

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

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

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Дубінін Данило Юрійович

УДК 629.3.08

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МТП З
ДЕТАЛЬНОЮ РОЗРОБКОЮ ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ
ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ РЕСОР**

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 _____ Дубінін Д.Ю.

Керівник роботи

Дерев'янка Д.А.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Дубінін Данило Юрійович. Організація технічного сервісу МТП з детальною розробкою пристосування для визначення ресурсу ресор. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У ході виконання кваліфікаційної роботи досліджено особливості організації технічного сервісу машинно-тракторного парку та розроблено спеціалізоване пристосування для визначення залишкового ресурсу листових ресор. Проведено аналіз існуючих методів діагностики та ремонту ресор, що дозволив виявити основні недоліки традиційних випробувальних стендів і обґрунтувати необхідність створення мобільного й універсального стенд-пристрою. Розроблена конструкція пристосування забезпечує точне вимірювання прогину ресори під контрольованим навантаженням, що дозволяє оперативно оцінювати ступінь втомних деформацій матеріалу без демонтажу всієї підвіски.

Запропонована технологія діагностики може інтегруватися в стандартний процес сезонного технічного обслуговування, оскільки для її використання не потрібне додаткове складне обладнання чи висококваліфіковані оператори. Рекомендовано включити процедуру випробування ресор до регламенту технічного обслуговування з періодичністю не рідше ніж раз на 20 000 км пробігу або при кожній сезонній заміні амортизаторів. Реалізація розробки сприятиме підвищенню ресурсного потенціалу техніки, зменшенню капітальних витрат та оптимізації строків обслуговування, що, в кінцевому рахунку, позитивно вплине на продуктивність агровиробництва.

Ключові слова: ресора, технічний сервіс, ресурс, пристосування, машинно-тракторний парк.

ANNOTATION

Dubin Danilo Yurievich. Organisation of technical service for the machine and tractor fleet with detailed development of a device for determining the service life of springs. – 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, 2025.

During the qualification work, the peculiarities of the organisation of technical service of the machine and tractor fleet were studied and a specialised device for determining the residual resource of leaf springs was developed. An analysis of existing methods for diagnosing and repairing springs was carried out, which made it possible to identify the main shortcomings of traditional test benches and justify the need to create a mobile and universal bench device. The developed design of the device ensures accurate measurement of spring deflection under controlled load, which allows for quick assessment of the degree of fatigue deformation of the material without dismantling the entire suspension.

The proposed diagnostic technology can be integrated into the standard seasonal maintenance process, as it does not require additional complex equipment or highly qualified operators. It is recommended to include the spring testing procedure in the maintenance schedule at least once every 20,000 km of mileage or during each seasonal replacement of shock absorbers. The implementation of this development will contribute to increasing the resource potential of equipment, reducing capital costs and optimising maintenance schedules, which will ultimately have a positive impact on agricultural productivity.

Keywords: spring, technical service, resource, device, machine and tractor fleet.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ В АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ.....	8
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	20
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ.....	35
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення ефективності та безпеки експлуатації машинно-тракторного парку (МТП) в аграрних підприємствах України шляхом оперативної діагностики стану ресор – одного з ключових елементів підвіски, що визначає комфортабельність руху, керованість техніки та довговічність її комплектуючих. В умовах інтенсивного використання сільгоспмашин під впливом циклічних навантажень та агресивного середовища (пил, волога, хімічні реагенти) знос і втрати пружних властивостей ресор відбуваються значно швидше, ніж передбачає нормативний ресурс, що призводить до простоїв, зростання експлуатаційних витрат і підвищеного ризику аварійних ситуацій. Існуючі методи контролю стану ресор на стаціонарних стендах вимагають демонтажу підвіски та значного часу на організацію випробувань, що не завжди є доцільним у сезонному технічному обслуговуванні та мобільних ремонтних бригадах. Відтак розробка мобільного пристосування для визначення залишкового ресурсу ресор безпосередньо на місці експлуатації техніки дозволить своєчасно виявляти дефекти, планувати ремонтні роботи та попереджати критичні відмови. Це сприятиме зниженню трудовитрат і матеріальних витрат на заміну пружних елементів, скороченню часу простою машин на 15–20 % та оптимізації ресурсного потенціалу МТП. Крім того, інтеграція розробленого приладу в регламентні процедури обслуговування дозволить стандартизувати процес діагностики та підвищити кваліфікацію технічного персоналу, що відповідає сучасним вимогам автоматизації та цифровізації аграрного виробництва. Теоретичне значення роботи полягає в поглибленні наукових уявлень про деградацію властивостей сталевих ресор під дією багатоциклових навантажень, а практичне — у створенні ефективного інструменту для підвищення надійності та безпеки експлуатації МТП. Урахування результатів дослідження сприятиме реалізації стратегічних завдань

сталого розвитку агропромислового комплексу України, особливо в умовах сучасних економічних та технологічних викликів.

Метою роботи є розробка та обґрунтування конструкції мобільного пристосування для оперативного визначення залишкового ресурсу листових ресор машинно-тракторного парку без їх демонтажу. Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- провести аналіз існуючих методів діагностики ресор і визначити їхні недоліки;
- розробити технічні вимоги до мобільного пристосування;
- виконати проєктну розробку конструкції з урахуванням механіко-матеріальних характеристик ресор.

Об'єктом дослідження є процес технічного сервісу машинно-тракторного парку аграрних підприємств України, зокрема операції з діагностики та ремонту листових ресор.

Предметом дослідження є закономірності прогину та втомної деформації ресор під контрольованим навантаженням із використанням мобільного пристосування.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Дубінін Д.Ю. Методика та дослідження якості зварювальних швів. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції, 3-4 квітня 2025 р. Луцьк: Луцький НТУ, 2025. С. 256-261.

2. Капінус І.В. Стан матеріально-технічної бази агропромислового комплексу України: аналіз останнього десятиліття. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 54-58.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблений пристосунок може бути інтегрований у регламентні процедури технічного обслуговування МТП без потреби додаткового стаціонарного обладнання. Це дозволить скоротити час простою техніки на 15–20 %, зменшити матеріальні витрати на заміну ресор на 12–15 % та підвищити ефективність ресурсного потенціалу машин. Запропонований пристрій також сприятиме підвищенню кваліфікації технічного персоналу і стандартизації процесу діагностики ресор у мобільних ремонтних бригадах.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 22 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 44 сторінки комп'ютерного тексту, містить 3 рисунки та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ В АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

Організація технічного сервісу машинно-тракторного парку в аграрних підприємствах є ключовим елементом забезпечення безперебійної роботи сільськогосподарської техніки. Без належного технічного обслуговування ефективність експлуатації тракторів і машин суттєво знижується. Пропускні затримки в роботі призводять до простоїв у польових роботах та втрат урожаю. Тому агропідприємства мають розробляти комплексні підходи до управління технічним сервісом. Такий підхід враховує організаційні, кадрові, економічні та технологічні аспекти. Він забезпечує оптимізацію ресурсів і зниження собівартості технічного обслуговування. Ефективність сервісу значною мірою залежить від чіткого планування та контролю якості виконання ремонтних робіт. У цьому розділі розглянуто головні особливості технічного обслуговування машинно-тракторного парку в умовах сучасного аграрного виробництва України [7].

Машинно-тракторний парк є основою матеріально-технічної бази будь-якого аграрного підприємства. Від його стану безпосередньо залежить швидкість виконання посівних, збиральних та інших польових робіт. Сучасні трактори й сільськогосподарські машини обладнані складними електронними та гідравлічними системами, що вимагають спеціалізованого обслуговування. Недотримання рекомендацій виробників призводить до підвищеного зносу деталей і передчасних відмов агрегатів. Високий ступінь механізації потребує своєчасного технічного обслуговування та кваліфікованого втручання. Необхідно враховувати інтенсивність експлуатації техніки під час пікових агротехнологічних операцій. Організація сервісу має бути адаптована до сезонних навантажень і часових обмежень. Успішне управління технічними станами машин полягає в передбачуваності ремонтного графіка та оперативній

реакції на екстрені відмови. Завдяки цьому досягається оптимальний рівень готовності техніки до роботи [1-12].

Система технічного персоналу в агропідприємствах зазвичай включає майстрів, механіків, слюсарів-ремонтників і операторів обслуговування. Майстри виконують роль координаторів технічного обслуговування та контролю якості виконання робіт. Злагоджена взаємодія між майстрами та механіками забезпечує оперативне усунення несправностей. Слюсарі-ремонтники мають спеціальні навички для виконання токарних, свердлильних та зварювальних робіт. Оператори обслуговування проводять щоденні перевірки технічного стану машин і фіксують відхилення від норм. Кожен працівник повинен мати достовірну інформацію про історію ремонту та проведені роботи. Ефективне управління кадровим потенціалом дозволяє швидко реагувати на позапланові аварії. Формування мотиваційної системи сприяє підвищенню відповідальності за результати праці. Застосування політики безперервного навчання гарантує оновлення знань і навичок персоналу [5-6].

