

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

Допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Поліпшення техніко-експлуатаційних показників трактора
шляхом модернізації гідравлічної системи»

Виконав: студент 3 курсу, групи 32к-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Рясний Дмитро Володимирович
(прізвище та ініціали)
Керівник доцент Пушка О.С.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

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

Освітня програма _____ «Бакалавр»
 Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Володимир ДІДУР
 «___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

Рясному Дмитру Володимировичу _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Поліпшення техніко-експлуатаційних показників трактора шляхом модернізації гідравлічної системи»

керівник проекту Пушка Олександр Сергійович, доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
 “ 01 ” _____ травня _____ 2026 р. № 01-06/129

2. Строк подання студентом проекту _____ 18.05.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: аналіз конструкції та роботи традиційної гідравлічної системи трактора; основні напрями модернізації гідравлічної системи трактора

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

аналіз стану досліджуваного питання; експериментальні дослідження; питання охорони праці; техніко-економічне обґрунтування проекту.

5. Ілюстративний матеріал: підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 10 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломного проекту: мета і завдання дослідження; конструктивна схема модернізованого гідроприводу; напрями удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту гідравлічної системи мобільної с.-г. техніки; будова та принцип роботи пристрою; результати розрахунку економічного ефекту; висновки.

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Прикінця
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка	15.10.2025	
2.	Розділ 1. Оглядовий розділ	19.11.2025	
3.	Розділ 2. Конструктивний розділ	18.12.2025	
4.	Розділ 3. Охорона праці	12.02.2026	
5.	Розділ 4. Техніко-економічний розділ	09.03.2026	
6.	Виконання ілюстративної частини проекту	15.04.2026	
7.	Представлення проекту керівнику на перевірку	18.05.2026	

Студент
(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рясний Д.В.

Керівник проекту
(підпис)

(прізвище та ініціали)

Пушка О.С.

ЗМІСТ

1. ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ.....	6
1.1 Значення гідравлічної системи в забезпеченні техніко-експлуатаційних показників трактора.....	6
1.2 Аналіз конструкції та роботи традиційної гідравлічної системи трактора.....	8
1.3 Основні напрями модернізації гідравлічної системи трактора.....	9
1.4 Вплив модернізації гідравлічної системи на техніко-експлуатаційні показники трактора.....	11
1.5 Обґрунтування доцільності модернізації гідравлічної системи	13
2. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ.....	15
2.1 Призначення та загальна характеристика конструктивної розробки	15
2.2 Аналіз базової гідравлічної системи трактора ХТЗ-17221	16
2.3 Обґрунтування необхідності модернізації гідроприводу	17
2.4 Конструктивна схема модернізованого гідроприводу	18
2.5 Принцип роботи модернізованої системи	20
2.6 Вибір основних елементів модернізованого гідроприводу	21
2.7 Інженерний розрахунок гідроприводу	23
2.8 Гідравлічний розрахунок трубопроводів.....	26
2.9 Перевірка режиму руху робочої рідини	27
2.10 Конструктивні переваги запропонованого рішення.....	28
2.11 Технічне обслуговування модернізованої гідросистеми	29
3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	31
3.1 Загальні положення з охорони праці під час модернізації та експлуатації гідравлічної системи трактора.....	31
3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	31
3.3 Вимоги безпеки перед початком робіт	33
3.4 Вимоги безпеки під час виконання робіт	33
3.5 Безпека під час роботи з навісним обладнанням.....	34
3.6 Пожежна безпека.....	35
3.7 Заходи щодо поліпшення умов праці.....	35
4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	37
4.1 Мета техніко-економічного обґрунтування	37
4.2 Вихідні дані для розрахунку	37
4.3 Розрахунок капітальних вкладень	38

4.4 Розрахунок річного фонду часу роботи агрегату	39
4.5 Розрахунок економії витрат на оплату праці	40
4.6 Розрахунок економії палива.....	40
4.7 Розрахунок економії на технічному обслуговуванні та ремонті	41
4.8 Загальна річна економія	41
4.9 Розрахунок додаткових експлуатаційних витрат	41
4.10 Розрахунок річного економічного ефекту.....	42
4.11 Розрахунок строку окупності.....	42
4.12 Розрахунок коефіцієнта економічної ефективності	43
ВИСНОВОК	45
ЛІТЕРАТУРА.....	47

1. ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ

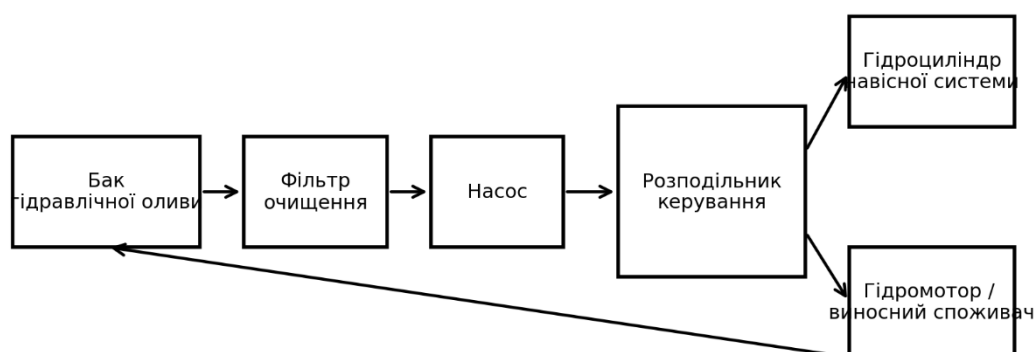
1.1 Значення гідравлічної системи в забезпеченні техніко-експлуатаційних показників трактора

Сучасний трактор є складною мобільною енергетичною машиною, ефективність якої визначається не лише потужністю двигуна, тяговими властивостями та паливною економічністю, а й досконалістю допоміжних систем. Однією з найважливіших систем трактора є гідравлічна система, яка забезпечує керування навісним обладнанням, роботу причіпних і напівпричіпних машин, привід окремих робочих органів, регулювання положення агрегатів, піднімання та опускання знарядь, а також підтримання стабільного технологічного режиму під час виконання польових, транспортних і допоміжних операцій [1, 2].

Гідравлічна система трактора має безпосередній вплив на продуктивність машинно-тракторного агрегату. Якщо система працює з недостатньою швидкістю, має великі внутрішні втрати, нестабільний тиск або підвищене нагрівання робочої рідини, це призводить до збільшення тривалості технологічних операцій, перевитрати палива, зменшення ресурсу насоса, розподільників, ущільнень і рукавів високого тиску. Тому модернізація гідравлічної системи є одним із дієвих напрямів поліпшення техніко-експлуатаційних показників трактора.

У загальному вигляді гідравлічна система трактора виконує функцію перетворення механічної енергії двигуна в енергію потоку робочої рідини, яка потім знову перетворюється у механічну роботу виконавчих органів. Основними елементами такої системи є гідравлічний бак, насос, фільтр, запобіжна апаратура, гідророзподільник, рукави та трубопроводи, гідроциліндри, гідромотори, швидкорознімні муфти, датчики контролю та робоча рідина [3].

Схема базової гідравлічної системи трактора



Потік робочої рідини: бак → фільтр → насос → розподільник → виконавчі механізми → бак

Рисунок 1.1 – Схема базової гідравлічної системи трактора

На рисунку 1.1 показано узагальнену схему базової гідравлічної системи трактора. Робоча рідина з бака через фільтр надходить до насоса, після чого під тиском подається до розподільника. Залежно від положення золотника розподільника потік спрямовується до гідроциліндра навісної системи або до зовнішнього споживача. Після виконання роботи рідина повертається до бака. Така схема є простою, надійною та поширеною, однак вона має певні недоліки: постійні втрати енергії при роботі насоса, нагрівання оливи, обмежені можливості автоматичного регулювання та недостатню адаптацію до змінного навантаження.

Особливо актуальною проблема модернізації гідравлічної системи є для тракторів, що працюють з сучасними сільськогосподарськими машинами. Такі агрегати часто мають декілька гідравлічних контурів, потребують стабільної витрати рідини, точного регулювання тиску та швидкої реакції виконавчих механізмів. У цих умовах традиційні гідросистеми з постійною подачею не завжди забезпечують належну енергоефективність і точність керування [4].

За сучасними підходами до проєктування мобільних машин, гідравлічна система повинна не тільки передавати енергію, а й адаптуватися до фактичного навантаження. Саме тому у тракторобудуванні поширюються системи Load Sensing, електрогідравлічні розподільники, датчики тиску й температури, електронні блоки керування та системи діагностування. ДСТУ

EN ISO 4413:2018 визначає загальні правила та вимоги безпеки для гідравлічних систем і їхніх компонентів, а міжнародний ISO 4413:2010 прямо вказує, що стандарт охоплює суттєві небезпеки, пов'язані з гідроприводами машин, і встановлює принципи уникнення цих небезпек під час використання систем за призначенням [5].

1.2 Аналіз конструкції та роботи традиційної гідравлічної системи трактора

Традиційна гідравлічна система трактора зазвичай складається з гідравлічного насоса шестеренного або аксіально-поршневого типу, бака для робочої рідини, гідророзподільника, силового гідроциліндра, фільтрувальних елементів, трубопроводів і рукавів високого тиску. У багатьох тракторах застосовуються шестеренні насоси, що мають просту конструкцію, відносно низьку вартість і достатню ремонтпридатність. Їхнім недоліком є те, що подача рідини значною мірою залежить від частоти обертання двигуна, а надлишкова подача при частковому навантаженні створює додаткові втрати [1, 6].

