площа шва в небезпечному перерізі	79,780	кв.мм
Момент інерції стику відносно центральних осей		
відносно горизонтальної осі	24971,219	мм
відносно вертикальної осі	24971,219	мм
Кут нахилу головних центральних осей	0,000	град
Макс. дотичне напруження	51,000	МПа
Катет	1,825	мм

Таблиця 3.2 – Постійні параметри:

Коефіцієнт запасу текучості деталей кріплення	3,000	
Межа плинності матеріалу деталей з'єднання	25,000	МПа

Таблиця 3.3 – Дотичні сили

N	Координати [мм]			Проекції [Н]	
	x	y	z	на x	на y
0	110,00	135,00	0,00	0,00	-200,00
1	135,00	111,00	0,00	-200,00	200,00

На рис. 3.6. показано створену в модулі АРМ модель таврового одностороннього шва.

Модуль АРМ Joint дозволив виконати розрахунок зварних швів у місцях з'єднання деталей. Вихідними даними для такого розрахунку слугували максимальні та мінімальні значення вертикальних і горизонтальних сил, що діють на металевий патрубок і фланець, виготовлені з матеріалу Ст3. На Рис. 3.7 показана карта розподілу напружень у зварному шві. Також тут наведено результати проектного розрахунку для одностороннього шва. Результати розрахунків показують, що катет шва становить 1,825 мм. Отже, обираємо катет зварного шва – 2 мм.

На підставі виконаного циклу розрахунків можна зробити висновок про те, що є необхідний запас міцності та стійкості для даної ділянки конструкції. Аналіз отриманих результатів розрахунку зварних з'єднань показує хорошу збіжність отриманих розмірів елементів з'єднання з тими, які реально є в конструкції.

3.3.3 Розрахунок болтових з'єднань.

Тип з'єднання: Болтове з зазором.

Тип розрахунку: Проектний.

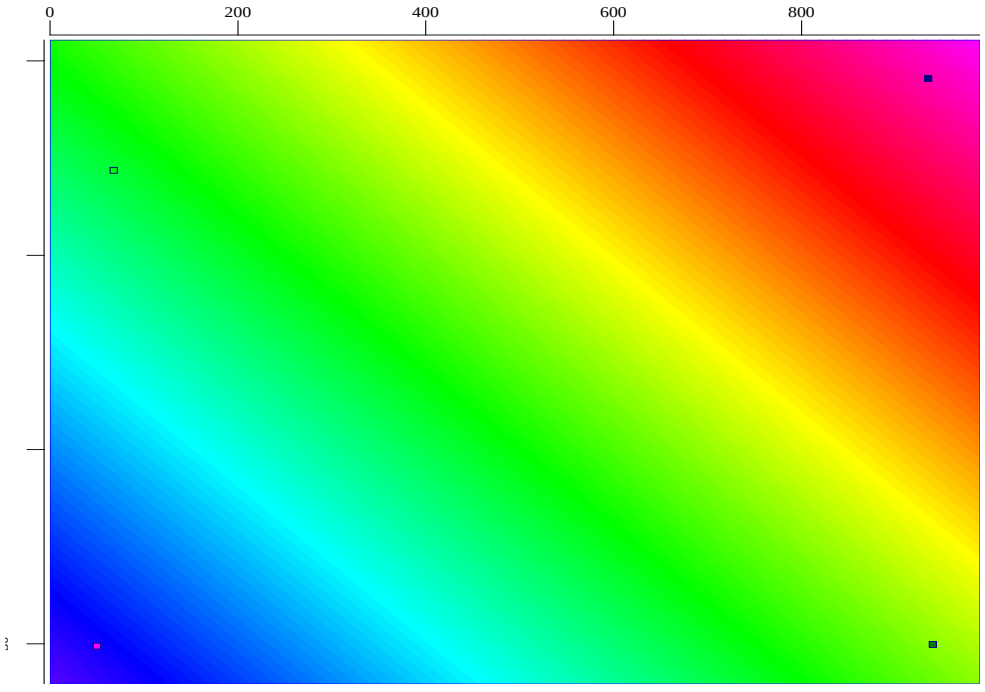
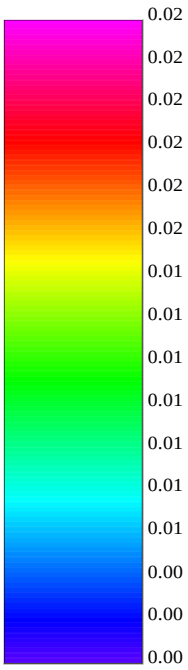


