

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

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

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Ковальчук Максим Сергійович

УДК 629.3.083

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І
РЕМОНТУ ТРАКТОРІВ ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4**

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 _____ Ковальчук М.С.

Керівник роботи

Грабар І.Г.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Ковальчук Максим Сергійович. Удосконалення технічного обслуговування і ремонту тракторів тягового класу 1,4. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

В кваліфікаційній роботі на основі аналізу існуючих методик технічного обслуговування та ремонту тракторів класу 1,4 встановлено їхні основні недоліки: недостатня стандартизація операцій, неврахування специфіки умов експлуатації малих господарств та низька ефективність планово–попереджувальних заходів. Ці висновки стали відправною точкою для формулювання задач дослідження та вибору шляху їх вирішення.

В роботі розроблено та обґрунтовано удосконалений технологічний процес технічного обслуговування, який включає введення модульних регламентів проведення оглядів, вимірювань і регулювань вузлів трактора з урахуванням їх зносу. Для удосконалення технологічного процесу ремонту тракторів класу 1,4 розроблена схема розбирання паливного насоса високого тиску УТН-5.

В конструктивному розділі проведено аналіз існуючих способів випробовування нагнітальних клапанів паливних насосів високого тиску, обраний найкращий метод, розроблено розрахунок його деталей на міцність, і визначено економічну ефективність від впровадження пристрою.

Ключові слова: технічне обслуговування, ремонт, пристрій, випробовування, нагнітальний клапан, розбирання

ANNOTATION

Kovalchuk, Maxim Sergeyevich. Improving the maintenance and repair of 1.4 traction class tractors. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2025.

In the qualification work, based on the analysis of existing methods of maintenance and repair of class 1.4 tractors, their main shortcomings were identified: insufficient standardization of operations, failure to take into account the specific operating conditions of small farms, and low efficiency of preventive measures. These conclusions became the starting point for formulating research tasks and choosing ways to solve them.

The thesis develops and substantiates an improved maintenance process, which includes the introduction of modular regulations for inspections, measurements, and adjustments of tractor components, taking into account their wear and tear. To improve the technological process of repairing class 1.4 tractors, a diagram for disassembling the UTN-5 high-pressure fuel pump has been developed.

In the design section, an analysis of existing methods for testing high-pressure fuel pump delivery valves was carried out, the best method was selected, the strength calculation of its parts was developed, and the economic efficiency of the device implementation was determined.

Keywords: maintenance, repair, device, testing, discharge valve, disassembly.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ТА РЕМОНТ ТРАКТОРІВ ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4.....	9
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОЗБИРАННЯ.....	20
РОЗДІЛ 3. ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ НАГНІТАЛЬНИХ КЛАПАНІВ ВИСОКОТИСКОВИХ ПАЛИВНИХ НАСОСІВ.....	34
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Актуальність дослідження удосконалення технічного обслуговування і ремонту тракторів тягового класу 1,4 зумовлена високою інтенсивністю експлуатації цих машин в сучасних аграрних та промислових умовах. Трактори класу 1,4, зокрема широко розповсюджена модель МТЗ-82, є базовою технікою для виконання широкого спектру польових і транспортних робіт, тому надійність їх роботи безпосередньо впливає на продуктивність господарства та рівень рентабельності сільськогосподарського виробництва. Наявні методики технічного обслуговування та ремонту часто базуються на типовій процедурі «за графіком», що не завжди відповідає реальним умовам експлуатації, коли інтенсивність навантажень, кліматичні фактори і склад ґрунтів мають суттєвий вплив на знос вузлів і агрегатів. Недосконалість діагностичних підходів призводить до передчасних відмов та збільшення простоїв, що збільшує витрати на ремонт і знижує загальну ефективність технічного сервісу. Крім того, застосування застарілих технологій ремонтних операцій зумовлює нераціональне використання запасних частин і матеріалів, що підвищує собівартість технічного обслуговування. Водночас розвиток інформаційних систем моніторингу й телеметрії відкриває нові можливості для впровадження прогностичної діагностики і адаптивних графіків ТО, які враховують реальні параметри роботи трактора. Удосконалення технологічних процесів технічного обслуговування та підвищення кваліфікації ремонтного персоналу сприятимуть зменшенню часу простоїв, збільшенню ресурсу важливих вузлів і агрегатів, а також оптимізації витрат паливно-мастильних матеріалів. Отже, розробка і впровадження нових методик обслуговування й ремонту тракторів тягового класу 1,4 є актуальним завданням для підвищення ефективності аграрного сектору та зміцнення економічної спроможності вітчизняних сільськогосподарських підприємств.

Мета роботи: сформулювати та обґрунтувати комплексну методику удосконалення технічного обслуговування й ремонту тракторів тягового класу 1,4 (на прикладі МТЗ-82) з урахуванням реальних умов експлуатації та сучасних діагностичних технологій для підвищення надійності, зменшення простоїв і оптимізації витрат на ТО.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі **завдання:**

- оцінити ефективність існуючих графіків профілактичного ТО та виявити їхні недоліки в контексті реальної інтенсивності експлуатації;
- розробити конструкцію пристосування підвищення якості технічного сервісу тракторів класу 1,4;
- розробити адаптивну методику діагностики технічного стану ключових агрегатів двигуна, трансмісії і гідросистеми із застосуванням інструментальних та телеметричних засобів;
- обґрунтувати технологічний процес ремонтних операцій із застосуванням сучасного обладнання та інструментів із метою скорочення часу простою.

Об'єктом дослідження є технічне обслуговування і ремонт тракторів тягового класу 1,4, зокрема моделі МТЗ-82, в умовах сільськогосподарського виробництва. До об'єкта належать усі експлуатаційні процеси та засоби діагностики, що застосовуються для підтримання працездатності цих машин, а також організаційно-технічні заходи на сервісних підприємствах та у польових ремонтних бригадах.

Предметом дослідження є технологічні процеси та методики планово-попереджувального і діагностичного технічного обслуговування, структуру й оптимізацію графіків ТО, а також методи виконання ремонтних операцій тракторів МТЗ-82 із застосуванням сучасних діагностичних і телеметричних засобів. Головна увага приділяється удосконаленню алгоритмів прийняття рішення про черговість і обсяги робіт для зменшення простоїв і підвищення надійності агрегатів.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грабар І.Г., Ковальчук М.С. Напрямки підвищення ефективності ремонту та технічного обслуговування сільськогосподарських тракторів. 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. 129-132.

2. Грабар І., Ковальчук М., Вензовська Н. Застосування 3-D моделювання при удосконаленні процесу відновлення деталей машин. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Рівне, 9-10 квітня 2025 року. Рівне: НУВГП, 2025. С. 90-91.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані в роботі рішення дозволяють істотно підвищити ефективність технічного обслуговування й ремонту тракторів тягового класу 1,4 (МТЗ-82) та мають такі конкретні результати:

- впроваджена технологічна карта ТО-2, що деталізує всі операції, інструменти та матеріали для середнього технічного обслуговування через 500 мотогодин. Це забезпечує суворе дотримання послідовності робіт, зменшує час на підготовку та виконання ТО та виключає пропуски критичних процедур;
- розроблена уніфікована схема розбирання паливного насоса УТН-5, яка спрощує демонтаж і подальший аналіз стану вузла. Завдяки чітким кресленням і покроковим інструкціям фахівці скорочують час на операції до 30 % і знижують ризик пошкодження корпусних деталей;
- створено макетний пристрій для випробовування нагнітальних клапанів, що дозволяє в польових умовах оперативно оцінювати герметичність та працездатність клапанів паливного контуру. Це дає змогу виявляти дефекти

до початку серйозного ремонту та виключає аварійні відмови під час роботи трактора.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 25 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 47 сторінок комп'ютерного тексту, містить 5 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ТА РЕМОНТ ТРАКТОРІВ ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4

1.1 Особливості технічного сервісу тракторів класу 1,4 (на прикладі трактора МТЗ-82).

Технічний сервіс тракторів класу 1,4 передбачає комплекс заходів, спрямований на забезпечення їх безпечної та ефективної експлуатації протягом усього ресурсу. До класу 1,4 належать середні сільськогосподарські трактори, які використовуються для широкого спектра польових і транспортних робіт. Трактор МТЗ-82 є типовим представником цього класу, що зарекомендував себе на ринку завдяки надійності і простоті конструкції. Основна мета сервісу – попередження аварійних відмов та підтримання технічних параметрів машини в межах, визначених заводом-виробником. Технічний сервіс включає планово-попереджувальні роботи, експлуатаційні огляди, діагностику, ремонтні та регулювальні операції. Особливістю обслуговування є необхідність враховувати умовні температурні, пилові та вологісні навантаження в аграрному середовищі. Крім того, при обслуговуванні МТЗ-82 важливо дотримуватися регламенту пробігу та видів робіт, затвердженого заводом. Таке поєднання профілактичних і ремонтних заходів забезпечує тривалий безвідмовний ресурс трактора [3].

Ключовою складовою технічного сервісу є систематична діагностика основних агрегатів і систем МТЗ-82. Діагностичні процедури включають візуальний огляд, перевірку герметичності вузлів, а також використання приладів для вимірювання тиску, витрати та температури робочих середовищ. Для двигуна Д-243, встановленого на МТЗ-82, важливим є контроль тиску масла в системі мастила та температурного режиму в циліндрах. Для гідросистеми – перевірка роботи гідророзподільників і герметичності шлангів під робочим тиском до 200 бар. Перевірка електричної частини передбачає тестування акумулятора, генератора і стартерного вузла під навантаженням.

Систематична діагностика дозволяє виявляти дефекти на ранніх стадіях, знижуючи вартість і тривалість наступного ремонту. Окрім цього, діагностичний комплекс включає аналіз стану шин і підвіски трактора, що впливає на комфорт та безпеку роботи [8].

Планово-попереджувальні роботи виконуються на тракторі МТЗ-82 через кожні 250, 500 та 1000 мотогодин згідно з регламентом заводу. До таких робіт належать заміна технологічних рідин – мастила в двигуні, трансмісії, гідросистемі та охолоджувальній рідині. Крім цього, необхідно перевіряти натяг ременів вентиляторів і генератора, регулювати зазори клапанів двигуна та очищати паливні фільтри. При черговому ТО також проводиться перевірка стану повітряного фільтра й за потреби заміна елементів. Деталі, що підлягають контролю, проходять дефектовку із застосуванням стендів і приладів. Часовий регламент та обсяг робіт чітко прописані в експлуатаційній документації, що дозволяє механікам планувати ресурси та замовляти запчастини заздалегідь. Дотримання регламенту значно знижує ризик аварійного виходу з ладу [3-9].