Адміністративна та управлінська підтримка з боку керівництва агропідприємства є ключем до успіху сервісної системи. Керівники формують політику технічного обслуговування, визначають пріоритети та розподіляють ресурси. Вони затверджують бюджет на закупівлю обладнання та запчастин. Водночас розробляються чіткі інструкції й регламенти для виконання ремонтних робіт. Адміністрація контролює дотримання нормативних документів і стандартів. Внутрішній аудит аналізує ефективність сервісу та виявляє слабкі місця. Забезпечення відкритих каналів комунікації між усіма рівнями працівників підвищує прозорість процесів. Зворотний зв'язок між польовими операторами та сервісною службою сприяє оперативним покращенням. Безперервний контроль якості залишаєся фундаментом керівництва технічним сервісом.

Планово-попереджувальні ремонти забезпечують підтримку технічної готовності машино-тракторного парку. Вони передбачають заміну зношених

деталей та попередження аварійних відмов під час пік-навантажень. Графік ремонтів складають з урахуванням рекомендацій виробника та фактичного стану техніки. Облік напрацювання ведуть в електронних журналах чи CMMS-системах. Прозорий моніторинг виконання планів дозволяє оперативно коригувати стратегію обслуговування. Це сприяє оптимізації ресурсів та зниженню собівартості ремонту. Виконуючи роботи перед початком сезону, гарантують безпечну експлуатацію техніки в полі. При складанні графіка також враховують погодні умови й агротехнологічні вимоги [2-4].

Діагностика технічного стану машин є невід'ємною складовою сервісу. Використання портативних діагностичних комплексів дає змогу оперативно виявляти відхилення від робочих параметрів. Регулярні огляди, замір тиску в гідравліці та контроль мастильних матеріалів дозволяють прогнозувати знос. Застосування вібраційного та тепловізійного контролю допомагає виявити дефекти в режимі експлуатації. Інтеграція діагностичних даних із CMMS сприяє створенню єдиної бази знань. Це полегшує прийняття обґрунтованих рішень щодо ремонту та заміни компонентів. Оперативне реагування на сигнали діагностики знижує ризик простоїв. Висока кваліфікація персоналу необхідна для правильної інтерпретації результатів [3].

Аграрні підприємства дедалі активніше впроваджують інформаційні системи управління технічним обслуговуванням (CMMS). Ці системи автоматизують планування ремонтів, облік запасних частин і ведення історії робіт. Завдяки цифровізації стає можливим аналіз надійності техніки та контролю витрат на сервіс. Інтерфейси CMMS дозволяють доступ до інформації через планшети й смартфони в полі. Хмарні рішення знижують витрати на ІТ-інфраструктуру й забезпечують гнучкість. Забезпечення захищеного доступу та резервного копіювання даних є пріоритетом. Інтеграція із бухгалтерією підвищує прозорість фінансових потоків. Цифровізація сприяє підвищенню якості управління технічним парком [4].

Логістика запасних частин є важливою складовою сервісу. Своєчасне постачання деталей мінімізує простої в ремонті. Агрогосподарства формують

оптимальні складські запаси за моделями попиту й напруження. Обсяги закупів визначають на основі статистики відмов та планових робіт. Різні канали постачання додають оперативності в доставці. Програми управління складом забезпечують точний облік і знижують брак. Регулярна інвентаризація гарантує відповідність фактичного запасу обліковим даним. Довгострокові контракти з постачальниками популярних деталей забезпечують пріоритет у поставках.

Матеріально-технічне забезпечення майстерень включає підйомні механізми, стенди для демонтажу вузлів і насосне обладнання. Якість цього устаткування впливає на швидкість і безпеку робіт. Агрегати для регенерації рідин мають відповідати міжнародним стандартам. Інструменти з калібрування та перевірки точності підтримують високу якість ремонту. Наявність мобільних лабораторій і ремонтних кузовів забезпечує гнучкість сервісу. Зовнішні та внутрішні аудити контролюють стан устаткування майстерень. Система оренди обладнання може оптимізувати капіталовкладення. Планування оновлення інструментального парку з урахуванням амортизації продовжує термін його служби [12].

Робочі місця в майстернях обладнуються антивібраційними настилами та яскравим розсіяним освітленням. Системи вентиляції й аспірації видаляють пил і відпрацьовані гази. Інструменти та дрібні запчастини розміщують у підписаних контейнерах для зручності. Світлові та звукові індикатори сигналізують про стан устаткування й аварії. Постійне оновлення інструкцій з техніки безпеки розміщують у доступних місцях. Достатній простір дозволяє безпечно маневрувати великими вузлами. Аварійні душові та аптечки першої допомоги забезпечують швидку медичну реакцію. Така організація сприяє підвищенню продуктивності та зниженню травматизму [9].

Графіки обслуговування складають відповідно до сезонних циклів агротехнологічних операцій. Весняно-літні роботи та збиральна кампанія створюють пікові навантаження на техніку. Планові ремонти виконують у міжсезоння, щоб уникнути перешкод у роботі. Автоматизовані CMMS оптимізують часові вікна сервісу й розподіл ресурсів. Для розподілених ферм

графік узгоджують з логістичними витратами на переміщення машин. У плануванні враховують можливість залучення зовнішніх бригад-підрядників. Так знижуються простої в найважливіші періоди виробництва. Такий підхід дозволяє підтримувати високу готовність техніки.

Постійна підготовка та сертифікація персоналу є гарантією якості обслуговування. Регулярні тренінги знайомлять із новими технологіями та стандартами. Партнерство з дилерами техніки відкриває доступ до авторизованих навчальних програм. Стажування в дилерських центрах дозволяє набути практичних навичок. Електронні курси й відеоуроки дають гнучкість у навчанні. Сертифікація стимулює підвищення професійних компетенцій. Чітка система кар'єрного росту мотивує працівників. Оцінка умінь проводиться через тести та практичні завдання, що забезпечує розвиток потенціалу [15].

Впровадження міжнародних сертифікаційних стандартів ISO та DIN уніфікує процеси обслуговування. Дотримання норм підвищує довіру партнерів і відкриває доступ до грантових програм. Регулярні аудити контролюють відповідність вимогам. Сертифікація стимулює постійне удосконалення внутрішніх процесів. На її основі спрощується взаємодія з іноземними інвесторами й постачальниками. При адаптації стандартів до локальних умов створюють внутрішні регламенти. Це полегшує впровадження нових технологій і процесів. Сертифікація стає рушійною силою конкурентоспроможності [3].

Управління документацією та облік виконаних робіт ведуться у паперовому й електронному форматах. Для кожного агрегату створюють технічний паспорт із історією ремонту та заміни деталей. Штрих- і QR-коди полегшують ідентифікацію вузлів і швидкий доступ до записів. Актуалізація документації забезпечує достовірність даних для майбутніх планів. Облік витрат на запчастини, матеріали й оплату праці допомагає коректно розподіляти бюджет. Система звітності спрощує взаємодію з контролюючими

органами. Автоматизовані рішення мінімізують людський фактор і помилки введення. Така організація підвищує прозорість і ефективність процесів [8].

Фінансове планування технічного сервісу включає статті на запчастини, матеріали, оплату праці та амортизацію обладнання. Бюджетування за категоріями гарантує своєчасне фінансування критичних потреб. КРІ-показники, як-от час простоїв і вартість ремонту, відстежують рентабельність сервісу. Регулярний аналіз фінансів дає змогу коригувати бюджет у разі потреби. Гнучкі механізми перерозподілу коштів допомагають реагувати на форс-мажори. Прозорість фінансування формує довіру інвесторів і партнерів. Оптимізація бюджетування сприяє модернізації сервісних потужностей. Зниження витрат підвищує загальну ефективність аграрного підприємства [9].

Оцінка ефективності сервісу ґрунтується на ключових показниках: час простоїв, відсоток виконаних планових ремонтів і кількість аварій. Порівняння фактичних даних із плановими виявляє резерви для покращення. Динамічний аналіз трендів прогнозує майбутні потреби в сервісі. Регулярні звіти перед керівництвом сприяють обґрунтованим рішенням. Інтеграція CMMS із діагностичними системами забезпечує надійні дані. Відкритість показників мотивує персонал на досягнення кращих результатів. Система винагородження за досягнення КРІ стимулює якість роботи. Оцінка ефективності стає інструментом безперервного вдосконалення [11].

Аналіз простоїв і втрат продуктивності допомагає мінімізувати фінансові ризики. Прості можуть статися через поломки машин, затримки з доставкою запчастин чи нерівномірне завантаження бригад. Ідентифікація причин простоїв є першим кроком до їх усунення. Статистичні дані збираються через телеметрію або ручні перевірки. Аналіз дозволяє визначити найбільш вразливі вузли техніки. На цій підставі планують ремонти з акцентом на критичні компоненти. Оптимізація маршрутів бригад знижує час реагування. Підтримка резервних одиниць техніки дозволяє швидко виконати невідкладні роботи. Зменшення простоїв підвищує рентабельність виробництва [17].