Рис. 3.8. Малюнок модель столу, створену в модулі АРМ Joint

Діапазон кольорів тисків [МПа]



Діапазон кольорів навантажень болтів [Н]

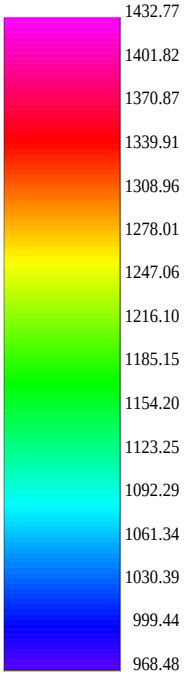


Рис. 3.9. Карта тисків на поверхню та карта навантаження на болти

Таблиця 3.4 – Центр маси поверхні стику: X= 0,50 Y= 0,41 м.

Площа поверхні стику	0,819	кв.м
Момент інерції стику відносно центральних осей		
відносно горизонтальної осі	0,047	м
щодо вертикальної осі	0,067	м
Кут нахилу головних центральних осей	0,000	град
Сила затягування	1161,608	Н
Макс. навантаження на болт	1432,773	Н
Максимальний тиск	0,023	Па
Діаметр болта	12,000	мм
Момент закручування	1,517	Н×м
Момент тертя в різьбі	0,796	Н×м
Момент тертя на торці гайки	0,721	Н×м

Таблиця 3.5 – Постійні параметри.

Коефіцієнт запасу на нерозкриття	1,100	
Коефіцієнт запасу зсуву	1,100	
Коефіцієнт основного навантаження	0,200	
Коефіцієнт запасу текучості деталей кріплення	3,00	
Межа плинності матеріалу деталей кріплення	250,000	МПа
Коефіцієнт тертя	0,150	
Межа міцності матеріалу деталей кріплення	400 000	МПа

Таблиця 3.6 – Болти.

N	Координати [м]		Дотична сила [Н]	Нормальна сила [Н]
	x	y		
0	0,07	0,66	0,00	1236,42
1	0,94	0,78	0,00	968,48
2	0,94	0,05	0,00	1195,02
3	0,05	0,05	0,00	1432,77

Таблиця 3.7 – Нормальні сили

N	Координати [м]		Значення [Н]
	x	y	
0	0,85	0,63	-3000,00
1	0,64	0,44	-2000,00
2	0,11	0,41	-600,00
3	0,35	0,41	-600,00

На рис. 3.8 показано модель столу, створену в модулі APM Joint. На ньому розташоване обладнання для діагностики турбокомпресора, зусилля від якого і має витримати кріплення столу. Модуль APM Joint дозволив виконати розрахунок болтових з'єднань для столу. Вихідними даними для розрахунку були максимальні та мінімальні значення вертикальних і горизонтальних сил, що діють на стіл, а також матеріал болтів Ст20. Для болтового з'єднання спочатку проводився проектний розрахунок, результатом якого є значення діаметра найбільш навантаженого болта. На рис. 3.9 показано карту тисків на поверхню та карту навантаження на болти, а також вікна результатів проектного та перевірочного розрахунків, у яких видно розрахований діаметр болта та коефіцієнти запасу по плинності та витривалості для болтів.

На підставі виконаного циклу розрахунків можна зробити висновок про те, що є необхідний запас міцності та стійкості для даного елемента конструкції.

Програма APM є дуже хорошим інструментом для проведення розрахунків елементів машин і конструкцій. Користь даної системи полягає в тому, що на стадії моделювання можна швидко вносити різні зміни в конструкцію і після проведення розрахунків проводити їх оперативний аналіз, а також, у разі необхідності, виконувати повторні розрахунки.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні положення

Охорона праці у даній кваліфікаційній роботі розглядається для дільниці технічного сервісу автомобілів, де передбачено діагностування, розбирання, очищення, дефектацію, складання та випробування турбокомпресорів автомобільних двигунів. Роботи з такими агрегатами належать до підвищеної відповідальності, оскільки турбокомпресор має високошвидкісний ротор, точні посадкові поверхні, систему змащування, нагріті корпусні елементи та канали, забруднені сажею і залишками мастила.