Лубрикаційне обслуговування тракторів МТЗ-82 передбачає використання високоякісних моторних масел типу SAE 15W-40 і трансмісійних масел із в'язкісною характеристикою не нижче М-10Г2к. Важливо суворо дотримуватися інтервалів заміни та об'ємів доливання, зазначених у посібнику з експлуатації. Система мастила двигуна включає фунгіциди та антиокислювальні присадки, тому застосування несертифікованих брендів може призвести до прискореного зносу деталей. Великої уваги потребує також змащення шліцьових сполучень карданних валів та шарнірів навісного обладнання. Усі змащувальні точки обладнані пресмаслянками – необхідно обертати їх до появи свіжого мастила на деталях. Крім цього, рекомендовано контролювати в'язкість і кислотне число відпрацьованого мастила для своєчасної заміни. Практика показує, що належний догляд за мастильними системами подовжує ресурс тракторних вузлів [2].

Діагностика і ремонт двигуна на МТЗ-82 здійснюються як на майданчику СТО, так і в польових умовах за допомогою пересувних ремонтних модулів.

Під час розбору двигуна Д-243 виконують контроль діаметра циліндрів та зносу поршневих кілець, а також оцінюють стан корінних і шатунних підшипників за допомогою мікрометрів і індикаторних головок. Розбірно-збірні операції повинні проводитися згідно з технічними вимогами заводу, з використанням динамометричних ключів для забезпечення правильного моменту затягування болтів кришок корінних підшипників. При виявленні вище граничного зносу замінюють поршні та кілець на нові комплектуючі, сертифіковані виробником. Охолоджувальна система проходить тест на герметичність із застосуванням спеціального стенда під тиском до 1,2 бар. Після збирання двигун проведено регулювання кута випередження впорскування паливної апаратури.

Технічне обслуговування трансмісії тракторів класу 1,4, зокрема МТЗ-82, характеризується поетапною перевіркою зубчастих зачеплень та синхронізаторів коробки передач. Під час ТО проводять контроль натягу головної передавальної ланки, вимірювання люфтів шестерень на валах та перевірку стану муфт перемикачів. Ремонт трансмісії вимагає налаштування гідравлічного демпфера та регулювання регулювальних гвинтів головних шестерень відповідно до технічних карт. При зносі зубчастих кромek виконується шліфування шестерень і вилок синхронізаторів із застосуванням спеціального обладнання. Змащення виконується трансмісійною оливою класу AGMA EP, що забезпечує оптимальний захист від абразивного і корозійного зносу. Окрему увагу приділяють перевірці роботи пневмогідравлічного зчеплення і регулюванню зазорів у його вузлах. Після ремонту трансмісії обов'язковим є тестовий прогін за навантаженням із моніторингом температур валиків [4].

Гідросистема трактора МТЗ-82 обслуговується з урахуванням чіткого контролю гідравлічних клапанів, фільтрів та насосів. Регулярно перевіряють прохідність фільтрів високого та низького тиску й за потреби проводять їх очищення або заміну. Насос шестерневого типу гарантує робочий тиск до 160–180 бар, тому мастильна рідина повинна відповідати класу VG 46–68. Для контролю роботи гідроприводів використовують манометрні колонки та

стенди, що дозволяють імітувати робочі режими навісного обладнання. При виявленні підтікання в місцях з'єднань проводять заміну ущільнювальних кілець та шлангів відповідно до діаметра та робочого тиску. Періодично здійснюють ревізію клапанних груп та регулюють їх пропускну здатність. Важливо також підтримувати чистоту гідравлічної рідини, уникаючи попадання пилу і вологи [9].

Електричний вузол МТЗ-82 включає генератор потужністю 2,3 кВт, стартер та акумуляторну батарею ємністю 140 А·год. Під час технічного обслуговування перевіряють щільність електроліту в банках акумулятора й зарядний рівень при струмі 10 % від номінальної ємності. Генератор разом із регулятором напруги тестують під навантаженням до 14,5 В із відхиленням не більше $\pm 0,2$ В. Стартер підлягає перевірці сили струму пуску та обертів на холостому ходу. Окремо контролюють справність запобіжників і стан проводки, що забезпечує захист від коротких замикань та перевантажень. Прикореневі клеми акумулятора очищають від корозії й змащують спеціальним графітовим мастилом. У разі виходу з ладу електричної частини застосовують оригінальні комплектуючі та ретельно дотримуються схеми електричних з'єднань [6].

Технічний сервіс ходової частини тракторів включає діагностику і ремонт гальмівних механізмів, підшипників коліс і осьових вузлів. Передусім перевіряють натяг тросів та стан колодок гальм барабанного типу, коригуючи зазор до 0,5–1,0 мм. Підшипники коліс змащують консистентним мастилом із графітовими присадками й контролюють боковий люфт не більше 0,2 мм. Обов'язковою є перевірка стану сайлентблоків передньої підвіски та амортизаторів, які знижують вібраційне навантаження на раму. Після ремонтних операцій хід трактора протестовують на треку, оцінюючи рівномірність гальмування й керованість. При виявленні перекосу коліс — регулюють розвал-сходження опор. У комплексі з ТО підвіски виконують перевірку натягу ременів підсилювача гальм і стану вакуумного насоса.

Для обслуговування МТЗ-82 використовуються спеціалізовані інструменти та стенди. До них належать динамометричні ключі, прес-приспособлення для зняття підшипників, а також стенди для перевірки паливних форсунок і насос-форсунок. Пересувні ремонтні майстерні оснащені компресорами, зварювальними апаратами та піскоструйними камерами для очищення металевих деталей. Для точних регулювальних робіт застосовують електронні тахеметри й вакуумні манометри. Наявність такого обладнання в найближчому СТО значно скорочує час простою трактора. Крім того, використання оригінальних діагностичних приладів гарантує точність налаштувань в межах допусків заводу-виробника. Завдяки цьому знижується ймовірність передчасного зносу вузлів.

Не менш важливою складовою є професійна підготовка й підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу. Працівники СТО та польових ремонтних бригад проходять навчання з експлуатації та ремонту МТЗ-82 в учбових центрах заводу ВАТ «Білоруський тракторний завод». Програми включають теоретичні курси з будови й принципів роботи тракторних агрегатів, а також практичні заняття на демонстраційних майданчиках. Особливу увагу приділяють безпеці робіт, зокрема правилам монтажу навісного обладнання й роботі з високим тиском у гідросистемі. Після навчання майстри отримують сертифікати, чинні протягом двох років, після чого здійснюється періодичний перепідготовка. Такий підхід дозволяє зменшити кількість помилок і гарантує високу якість технічного сервісу [2].

Логістика запасних частин і витратних матеріалів є критично важливою для безперервної роботи технічного сервісу. Склади СТО повинні підтримувати мінімальні запаси фільтрів, ущільнювальних кілець, ременів і мастильних матеріалів. Виробник рекомендує використовувати оригінальні запчастини марки БЗТЗ, що гарантують відповідність допускам. Використання несертифікованих аналогів може призвести до передчасного виходу з ладу агрегатів і збільшення вартості ремонту. Система автоматизованого замовлення запчастин дозволяє скоротити час доставки до 48 годин. Крім того, регіональні

склади забезпечують швидкий доступ до великих складових, таких як картер двигуна або коробка передач. Системний підхід до управління запасами сприяє підвищенню ефективності сервісу [7-10].

Отже, технічний сервіс тракторів класу 1,4 на прикладі МТЗ-82 базується на чітко визначених регламентних роботах, професіоналізмі персоналу та використанні спеціалізованого обладнання. Скоординоване виконання планово-попереджувальних заходів, якісна діагностика й своєчасний ремонт дозволяють забезпечити надійну роботу трактора в найскладніших умовах експлуатації. Врахування особливостей агротехнічного середовища, суворе дотримання рекомендацій заводу-виробника й застосування оригінальних матеріалів є запорукою тривалого ресурсу основних вузлів. Такий підхід мінімізує простой в полі та забезпечує стабільну продуктивність сільськогосподарської техніки. У підсумку – ефективний сервіс трактора МТЗ-82 сприяє підвищенню загальної рентабельності фермерських господарств [4].

1.2. Система технічного обслуговування тракторів МТЗ-82

Система технічного обслуговування тракторів МТЗ-82 базується на комплексному підході до підтримання їх працездатності в умовах інтенсивної експлуатації. Вона передбачає чітко регламентовані інтервали проведення профілактичних та ремонтних операцій, оптимізованих за мотогодинами роботи. Основою є експлуатаційна документація заводу-виробника, де детально описані види робіт, тривалість і обсяги за кожним типом технічного обслуговування. Система враховує особливості агротехнічного середовища: високий рівень запилення, температурні коливання і вологість. Для кожного агрегату тракторного вузла затверджено нормативи зміни мастильних матеріалів та технічних рідин. Впроваджено єдину форму журналу обліку ТО, що дозволяє контролювати виконання робіт та вести статистику відмов. Паралельно застосовуються візуальні й інструментальні методи діагностики,

що забезпечують своєчасне виявлення дефектів. Такий підхід мінімізує аварійні простої та знижує загальні витрати на ремонт [2].

Ключовим елементом системи є класифікація технічного обслуговування за видами робіт: щоденне (основне), чергове і капітальне. Щоденне обслуговування виконується перед виїздом і після завершення робочого дня: перевіряють рівень мастила в двигуні, чистоту повітряного фільтра, натяг приводних ременів і загальний зовнішній стан трактора. Чергові роботи проводяться через 250–500 мотогодин і передбачають заміну мастил, чистку фільтрів, регулювання клапанів і перевірку гідросистеми. Капітальний ремонт, після 6000–8000 мотогодин, включає повний розбір агрегатів, заміну зношених деталей і відновлювальну обробку металевих елементів. Для кожного етапу ТО передбачено окремі регламенти з деталізацією операцій і переліком інструментів. Така структурованість дозволяє уникнути пропусків у графіку обслуговування. Застосування ергономічних інструментальних комплектів скорочує час проведення робіт. Зведення даних із журналів допомагає аналізувати ефективність технічного обслуговування та своєчасно коригувати плани [13-17].