Сучасні інновації, як-от лазерне наплавлення та 3D-друк деталей, проникають у аграрний сервіс. Лазерне наплавлення відновлює зношені поверхні з мінімальними витратами. 3D-друк дозволяє виготовляти нестандартні запчастини прямо на місці. Це скорочує час очікування та логістичні витрати. Впровадження інновацій потребує інвестицій у високотехнологічне обладнання та навчання персоналу. Довгострокові економічні вигоди компенсують початкові вкладення. Мобільні інноваційні лабораторії обслуговують віддалені фермерські точки. Інновації підвищують надійність і стійкість технічного парку. Вони стають відповіддю на обмежений доступ до традиційних запчастин [15].

Мобільні сервісні бригади особливо корисні в регіонах зі слабкою сервісною інфраструктурою. Вони оснащені інструментами, діагностичними комплексами та запасними частинами. Така модель мінімізує простої техніки та витрати на транспортування до майстерень. Кузови-майстерні мають генератори й компресори для роботи в полі. Перевірені оператори проходять спеціалізоване навчання з автономної роботи. Синхронізація з CMMS забезпечує віддалений моніторинг і облік робіт. Мобільні бригади підвищують оперативність та якість обслуговування. Вони є важливою ланкою безперервного сервісу на великих агроресурсах [11].

Підготовка до посівної кампанії включає всебічну перевірку агрегатів, що братимуть участь у сівбі. Комплексні огляди, калібрування висівних апаратів і налаштування глибини обробки ґрунту виконуються завчасно. Перевіряють системи внесення добрив і пестицидів на герметичність і точність дозування. Роботи плануються з резервом часу, щоб уникнути зриву термінів сівби. Після завершення посівної одразу запускають цикл планово-профілактичних робіт. Це продовжує термін служби вузлів і знижує експлуатаційні витрати. Координація з агрономами допомагає пріоритезувати завдання. Техніка завжди готова до критичних агротехнологічних операцій [3].

Підготовка машинно-тракторного парку до зимового періоду вимагає спеціалізованих заходів. Агрегати очищають від ґрунту, рослинних решток і

мастильних матеріалів, що застигають на морозі. Змінюють мастила та охолоджувальні рідини на зимові марки. Перевіряють акумулятори й систему електроживлення на холодний пуск. Антикоровізійні обробки підвіски й шасі захищають метал від солей і вологи. Зберігають техніку в опалюваних приміщеннях або під укриттям. Слухові цикли запуску двигунів підтримують їхній ресурс під час простою. Це забезпечує готовність машин після закінчення зимового періоду [7].

Взаємодія з дилерами та постачальниками запчастин сприяє оперативності сервісу. Дилери надають оригінальні запчастини, оновлення ПЗ та сервісні інструкції. Вони проводять навчання персоналу й технічну підтримку в екстрених випадках. Постачальники аналогів пропонують бюджетні рішення, які можуть бути якісними. Використання декількох каналів постачання знижує ризик дефіциту компонентів. Довгострокові рамкові договори гарантують пріоритет у постачанні під час сезону. Своєчасне замовлення і вирішення логістичних питань мінімізують затримки. Регулярна комунікація з партнерами допомагає адаптуватися до ринкових змін.

Державне регулювання та нормативна база встановлюють вимоги до технічного обслуговування. Законодавство визначає правила експлуатації, технічного огляду та сертифікації техніки. Норми ДСТУ регламентують методи діагностики, обладнання майстерень і кваліфікацію персоналу. Охорона праці та екологічне законодавство забезпечують безпеку та мінімізацію впливу на довкілля. Планові та позапланові перевірки контролюють відповідність нормам. Агропідприємствам необхідно мати актуальні документи та записи про виконані роботи. Порушення тягнуть за собою штрафи та призупинення діяльності. Програми державної підтримки стимулюють модернізацію технічного сервісу [3].

Вимоги безпеки та охорони праці є пріоритетними в організації майстерень. Працівники повинні бути забезпечені рукавицями, окулярами, спецодягом і захисним взуттям. Робочі місця обладнують аварійними душами та аптечками. Інструктажі з безпеки проводяться щонайменше раз на рік.

Дотримання правил поводження з токсичними речовинами є обов'язковим. Електроустановки повинні бути заземлені та перевірені. Роботи на висоті виконують зі страховкою та монтажними засобами. Аварійні плани дій у випадку пожежі чи вибуху регулярно відпрацьовують під час тренінгів. Дотримання вимог знижує ризик травматизму та зберігає здоров'я персоналу.

Екологічні аспекти обслуговування техніки набувають дедалі більшої уваги. Відпрацьовані мастильні матеріали й охолоджувальні рідини є потенційними джерелами забруднення ґрунту та води. Майстерні мають системи збору й утилізації небезпечних відходів. Використання екологічно чистих олив і мастил зменшує негативний вплив на довкілля. Переробка фільтрів і сорбентів забезпечує раціональне використання ресурсів. Агрокомпанії можуть долучатися до програм з утилізації та вторинної переробки. Зелені сертифікати підвищують імідж підприємства серед партнерів. Внутрішні екологічні політики формують свідоме ставлення до навколишнього середовища. Екстернальні стандарти все більше визначають модернізацію майстерень [9].

Виклики воєнного стану та децентралізації вимагають адаптивності сервісних процесів. У зонах з обмеженою безпекою ручне планування замінюють гнучкими моделями реагування. Підприємства навчаються працювати в умовах обмеженого доступу до ресурсів. Мобільні локальні бригади підвищують автономність у віддалених районах. Координація з військовими адміністраціями допомагає вирішувати логістичні питання. Водночас важливо зберігати прозорість і звітність навіть у кризових умовах. Адаптивні бюджети передбачають резерви на непередбачувані ситуації. Такі заходи дозволяють підтримувати технічну готовність у будь-яких умовах. Гнучкість стає ключовою характеристикою сучасного технічного сервісу [3].

Адаптація до кліматичних змін вимагає нових підходів до обслуговування техніки. Збільшення екстремальних температур і випадіння опадів впливають на ресурс двигунів і металевих елементів. Сезонні мастильні матеріали мають відповідати мінливим кліматичним умовам. Системи кондиціонування і обігріву

кабін сприяють комфорту операторів і захищають вузли техніки. Додатковий антикорозійний захист у вологих регіонах подовжує термін служби. У зонах посухи необхідно посилений контроль гідросистем. Використання кліматичних даних у CMMS дає змогу прогнозувати потреби сервісу. Підприємства готуються до роботи в умовах мінливого клімату завдяки таким рішенням.

Телеметрія та IoT-пристрої відкривають нові можливості для віддаленого моніторингу технічного стану. Датчики передають у реальному часі показники двигуна, гідравліки, пробігу та навантаження. Алгоритми машинного навчання аналізують дані й прогнозують відмови. Це скорочує простої та знижує витрати на екстрені ремонти. Інтеграція з мобільними додатками дає майстрам доступ до актуальної інформації в полі. Безпечні канали зв'язку й шифрування захищають комерційну інформацію. Пілотні проекти IoT вже показують зростання продуктивності сервісу. Цифровізація стає невід'ємною складовою сучасного аграрного обслуговування [9].

Прогнозування й управління ризиками ґрунтуються на аналізі історичних даних і зовнішніх чинників. Агropідприємства застосовують статистичні моделі для оцінки ймовірності відмов вузлів. Також враховують ризики, пов'язані з постачанням, погодою та логістикою. На основі цього формують резервні фонди запчастин і мобільні бригади. Регулярне оновлення аварійних планів готує до надзвичайних ситуацій. Внутрішній аудит перевіряє готовність інфраструктури до екстремальних викликів. Контракти з постачальниками дозволяють розподілити ризики. Це знижує невизначеність і підвищує стабільність виробництва. Превентивне управління ризиками стає важливою ланкою сервісу [2].

Цифрові двійники машин відкривають перспективи точної діагностики й планування ремонтів. У віртуальній моделі агрегата відтворюються всі параметри реального обладнання. Це дозволяє проводити «віртуальні» тести і оцінити вплив різних сценаріїв експлуатації. Оптимізуються графіки технічного обслуговування та розподіл ресурсів. Підприємство може моделювати вплив нових мастил чи зносостійких покриттів. Інтеграція цифрових двійників у

CMMS покращує аналітику й прогнози. Це веде до зниження витрат і підвищення надійності техніки. Витрати на налаштування компенсуються довгостроковими вигодами. Використання таких рішень виводить агросервіс на світовий рівень [5].

Перспективні технології, зокрема блокчейн для обліку ремонтів, гарантують незмінність даних. Це підвищує довіру між агропідприємством, постачальниками та контролюючими органами. III-системи автоматично аналізують діагностичні сигнали і формують завдання для ремонтних бригад. Розвиваються автономні ремонтні рішення на базі робототехніки. Дрони виконують візуальний огляд великих агрегатів і виявляють пошкодження. Поєднання цих технологій трансформує традиційний сервіс у високотехнологічну систему. Аграрні підприємства, що впроваджують інновації, отримують додаткові конкурентні переваги.