Метою розділу є аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, встановлення вимог до робочого місця та розроблення заходів безпеки для персоналу ремонтної майстерні. Нормативною основою є Закон України «Про охорону праці», Правила охорони праці на автомобільному транспорті, ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення», ДСН 3.3.6.042-99 щодо мікроклімату виробничих приміщень, ДСН 3.3.6.037-99 щодо виробничого шуму, правила пожежної безпеки та інструкції з експлуатації обладнання.

На підприємстві повинні бути розроблені інструкції з охорони праці для слюсаря з ремонту автомобілів, оператора діагностичного стенду, працівника мийного поста та осіб, які обслуговують електрообладнання. До роботи допускаються працівники, які пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктажі, навчання безпечним прийомам роботи та перевірку знань з охорони праці.

4.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Під час ремонту турбокомпресорів працівник контактує з металевими деталями, мастильними матеріалами, мийними розчинами, стисненим повітрям, електроприводами та контрольно-вимірювальною апаратурою. Основні небезпеки виникають під час демонтажу прикипілих з’єднань, очищення

корпусів, продування каналів, перевірки люфтів ротора і випробування вузла на стенді. Особливо небезпечним є запуск агрегату без захисного кожуха або при ненадійному кріпленні, оскільки ротор працює з великою частотою обертання.

Таблиця 4.1 – Аналіз основних виробничих факторів

Фактор	Джерело	Наслідки	Заходи безпеки
Механічне травмування	інструмент, лещата, ротор, корпуси	порізи, забої, защемлення	справний інструмент, рукавиці, кожухи, фіксація деталей
Шум і вібрація	пневмоінструмент, компресор, стенд	втома, зниження уваги, ушкодження слуху	обмеження часу роботи, навушники, віброгасіння
Хімічний вплив	олива, сажа, мийні розчини	подразнення шкіри та органів дихання	витяжка, рукавички, окуляри, респіратор
Електронебезпека	стенд, електродвигуни, світильники	ураження струмом, опіки	заземлення, автомати захисту, перевірка ізоляції
Пожежна небезпека	олива, ганчір’я, електрообладнання	займання, задимлення	закрита тара, прибирання, вогнегасники
Недостатнє освітлення	неправильний вибір світильників	помилки дефектації, втома очей	загальне і місцеве LED-освітлення

4.3. Вимоги до робочого місця та діагностичного стенду

Дільницю діагностування турбокомпресорів доцільно розміщувати у складі ремонтної майстерні поблизу зони ремонту двигунів, але відокремлено від зварювальних, фарбувальних та акумуляторних робіт. Це зменшує ризик потрапляння пилу, абразивних частинок і парів розчинників у точні деталі агрегату. Робоче місце обладнують верстаком із металевою стільницею, слюсарними лещатами з м’якими накладками, стелажем для чистих деталей, шафою для інструменту, піддоном для зливання оливи, закритою тарою для використаного ганчір’я та місцевою витяжкою.

Підлога повинна бути рівною, неслизькою та стійкою до дії мастильних матеріалів. Проходи не допускається захаращувати деталями, кабелями і шлангами. На робочому місці необхідно підтримувати поділ на «брудну» і «чисту» зони: у першій виконують приймання, зовнішнє очищення і зливання залишків оливи, у другій – дефектацію, вимірювання та складання.

Діагностичний стенд встановлюють на жорсткій основі, що виключає зміщення під час роботи. Обов’язковими елементами стенду є захисний кожух або прозорий екран, аварійний вимикач, справна система змащування, контроль тиску та температури оливи, надійне кріплення турбокомпресора і блокування запуску при відкритому кожусі. Панель керування розміщують так, щоб оператор не перебував у площині можливого викиду частин у разі аварійного руйнування ротора.

4.4. Безпечне виконання робіт

Перед початком зміни працівник перевіряє справність освітлення, вентиляції, заземлення, огороджень, пневмомагістралей і аварійного вимикача. Турбокомпресор перед розбиранням повинен бути охолоджений і очищений від зовнішніх забруднень. Розбирання виконують справним інструментом відповідного розміру; забороняється збивати деталі ударами по лопатках, валу або посадкових поверхнях. Для прикипілих з’єднань слід застосовувати знімачі та проникаючі рідини.

Під час миття та продування деталей працівник користується окулярами, рукавицями і фартухом. Стислим повітрям не дозволяється продувати деталі у напрямку обличчя або інших працівників. Мийні рідини зберігають у промаркованій закритій тарі, а відходи збирають окремо. Після очищення деталі не можна класти на забруднену поверхню, оскільки абразивні частинки можуть спричинити повторне пошкодження підшипників і вала турбіни.