Під час роботи трактора насос подає робочу рідину до розподільника незалежно від того, чи виконує система корисну роботу. Якщо гідроциліндр або гідромотор не задіяні, рідина може циркулювати через зливну магістраль або через запобіжний клапан. Такий режим супроводжується перетворенням частини енергії в тепло, що знижує загальний коефіцієнт корисної дії системи. У результаті підвищується температура оливи, прискорюється її старіння, зростає інтенсивність зношування ущільнень і погіршується стабільність роботи гідроапаратури [2, 7].

Однією з характерних проблем традиційних систем є недостатня точність керування робочими органами. Під час виконання польових операцій, наприклад оранки, культивування, сівби або роботи з навантажувачем, важливо забезпечити плавність піднімання й опускання знаряддя, стабільність положення та відсутність ривків. Якщо розподільник має зношені золотники, забруднені канали або нестабільний тиск, це призводить до нерівномірної

роботи навісної системи, збільшення навантаження на механізатора та погіршення якості технологічної операції [3].

Важливе значення має також стан робочої рідини. Забруднення оливи твердими частинками, водою або продуктами окиснення є однією з основних причин відмов гідроапаратури. Частинки забруднень пошкоджують поверхні тертя, спричиняють заклинювання золотників, прискорюють зношування насосів і знижують герметичність ущільнень. Саме тому модернізація гідравлічної системи повинна передбачати не лише заміну насоса або розподільника, а й удосконалення системи фільтрації, контролю температури та технічного діагностування [8].

До основних недоліків традиційної гідравлічної системи трактора можна віднести:

1. значні енергетичні втрати при роботі насоса з постійною подачею;
2. підвищене нагрівання робочої рідини;
3. недостатню точність керування виконавчими механізмами;
4. залежність швидкості роботи гідроциліндрів від частоти обертання двигуна;
5. підвищений ризик забруднення гідросистеми;
6. обмежені можливості діагностування технічного стану;
7. зниження ресурсу елементів системи через роботу в нераціональних режимах.

Таким чином, традиційна гідравлічна система забезпечує виконання основних функцій, але не завжди відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, точності, безпеки та автоматизації. Це створює передумови для її модернізації.

1.3 Основні напрями модернізації гідравлічної системи трактора

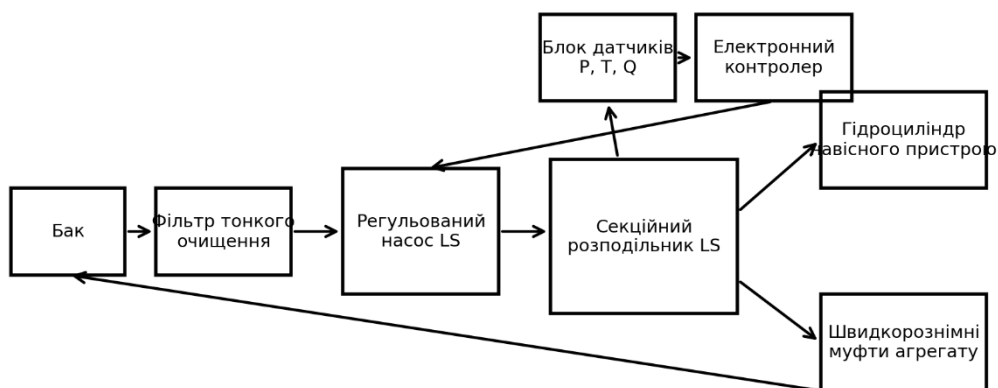
Модернізація гідравлічної системи трактора повинна бути спрямована на зменшення втрат енергії, підвищення точності керування, збільшення ресурсу елементів, покращення умов експлуатації та забезпечення безпечної роботи. Найбільш перспективними напрямками є впровадження регульованих насосів, застосування систем Load Sensing, використання електрогідравлічних

розподільників, встановлення додаткових фільтрів, датчиків контролю та систем діагностування.

Одним із найефективніших напрямів є перехід від насоса постійної подачі до регульованого насоса, який змінює подачу залежно від потреби системи. У такому випадку насос не створює надлишкового потоку, коли виконавчі механізми не працюють або потребують незначної витрати. Це дозволяє зменшити нагрівання оливи, знизити навантаження на двигун і покращити паливну економічність трактора [4, 9].