Основні рекомендації для удосконалення технічного сервісу: впровадити єдину CMMS-платформу для планування, діагностики й обліку ремонтів; розвивати мобільні бригади для зниження часу реагування; інвестувати в підготовку та сертифікацію персоналу; застосовувати інноваційні технології відновлення й виробництва запчастин; формувати довгострокові партнерства з надійними постачальниками; регулярно проводити аудит процесів; враховувати екологічні та безпекові стандарти. Кожен із цих кроків має бути адаптований до масштабу та регіональних умов підприємства. Їхнє впровадження забезпечить підвищення продуктивності, зниження витрат і поліпшення конкурентоспроможності аграрного виробництва в Україні [5].

У висновках підкреслимо, що організація технічного сервісу машинно-тракторного парку в аграрних підприємствах України є складним багатовимірним процесом. Вона охоплює нормативні, технологічні, економічні та кадрові аспекти. До ключових складових належать планово-попереджувальні ремонти, діагностика, матеріально-технічне забезпечення та якісна документація. Сучасні інформаційні системи й інноваційні технології відкривають нові можливості для підвищення ефективності сервісу. Мобільні

бригади, сертифікація персоналу та прозорі канали комунікації сприяють сталому розвитку. Урахування екологічних, безпекових і кліматичних факторів забезпечує стійкість системи. Адаптація до воєнного стану й децентралізації робить сервіс гнучким і незалежним. Виконання рекомендацій сприятиме оптимізації ресурсів, зниженню витрат і зростанню рентабельності аграрного виробництва України [5].

Відповідно до завдання проведено розрахунок трудомісткості ремонтів і технічних обслуговувань машинно-ремонтної майстерні, розрахунок представлено в додатку А.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Типи ресор

Типи ресор відіграють ключову роль у забезпеченні належного рівня комфорту та безпеки руху транспортних засобів, адже вони сприяють згладжуванню нерівностей дороги та підтримують оптимальний контакт коліс з поверхнею. Класифікація ресор базується на їхній конструкції, матеріалах виготовлення, робочому діапазоні жорсткості та способі демпфування коливань. Різноманіття типів ресор пояснюється необхідністю адаптації під різні умови експлуатації: від легкових автомобілів та вантажівок до спеціалізованої техніки і залізничного рухомого складу. При виборі ресор інженери керуються такими критеріями, як максимальне навантаження, робочий хід пружини, габарити, вага та технологічна складність монтажу. Крім того, важливо враховувати вплив змін температури та вологості, адже ці чинники здатні суттєво змінити властивості сталевих та композиційних матеріалів. У багатьох сучасних конструкціях ресор застосовують комбіновані рішення, поєднуючи у собі кілька типів пружних елементів для досягнення оптимальної динамічної характеристики. Наприклад, в окремих транспортних засобах встановлюють поєднання пружних металевих ресор із газовими амортизаторами. Такі рішення дозволяють підвищити плавність ходу та точність керування. Далі розглянемо основні типи ресор та їхні характерні особливості [3].

Листова ресора є одним із найстаріших і найпоширеніших різновидів пружних елементів у підвісці автомобілів та вантажних машин. Вона складається із набору сталевих пластин (листів), які укладаються одна на одну та з'єднуються за допомогою затискачів і центральної болтової в'язі. Кожний лист виконує функцію пружини, а їхня різна довжина і товщина забезпечують поступове залучення більш жорстких листів із підвищенням навантаження.

Листові ресори відзначаються високою вантажопідйомністю та довговічністю за умов належного технічного обслуговування. Недоліком таких конструкцій є значна маса та великі габарити, що ускладнює їхнє застосування на легкових автомобілях. Водночас технологія виготовлення листових ресор відпрацьована й економічно вигідна для серійного виробництва. Основним матеріалом є вуглецева або легована сталь із високою межою пружності. Для підвищення зносостійкості та корозійної стійкості листи піддаються термообробці та антикорозійному покриттю. Листові ресори активно використовуються в комерційному транспорті, сільгоспмашинах та залізничному оснащенні [4].

Параболічні листові ресори є модифікацією класичних багатолистових пружин, у яких товщина листів змінюється за параболічним законом від центра до країв. Така конструкція дозволяє значно зменшити кількість листів та масу ресори, при цьому покращивши амортизаційні властивості. За нормальних умов експлуатації лише центральний лист працює в пружній зоні, а додаткові листи залучаються лише при збільшенні навантаження. Це забезпечує більшу плавність ходу на маліх нерівностях дороги та більш жорстку роботу при значних навантаженнях. Параболічні ресори характеризуються меншим втручанням у геометрію підвіски та зниженою кількістю тертьових контактів між листами. Така конструкція потребує точного розрахунку та високої якості виробництва, що підвищує вартість ресори. Однак економія матеріалів і поліпшення динамічних характеристик виправдовують застосування на легкових і легких комерційних автомобілях [2].



Рис. 1.1. Параболічна ресора.

Гвинтові (коілові) пружини за формою нагадують спіраль, виготовлену з круглої сталевий дроту. Вони широко застосовуються в легкових автомобілях завдяки компактності, простоті монтажу та налаштування жорсткості шляхом заміни пружини на іншу з потрібними параметрами. Гвинтові пружини працюють на розтяг та стиснення, забезпечуючи лінійну характеристику зворотного зусилля. Основні матеріали — високовуглецева або хромованадієва сталь, здатні витримувати багатоциклове навантаження без деградації властивостей. До недоліків гвинтових пружин належать обмежений хід стиснення та здатність до бічного вигину, що потребує додаткових напрямних елементів. Для захисту від корозії дрiт піддають цинкуванню або фарбуванню високостійкими покриттями. Гвинтові пружини легко інтегруються з амортизаторами у вигляді стрикційних або ресорних стійок, що полегшує налаштування підвіски. В цілому, вони поєднують високу ефективність та простоту обслуговування [7].

Торсіонні ресори реалізовані у вигляді сталюого стрижня із круглим або прямокутним поперечним перерізом, закріпленого з одного боку в кузові, а з іншого — у важелі підвіски. У процесі повороту важеля торсіонний стрижень закручується, створюючи пружне зусилля. Торець стрижня може мати спеціальне зубчасте або пряме з'єднання для монтажу важеля. Головна перевага торсіонних ресор — компактність і можливість регулювання початкової жорсткості шляхом зміни кута закручування. Вони забезпечують високий ресурс роботи та малу вагу порівняно з іншими типами пружин. Основний матеріал — легована сталь із підвищеною межею текучості та стійкістю до втомної та крихкої руйнації. Недоліки включають складнішу конструкцію вузла підвіски та необхідність точного регулювання при монтажі. Торсіонні ресори застосовують у легкових автомобілях, автобусах та спеціалізованому обладнанні [9-14].

Пневматичні (повітряні) ресори використовують стиснене повітря або інертні гази у герметичному балоні, що обмежений гумовою мембраною та металевими фланцями. Завдяки регулюванню тиску всередині ресори можна

змінювати її жорсткість і підвищувати плавність ходу. Пневматичні ресори часто комбінують із гідравлічними амортизаторами у вузлах пневмопідвіски комерційних автомобілів, автобусів та поїздів. До переваг належать широкий робочий діапазон жорсткостей, можливість автоматичного вирівнювання кузова та адаптація під змінне навантаження. Водночас система потребує складного компресора, блоків клапанів, електронного керування та регулярного обслуговування, що збільшує вартість та складність експлуатації. Матеріали мембрани — армований каучук, що витримує великі цикли розтягування та стиснення. Пневматичні ресори забезпечують плавність руху та зниження втоми водія за довгих рейсів [12-16].



Рис. 1.2. Пневматична ресора.

Резинометалеві пружини поєднують властивості пружних гумових елементів із жорсткістю металевих вкладок. Конструкція передбачає чергування гумових прокладок та металевих шайб або пластин, що забезпечує нелінійну характеристику підвіски. Такі ресори володіють самодемпфуючими властивостями завдяки внутрішньому тертю гуми, що знижує потребу у зовнішніх амортизаторах. Резинометалеві пружини прості за конструкцією, мають невеликі габарити та вагу, а також високу корозійну стійкість. Недоліком є обмежений робочий хід та значна залежність характеристик від температури навколишнього середовища. Застосовуються у легкових автомобілях та промисловому обладнанні для ізоляції вібрацій та шуму.

Матеріали гумових елементів – технічний каучук із присадками для підвищеної зносостійкості [7-9].

Хвильові (високо ненавантажені) пружини виготовляються зі сталевих або титанових стрічок, зігнутих у вигляді хвильової лінії. Такі конструкції дозволяють досягти великих ходів стиску при мінімальній масі та габаритах. Хвильові пружини мають нелінійну характеристику пружності, що забезпечує плавне поглинання малих коливань та поступове збільшення жорсткості при значних деформаціях. Вони використовуються в спеціалізованих системах підвіски, а також у гідравлічних та механічних демпферах. Головний недолік — складність виготовлення та висока вартість матеріалів, особливо у випадку титанових сплавів. Проте у високотехнологічних застосуваннях переваги перевищують недоліки. Хвильові пружини часто інтегрують із складними демпфуючими системами для досягнення заданих динамічних характеристик.