Перед запуском турбокомпресора на стенді перевіряють правильність кріплення, герметичність магістралей, наявність мастила, роботу датчиків і закриття захисного кожуха. Під час випробування забороняється торкатися агрегату, підтягувати кріплення, відкривати кожух або залишати стенд без нагляду. У разі появи стороннього шуму, різкого зростання вібрації, витоку оливи чи нестабільних показників стенд негайно зупиняють аварійним вимикачем.

4.5. Розрахунок вентиляції дільниці

Для дільниці приймаємо приміщення розміром 9 × 6 м і висотою 3,6 м. Площа приміщення становить $S = 9 \cdot 6 = 54$ м², об’єм $V = S \cdot h = 54 \cdot 3{,}6 = 194{,}4$ м³. Під час миття, продування і випробування турбокомпресорів у повітря можуть потрапляти пари мастила, мийних засобів і дрібнодисперсний пил, тому передбачається припливно-витяжна вентиляція з місцевими відсмоктувачами.

Необхідну продуктивність загальнообмінної вентиляції визначаємо за кратністю повітрообміну: $L = k \cdot V$, де k – кратність повітрообміну. Для ремонтної дільниці приймаємо $k = 4$ год⁻¹. Тоді $L = 4 \cdot 194{,}4 = 777{,}6$ м³/год. Із коефіцієнтом запасу 1,2 одержуємо $L_р = 777{,}6 \cdot 1{,}2 = 933{,}1$ м³/год. Отже, приймаємо вентиляційну установку продуктивністю 1000 м³/год. Додатково біля мийного поста і стенду передбачаємо місцеві витяжки по 300 м³/год кожна.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку вентиляції

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Площа приміщення	S	54	м²
Об’єм приміщення	V	194,4	м³
Кратність повітрообміну	k	4	год⁻¹
Розрахункова продуктивність	$L_р$	933,1	м³/год
Прийнята продуктивність	$L_{пр}$	1000	м³/год

4.6. Розрахунок штучного освітлення

Для дефектації турбокомпресорів необхідне якісне освітлення, оскільки працівник виявляє тріщини, задири, сліди перегрівання, зношування підшипників і пошкодження лопаток. Для слюсарно-ремонтних і контрольно-вимірювальних робіт приймаємо нормовану освітленість $E = 300$ лк. Розрахунок виконуємо методом світлового потоку за формулою $\Phi_\Sigma = E \cdot S \cdot K_з \cdot z / \eta$, де $K_з = 1{,}5$ – коефіцієнт запасу, $z = 1{,}1$ – коефіцієнт нерівномірності, $\eta = 0{,}60$ – коефіцієнт використання світлового потоку.

Необхідний сумарний світловий потік: $\Phi_\Sigma = 300 \cdot 54 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}1 / 0{,}60 = 44550$ лм. Приймаємо LED-світильники зі світловим потоком одного

світильника $Ф_1$ = 6000 лм. Кількість світильників n = 44550 / 6000 = 7,43, тому приймаємо 8 світильників потужністю 50 Вт. Фактична освітленість: Еф = 8 · 6000 · 0,60 / (54 · 1,5 · 1,1) = 323 лк, що перевищує прийняте значення 300 лк.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку освітлення

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Нормована освітленість	E	300	лк
Необхідний світловий потік	$Ф_Σ$	44550	лм
Потік одного світильника	$Ф_1$	6000	лм
Кількість світильників	n	8	шт.
Фактична освітленість	$E_ф$	323	лк

4.7. Електробезпека, пожежна безпека та засоби захисту

Електрообладнання дільниці повинно мати захисне заземлення, автоматичні вимикачі, справну ізоляцію та пристрої аварійного вимкнення. Кабелі прокладають так, щоб вони не пошкоджувалися колесами візків, не перегиналися і не контактували з оливою або нагрітими деталями. Ремонт електричних частин стенду виконує тільки працівник відповідної кваліфікації після повного знеструмлення обладнання.

Пожежна небезпека пов’язана з наявністю мастильних матеріалів, забрудненого ганчір’я, мийних рідин та електрообладнання. Оливу і мийні засоби зберігають у закритій тарі, використане ганчір’я – у металевому ящику з кришкою. На дільниці забороняється паління, використання відкритого вогню, накопичення горючих відходів і захаращення проходів. Робоче місце обладнують порошковими або вуглекислотними вогнегасниками, знаками безпеки та схемою евакуації.