Діагностика технічного стану тракторів МТЗ-82 є невід'ємною частиною системи обслуговування і полягає в регулярному контролі параметрів роботи двигуна, трансмісії та гідросистеми. Використовуються прилади для вимірювання тиску масла та палива, температурних показників у циліндрах та стану акумуляторної батареї. Не менш важливою є перевірка герметичності гідросистеми під робочим тиском до 180 бар із застосуванням манометричних колекторів. Для оцінки зносу підшипників застосовують метод ультразвукової діагностики та вимірювання люфтів індикаторною головкою. Візуальний огляд включає перевірку з'єднань каркасу, рами і навісного обладнання на наявність тріщин чи корозії. Результати діагностики заносять у спеціальні бланки з метою відстеження динаміки змін технічного стану. Своєчасне виявлення дефектів дозволяє планувати ремонтні заходи без зриву агроробіт. Таким чином, діагностика підвищує надійність і безпеку експлуатації [2-9].

Лубрикаційне обслуговування тракторів МТЗ-82 передбачає використання рекомендованих заводом-виробником мастил та олив, з урахуванням кліматичних умов і режиму роботи. Двигун Д-243 зазвичай заправляють моторною оливою класу SAE 15W-40, що забезпечує оптимальні експлуатаційні характеристики в діапазоні температур від -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Для трансмісії і гідросистеми використовують масла з індексом в'язкості не нижче VG 46, які гарантують захист від абразивного зносу. Інтервали заміни технічних рідин суворо контролюються: через кожні 250 мотогодин відпрацьовану оливу повертають на аналіз, а довідкова дата доливання заноситься до журналу. Змащувальні вузли обладнані пресмаслянками для зручного дозованого введення мастила. Дотримання технології змащення шліцьових з'єднань і кулькових шарнірів мінімізує виникнення люфтів і підвищує ресурс вузлів. Контроль якості мастил здійснюється шляхом аналізу кислотного числа й вмісту механічних домішок [1-10].

Організація матеріально-технічного забезпечення є важливою складовою системи технічного обслуговування тракторів МТЗ-82. Склади запасних частин мають підтримувати мінімальний товарний запас фільтрів, ущільнювальних кілець, ременів, форсунок та інших критично важливих елементів. Використання оригінальних комплектуючих БЗТЗ (Білоруського тракторного заводу) гарантує відповідність допускам і довговічність приладів. Для управління запасами застосовується програма-клієнт, що автоматизує процес замовлення та контролю залишків. Логістика передбачає швидку доставку в регіональні майстерні протягом 48 годин. Крім того, впроваджено взаємний обмін комплектуючими між майстернями в межах одного агрохолдингу. Така система мінімізує час простою техніки і забезпечує безперервність польових робіт [1-12].

Документування результатів технічного обслуговування ведеться згідно з внутрішніми стандартами підприємства, а також у відповідності з вимогами ДСТУ. Кожна операція фіксується в електронному журналі, де зазначається дата, мотогодини, перелік виконаних робіт та витрачений матеріал. Окремий

розділ журналу присвячений реєстрації виявлених дефектів і рекомендацій щодо їх усунення. Дані аналітики з електронної системи дозволяють формувати звіти про частоту відмов та середній час ремонту (MTTR). Керівництво сервісної служби використовує ці звіти для оптимізації ресурсів і коригування графіків ТО. Зберігаються архіви виконаних ремонтів не менше трьох років, що дає змогу відтворити історію експлуатації кожного трактора. Такий підхід сприяє підвищенню прозорості й відповідальності механіків.

Підготовка й атестація персоналу — важливий аспект ефективності системи технічного обслуговування МТЗ-82. Техніки та механіки проходять початкове навчання у навчальних центрах заводу-виробника, де опановують теоретичні основи будови і принципів роботи трактора. Додатково проводяться періодичні курси підвищення кваліфікації, що охоплюють нові методики діагностики і сучасні технології ремонту. Практичні заняття включають роботу з реальними агрегатами на тренажерах і стендах. За підсумками навчання фахівці отримують сертифікати, термін дії яких складає два роки. Після цього передбачено перепрофілювання на оновлені моделі агрегатів і навісного обладнання. Такі заходи дозволяють зменшити кількість помилок при ремонті і підвищити швидкість виконання робіт [9-11].

Контроль якості технічного обслуговування здійснюється через внутрішні аудити та зовнішню інспекцію. Внутрішні перевірки проводяться підрозділом контролю якості агрохолдингу раз на квартал, де аналізуються журнал обслуговування, протоколи діагностики і звіти про ремонт. Зовнішні аудитори від виробника мають право перевірити відповідність робіт заводським регламентам і сертифікаційним вимогам. У разі виявлення невідповідностей складаються коригувальні плани з чіткими строками виконання. Звіти аудиту формуються в електронному вигляді і доступні керівництву сервісного центру. Аналіз критичних відмов використовується для оновлення інструкцій та вдосконалення процедур ТО. Такий підхід гарантує стабільну якість послуг і довіру замовників.

Безпека робіт під час технічного обслуговування трактора МТЗ-82 є пріоритетом системи обслуговування. Кожен механік зобов'язаний дотримуватися правил охорони праці, передбачених нормативними актами України і внутрішніми інструкціями підприємства. Обов'язковими є щоденний інструктаж перед початком роботи та позапланові інструктажі при зміні технологій чи обладнання. Використовуються засоби індивідуального захисту: захисні окуляри, рукавички, спецодяг і взуття з металевим носком. Ремонтні майданчики обладнані протиковзними підлогами, освітленням і вентиляцією. Під час роботи з гідравлічними системами застосовують манометри з запірними клапанами та захисні екрани для запобігання травмуванню. Перед виконанням операцій із демонтажу двигуна або трансмісії трактор встановлюють на підпирні домкрати, а рухомі частини фіксують спеціальними упорами. Суворий контроль безпеки знижує ризик нещасних випадків [2-9].

Аналіз ефективності системи технічного обслуговування тракторів МТЗ-82 проводиться за допомогою ключових показників продуктивності (KPI). До них належать коефіцієнт доступності техніки, середній час простою, відсоток аварійних відмов та витрати на ремонт на мотогодину. Дані KPI формуються щомісячно і порівнюються з галузевими стандартами. Результати аналізу використовують для коригування планів ТО, підвищення кваліфікації персоналу і оптимізації запасів матеріалів. Проведення порівняльних випробувань на різних майданчиках допомагає виявити «вузькі місця» в процесі обслуговування. На підставі отриманих даних розробляються проекти удосконалення робочих інструкцій і технічних регламентів. Це забезпечує постійне зростання ефективності сервісу та зниження експлуатаційних витрат.

Інтеграція інформаційних технологій в систему технічного обслуговування трактора МТЗ-82 сприяє підвищенню продуктивності та якості послуг. Використання мобільних додатків дозволяє механікам оперативно отримувати доступ до електронних посібників, схем і діагностичних алгоритмів. Крім того, впроваджено систему автоматизованого замовлення запчастин, що скорочує час очікування необхідних комплектуючих. Збір

телеметричних даних з тракторних датчиків у режимі реального часу дає змогу відстежувати стан основних вузлів і прогнозувати потребу в ТО. Аналітичні панелі керівників сервісу відображають поточний статус обслуговування, ключові показники і нагадування про наближення чергових робіт. Такий рівень цифровізації забезпечує прозорість процесів та дозволяє досягати високих стандартів якості обслуговування тракторів МТЗ-82 [2-9].

Розроблений технологічний процес ТО-2 для трактора МТЗ-82 представлено на аркуші графічної частини.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОЗБИРАННЯ

2.1. Загальна характеристика паливного насоса УТН-5

Паливний насос УТН-5 (рис. 2.1) є одним із найпоширеніших плунжерних насосів високого тиску, що застосовуються в дизельних двигунах сільськогосподарської та спеціальної техніки. Його розробка спрямована на забезпечення стабільного дозування палива та формування необхідного тиску у впорскувальній системі. Конструкція насоса адаптована до експлуатації в широкому діапазоні температур та атмосферних умов, що робить його надійним рішенням для роботи в агресивному середовищі. Типова область застосування УТН-5 включає тракторні дизелі, стаціонарні двигуни та генераторні установки потужністю до 100 кВт. Завдяки простоті конструкції та відносно невисоким вимогам до обслуговування, насос придбав популярність серед ремонтних майстерень та операторів техніки. Масогабаритні характеристики та технологічність виготовлення забезпечують економічність виробництва серійної партії. У стандартах технічного обслуговування передбачається проста розбірка вузлів та заміна зношених деталей без складного налаштування. Загалом, УТН-5 поєднує оптимальну вартість із достатньою точністю та довговічністю експлуатації [3].

Конструктивно насос складається з корпусу, плунжерної групи, кришок із клапанною кришталевою системою та привідного вала з кулачковим розподільником. Корпус виконано з високоякісного чавуну або алюмінієвого сплаву, що забезпечує міцність при мінімальній вазі. Всередині корпусу розташовані направляючі втулки та підшипники, які підтримують стабільне положення плунжера та забезпечують плавний хід. Плунжер виконаний зі сталі з високою твердістю, що гарантує тривалий ресурс навіть за інтенсивного навантаження. Привідний вал із кулачками синхронізує рух плунжерів відповідно до порядку впорскування палива. Клапани зворотного та

нагнітального типу контролюють напрямок потоку палива та підтримують необхідний тиск у робочій порожнині. Герметичність вузлів досягається за рахунок використання прецизійних ущільнень та прокладок. Загальна збірка виготовляється з високим ступенем точності, що знижує помилки при дозуванні палива [5].

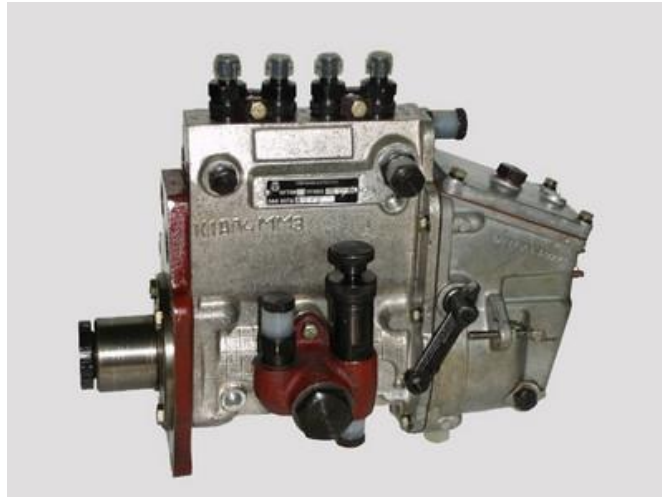


Рис. 2.1. Паливний насос УТН-5.