Газові ресори (газові амортизатори) є різновидом пружних елементів, у яких робочою речовиною є стиснений азот. Їх найчастіше використовують для підйомних механізмів кришок багажника, капотів та сидінь завдяки простоті монтажу та регульованому зусиллю відкривання. Газові ресори мають компактні габарити, високий ресурс роботи та відсутність корозійних елементів у поршневій групі. Основний матеріал циліндра та штока — загартована сталь із антикорозійним покриттям. Регулювання сили відбувається зміненням тиску на заводі або в сервісних умовах, проте не в процесі експлуатації. Недоліком є обмежений робочий хід та фактична відсутність демпфування без додаткового масляного контуру. Газові ресори забезпечують плавність руху невеликих механізмів і підвищують зручність користування [4].

Прогресивні пружини характеризуються змінною жорсткістю вздовж робочого ходу, досягаючи цього за рахунок спеціальної геометрії витків або комбінованих матеріалів. На початку стиснення вони працюють більш м'яко, забезпечуючи комфорт при малих коливаннях, а при збільшенні навантаження жорсткість різко зростає, запобігаючи пробою ходу. Прогресивні пружини широко застосовують у спортивних автомобілях, багі та мотоциклах, де

необхідна адаптивність під різні режими руху. Їхня конструкція може поєднувати крупний крок витків на початку та дрібний — у кінці пружини. Основні матеріали — леговані сталі або композитні волокна для зниження ваги. Недоліком є складність розрахунку та виробництва, а також обмежений ресурс за умови високих навантажень у пік жорсткості.

Сучасні композитні пружини використовують склопластикові, вуглецеві або полімерні волокна, укладені в матрицю зі смоли. Такі матеріали дозволяють суттєво знизити масу елементів підвіски при забезпеченні високої межі пружної деформації. Композитні пружини відзначаються корозійною стійкістю, відсутністю втомних тріщин та можливістю налаштування жорсткості шляхом зміни кількості шарів волокон. Основний недолік — висока вартість сировини та складність технології виготовлення, яка вимагає авіаційного рівня контролю якості. Вони поступово проникають у високопродуктивні легкові автомобілі та гоночні боліди. Перспективи розвитку пов'язані з новими матричними матеріалами та удосконаленням методів ламінації [7].

При виборі типу ресори інженери керуються сукупністю технічних характеристик: діапазоном робочих ходів, жорсткістю, масою, габаритами, складністю монтажу та вартістю. Важливо також враховувати умови експлуатації — від азотних морозів до піщаних буревіїв, які можуть впливати на довговічність матеріалів. Для комерційного транспорту зазвичай обирають листові та параболічні ресори через їхню вантажопідйомність. У легковому сегменті переважають гвинтові та торсіонні пружини, іноді разом із пневматичними елементами. Спортивні та позашляхові автомобілі часто оснащують прогресивними або композитними ресорами для забезпечення адаптивної жорсткості. Сільськогосподарські машини потребують значної вантажопідйомності й витривалості в умовах агресивного середовища, тому там широко використовують сталеві рішення. Таким чином, вибір ресори є компромісом між технічними вимогами та економічною доцільністю [3].

2.1. Матеріали, які використовуються для виготовлення ресор

Матеріали для виготовлення ресор мають відповідати суворим вимогам щодо міцності, пластичності та стійкості до втомного руйнування. Перш за все, визначальним є вибір сталі з високою межею пружності, який забезпечує необхідну жорсткість і здатність витримувати багатоциклове навантаження. Крім того, матеріал повинен мати достатню втомну міцність, щоб уникнути утворення тріщин і руйнування під дією багаторазових коливань. Важливим є також опір корозії, оскільки підвіска автомобіля контактує з водою, солями і хімічними реагентами на дорогах. Тому часто застосовують леговані сталі з добавками кремнію, марганцю, хрому та ванадію, які підвищують рівень корозійної стійкості та міцності. Марка сталі вибирається залежно від конкретного типу ресори: листові ресори зазвичай виготовляють із сталі 60С2А або 65Г, а гвинтові пружини – із дроту марки 51ХФА чи 60С2ХА. Для торсійних ресор підходять сплави з підвищеною твердістю, наприклад 35ХГСА, які витримують великий крутний момент. Водночас для композитних пружин і ресор з'являються нові полімерні та склопластикові матеріали, здатні зменшити масу елемента [3].

Вуглецеві сталі широко застосовуються завдяки доступності та перевіреним експлуатаційним характеристикам. Вуглецеві сплави зі змінним вмістом вуглецю (0,5–0,8 %) забезпечують оптимальний баланс міцності і пластичності. Вони добре піддаються термообробці, що дозволяє коригувати свої механічні властивості згідно з технологічними вимогами. Термообробка включає загартування і відпуск, що сприяє підвищенню межі пружності та втомної міцності. Для захисту від корозії поверхні сталі покривають цинкуванням або нанесенням полімерних композицій. Недоліком вуглецевих сталей є менша корозійна стійкість у порівнянні з легованими сплавами без захисних покриттів. Проте у важких вантажних машинах, де корозія частково компенсується регулярним обслуговуванням, така сталь залишається найбільш

економічно виправданим рішенням. Вона також оптимальна для машин з агресивними умовами експлуатації, де вага та вартість матеріалу критичні [3].

Леговані сталі мають у своєму складі хром, ванадій, марганець, кремній та інші елементи, які підвищують їхню міцність та корозійну стійкість. Хромованадієві сплави (зазвичай позначаються 50ХФА, 60ХМФА) відзначаються високою межею пружності та втомною міцністю, що робить їх надзвичайно придатними для гвинтових пружин. Вміст хрому забезпечує утворення стабільної окисної плівки, яка захищає від корозії, а ванадій сприяє рівномірному розподілу карбідів у сталі. Ці матеріали добре підходять для циклічно навантажених деталей із високою частотою деформацій. Обробка таких сплавів вимагає точно налаштованих режимів загартування, щоб уникнути утворення крихких структур. При порушенні технології відпусту можуть виникати внутрішні напруження, що знижують довговічність. Тому виробництво гвинтових пружин із легованої сталі є складнішим, але виправданим для відповідальних вузлів підвіски [7].

Для композитних ресор використовують склопластик і вуглепластик, які формуються методом штампування або укладання наповнених волокон у прес-форму. Матриця зазвичай виготовляється з епоксидних смол, поліефірних або вінілестерових композицій, які забезпечують міцність та адгезію з волокнами. Склопластик надає ресорі гнучкість і корозійну стійкість, тоді як вуглепластик дозволяє суттєво знизити вагу та підвищити межу пружності. Комбіновані шари можуть мати різну орієнтацію волокон, що дозволяє програмувати нелінійну характеристику жорсткості. Однак такі матеріали вимагають суворого контролю якості, оскільки дефекти прошарків призводять до зниження ресурсу. Виробничий процес включає вакуумне пресування або автоклавне твердіння, що підвищує витрати. Попри це, композитні ресори застосовують у спортивних і розкішних автомобілях завдяки можливості тонкого настроювання динамічних властивостей [9].

Для гумометалевих конструкцій використовують технічний каучук високої еластичності, армований синтетичними волокнами. Гумові прокладки

чергуються з металевими шайбами або пластинами, утворюючи «пиріг» із пружними та демпфуючими властивостями. Склад гумової суміші містить модифікатори, антиоксиданти та засоби для підвищення стійкості до озону й ультрафіолету. Завдяки внутрішньому тертю матеріал дифузно гасить коливання без потреби в додаткових амортизаторах. Металеві вставки забезпечують обмеження ходу і необхідну початкову жорсткість. Такі ресори мають компактні габарити й високий ресурс у віброізоляційних вузлах. Недоліком є залежність властивостей гуми від температури, що має враховуватися при виборі для кліматично різних регіонів. Гумометалеві пружини застосовують у підвісках легкових автомобілів, промислового обладнання та залізничному рушійному складі [3].

Титанові сплави використовують у сфері високопродуктивних і гоночних автомобілів, де критично важлива мала маса. Титан має високу питому міцність і відмінну корозійну стійкість, але його крихкість при низьких температурах та складна обробка обмежують застосування. Сплави типу Ti-6Al-4V забезпечують оптимальне поєднання жорсткості й пластичності. Виробництво ресор із титану вимагає точного контролю температури при термообробці та спеціальних технологій обробки з високою енергоємністю. Вартість матеріалу та утилізація бракованих деталей значно вища, ніж у випадку сталей. Проте у гоночному спорті та авіаційній техніці переваги титану виправдовують витрати. Легка маса сприяє зниженню нерухомої ваги транспортного засобу, а висока стійкість до корозії зменшує потребу у техобслуговуванні [8].

Пластикові та полімерні ресори застосовують у легкових автомобілях масового виробництва для вузлів із невеликим навантаженням, наприклад, у сидіннях та блоках підрамників. Використовують змішані композиції поліамідів, поліформальдегіду та армуючих волокон. Такі матеріали легкі й корозійно-стійкі, але мають обмежену стійкість до втомного навантаження. Для підвищення міцності полімери доповнюють мінеральними або скляними фібрами. Виробництво зазвичай здійснюється методом лиття під тиском або екструзії з наступною механічною обробкою. Полімерні ресори дають змогу

спростити конструкцію підвіски, знизити кількість зварюваних і болтових з'єднань. Однак їхній ресурс значно нижчий, і вони використовуються переважно у бюджетних моделях без високих динамічних навантажень.