Працівники забезпечуються спецодягом, захисним взуттям, рукавицями, окулярами, а під час продування, миття або роботи з аерозолями – респіратором. Для захисту від шуму застосовують протишумові навушники або вкладиші. Спецодяг повинен бути застебнутий і не мати вільно звисаючих частин, які можуть потрапити в рухомі механізми.

4.8. Висновки з охорони праці

У розділі встановлено основні небезпечні та шкідливі фактори під час діагностування і ремонту турбокомпресорів автомобільних двигунів: механічне травмування, шум, вібрація, дія мастильних матеріалів і мийних засобів, електронебезпека, пожежна небезпека та недостатнє освітлення. Для їх зменшення передбачено раціональну організацію робочого місця, захисні кожухи стенду, справну вентиляцію, якісне освітлення, заземлення обладнання, засоби індивідуального захисту та систему інструктажів.

Розрахунок вентиляції показав, що для приміщення площею 54 м² необхідна загальнообмінна вентиляція продуктивністю не менше 933,1 м³/год, тому прийнята установка 1000 м³/год є достатньою. Розрахунок освітлення підтвердив доцільність встановлення 8 LED-світильників по 6000 лм, які забезпечують фактичну освітленість близько 323 лк. Запропоновані рішення створюють безпечні умови праці та можуть бути використані під час проектування дільниці технічного сервісу автомобілів з діагностуванням турбокомпресорів.

РОЗДІЛ 5
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

5.1. Мета та вихідні дані розрахунку

Метою техніко-економічного обґрунтування є визначення доцільності впровадження у машинно-ремонтній майстерні проектного сільськогосподарського підприємства стенда для діагностики турбокомпресорів автомобільних двигунів. Проектне рішення повинно забезпечити скорочення витрат на сторонні сервісні послуги, зменшення простою автомобілів, підвищення якості дефектації та обґрунтованість рішень щодо ремонту або заміни турбокомпресорів.

Для підприємства площею 5000 га автомобільний парк має важливе значення у перевезенні зерна, насіння, мінеральних добрив, пального, запасних частин та працівників. Більшість сучасних вантажних автомобілів і пікапів оснащується дизельними двигунами з турбонаддувом, тому несправність турбокомпресора призводить до втрати потужності, збільшення витрати палива, підвищення димності й погіршення технічної готовності техніки.

У базовому варіанті діагностування турбокомпресорів виконується сторонніми сервісними підприємствами. Це потребує демонтажу вузла, транспортування, очікування результатів перевірки та додаткових організаційних витрат. У проектному варіанті основні операції діагностування виконуються у власній майстерні, що дає змогу швидше приймати рішення про подальшу експлуатацію, ремонт або заміну агрегату.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Позначення	Значення
Річна кількість діагностувань турбокомпресорів	$N_д$	70 од.
Тривалість одного діагностування	$t_д$	1,5 год
Установлена потужність стенда	P	6,5 кВт
Вартість стороннього діагностування	$C_{ст}$	3500 грн
Транспортно-організаційні витрати на один випадок	$C_{тр}$	1800 грн
Скорочення простою автомобіля	D	1,1 доби
Втрати від простою автомобіля за добу	$C_{пр}$	2200 грн
Кількість випадків запобігання необґрунтованій заміні	$n_з$	8 од.
Середня економія в одному випадку	Ез	18000 грн

5.2. Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення включають витрати на виготовлення рами і захисного кожуха, закупівлю електропривода з частотним перетворювачем, пневматичних елементів, датчиків, блока керування, комп'ютера, комплекту перехідників, монтаж і налагодження стенда. Загальні вкладення визначаються за формулою: $К = К_{об} + К_м + К_р$, де $К_{об}$ – вартість обладнання і робіт, $К_м$ – витрати на монтаж, $К_р$ – резерв на непередбачені витрати.

Для проектного розрахунку приймаємо: вартість обладнання та основних робіт $К_{об}$ = 405000 грн; монтаж і пусконалагодження – 8 % від вартості обладнання; резерв – 10 % від суми обладнання і монтажу. Тоді $К_м = 405000 \cdot 0{,}08 = 32400$ грн; $К_р = (405000 + 32400) \cdot 0{,}10 = 43740$ грн. Загальні капітальні вкладення становлять $К = 405000 + 32400 + 43740 = 481140$ грн.