Принцип роботи УТН-5 базується на плунжерно-гілковому механізмі, де плунжер рухається в різних фазах циклу для всмоктування та нагнітання палива. На фазі всмоктування паливо із живильного насоса надходить у камеру між плунжером та стрижнем, проходячи через фільтри та клапани. При обертанні кулачків привідного вала плунжер піднімається у корпусі, створюючи високий тиск у камері та відкриваючи нагнітальний клапан. Надлишкове паливо через нагнітальний отвір потрапляє до форсунки двигуна. Після завершення такту нагнітання кулачок наближається до мінімальної висоти, плунжер опускається, тиск падає, і зворотний клапан повертається в початкове положення. Така циклічна послідовність гарантує точність об'єму впорскування та стабільність робочого тиску. Змінюючи профіль кулачка та плунжерне дозування, можна регулювати потужність та екологічні параметри двигуна. Додаткові пристрої, як-от компенсатор подавання палива, забезпечують коректну роботу насоса на різних навантаженнях [7-12].

Технічні параметри насоса УТН-5 включають максимальний тиск нагнітання до 200–250 кгс/см², частоту обертання приводу до 3000 об/хв, а

також робочий об'єм камери плунжера близько 2,5–3,0 см³. Потужність двигуна, для якого призначений насос, варіюється в межах 50–100 кВт. Коефіцієнт подавання палива регульований з точністю до 0,5% від номінального об'єму. Температурний діапазон експлуатації складає від –40 °С до +80 °С без додаткових систем підігріву. Використання стандартних фільтрувальних елементів із експлуатаційним ресурсом 200–400 мотогодин забезпечує захист плунжерної пари від абразивного зносу. Номінальна витрата палива становить до 20–25 л/год залежно від робочого режиму. Масогабаритні характеристики: вага насоса в зборі – близько 6–7 кг, габарити – 250×150×120 мм

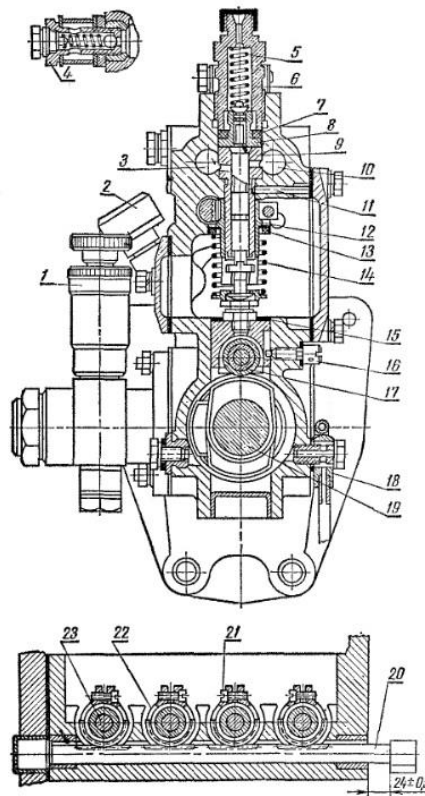


Рис. 2.2. Будова паливного насоса УТН-5: 1 – насос, що підкачує, 2 – сапун, 3 – відсічний канал, 4 – перепускний клапан, 5 – пружина; 6 – натискний штуцер; 7 – прокладка; 8 – нагнітальний клапан; 9 – втулка плунжера; 10 – підвідний канал; 11 – штифт, 12 – поворотна гільза; 13 – верхня тарілка; 14 – пружина плунжера; 15 – болт штовхача; 16 – фіксуючий гвинт; 17 – штовхач плунжера; 18 – зливна трубка; 19 – кулачковий вал; 20 – рейка; 21 – стягнутий гвинт; 22 – зубчастий вінець; 23 – плунжер [1-8, 12].

Матеріали основних деталей відбираються з урахуванням корозійної стійкості, зносостійкості та термічної стабільності. Корпус виготовляють із чавуну марки СЧ20 або алюмінієвого сплаву АК7, що дозволяє знизити вагу без втрати міцності. Плунжери та напрямні втулки піддаються поверхневому гартуванню струмами високої частоти, що збільшує твердість робочої поверхні до HRC 60–65. Клапани виготовляють із нержавіючої сталі або мартенситного сплаву, що витримує багаторазові цикли нагрівання та охолодження. Ущільнення виконується за допомогою кільцевих сальників із поліуретану, стійкого до дії дизельного палива та мастильних матеріалів. Деталі системи підведення палива мають хромоване покриття для зниження корозії та зносу. Така комбінація матеріалів забезпечує тривалий термін служби насоса до 5000 мотогодин при своєчасному технічному обслуговуванні [3].

Виготовлення та обробка деталей насоса УТН-5 відповідають сучасним стандартам точності та контролю якості. Прецизійне токарне та шліфувальне обладнання дозволяє досягти допусків на розміри $\pm 0,002$ – $0,005$ мм для плунжерної пари та направляючих поверхонь. Збирання вузлів проводиться в чистих приміщеннях, обладнаних системами фільтрації повітря до класу чистоти не нижче ISO 7. Після складання насос проходить стендові випробування під тиском та різними режимами роботи для перевірки герметичності та точності дозування. Кожен екземпляр має унікальний ідентифікаційний номер та протокол випробувань із зазначенням характеристик. Масовий випуск здійснюється на автоматизованій лінії з інтегрованою системою контролю відхилень. Це гарантує однорідність параметрів у серії та стабільну якість продукції [9].

Монтаж насоса УТН-5 на двигун передбачає використання стандартного фланцевого з'єднання та прокладки між насосом і кришкою приводу. З'єднання з паливною магістраллю здійснюється високоякісними сталевими трубками та фітінгами згідно з ГОСТ. Для запобігання пропускам палива застосовують накидні гайки з упору. Перед запуском двигуна слід провести кілька прокачувальних тактів для видалення повітря з системи. Технічне

обслуговування включає періодичну заміну фільтру, регулювання куту випередження упорскування та перевірку герметичності в'язково-натискних вузлів. Деякі модифікації УТН-5 оснащені вбудованим компенсатором тиску та регулятором частоти обертання. Такий підхід спрощує налаштування та підвищує адаптивність насоса до змінних умов експлуатації [12-16].

Переваги насоса УТН-5 полягають у його простоті, надійності та відносно низькій вартості виробництва й ремонту. Він показує стабільну точність дозування палива в широкому діапазоні навантажень, що позитивно впливає на паливну економічність двигуна. У разі необхідності ремонтні роботи можна виконати в польових умовах із мінімальним набором інструментів. Широка мережа постачальників запчастин та доведена технологія відновлення робочих поверхонь знижують загальний час простою техніки. Недоліком може бути дещо більший масогабаритний показник порівняно з сучасними насосами високого тиску з електронним керуванням. Однак за вартістю та технічними характеристиками УТН-5 залишається економічно вигідним рішенням для бюджетних дизельних платформ. Завдяки модульній конструкції можливе оновлення окремих вузлів без заміни всього агрегату [6].

Основні обмеження застосування насоса пов'язані з відсутністю електронного контролю та регулювання параметрів впорскування в реальному часі. Це може призводити до збільшеної токсичності відпрацьованих газів та дещо нижчої потужності двигуна порівняно з сучасними Common Rail-системами. Також точність дозування залежить від стану механічних деталей і чистоти палива, що вимагає більш суворого контролю технічного обслуговування. За експлуатації у вібраційних режимах можливе передчасне зношування плунжерної пари та клапанів. Високі навантаження на підшипники призводять до вимоги регламентної заміни мастильного матеріалу. Разом із тим, порівняно проста конструкція дає змогу швидко виявити несправності та усунути їх без залучення спеціалізованого обладнання. Це особливо важливо в умовах віддалених сільських територій [2-8].

З огляду на загальні характеристики та практичний досвід експлуатації, насос УТН-5 залишається оптимальним вибором для багатьох дизельних установок середнього класу. Його надійність і економічність доведені роками використання в умовах сільського господарства, промисловості та будівництва. Наявність великої кількості технічної документації, запасних частин та фахівців, що знають особливості ремонту УТН-5, спрощує його технічне обслуговування. Перспективи модернізації включають впровадження електронних регуляторів та п'єзоелектричних елементів для підвищення точності впорскування. Однак навіть у своїй класичній версії цей насос здатен забезпечити тривалу й ефективну роботу дизельного двигуна при мінімальних витратах. Така універсальність робить УТН-5 важливим вузлом паливної системи багатьох класичних дизельних платформ [2-8].

2.2. Несправності паливної апаратури УТН-5

Несправності паливної апаратури УТН-5 значно впливають на ефективність та надійність роботи дизельних двигунів. Вчасне виявлення та усунення дефектів сприяє зниженню витрат палива та продовженню ресурсу вузлів. Найбільш поширені проблеми пов'язані з фізичним зносом, забрудненням палива та порушенням герметичності. Досвід експлуатації показує, що ігнорування перших ознак несправностей призводить до серйозних пошкоджень плунжерно-циліндрової групи. Крім того, недостатній контроль технічного стану клапанних механізмів може викликати нерівномірне подавання палива. Своєчасне технічне обслуговування та діагностика дозволяють підтримувати оптимальний тиск у системі високого тиску. Для кожного типу несправності існують характерні ознаки, які виявляються при роботі насоса під навантаженням. Аналіз дефектоскопії та стендові випробування допомагають точно визначити джерело проблеми. Розглянемо детальніше основні види несправностей пального насоса УТН-5 та методи їх усунення [3].

Однією з основних причин відмови УТН-5 є знос плунжерно-циліндрової пари. Він виникає внаслідок абразивного впливу частинок бруду та недостатнього змащення робочих поверхонь. Зношеність призводить до підвищення люфту між плунжером і втулкою, що знижує герметичність камери. В результаті втрачається тиск нагнітання та падає продуктивність насоса. Ознаками дефекту є зниження максимального тиску та нерівномірне надходження палива до форсунок. При огляді плунжера спостерігаються подряпини та виразні сліди зносу на поверхні. Для відновлення працездатності необхідно проводити розточування корпусу та заміну плунжерів на відшліфовані. Застосування якісних фільтрів та дотримання регламенту заміни мастильних матеріалів значно сповільнюють процес зношування. Профілактичні заходи включають очищення деталей ультразвуком та покриття поверхні плунжера захисним покриттям [2-7].