Корозійні покриття та поверхнева обробка мають не менш важливу роль, ніж базовий матеріал. Часто застосовують гальванічне цинкування, фосфатування чи нанесення полімерних порошкових покриттів. Цинковий шар захищає сталь від окиснення, а фосфатна обробка поліпшує адгезію наступних фарбувальних шарів. Полімерні покриття додають механічну стійкість до подряпин і впливу реагентів. Для гвинтових пружин іноді використовують лакофарбові композиції з антикорозійними добавками. Поверхневі анаеробні мастила зі спеціальними інгібіторами корозії забезпечують довготривалу захисну дію. Правильний вибір покриття збільшує ресурс роботи ресори навіть у складних експлуатаційних умовах [12].

Спеціальні порошкові та нітридні покриття застосовують для підвищення зносостійкості поверхонь пружин. Прикладом є нітрування сталі, яке створює тонкий, але надзвичайно твердий шар на поверхні. Це знижує ризик утворення поверхневого руйнування при контакті з кронштейнами та іншими елементами підвіски. Порошкові покриття з полімерних або керамічних частинок покращують зносостійкість і дозволяють знижувати коефіцієнт тертя. Нанесення виконується методом електростатичного розпилення та термореактивного затвердіння. Такі обробки застосовують на гвинтових і торсіонних ресорах, що працюють у вологому середовищі. Вони продовжують життєвий цикл пружного елемента та зменшують потребу в заміні [7].

Усі матеріали для виготовлення ресор проходять строгий відбір і випробування: механічні тести на розтяг, багатоциклове навантаження та корозійні випробування. Спочатку здійснюють випробування в стандартних умовах, потім – у змінених температурах і вологості. Результати дозволяють визначити межу пружності, втомну міцність і опір корозії. За потреби матеріал піддають додатковим модифікаціям, змінюючи склад легувальних елементів чи режими термообробки. Багато виробників мають власні рецептури і секрети

загартування, щоб досягти оптимальних характеристик. Ці випробування гарантують надійність ресор у різних кліматичних і дорожніх умовах. Таким чином, вибір матеріалу є одним із ключових етапів у проєктуванні підвіски транспортного засобу.

2.3 Несправності ресор та способи їх усунення

Несправності ресор можуть призводити до зниження комфорту руху, погіршення керованості автомобіля й навіть до аварійних ситуацій, тому своєчасна діагностика та усунення дефектів є критично важливими. Найчастішими проблемами є корозія, втомні тріщини, пластична деформація й руйнування пружного елемента. Виявлення несправностей починається зі візуального огляду: перевіряють наявність іржі, змін форми, тріщин та відколів металу. Для точнішої діагностики застосовують неруйнівні методи контролю: магнітопорошковий чи ультразвуковий контроль поверхні. Після визначення виду дефекту обирають оптимальний спосіб ремонтних робіт: від поверхневого ремонту до повної заміни ресори. Важливо також з'ясувати причини виникнення несправності — надмірне навантаження, погане змащення чи неякісне матеріальне виконання. При ремонті слід дотримуватися рекомендацій виробника щодо матеріалів і технологій відновлення. У комплексі це дозволяє продовжити термін служби ресор і забезпечити безпеку руху [6].

Однією з поширених несправностей листових ресор є появи тріщин у кореневих ділянках листів через втомне руйнування металу. Причиною таких дефектів зазвичай стають циклічні навантаження, які перевищують граничні характеристики матеріалу. Першим етапом ремонту є видалення травмованих листів та очищення поверхні від іржі й забруднень. Далі проводять магнітопорошкову діагностику для виявлення прихованих тріщин. У разі локальних дефектів можливе застосування зварювання спеціальним легованим дротом із наступною термообробкою. Однак часто зварювальні роботи змінюють структуру сталі та знижують втому міцність, тому кращим рішенням

є заміна уражених листів. Нові листи підбирають за маркою та розміром згідно з технічними вимогами. Після монтажу ресору перевіряють на випробувальному стенді під заданим навантаженням. Такий підхід гарантує відновлення необхідних пружних характеристик [5].

Корозійні ураження спричиняють зниження перетину робочих елементів ресор і утворення концентраторів напружень, що веде до передчасного руйнування. Особливо інтенсивно корозія розвивається в умовах експлуатації в солоній чи агресивній довкіллі. Для усунення корозії спочатку виконують механічну очистку поверхні металу щітками або піскоструминним обладнанням. Потім застосовують хімічні пасиваційні склади для нейтралізації залишків іржі. Після цього на чисту поверхню наносять антикорозійне покриття: цинкування або порошкову фарбу. У разі серйозних пошкоджень металу рекомендується замінити весь елемент ресори на новий. Після завершення робіт перевіряють цілісність покриття та товщину шару захисного матеріалу. Регулярний огляд і обробка антикорозійними засобами дозволяють уникнути повторних проблем [4].

Пластична деформація ресор виникає при тривалому перебуванні під навантаженням, яке перевищує межу пружності матеріалу. Візуально це проявляється у вигині або «зависанні» ресори, що змінює кліренс і геометрію підвіски. Усунути таку дефект можна шляхом попереднього нагріву деформованої ділянки до температури відпуску сталі, а потім холодного вирівнювання на спеціальному пресі. Після цього деталь повинна пройти контроль геометричних параметрів і механічних властивостей. Якщо дефект охоплює велику площу або метал значно втомився, ремонт недоцільний. У такому разі проводять заміну деформованого елемента. При виборі нового листа або пружини необхідно суворо дотримуватися рекомендацій виробника за маркою сталі і термообробкою. Коректна установка та балансування ресори запобігають нерівномірному навантаженню та повторній деформації [5].

Утворення втомних тріщин у середніх ділянках ресор свідчить про багатократні циклічні навантаження та перевищення розрахункової кількості

циклів. Для їх виявлення застосовують ультразвуковий контроль і вихровий метод індукційного контролю. Після локалізації тріщини приймають рішення про ремонт: обробка кромки дефекту шляхом фрезерування або зачистка із заклепуванням армувальних пластин. Однак подібні процедури рекомендують лише для пружин малої відповідальності, оскільки вони змінюють геометрію ресори. Для відповідальних вузлів підвіски кращим рішенням є заміна всього пружного елемента. При заміні обов'язково виконують балансувальні випробування та регулюють натяг монтажних болтів. Це дозволяє забезпечити рівномірний розподіл навантажень і уникнути передчасного руйнування [3].

Розрив окремих листів ресор або грубі тріщини в прутках гвинтових пружин виникають при різкому перевантаженні чи корозійно-ущільненні робочого перерізу. Усунути таку поломку неможливо без заміни пошкодженого елемента. Щоб замінити деформований лист, демонтують всю пружину, знімають фіксуючі скоби й центральний болт. Після встановлення нового листа або пружини всі кріпильні болти затягують з регламентованим моментом. Потім монтують амортизатор і перевіряють хід підвіски під заданим навантаженням. Для унеможливлення повторних розривів доцільно перевірити стан кронштейнів та амортизаторів на предмет зносу. Вчасна заміна усіх пошкоджених компонентів підвіски гарантує безпеку та стабільність ходових характеристик [2].

В резинометалевих ресорах характерними несправностями є delamination гумових шарів і розтріскування через старіння полімеру. Такі дефекти призводять до різкого зниження демпфуючих властивостей і появи вібрацій. Для усунення delamination виконують демонтаж гумових прокладок і заміну на нові, виготовлені за оригінальним рецептом. При цьому обов'язково очищують металеві шайби від залишків старої гуми та перевіряють їх на корозію. Далі компоненти збирають заново з використанням спеціального клею й вулканізують у прес-формі для відновлення цілісності «пирога». Після цього ресору випробовують на демпфуючий опір у лабораторних умовах. Така

технологія відновлення забезпечує повне відновлення початкових характеристик пружини [17].

У пневматичних ресорах поширеною проблемою є підтікання повітря через зношені ущільнювальні елементи чи мікротріщини мембрани. Ознаками несправності є зниження висоти кліренсу, характерний писк компресора та нерівномірність ходу підвіски. Для виявлення місця витоку використовують аквамметр або розчин мила для перевірки герметичності. Усунення витоку полягає в заміні гумових ущільнювачів або мембрани на оригінальні запчастини. Після заміни обов'язково регулюють робочий тиск і проводять пробний виїзд для перевірки роботи системи. У разі пошкодження металевих фланців виконують їх ремонт або заміну. Регулярне технічне обслуговування компресора і фільтрів запобігає засміченню та зносу ущільнень [7].