Таблиця 5.2 – Кошторис капітальних вкладень

№	Стаття витрат	Сума, грн
1	Обладнання, комплектуючі, датчики, електропривод, блок керування	405 000
2	Монтаж, підключення, пусконалагодження, 8 %	32 400
3	Резерв на доопрацювання та непередбачені витрати, 10 %	43 740
	Разом капітальні вкладення	481 140

5.3. Річні експлуатаційні витрати

До річних експлуатаційних витрат належать оплата праці працівника, який виконує діагностичні операції, нарахування на заробітну плату, витрати електроенергії, змінні матеріали, технічне обслуговування стенда, амортизація та накладні витрати майстерні. Оскільки стенд використовується періодично, повну штатну одиницю для його обслуговування вводити недоцільно. Частку зайнятості слюсаря-діагноста приймаємо 0,25 річного фонду робочого часу.

Оплата праці з нарахуваннями становить: $З = 18000 \cdot 12 \cdot 0{,}25 \cdot 1{,}22 = 65880$ грн. Витрати електроенергії визначаються за формулою: $В_{ел} = N_д \cdot t_д \cdot Р \cdot С_{ел} = 70 \cdot 1{,}5 \cdot 6{,}5 \cdot 9{,}0 = 6143$ грн. Річне завантаження стенда дорівнює $70 \cdot 1{,}5 = 105$ год, що становить приблизно 9,0 % корисного фонду часу за умови 1170 год на рік. Отже, обладнання має резерв для додаткових робіт.

Таблиця 5.3 – Річні експлуатаційні витрати

№	Стаття витрат	Розрахунок	Сума, грн
1	Оплата праці з нарахуваннями	18000·12·0,25·1,22	65 880
2	Електроенергія	70·1,5·6,5·9,0	6 143
3	Змінні матеріали, очищувачі, ущільнення	70·250	17 500
4	Технічне обслуговування стенда	5 % від К	24 057
5	Амортизація	10 % від К	48 114
6	Накладні витрати майстерні	прийнято	15 000
	Разом		176 694

Собівартість одного діагностування за проектним варіантом становить $С_д$ = 176694 / 70 = 2524 грн. Вона нижча за витрати на стороннє діагностування з урахуванням транспортно-організаційних витрат, а головною перевагою є оперативність виконання робіт у власній майстерні.

5.4. Економічний результат від впровадження стенда

Річний економічний результат формується за рахунок чотирьох основних складових: економії на сторонній діагностиці, зменшення транспортно-організаційних витрат, скорочення простою автомобілів і запобігання необґрунтованій заміні турбокомпресорів. Розрахунок виконуємо за формулою: $Е_б = Е_д + Е_{тр} + Епр + Ез$.

Економія на сторонній діагностиці становить $Е_д = 70 \cdot 3500 = 245000$ грн. Економія транспортно-організаційних витрат становить $Е_{тр} = 70 \cdot 1800 = 126000$ грн. Економія від скорочення простою автомобілів становить $Е_{пр} = 70 \cdot 1{,}1 \cdot 2200 = 169400$ грн. Економія від запобігання необґрунтованій заміні турбокомпресорів становить $Е_з = 8 \cdot 18000 = 144000$ грн.

Таблиця 5.4 – Річний економічний результат

№	Складова економії	Розрахунок	Сума, грн
1	Економія на сторонньому діагностуванні	70·3500	245000
2	Економія транспортно-організаційних витрат	70·1800	126000
3	Економія від скорочення простою автомобілів	70·1,1·2200	169400
4	Запобігання необґрунтованій заміні турбокомпресорів	8·18000	144000
	Разом потенційний економічний результат		684400

Наведений розрахунок показує, що найбільше значення мають скорочення простою техніки та запобігання зайвій заміні дорогих агрегатів. Для

сільськогосподарського підприємства це особливо важливо в періоди інтенсивних польових робіт, коли від справності автомобільного парку залежить своєчасність перевезення врожаю, добрив і пального.

5.5. Розрахунок економічної ефективності

Річний економічний ефект визначаємо як різницю між потенційним річним економічним результатом і річними експлуатаційними витратами: $Е_р = Е_б – В_р$. Підставляючи отримані значення, маємо: $Е_р = 684400 – 176694 = 507706$ грн.

Строк окупності визначається за формулою: $Т_{ок} = К / Е_р$. Для проектного рішення $Т_{ок} = 481140 / 507706 = 0,95$ року. Коефіцієнт економічної ефективності становить $Е_к = Е_р / К = 507706 / 481140 = 1,06$. Отримані показники свідчать про економічну доцільність впровадження стенда в ремонтну майстерню.