Несправність зворотних та нагнітальних клапанів є ще однією поширеною проблемою в паливній апаратурі УТН-5. Засмічення клапанних отворів виникає через відкладення смолистих фракцій палива та дрібного абразиву. Це призводить до часткового або повного блокування клапана, що порушує нормальний рух палива. Сучасні методи діагностики дозволяють визначити підвищений перепад тиску на клапанах за допомогою манометрів. При блокуванні зворотного клапана паливо не може повністю повернутися до бака, що спричиняє його надлишковий нагрів. Нагнітальний клапан зношений або заїдає у відкритому стані, що викликає зниження тиску в магістралі. Усунення несправності включає промивку клапанних каналів розчинниками та заміну сіточок. Регулярне технічне обслуговування клапанів знижує ймовірність виникнення заклинювання та передчасного зносу деталей [6-9].

Регулятор тиску паливної апаратури УТН-5 відповідає за підтримання постійного робочого тиску під час зміни навантаження двигуна. Неправильне встановлення або знос пружини регулятора призводить до нестабільності тиску нагнітання. У такому випадку спостерігаються переривчасті поштовхи двигуна та зниження динамічних показників. При виході з ладу компенсатора

перепускної поршень може заїдати або переміщатися з перекосом. Це викликає нерівномірне дозування палива в різних циліндрах, що позначається на роботі двигуна. Для виявлення таких дефектів проводять тестування на спеціальному стенді з регульованим тиском. Ремонт полягає у заміні пружини, очищенні поверхні поршня та перевірці ущільнень. Удосконалені модифікації пристрою оснащені додатковим демпфером для згладжування пульсацій тиску. Практика показує, що своєчасна заміна зношених елементів регулятора забезпечує стабільну роботу насоса [11-15].

Однією з критичних причин порушення роботи УТН-5 є забруднення пального механічними домішками. Дрібні частинки піску, іржі або абразиву потрапляють до апаратури в разі зношення паливного фільтра. Вони створюють підвищений знос плунжерно-циліндрової пари, клапанів та інших рухомих деталей. При значному ступені забруднення можлива повна блокада клапанів та порушення герметичності камер. Ознаками дефекту є помітне зниження тиску, підвищений шум під час роботи та постійні вібрації. Для очищення система розбирається та промивається розчинниками або ультразвуком. Надалі рекомендується встановлювати фільтри більш тонкого очищення та своєчасно замінювати їх згідно регламенту. Контроль за станом палива дозволяє запобігти багатьом серйозним несправностям і зберегти ресурс насоса [17-18].

Кавітація та потрапляння повітря до паливної апаратури УТН-5 можуть призвести до серйозних пошкоджень вузлів. Кавітація виникає через різке зниження тиску в всмоктувальній лінії та випаровування палива. При утворенні бульбашок пари руйнуються поверхні плунжера та втулки під час їх колапсу. Це викликає глибокі ерозійні ушкодження та прискорений знос поверхонь. Повітря в системі знижує ефективність подавання палива та може спричинити пробуксування плунжера. Індикатором наявності повітря є характерне «цокаюче» звучання насоса при низьких навантаженнях. Уникнути цих дефектів можна шляхом правильного монтажу трубопроводів та прокачування системи перед запуском. Для контролю кавітації доцільно використовувати прозорі ділянки лінії та візуальний моніторинг за рівнем пульсацій.

Приводний механізм насоса УТН-5 включає кулачковий вал та роликові пальці, які відповідають за синхронне переміщення плунжерів. Знос кулачків приводного вала призводить до зміни профілю підйому плунжера та порушення фаз упорскування. У такому випадку двигун починає працювати з нерівномірною тягою та підвищеним рівнем вібрації. Сліди зносу виявляються при візуальному огляді або знятті параметрів на стенді. При сильному зношенні кулачковий вал підлягає заміні або відновленню методом наплавлення та шліфування. Додатковим дефектом може бути люфт роликового пальця в напрямній втулці, що призводить до стукотів під навантаженням. Усунення передбачає заміну пальця та втулки з дотриманням точності відновлених розмірів. Своєчасне змащення та перевірка зазорів між деталями дозволяють продовжити ресурс приводу. Рекомендується використовувати мастила з антикорозійними та протизносними присадками для зниження ризику передчасного зносу [11-17].

Порушення герметичності насоса УТН-5 часто спостерігається в місцях встановлення ущільнювачів і прокладок. З часом матеріали сальників втрачають еластичність та стираються внаслідок тертя. Це призводить до витоків палива назовні та проникнення повітря всередину системи. Ознаками несправності є плями на корпусі насоса та зниження тиску нагнітання. Найбільш вразливими місцями є з'єднання із приводом і кришками клапанів. Для усунення необхідно провести демонтаж насоса та замінити всі зношені ущільнення. Рекомендовано використовувати високоякісні прокладки із стійких полімерних композицій. Після зборки слід перевірити герметичність стендовим способом під робочим тиском [8].

Втрата точності дозування та випередження упорскування в УТН-5 пов'язана з порушенням заводських налаштувань. З часом кут упорскування змінюється через розтягнення тяги регулятора та виникнення люфтів. Неправильне дозування призводить до підвищеного споживання палива та збільшення вмісту токсичних компонентів у вихлопі. Діагностика включає перевірку положення регулювальних важелів та замір фактичного об'єму

впорскування. Для корекції використовують спеціальні шаблони та регулювальні гвинти на корпусі насоса. Після налаштування обов'язково перевіряють показники на стенді відповідно до технічних умов. Несвоєчасна корекція може спричиняти нестабільну роботу двигуна на різних режимах. Рекомендовано проводити перевірку калібрування при кожному капітальному ремонті або через встановлені мотогодини. Сучасні версії УТН-5 обладнані мітками для спрощеного візуального контролю параметрів упорскування. Дотримання регламенту калібрування гарантує відповідність стандартам екологічних норм [9].

Для своєчасного виявлення та усунення несправностей УТН-5 необхідно дотримуватися встановленого регламенту технічного обслуговування. Періодична перевірка тиску нагнітання та прокачування системи допомагає відстежити перші ознаки зносу. Рекомендовано використовувати стенди з можливістю моделювання режимів роботи двигуна при реальних навантаженнях. Очищення та промивка вузлів слід проводити спеціальними розчинниками, що не руйнують матеріали ущільнень. Важливо стежити за чистотою палива та встановлювати фільтри тонкого очищення із запасом ресурсів. При виявленні вібрацій або помітного шуму слід негайно припинити експлуатацію та провести діагностику. Зберігання запасних частин у сухих та прохолодних умовах продовжує їхню працездатність. Впровадження цифрового обліку мотогодин і діагностичних даних спрощує планування ремонтів.

2.3. Розбирання паливного насоса високого тиску УТН-5

Розбирання паливного насоса високого тиску УТН-5 починається з підготовки робочого місця та забезпечення безпеки. Передусім слід відключити акумуляторну батарею та знерухомити двигун, щоб виключити випадковий запуск. Потім насос необхідно зняти з двигуна відповідно до інструкції з експлуатації, попередньо зливши паливо із корпусу в підготовлену ємність. Робочу поверхню слід ретельно очистити від бруду, масла та залишків палива,

щоб уникнути потрапляння сторонніх частинок у внутрішні канали насоса. Використовуйте чисту тканину та змочені в розчиннику серветки, не допускаючи засмічення фільтрів. Всі інструменти — викрутки, ключі, плоскогубці — повинні бути сухими й чистими. Рекомендується користуватися набором динамометричних ключів для дотримання регламентованого моменту затягування при складанні. Забезпечте достатнє освітлення та стійке положення насоса на траверсі або спеціальному стенді [7].

Наступний етап – фіксація насоса в затискачі стенда розбирання, що дозволяє зручно працювати з корпусом. Перед розгинанням будь-яких стопорів і зняттям кріплень упевніться, що насос надійно зафіксований і не може зміститися. Розпізнайте та позначте положення важелів регулятора та кулачкового вала, щоб при зворотному складанні відновити початкові налаштування. Використовуйте фломастер або тонкі клейкі стрічки для маркування окремих вузлів і напрямних. Підготуйте контейнери або лотки з роздільниками для зберігання гвинтів, шайб та пружин. Зніміть декоративний кожух і кришку регулятора пального тиску, акуратно відвертаючи болти по діагоналі, щоб уникнути перекосу кришки. При необхідності зафіксуйте кришку клапанів від падіння пружинних елементів за допомогою еластичних гумових кілець [4].

Далі переходьте до демонтажу кришки клапанів високого тиску: відверніть болти у два етапи, поступово послаблюючи натяг. Після зняття кришки обережно витягніть клапанні тарілки та пружини за допомогою магнітного знімача або тонких пінцетів. Ретельно складіть клапани та відповідні сидла в підготовлені секції лотка, щоб зберегти порядок розташування. Огляньте внутрішню поверхню кришки на наявність тріщин та зазорів, що можуть стати причиною витоків або недостатнього тиску. Протріть деталі чистим фланелевим рушником, змоченим у безворсовому розчиннику. Відкладіть вузол клапанів в окремий чистий пакет для подальшої діагностики. Не допускайте потрапляння мастила чи машинного масла на ці поверхні, аби не спотворити результати перевірки герметичності [8].

Після зняття клапанної кришки слід від'єднати регулятор подавання палива: розкрийте корпус регулятора, відкрутивши фасонні болти та знявши кришку. Вийміть регулювальний поршень із пружиною, приділяючи увагу напрямку орієнтації упорних поверхонь. Перевірте стан пружини на витягнутість та наявність корозійних плям. Зніміть демпферний блок, якщо він передбачений конструкцією, пінцетом або тонкою викруткою. Кожен елемент укладайте у підготовлені відсіки, які відповідають порядку розбирання. Позначте положення упорних шайб, а також напрямок руху поршня. При виявленні значних рисок або задирів пристосування підлягає капітальному ремонту або заміні [12].

Наступний крок – демонтаж плунжерно-гілкаєвої групи: виверніть болти фланцевого кріплення плунжерної плити та акуратно зніміть її. Плунжери мають виходити в напрямку випускного патрубка; за необхідності користуйтеся легким постукуванням пластиковим молоточком. Вийміть кожний плунжер зі втулкою, зберігаючи їх як пари, позначивши нумерацію циліндрів. Не допускайте подряпин на робочих поверхнях — для цього використовуйте лише м'які поліуретанові лопатки. Зніміть розподільний стакан із запірними кульками, акуратно вийнявши деталі магнітом. Ретельно очистіть канали прокачування плунжерів за допомогою м'якої щітки, змоченої в розчиннику. Переконайтеся у відсутності механічних домішок перед наступною стадією розбирання [2-8].