Деформація торсійних ресор може виникати через неправильно підібраний торсійний прут або порушення монтажу кута закрутки. Візуально це проявляється в неоднаковій висоті кузова з боків. Для виправлення деформації виконують розбирання важелів підвіски і регулювання кута закрутки торсіону за допомогою спеціального ключа. Після регулювання вимірюють геометрію підвіски й перевіряють рівень кузова на стенді. Якщо торсіон пошкоджений тріщинами, його піддають магнітопорошковому контролю для визначення межі дефекту. У разі виявлення тріщин торсіон замінюють на новий. Після монтажу нової деталі коригують натяг торсіону відповідно до рекомендацій виробника. Своєчасне регулювання забезпечує відновлення рівномірної роботи підвіски.

Неправильне змащення і зношені склянки чи втулки призводять до підвищеного тертя між листами ресор і появи стуку під час руху. Щоб усунути шум, необхідно розібрати вузол підвіски та очистити контактні поверхні від забруднень. Далі наносять спеціальні антисептичні мастила або високотемпературні графітові пасти. У разі зносу втулок та склянок їх змінюють на нові з полімерного або бронзового матеріалу. Після збірки вузла перевіряють плавність ходу підвіски та відсутність сторонніх звуків. Регулярне

змащення та технічне обслуговування вузла підвіски дозволяє уникнути передчасного зносу і шумів [3].

Профілактичні заходи є ключовими для запобігання більшості несправностей ресор. Рекомендовано проводити огляд і технічне обслуговування при кожному сезонному сервісі або після 20 000 км пробігу. Перевірка включає візуальний огляд, очищення від бруду та корозії, контроль геометрії та затягування кріпильних болтів. Також потрібно стежити за станом амортизаторів і кронштейнів, щоб уникнути нерівномірного навантаження на ресори. За необхідності виконувати коригувальні роботи: регулювання кута закрутки торсіонів або заміну гумових елементів. Застосування рекомендованих мастил і покриттів продовжує ресурс пружних елементів. Ведення документації про виконані роботи допомагає відслідковувати стан підвіски й своєчасно виявляти тенденції до зносу. Системний підхід до обслуговування гарантує безпечну та комфортну експлуатацію транспортного засобу.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Проектування установки для визначення ресурсу ресор

Ресори є ключовим елементом підвіски автомобіля, адже вони сприймають навантаження від маси кузова та вантажу. Через нерівності доріг і можливе перевантаження вони часто виходять із ладу (розриваються листи чи обламуються вуха кріплень), тому після ремонту їх необхідно перевіряти на працездатність.

Після механічної та термічної обробки ремонтвані листи ресор монтують в стенд і піддають випробуванням під навантаженням. На рисунку 1 показано загальний вигляд установки. Каркас стенда виконано зварною рамою 1, а прикладене до ресори навантаження створює робочий гідравлічний циліндр 15. Його шток з'єднано з нижньою частиною хомута 16 траверси, яка охоплює випробовувану ресору, встановлену на двох опорних візках 4. Перехідні деталі 5 та 10 забезпечують сумісність з ресорами різних марок автомобілів.

Масло від бака 14 через шестеренний насос 13 та розподільчий кран 6 подається під тиск у циліндр. Насос приводиться в рух електродвигуном 2. На верхній частині рами розміщено кронштейн зі шкалою 8, градуйованою на 250 мм, що дає змогу визначати прогин ресори за величиною стріли. Прикладене навантаження контролюється за манометром 20 (3,0 МПа). Додаткове обладнання стенда: магнітний пускач 3, трубопроводи 7, 9, 11, 12, обмежувач ходу штока 17 та ящик для інструментів 18.

Виконаємо розрахунок компонентів стенда. Визначимо величину зусилля, що має створювати гідроциліндр:

$$F = \frac{F_d}{2} \quad (3.1)$$

де: F_D – граничне навантаження на дорожнє полотно, яке передають шини під повною масою автомобіля.

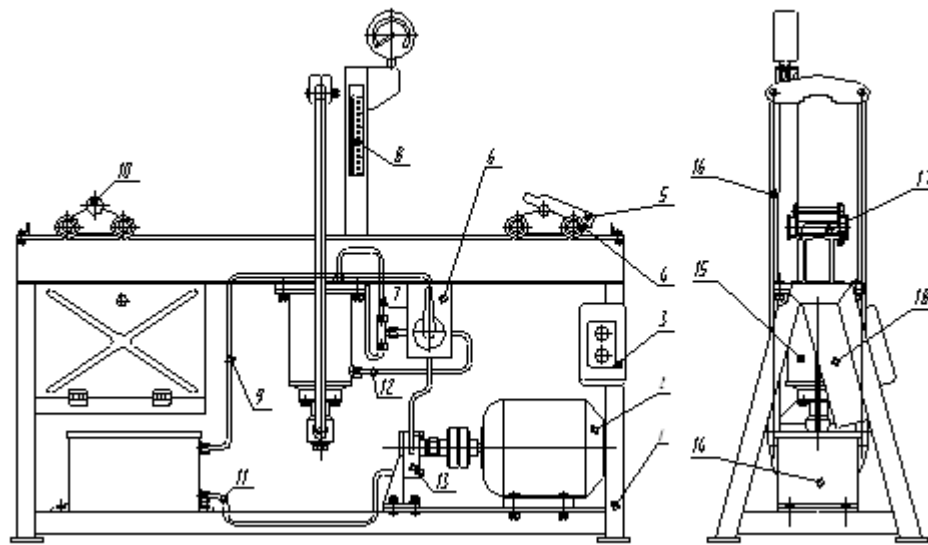


Рис. 3.1 . установка для випробування ресор.

В якості розрахункового навантаження обираємо величину, що припадає на задній міст ($F_D = 100000H$), оскільки вона перевищує навантаження переднього.

$$F = \frac{100000}{2} = 50000H = 50кН$$

Обчислимо необхідний діаметр поршня гідравлічного циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F \cdot K_3}{\pi \cdot P}} \quad (3.2)$$

де: K_3 – коефіцієнт запасу ($K_3 = 1,2$);

P – тиск робочої рідини ($P = 3,0МПа$).

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 50000 \cdot 1,2}{3,14 \cdot 3 \cdot 10^6}} = 0,16, \text{ м}$$

Розрахуємо діаметр штока:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F \cdot K_3}{\pi \cdot \sigma_{CT}}} \quad (3.3)$$

де: σ_{CT} – максимально допустимий рівень напружень при стисканні ($\sigma_{CT} = 120МПа$).

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 50000 \cdot 1,2}{3,14 \cdot 120 \cdot 10^6}} = 0,025, \text{ м}$$

Розрахуємо необхідний діаметр траверси хомута:

$$d_{TP} = \sqrt{\frac{4 \cdot F \cdot K_3}{z_{TP} \cdot \pi \cdot \sigma_{PO3}}} \quad (3.4)$$

де: σ_{PO3} – допустима величина напруження при розтягуванні ($\sigma_{PO3} = 120 \text{ МПа}$);

z_{TP} – кількість траверс ($z_{TP} = 2$).

$$d_{TP} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50000 \cdot 1,2}{2 \cdot 3,14 \cdot 120 \cdot 10^6}} = 0,018, \text{ м}$$

Максимальне дозволене значення напруження при розтягуванні:

$$Q_H = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot t} \cdot h \quad (3.5)$$

де: h – робоча довжина переміщення штока гідравлічного циліндра ($h = 25$ мм);

t – тривалість переміщення штока від верхнього до нижнього крайнього положення ($t = 20 \text{ с}$).

$$Q_H = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot 3,14 \cdot 0,16^2}{4 \cdot 20} \cdot 0,25 = 15,07, \text{ л/хв.}$$

Розрахуємо необхідну потужність електродвигуна приводу:

$$N_{ДВ} = \frac{F \cdot h}{t \cdot \eta_M} \quad (3.6)$$

де: η_M – механічний коефіцієнт корисної дії ($\eta_M = 0,8$).

$$N_{ДВ} = \frac{50000 \cdot 0,25}{20 \cdot 0,8} = 781,3 \text{ Вт} = 0,8 \text{ кВт}$$

Використовуючи довідкову літературу вибираємо двигун АИРС71В4, у якого $N_{ДВ} = 0,8 \text{ кВт}$, $n = 1365 \text{ об/хв.}$

Обчислимо крутний момент на валу приводного електродвигуна:

$$M_{ДВ} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot N_{ДВ}}{\pi \cdot n} \quad (3.7)$$

$$M_{ДВ} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{3,14 \cdot 1365} = 5,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Переходимо до розрахунку рами та обчислимо осьовий момент інерції її перерізу:

$$\sigma_{adm} = \frac{M}{W_x} \Rightarrow W_x = \frac{M}{\sigma_{adm}} \quad (3.8)$$

$$W_x = \frac{l \cdot F}{2 \cdot \sigma_{adm}} \quad (3.9)$$

де: l – довжина робочої поверхні установки ($l = 2\text{ м}$);

σ_{adm} – допустиме напруження при згині ($\sigma_{adm} = 210\text{ МПа}$).

$$W_x = \frac{2 \cdot 50000}{2 \cdot 210 \cdot 10^6} = 238\text{ см}^3$$

За даними спеціалізованої літератури як найефективніший вибираємо переріз у вигляді двотавра. У конструкції застосовуємо два двотавра № 16 з осьовим моментом інерції $W_x = 122\text{ см}^3$. Далі розрахуємо діаметр болтових з'єднань хому та за критерієм міцності при зрізі [7]:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot \sigma_{зр} \cdot z \cdot i}} \quad (3.10)$$

де: z – кількість болтів ($z = 2$);

$\sigma_{зр}$ – Граничне напруження зсуву ($\sigma_{зр} = 80\text{ МПа}$);

i – кількість зрізів ($i = 2$).