Крім прямого економічного ефекту, стенд забезпечує організаційні переваги: скорочення часу прийняття рішення щодо ремонту, підвищення якості дефектації, зменшення повторних демонтажів, накопичення даних про технічний стан турбокомпресорів і підвищення кваліфікації персоналу. За наявності вільного часу стенд може використовуватися для надання діагностичних послуг іншим господарствам, що створює додатковий резерв економічної ефективності.

Таблиця 5.5 – Показники економічної ефективності

Показник	Позначення	Значення
Капітальні вкладення	К	481 140 грн
Потенційний річний економічний результат	$Е_б$	684 400 грн
Річні експлуатаційні витрати	$В_р$	176 694 грн
Річний економічний ефект	$Е_р$	507 706 грн
Строк окупності	$Т_{ок}$	0,95 року
Коефіцієнт економічної ефективності	$Е_к$	1,06

Висновки по розділу

У розділі виконано техніко-економічне обґрунтування впровадження стенда для діагностики турбокомпресорів автомобільних двигунів у машинно-

ремонтній майстерні проектного сільськогосподарського підприємства. Загальні капітальні вкладення у проектне рішення становлять 481140 грн.

Річні експлуатаційні витрати на роботу стенда становлять 176694 грн, а собівартість одного діагностування – близько 2524 грн. Потенційний річний економічний результат від скорочення витрат на сторонній сервіс, зменшення простою автомобілів і запобігання необґрунтованій заміні агрегатів становить 684400 грн.

Очікуваний річний економічний ефект дорівнює 507706 грн. Строк окупності проектного рішення становить 0,95 року, а коефіцієнт економічної ефективності – 1,06. Отже, впровадження стенда є економічно доцільним і сприяє підвищенню технічної готовності автомобільного парку підприємства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності технічного обслуговування і ремонту автомобільної техніки в умовах проектного сільськогосподарського підприємства з площею земельних угідь 5000 га, розташованого в зоні Лісостепу Житомирської області. Актуальність обраної теми зумовлена тим, що сучасні вантажні, спеціальні та легкові автомобілі аграрних підприємств широко оснащуються дизельними двигунами з турбонаддувом, а працездатність турбокомпресора безпосередньо впливає на потужність двигуна, витрату палива, екологічність і надійність автомобіля.

У першому розділі було виконано розрахунок параметрів машинно-ремонтної майстерні проектного сільськогосподарського підприємства. Перед проведенням розрахунків підібрано сучасний склад машинно-тракторного та автомобільного парку, необхідний для забезпечення виробничої діяльності господарства. Особливу увагу приділено автомобільній техніці, оскільки саме вона є основним об’єктом технічного сервісу в даній кваліфікаційній роботі. На основі прийнятого складу автомобільного парку визначено річний обсяг ремонтно-обслуговуючих робіт, трудомісткість технічного обслуговування і ремонту, потребу в робітниках, постах та виробничих площах майстерні. Отримані результати підтвердили доцільність організації спеціалізованої дільниці для діагностування та ремонту вузлів системи наддуву.

У другому розділі проаналізовано основні несправності турбокомпресорів автомобільних двигунів та технологічні способи їх ремонту. Встановлено, що найпоширенішими причинами відмов є недостатнє або забруднене мащення, потрапляння сторонніх предметів у компресорну чи турбінну частину, перегрів, порушення герметичності впускного та випускного трактів, зношування підшипників, пошкодження ущільнень і дисбаланс ротора. Розглянуто характерні ознаки несправностей турбокомпресора: зниження потужності двигуна, підвищену димність відпрацьованих газів, сторонній шум, витік оливи, підвищену витрату палива та нестабільну роботу двигуна. Також

наведено послідовність дефектації, очищення, заміни зношених деталей, складання, балансування і контрольної перевірки турбокомпресора після ремонту.

У проектній частині роботи обґрунтовано необхідність розробки стенду для діагностики турбокомпресора. Його застосування дає можливість перевіряти технічний стан агрегата без встановлення на двигун, визначати наявність витоків, шумів, вібрацій, порушення обертання ротора та інших дефектів. Запропонований стенд дозволяє підвищити якість діагностування, скоротити час пошуку несправностей, зменшити кількість необґрунтованих замін турбокомпресорів і забезпечити більш раціональне використання ремонтного фонду підприємства.