Демонтаж привідного вала та кулачкового механізму виконується після зняття плунжерної плити: відкрутіть упорний фланець і вийміть вал із корпусу. Зафіксуйте вал у зручному положенні, щоб не пошкодити роликові пальці. Використовуючи спеціальний зйомник для підшипників, витягніть втулки балансувального механізму. Огляньте поверхню кулачків на наявність шорсткостей і здуттів металу, що свідчать про кавітаційне руйнування або нестачу мастила. Перевірте люфти та бокові зазори між шарніром і посадковим місцем. Пальці роликів варто витягати окремо, оберігаючи їх від удару та

подряпин. Зберігайте всі елементи в антистатичних мішечках для запобігання корозії.

Далі приступайте до розбирання системи керування подачею палива: від'єднайте тяги та важелі регулятора частоти обертання, попередньо фіксуючи їх вихідне положення. Вийміть демпфери та кінематичні втулки, використовуючи тонкі викрутки або шпильки. Перевірте стан кульових з'єднань на наявність люфтів — за необхідності підберіть відповідні ремонтні комплекти для заміни. Розберіть важіль керування, відкрутивши кріпильні гвинти та знявши втулки. Проводьте маніпуляції обережно, аби не втратити пружинні елементи та шайби. Викладайте зняті вузли за порядком, щоб спростити зворотну збірку. Позначте напрямок руху кожної тяги та важеля маркером [4].

Завершальним етапом є демонтаж дрібних допоміжних елементів: зніміть зливний штуцер, фітинги високого тиску та ущільнювальні прокладки. Витягніть сальники та кільцеві ущільнення, перевіривши їх стан на наявність тріщин та деградації полімерів. При наявності деформацій або зносу прокладок обов'язково встановіть нові деталі з рекомендованого виробником матеріалу. Від'єднайте елементи кріплення пульта управління та захисні кожухи. Ретельно очистіть монтажні поверхні корпусу від залишків старих прокладок за допомогою пластикового скребка. Не використовуйте металеві лопатки, щоб уникнути пошкодження поверхні. Після цього корпус насоса готовий до миття, огляду та дефектування [6].

По завершенні розбирання важливо провести первинну оцінку стану всіх вузлів та деталей. Використовуйте оптичну лупу або мікроскоп для виявлення мікротріщин, подряпин та корозії. Занотуйте в журналі технічного обслуговування всі виявлені дефекти та ступінь зносу деталей. Проведіть заміри геометричних параметрів плунжерних втулок за допомогою індикаторної головки та нутроміра. Окремо протестуйте пружини клапанів на жорсткість із стендовим обладнанням. Перевірте працездатність регулятора тиску із застосуванням манометра високого тиску. За результатами діагностики

підготуйте перелік деталей для заміни та капітального ремонту. Це дозволить швидко відновити насос у відповідності до технічних умов.

Після фази дефектування та очистки можна переходити до складання насоса в зворотному порядку, але перед цим слід забезпечити комфортні умови зберігання деталей. Використовуйте чисті контейнери з кришками та маркуйте кожен комплект деталей. Підготуйте нові ущільнювальні кільця, прокладки та гвинти згідно специфікації. Перевірте наявність оригінальних запасних частин або їх аналогів, рекомендованих виробником. При збиранні рекомендується застосовувати тонкий шар високотемпературного мастила на рухомих поверхнях для зменшення початкового зносу. Дотримуйтеся моментів затягування та послідовності фіксації кріпильних елементів. Після складання — обов'язкове стендове випробування насоса з контрольованим тиском і об'ємами подачі. Такий системний підхід до розбирання та діагностики гарантує відновлення працездатності УТН-5 і продовження його ресурсу [3].

Схема розбирання УТН-5 представлено на аркуші 4 графічної частини.. Маршрутну карту розбирання представлено в додатку А.

РОЗДІЛ 3

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ НАГНІТАЛЬНИХ КЛАПАНІВ ВИСОКОТИСКОВИХ ПАЛИВНИХ НАСОСІВ

3.1 Огляд існуючих методів випробувань нагнітальних клапанів

За результатами патентного моніторингу було виявлено та проаналізовано три патенти.

Метод контролю працездатності нагнітального клапана паливної апаратури.

Винахід належить до сфери ремонту та технічного обслуговування машинобудівної продукції і призначений для виявлення дефектів нагнітальних клапанів із розвантажувальним поясом під час ремонту дизельних двигунів. Застосовується також для оцінювання якості клапанів, регулювання їх технічних параметрів і групового сортування за фактичним рівнем розвантаження.

Існуючі методики випробувань нагнітальних клапанів паливної апаратури передбачають заповнення порожнини над клапаном технологічною рідиною під тиском, послідовне фіксування його різних положень по висоті сідла, вимірювання витратних параметрів рідини та порівняння отриманих даних із еталонними для оцінки стану клапана. Такий підхід дозволяє лише дослідити технічний стан контакту “розвантажувальний пояс – сідло клапана” через кільцеву щілину, що утворюється зазором при заданому положенні клапана і тиску рідини. Однак він не відображає реальних умов експлуатації клапана, через що точність оцінки є обмеженою. Метою запропонованого способу є підвищення достовірності вимірювань шляхом наближення випробувальних умов до експлуатаційних. Для цього клапану задають зворотно-поступальні коливання із заданими частотою та амплітудою, а параметри витрати рідини фіксують безпосередньо над клапаном.

Зворотно-поступальні коливання клапана виконують із амплітудою, що не перевищує 0,9–1,0 розвантажувального ходу пристрою, при цьому витрату рідини додатково контролюють у порожнині під клапаном. В якості робочого середовища використовують дизельне паливо або повітря. На ілюстрації представлено конструкцію стенда для проведення таких випробувань: кулачковий вал 1 через штовхач 2 і шток 3 приводить у рух досліджуваний клапан 4. Клапан з боку запірного конуса з'єднано з паливопроводним каналом, який виходить у камеру 5, заповнену технологічною рідиною (дизельним паливом або його сумішшю). Камера обладнана впускним 6 та випускним 7 клапанами. Для реєстрації об'єму витраченої рідини передбачено мензурку 8 і лічильник 9 циклів. За потреби над клапаном монтують обмежувач ходу 10, а подачу рідини забезпечує насос 11, розташований на вході в камеру (рис. 3.1).

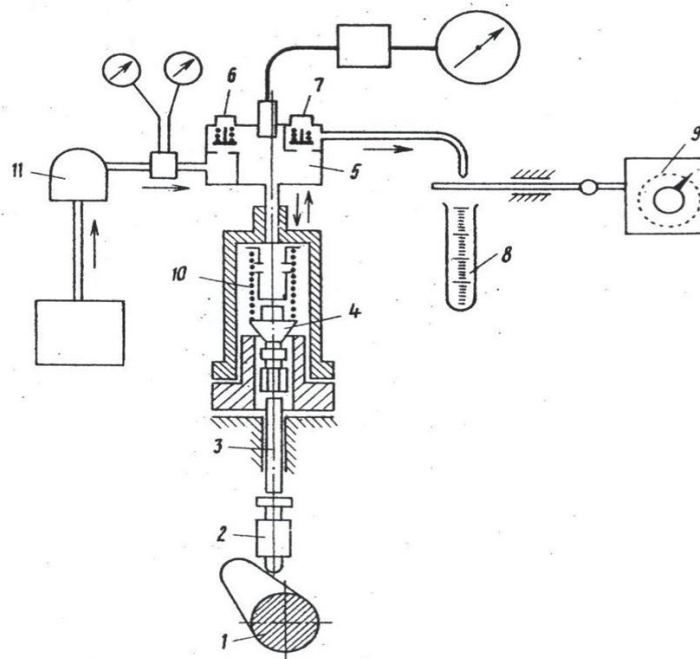


Рис. 3.1. Принципова схема випробувального стенда для нагнітальних клапанів: 1 – обертовий кулачковий вал; 2 – штовхальний механізм (штовхач); 3 – зворотно-поступальний шток; 4 – тестовий нагнітальний клапан; 5 – робоча камера з технологічною рідиною; 6 – впускний клапан подачі рідини; 7 – випускний клапан виведення рідини; 8 – вимірювальна мензурка; 9 – лічильник циклів випробувань; 10 – регулятор амплітуди ходу клапана; 11 – підкачуючий насос для створення тиску речовини.

Процедуру виконують таким чином. Коли шток 3 переміщується вниз під дією пружини, він притискає розвантажувальний поясок до сидла клапана й одночасно відсмоктує рідину з камери 5 пропорційно переміщенню клапана. Завдяки перепаду тиску через впускний клапан 6 у камеру 5 надходить нова порція робочої рідини замість витісненої. При зворотному ході штока 3 разом із клапаном 4 рідина витискається через випускний клапан 7 у вимірювальну мензурку 8.

Рідина накопичується в мензурці 8 протягом визначеної кількості ходів клапана 4, відлік яких веде лічильник 9. Паралельно фіксують об'єм рідини, що просочилася через зазор між розвантажувальним пояском і сидлом клапана. За допомогою регулятора 10 задають амплітуду ходу клапана в межах 0,9–1,0 його розвантажувального переміщення. Щоб забезпечити необхідний тиск у робочій камері та перевірити герметичність прилягання запірного конуса, до впускного клапана підключено підкачуючий насос 11. Обсяги рідини, зібраної в мензурці за задану кількість циклів, і та, що пройшла через розвантажувальний поясок, прямо залежать від технічного стану клапана й дозволяють оцінити його робочі характеристики в умовах, наближених до експлуатаційних. Порівняння фактичного витісненого об'єму з нормативним розвантажувальним об'ємом дає змогу судити про відповідність клапана стандартам.

Формула винаходу.

1. Спосіб випробування нагнітального клапана паливної апаратури, що включає заповнення порожнини над клапаном технологічною рідиною з визначеною в'язкістю від джерела тиску, встановлення для клапана чергуваних положень по висоті сидла, вимір витратних параметрів рідини, зіставлення їх з еталонними даними та оцінку стану клапана за результатами порівняння, який відрізняється тим, що для підвищення точності випробувань і наближення умов до реальних перемінні положення клапана формують шляхом надання йому зворотно-поступальних рухів із заданими частотою та амплітудою, а параметри витрати рідини реєструють у верхній порожнині клапана.