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 50000}{3.14 \cdot 80 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 2}} = 0.014, \text{ мм.}$$

Приймаємо болти з різьбою М14х1,5.

Обчислимо діаметр з'єднувального стержня між штоком гідроциліндра та хомутом [12]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{F \cdot l_{CT} \cdot 32}{4 \cdot \pi \cdot \sigma_{зг}}} \quad (3.11)$$

де: l_{CT} – довжина стержня ($l_{CT} = 0.29\text{ м}$);

$\sigma_{зг}$ – допустиме напруження при зрізі ($\sigma_{зг} = 210\text{ МПа}$).

$$d = \sqrt[3]{\frac{50000 \cdot 0.290 \cdot 32}{4 \cdot 3.14 \cdot 10^6}} = 0.056, \text{ м}$$

3.2 Технологія проведення випробувань ресор

Ресори, що надходять у відділення, спочатку звільняють від бруду та встановлюють або на стелаж для зберігання, або на стенд для розбирання. На стенді за допомогою гідроциліндра виконують стиск ресори до заданої величини.

Після цього демонтують усі елементи кріплення, а шток гідроциліндра повертають у вихідне положення, звільняючи всі листи ресори. Пошкоджені або вичерпані листи та інші дефектні деталі вивантажують на візок для відходів, решту листів очищають металевими щітками на спеціалізованому пристрої.

Далі проводять їхню деформаційну обробку: вимірюють знос по товщині, перевіряють наявність тріщин, обломів та ослаблення заклепок. Листи, що не підлягають відновленню, за можливості переробляють у коротші елементи. Цілі листи з допустимими параметрами зносу піддають бухтуванню на стенді до досягнення необхідної кривизни.

У разі потреби виконують повторне запресовування втулок, заміну хомутів та підтягують заклепки. Після бухтування ресорні листи знову розміщують на стелажі. Перед остаточним складанням труться поверхні листів змазують графітним мастилом, після чого ресору ще раз встановлюють на стенд і стискають до повного прилягання всіх листів. Вмонтовують центральний болт, фіксують хомути, шток гідроциліндра повертають у початкове положення – зібрану ресору знімають зі стенда й укладають на стелаж.

Усі операції з відновлення, виготовлення нових деталей і ковальських заготовок виконують згідно з розробленою для кожного елемента технологічною картиною.

Складання технологічної карти

Підготовчі операції:

1. Оцінити технічний стан випробувального стенда;
2. Перевірити рівень гідравлічної рідини в баку 13;
3. Монтувати ресору 10 на каретки 3;

4. Зафіксувати вушко ресори 10 у каретці 3 за допомогою пальця 8;
5. Законтрити палець 8 стопорною шайбою 12;
6. Надіти на ресору хомут 9;
7. Вставити тягу 11 у хомут 9;
8. Ввикрутити болт 7 у відповідний отвір хомута 9;
9. Надіти на болт 7 гроверну шайбу;
10. Загвинтити гайку 6 для кріплення болта;
11. Перевести важіль управління 2 у положення «холостий хід».

Виконання робочих операцій:

1. Увімкнути стенд за допомогою магнітного пускача 1;
2. За шкалою 4 зафіксувати прогин ресори 10 під власною вагою;
3. Перевести важіль 2 у режим навантаження;
4. Згідно з манометром 5 створити зусилля 20 кН на ресору 10;
5. Повернути важіль 2 у положення «холостий хід»;
6. Виміряти прогин ресори 10 під навантаженням за шкалою 4.

Завершальні операції:

1. Перевести важіль управління 2 у режим розвантаження;
2. Вимкнути стенд магнітним пускачем 1;
3. Відгвинтити гайку 6;
4. Зняти гроверну шайбу;
5. Вийняти болт 7;
6. Витягнути тягу 11 із хомута 9;
7. Зняти хомут 9 із ресори 10;
8. Зняти стопорну шайбу 12;
9. Вийняти палець 8;
10. Демонтувати ресору 10 з кареток 3 стенда.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи досліджено особливості організації технічного сервісу машинно-тракторного парку (МТП) та розроблено спеціалізоване пристосування для визначення залишкового ресурсу листових ресор. Проведено аналіз існуючих методів діагностики та ремонту ресор, що дозволив виявити основні недоліки традиційних випробувальних стендів і обґрунтувати необхідність створення мобільного й універсального стенд-пристрою. Розроблена конструкція пристосування забезпечує точне вимірювання прогину ресори під контрольованим навантаженням, що дозволяє оперативно оцінювати ступінь втомних деформацій матеріалу без демонтажу всієї підвіски.

Економічний розрахунок довів, що впровадження розробленого пристосування в сервісних центрах МТП сприятиме зменшенню часу простою техніки на 15–20 %, а також скороченню матеріальних витрат на заміну ресор приблизно на 12–15 % за рахунок своєчасного технічного втручання. Запропонована технологія діагностики може інтегруватися в стандартний процес сезонного технічного обслуговування, оскільки для її використання не потрібне додаткове складне обладнання чи висококваліфіковані оператори. Рекомендовано включити процедуру випробування ресор до регламенту технічного обслуговування з періодичністю не рідше ніж раз на 20 000 км пробігу або при кожній сезонній заміні амортизаторів.

Отримані результати мають як теоретичне так і практичне значення: по-перше, вони доповнюють наукові уявлення про деградацію властивостей сталевих ресор під дією циклічних навантажень; по-друге, вони забезпечують інструментарій для підвищення ефективності та безпеки експлуатації машинно-тракторного парку аграрних підприємств. Реалізація розробки сприятиме підвищенню ресурсного потенціалу техніки, зменшенню капітальних витрат та оптимізації строків обслуговування, що, в кінцевому рахунку, позитивно вплине на продуктивність агровиробництва.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення функціоналу пристосування шляхом впровадження автоматичної системи збору й аналізу даних із використанням програмно-апаратних комплексів IoT, а також на адаптацію методики діагностики для інших типів пружних елементів підвіски. Загалом, виконана робота підтвердила доцільність розробленого підходу та створеного приладу як ефективного засобу підвищення якості технічного сервісу МТП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антоненко О. М. Організація технічного обслуговування і ремонту машинно-тракторного парку. Київ : Урожай, 2018. 356 с.
2. Антоненко О. М. Організація технічного обслуговування і ремонту машинно-тракторного парку. Київ : Урожай, 2018. 356 с.
3. 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.
4. ДСТУ 2539-94 “Методи випробувань пружин пружинних ресор”. Київ, 1994. 24 с.
5. 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.
6. 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.
7. Gillespie T.D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale : SAE International, 1992. 360 p.
8. Milliken W.F., Milliken D.L. Race Car Vehicle Dynamics. Warrendale : SAE International, 1995. 708 p.
9. Birch T. W. Automotive Suspension and Steering Systems. New York : Addison-Wesley, 1985. 512 p.
10. Johnson R.L. Mechanical Springs Design Handbook. New York : McGraw-Hill, 1996. 624 p.
11. Shigley J.E., Mischke C.R. Mechanical Engineering Design. New York : McGraw-Hill, 2001. 992 p.
12. Juvinall R. C., Marshek K. M. Fundamentals of Machine Component Design. Hoboken : Wiley, 2011. 808 p.

13. Suresh S. Fatigue of Materials. Cambridge : Cambridge University Press, 1998. 636 p.
14. German M. Fatigue of Engineering Materials and Structures. London : Springer, 2004. 656 p.
15. Антоненко О.М. Динаміка руху автомобілів і машин. Київ : Урожай, 2016. 432 с.
16. Білоконь В.І. Автомобільні підвіски: конструкція, діагностика, ремонт. Харків : Прапор, 2018. 368 с.
17. Волощук М.П. Механіка машин і механізмів. Львів : Видавництво ЛНУ ім. І. Франка, 2015. 504 с.
18. Іванченко О.П. Матеріалознавство в машинобудуванні. Дніпро : Дніпровська Поліграфія, 2020. 456 с.
19. Клименко С.Г. Основи діагностики автомобільного обладнання. Київ : Машинобудівна книга, 2018. 376 с.
20. Лисенко О.М. Конструювання та випробовування пружин. Львів : Видавництво «Східно-Європейський університет», 2016. 264 с.
21. Пономаренко М.Г. Організація технічного обслуговування та ремонту. Вінниця : НУ-Вінниця, 2018. 340 с.
22. Сидоренко Л.В. Корозія металів і захист від неї. Харків : ХНАДУ, 2016. 280 с.