У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть виникати під час діагностування і ремонту турбокомпресорів. До них належать рухомі частини обладнання, підвищений рівень шуму, нагріті поверхні, стиснене повітря, електричний струм, забруднення повітря робочої зони парами оливи та пилом, а також можливість травмування під час розбирання і складання агрегата. Запропоновано організаційні та технічні заходи безпеки, вимоги до робочого місця, освітлення, вентиляції, електробезпеки, пожежної безпеки та використання засобів індивідуального захисту. Виконані розрахунки підтвердили можливість створення безпечних і нормативних умов праці на дільниці.

У п’ятому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проектних рішень. Розраховано капітальні вкладення, експлуатаційні витрати, економію від впровадження стенда, річний економічний ефект, строк окупності та коефіцієнт економічної ефективності. Встановлено, що впровадження стенда для діагностики турбокомпресорів є економічно доцільним, оскільки дозволяє зменшити витрати на сторонні діагностичні послуги, скоротити простої автомобілів, підвищити якість ремонту та продовжити ресурс турбокомпресорів і двигунів загалом.

Отже, у результаті виконання кваліфікаційної роботи було вирішено поставлені завдання: підібрано сучасний парк техніки для проектного підприємства, розраховано параметри ремонтно-обслуговуючої бази, проаналізовано несправності турбокомпресорів і способи їх ремонту, обґрунтовано конструктивно-технологічне рішення стенда для діагностики, розроблено заходи з охорони праці та підтверджено економічну ефективність запропонованих рішень. Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонована організація технічного сервісу і застосування діагностичного стенда можуть бути використані в умовах машинно-ремонтної майстерні сільськогосподарського підприємства для підвищення надійності автомобільної техніки, зменшення експлуатаційних витрат і покращення якості ремонтно-обслуговуючих робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автомобілі. Технічне обслуговування та ремонт : навч. посіб. / уклад. В. М. Коваленко, О. І. Сіренко. Київ : Либідь, 2019. 312 с.

2. Технічна експлуатація автомобілів : підручник / за ред. В. П. Волкова. Харків : ХНАДУ, 2020. 456 с.

3. 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.

4. Ремонт машин та обладнання : підручник / О. В. Надикто, В. М. Кюрчев, М. Л. Крижачківський. Мелітополь : Люкс, 2019. 340 с.

5. Експлуатація та ремонт автомобілів : навч. посіб. / М. Я. Говорущенко, О. В. Клименко. Харків : ХНАДУ, 2018. 296 с.

6. Технологічне обладнання для технічного обслуговування і ремонту автомобілів : навч. посіб. / А. А. Кашканов, В. М. Ребедайло. Вінниця : ВНТУ, 2021. 215 с.

7. Діагностування технічного стану автомобілів : навч. посіб. / В. М. Поляков, О. В. Кузьменко. Київ : НТУ, 2020. 248 с.

8. Турбокомпресори автомобільних двигунів: будова, експлуатація та ремонт : навч. посіб. / С. І. Андрусенко, О. М. Петренко. Київ : Каравела, 2019. 224 с.

9. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. … д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

10. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.

11. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.

12. Двигуни внутрішнього згоряння : підручник / А. П. Марченко, А. Ф. Шеховцов, В. В. Пильов. Харків : НТУ «ХПІ», 2017. 360 с.

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

14. Heisler H. Advanced Engine Technology. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002. 794 p.

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

16. Bosch Automotive Handbook. 10th ed. Karlsruhe : Robert Bosch GmbH, 2018. 1776 p.

17. Turbocharger Damage Brochure 2024 / MAHLE Aftermarket. Stuttgart : MAHLE GmbH, 2024. URL: https://www.mahle-aftermarket.com/media/homepage/facelift/media-center/engine-components_turbocharger/damage/en_07_schadensbroschuere_turbolader_2024_web_doppelseiten.pdf (дата звернення: 24.05.2026).

18. Garrett Motion. Turbocharger Diagnostics and Troubleshooting Guide. URL: https://www.garrettmotion.com/ (дата звернення: 24.05.2026).

19. Borg Warner Turbo Systems. Turbocharger Service and Troubleshooting Information. URL: https://www.borgwarner.com/technologies/turbochargers (дата звернення: 24.05.2026).

20. Cummins. Turbocharger Maintenance and Failure Analysis Guidelines. URL: https://www.cummins.com/parts-and-service (дата звернення: 24.05.2026).

21. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of

blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.

22. 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.