2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що амплітуду зворотно-поступальних коливань клапана обмежують у межах менш ніж 0,9–1,0 від його максимального розвантажувального ходу.

3. Спосіб за пп. 1–2, який додатково передбачає вимірювання витратних параметрів рідини також у порожнині під клапаном.

Так само були проаналізовані патенти №774315, №1625996 та інші. В результаті чого виділені пріоритетні напрямки розробки пристрою для випробовування нагнітальних клапанів паливних насосів високого тиску

3.2. Будова та принци роботи пристрою для випробовування нагнітальних клапанів

Пристрій (рис. 3.2) призначений для випробувань нагнітальних клапанів паливних насосів дизельних двигунів. На цьому стенді можна перевіряти серійні клапани насосів типів 4ТН-8 та 5×10 (для двигунів Д-54, Д-40, Д-24, Д-14 та їх модифікацій), а також клапани двигунів КДМ-46 і КДМ-100. Прилад забезпечує визначення герметичності клапана по розвантажувальному пояску та загальної точності геометрії запірного конуса і розвантажувального пояска.

Нагнітання палива здійснюється за допомогою ручного підкачувального насоса.

Технічні характеристики:

- Об'єм акумулятора: 500 см³
- Габарити (Д×Ш×В), мм: 460 × 210 × 435
- Маса приладу без палива: до 19 кг.

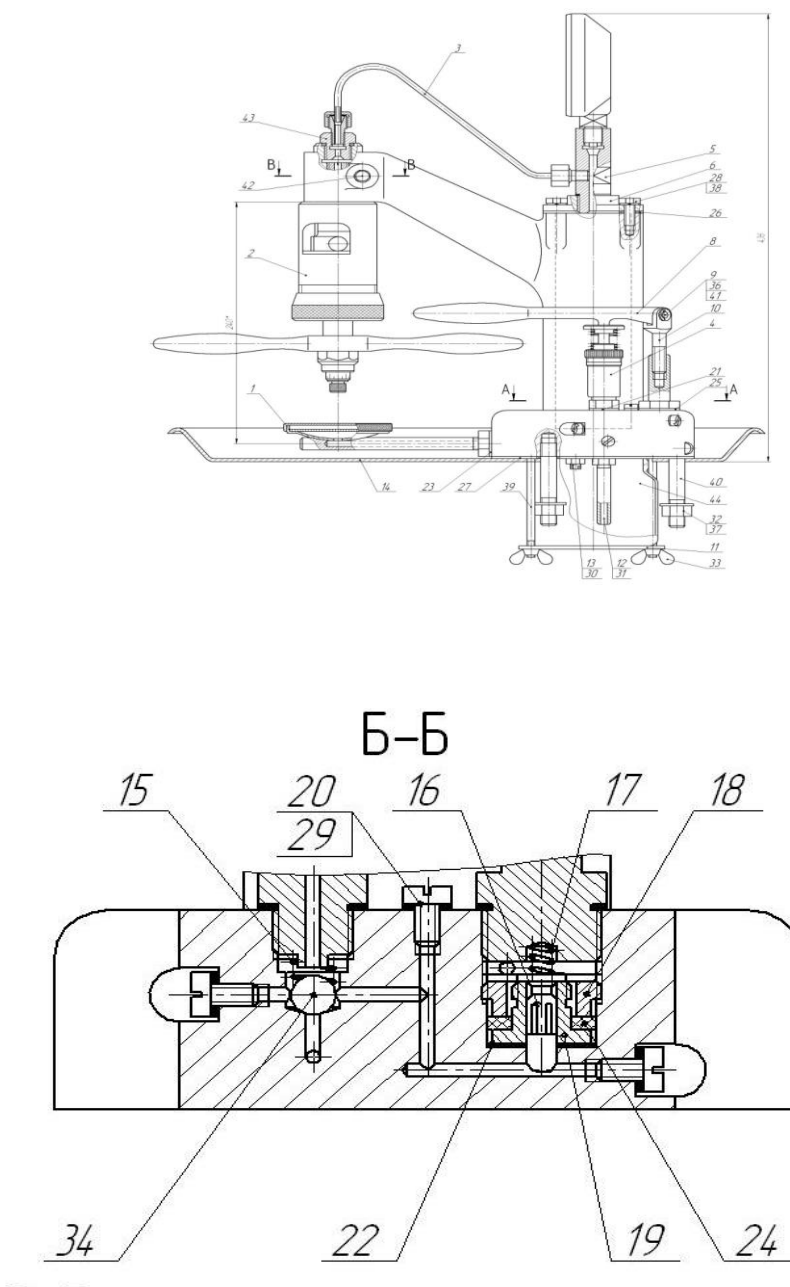


Рис. 3.2. Пристрій для випробовування нагнітальних клапанів: 1 – скляна трубка; 2 – тримач клапана; 4 – насос; 3 – трубка; 5 – гайка кріплення манометру; 7 – шайба; 9 – болт; 6 – штуцер; 8 – прокладка; 10 – гровер; 11 – прокладка; 20 – прокладка; 13 – важіль; 12 – корпус; 14 – палець; 15 – шайба; 16 – шплінт; 17 – вилка; 18 – втулка; 19 – прокладка; 21 – болт; 22 – гровер; 23 – шпилька; 24 – гайка; 27 – гайка; 26 – планка; 25 – шайба; 28 – гровер; 29 – шпилька; 30 – гайка; 31 – трубка; 32 – шпилька; 33 – гайка; 34 – прокладка; 35 – прокладка; 37 – пружина; 45 – гровер; 36 – піддон; 38 – клапан; 39 –штуцер; 40 – ущільнювач; 43 – кулька; 41 – втулка; 44 – болт; 46 – прокладка [7].

Стенд складається з таких ключових елементів:

Механізм фіксації нагнітального клапана:

- Паливний акумулятор;
- Система нагнітання палива;
- Манометр для контролю тиску;
- Пристрій для збору витісненого палива;
- Піддон для відведення надлишків;
- Механізм фіксації клапанної пари.

У корпус 1 встановлюють втулку 9, причому корпус має два поздовжні канали: відкритий – для ходового руху рукоятки, і закритий – для прямого переміщення шипа втулки. Всередині корпусу є поперечна канавка, по якій ковзає шип втулки, а спеціальне вікно дозволяє вставляти та виймати випробуваний клапан із гнізда.

Втулка 9 оснащена притискним гвинтом 13, всередині якого розміщено регулювальний гвинт 11. У верхній частині втулки розташовані кульковий упорний підшипник 10, установче кільце 6 та сам клапан, що випробовується. До нижньої частини корпусу прикріплена накидна гайка 15, яка обмежує хід втулки 9, забезпечуючи її надійну фіксацію.

У верхній частині корпусу встановлено поршень із пружиною 3 і її регулювальним тримачем 2, який дозволяє змінювати робочу довжину пружини. Відстань між упорами пружини має становити 31,0 мм при випробуванні клапанів зазначених типорозмірів. Головка клапана упирається в поршень, стискаючи пружину. Поршень 4 оснащений центральним отвором, куди входить подовжена частина головки клапана ЧТЗ при монтажі, а решта отворів у ньому забезпечують вільний рух палива під час тестування. Нижній кінець притискного гвинта 13 має квадратну форму та різьбу: на його квадратну частину насаджують вороток 22 і фіксують спеціальною гайкою 16, а на нижній кінець регулювального гвинта 11 кріплять храповик 17.

Паливний акумулятор 12.

При випробуваннях герметичності по циліндричному пояску через щілину “поясок–сідло” проходить значний об’єм палива. Без акумулятора тиск у системі швидко падає, що унеможливорює сортування клапанів за величиною зазору. Тому стенд обладнано паливним акумулятором об’ємом 500 см³, який одночасно слугує міцною основою для кріплення інших вузлів приладу.

Система нагнітання палива. Вона складається з: всмоктуючої трубки 31, ручного насоса підкачки 4, всмоктуючого клапана 43, нагнітального клапана 38, спеціальної втулки 39, що вкручується ключем, спеціальної пробки 18, ричага 13

Всмоктуючий і нагнітальний клапани розташовані всередині акумулятора. Манометр. Пружинний манометр класу 1,5 з ціною поділки 0,2 кг/см², шкала 0–10 кг/см².

Паливо, витіснене клапаном, збирається в скляну банку 32 ємністю 0,35 л, закріплену під акумулятором. Краплі палива, що витікають із приладу, потрапляють у воронку 45, проходять через фільтр із ватного паперу та сітку, а потім по трубці 1 стікають у банку. Після завершення випробувань воронку закривають кришкою для захисту від пилу.

3.3 Розрахунок міцності важеля пристрою

Під час випробувань на важіль постійно діє зовнішнє зусилля, тому необхідно перевірити його на згин. Розглянемо важіль як балку, що спирається на дві точки – А та D, і до якої прикладено зосереджену силу F у точці В. Виникаючі в опорах реактивні зусилля позначимо як R_C і R_D . Щоб обчислити їхні значення, складемо рівняння моментів усіх зовнішніх сил відносно опорних точок А і D.

$$\sum M_A = -F \cdot AB + R_C \cdot AC - R_D \cdot AD = 0; \quad (3.1)$$

$$\sum M_D = -R_C \cdot CD + F \cdot BD = 0. \quad (3.2)$$

З другого рівняння можна знайти реакцію опори в т. С, тобто

$$R_C = F \cdot BD / CD. \quad (3.3)$$

Оскільки зусилля F передається на балку безпосередньо рукою, а максимально допустиме навантаження, яке може створити рука, становить 160 Н, то реакція опори R_C дорівнюватиме:

$$R_C = 160 \cdot 142.5 / 52 = 438.46 \text{ Н.}$$

Оскільки значення реакції R_C уже відоме, із першого рівняння статичної рівноваги одразу обчислюємо реакцію R_D :

$$- F \cdot AB + R_C \cdot AC - R_D \cdot AD = 0; \quad (3.4)$$

$$- R_D \cdot AD = F \cdot AB - R_C \cdot AC;$$

$$R_D = - F \cdot AB + R_C \cdot AC / AD.$$

Звідкіля:

$$R_D = - 160 \cdot 42.5 + 438.46 \cdot 133 / 185 = 278.46 \text{ Н.}$$

Після визначення всіх прикладених до балки сил можна побудувати діаграму поперечних сил Q . Аби отримати діаграму згинаючих моментів, необхідно розрахувати їхні значення в точках А, В і D.

$$\sum M_B = 0; \quad (3.5)$$

$$\sum M_C = - F \cdot BC = -160 \cdot 90.5 = -14480 \text{ Н/мм}; \quad (3.6)$$

$$\sum M_D = - F \cdot BD + R_C \cdot CD = - 160 \cdot 142.5 + 438.46 \cdot 52 = 0. \quad (3.7)$$

Після обчислення згинаючих моментів у точках В, С і D будуюмо відповідну епюру, причому максимальне значення згинаючого моменту припадає на точку С.

$$\sum M_C = - F \cdot BC = -160 \cdot 90.5 = -14480 \text{ Н/мм.}$$

Тому проведемо перевірку балки на згин у цій точці, використовуючи допустимі напруження. Критерій міцності при згині за нормальними напруженнями записується таким чином:

$$\sigma = \frac{M_{зг}}{W_z} \leq [\sigma]. \quad (3.8)$$

де $[\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$ – допустимі нормальні напруження;

$M_{зг}$ – згинаючий момент;

W_z – осьовий момент опору перерізу;

σ – нормальні напруження що виникають в перерізі.

Зданої формули визначимо осьовий момент опору перерізу важеля [2]:

$$W_z = \frac{M_{32}}{[\sigma]}. \quad (3.9)$$

Підставимо числові значення в дану формулу [3]:

$$W_z = \frac{14480}{160} = 90.5 \text{ мм}^3.$$

Маючи значення полярного моменту опору, розраховуємо діаметр перерізу важеля за формулою:

$$W_z = \frac{\pi \cdot d^3}{32}; \quad (3.10)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32W_z}{\pi}}. \quad (3.11)$$

Підставимо значення у формулу:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 90.5}{3.14}} = 9.7 \text{ мм}.$$

Приймаємо $d=10 \text{ мм}$.

Зробимо перевірку:

$$W_z = \frac{3.14 \cdot 10^3}{32} = 98.125 \text{ мм}^3.$$

$$\sigma = \frac{14480}{98.125} = 147.566 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

А оскільки $147.566 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} < 160 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ то умова міцності виконується.

Отже важіль міцний.

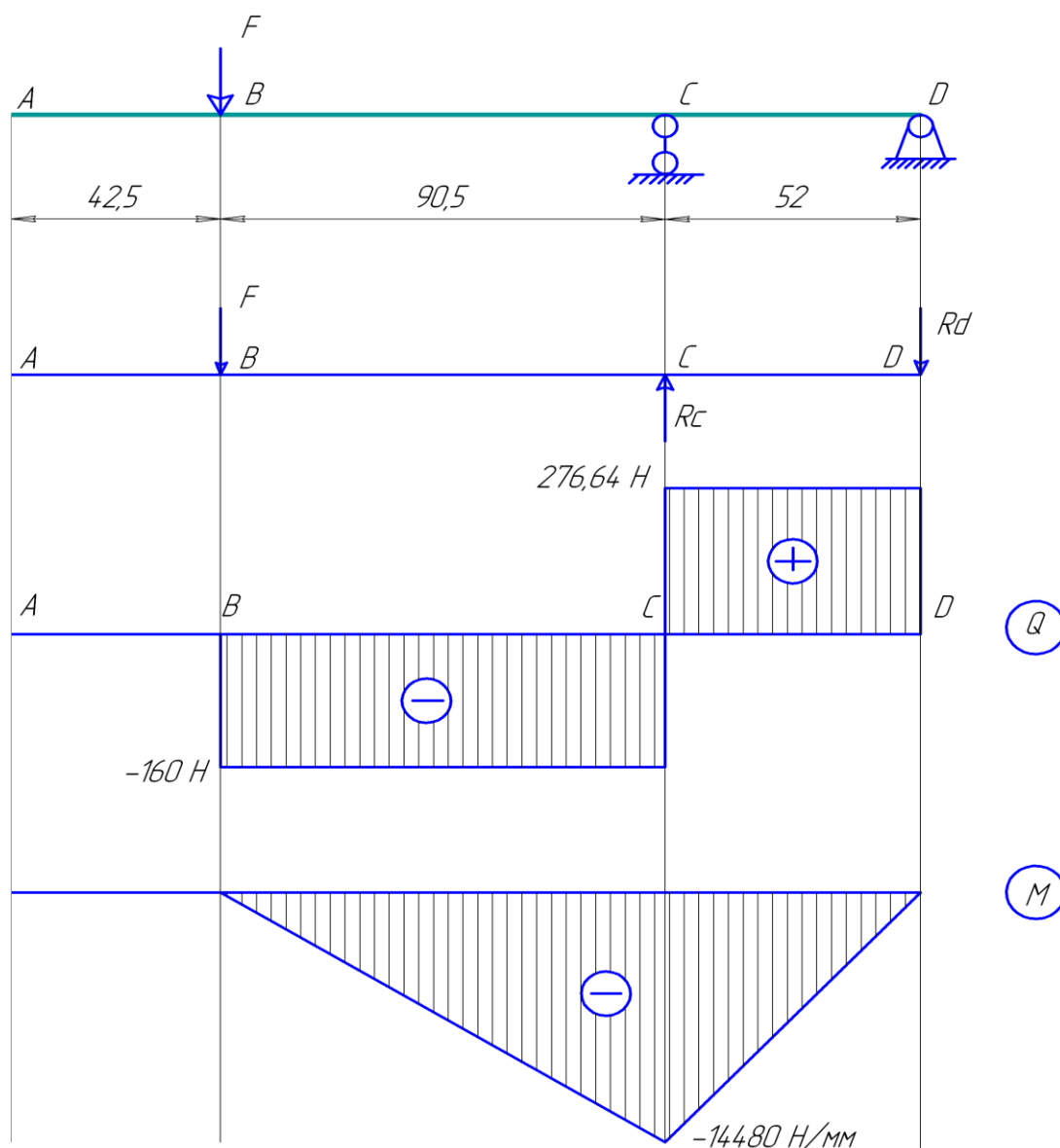


Рис. 3.3. Епюри навантаження на важіль.

В даному розділі проведено аналіз існуючих способів випробовування нагнітальних клапанів паливних насосів високого тиску, обраний найкращий метод, розроблено розрахунок його деталей на міцність, і визначено економічну ефективність від впровадження пристрою.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі аналізу існуючих методик технічного обслуговування та ремонту тракторів класу 1,4 встановлено їхні основні недоліки: недостатня стандартизація операцій, неврахування специфіки умов експлуатації малих господарств та низька ефективність планово–попереджувальних заходів. Ці висновки стали відправною точкою для формулювання задач дослідження та вибору шляху їх вирішення.

В роботі розроблено та обґрунтовано удосконалений технологічний процес технічного обслуговування, який включає введення модульних регламентів проведення оглядів, вимірювань і регулювань вузлів трактора з урахуванням їх зносу. Для удосконалення технологічного процесу ремонту тракторів класу 1,4 розроблена схема розбирання паливного насоса високого тиску УТН-5.

В конструктивному розділі проведено аналіз існуючих способів випробовування нагнітальних клапанів паливних насосів високого тиску, обраний найкращий метод, розроблено розрахунок його деталей на міцність, і визначено економічну ефективність від впровадження пристрою.

Реалізація запропонованих заходів сприятиме підвищенню надійності та зниженню експлуатаційних витрат тракторів тягового класу 1,4, що є особливо важливим для малих і середніх агропідприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богданов В.В. Діагностика та технічне обслуговування тракторів. Харків: ХНАДУ, 2021. 380 с.
2. Васильєв Л.С. Ремонт сільськогосподарських машин: Довідник. Дніпро: ДДАЕУ, 2018. 620 с.
3. Григоров І.М. Експлуатація та надійність сільськогосподарської техніки. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. 490 с.
4. Державний стандарт України ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ: Держстандарт України, 1995. 32 с.
5. 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.
6. Дмитренко О.І. Організація технічного сервісу в агропромисловому комплексі. Умань: УНУС, 2017. 350 с.
7. Довідник з ремонту тракторів тягового класу 1,4. За ред. П.М. Ковальчука. Київ: Агроінж, 2022. 780 с.
8. Жуков С.О. Технологічні процеси ремонту тракторів: Навчальний посібник. Полтава: ПДАУ, 2019. 320 с.
9. Іванов П.П. Управління технічним обслуговуванням і ремонтом машинно-тракторного парку. Вінниця: ВНАУ, 2021. 400 с.
10. 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.
11. Кузнецов Г.Л. Надійність та ремонтпридатність тракторів. Харків: ХНТУСГ, 2022. 450 с.
12. Литвиненко А.В. Вплив якості паливно-мастильних матеріалів на ресурс тракторів. Херсон: ХДАУ, 2019. 260 с.

13. Макаренко О.П. Сучасні технології діагностування та ремонту дизельних двигунів тракторів. Суми: СНАУ, 2021. 300 с.
14. Мельник Т.І. Технічна експлуатація машинно-тракторного парку: Підручник. Тернопіль: ТНТУ, 2018. 480 с.
15. Ніколаєнко Л.Г. Організація та планування ремонту сільськогосподарської техніки. Чернігів: ЧНТУ, 2020. 360 с.
16. Олійник В.Д. Моніторинг технічного стану тракторів. Луцьк: ЛНТУ, 2019. 280 с.
17. Пасічник І.М. Технологія ремонту вузлів та агрегатів сільськогосподарських машин. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. 310 с.
18. Петренко В.О. Прогнозування відмов та планування ремонтів тракторів. Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. 240 с.
19. Пономаренко Р.С. Обладнання для технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки. Одеса: ОНАХТ, 2020. 390 с.
20. Савченко К.В. Енергетичні засоби сільського господарства: Підручник. Київ: НАУ, 2019. 510 с.
21. Ситников Д.П. Економічні аспекти підвищення ефективності використання тракторів. Дніпро: ДДАЕУ, 2021. 270 с.
22. Ткаченко П.С. Інноваційні рішення в технічному обслуговуванні тракторів. Харків: ХНТУСГ, 2022. 300 с.
23. Федоров Г.М. Удосконалення системи технічного обслуговування тракторів вітчизняного виробництва. Київ: НАУ, 2020. 290 с.
24. Хоменко О.І. Системи діагностування та керування технічним станом тракторів. Суми: СНАУ, 2019. 340 с.
25. Шевченко М.М. Оптимізація виробничих процесів в авторемонтних підприємствах АПК. Львів: ЛНАУ, 2021. 320 с.