Системи Load Sensing працюють за принципом визначення фактичного навантаження на виконавчих механізмах. Сигнал тиску від найбільш навантаженого споживача передається до регулятора насоса, після чого насос підтримує лише такий тиск і витрату, які необхідні для виконання конкретної операції. Сучасні дослідження в галузі тракторних гідросистем показують, що нові технології гідравлічного керування спрямовані саме на зменшення витрат палива і підвищення енергоефективності високонапірних гідросистем тракторів та агрегатів [9].

Модернізована гідросистема з Load Sensing та електронним контролем



Модернізація передбачає подачу рідини відповідно до фактичного навантаження, контроль тиску, температури та витрати.

Рисунок 1.2 – Схема модернізованої гідравлічної системи трактора з Load Sensing та електронним контролем

На рисунку 1.2 наведено схему модернізованої гідравлічної системи. На відміну від базової конструкції, вона включає регульований насос Load

Sensing, секційний розподільник, датчики тиску, температури та витрати, електронний контролер і вдосконалену систему фільтрації. Така схема дає змогу забезпечити адаптивну подачу робочої рідини, контролювати параметри системи в реальному часі та зменшити втрати енергії.

Важливим елементом модернізації є застосування електрогідравлічних розподільників. Вони дозволяють керувати потоками робочої рідини не лише механічно, а й за допомогою електронних сигналів. Це створює можливість автоматизованого керування навісною системою, точного дозування витрати, програмування режимів роботи та інтеграції гідросистеми з бортовою електронікою трактора [10].

Ще одним напрямом є удосконалення фільтрації. Для підвищення ресурсу системи доцільно встановлювати фільтри тонкого очищення на напірній або зливній магістралі, а також передбачати індикатори забруднення фільтрувальних елементів. Це дає змогу своєчасно виконувати технічне обслуговування та запобігати потраплянню абразивних частинок у насос, розподільник і гідроциліндри [8].

Модернізація також повинна включати контроль температури робочої рідини. Надмірне нагрівання оливи погіршує її в'язкісні властивості, знижує мастильну здатність і прискорює старіння. Для запобігання перегріванню можуть застосовуватися теплообмінники, датчики температури, сигналізація перевищення допустимого рівня та автоматичне зниження навантаження на систему [5, 11].

Доцільним є також встановлення датчиків тиску та витрати. Вони дозволяють оцінювати стан насоса, герметичність системи, справність клапанів і розподільників. На основі таких даних можна виявляти несправності до моменту повної відмови. Це особливо важливо для тракторів, що працюють у напружених сезонних умовах, коли простої техніки призводять до значних економічних втрат.

1.4 Вплив модернізації гідравлічної системи на техніко-експлуатаційні показники трактора

Техніко-експлуатаційні показники трактора характеризують його здатність ефективно виконувати технологічні операції з мінімальними витратами ресурсів. До таких показників належать продуктивність, паливна економічність, надійність, ремонтпридатність, довговічність, зручність керування, швидкодія робочих органів, стабільність параметрів роботи та безпечність експлуатації [1, 2].

Модернізація гідравлічної системи позитивно впливає на продуктивність трактора. Завдяки швидшій реакції гідроциліндрів і точнішому керуванню навісним обладнанням скорочується час виконання допоміжних операцій. Наприклад, під час розворотів на кінцях гону швидко піднімання та опускання знаряддя зменшує непродуктивні витрати часу. Під час роботи з фронтальним навантажувачем точне керування гідроциліндрами покращує плавність рухів і підвищує продуктивність навантажувально-розвантажувальних робіт.

Паливна економічність поліпшується за рахунок зменшення паразитних втрат у гідравлічній системі. Якщо насос постійної подачі працює з надлишковою продуктивністю, частина потужності двигуна витрачається на циркуляцію рідини без виконання корисної роботи. Регульований насос і система Load Sensing зменшують ці втрати, оскільки подача рідини узгоджується з фактичною потребою виконавчих механізмів [9].

Надійність трактора підвищується завдяки зменшенню теплового навантаження на робочу рідину та елементи гідросистеми. Зниження температури оливи сприяє збереженню її експлуатаційних властивостей, зменшує інтенсивність старіння ущільнювальних матеріалів і знижує ризик заклинювання гідроапаратури. Додаткове очищення рідини дозволяє зменшити абразивне зношування прецизійних пар насоса та розподільника [8].

Покращення ремонтпридатності досягається шляхом встановлення контрольних точок для вимірювання тиску, застосування швидкокорознімних з'єднань, датчиків забруднення фільтрів та електронної діагностики. У такому випадку механік може швидше встановити причину несправності, оцінити

стан насоса, клапанів, розподільника або виконавчого механізму. Це скорочує тривалість простою техніки та зменшує витрати на ремонт.

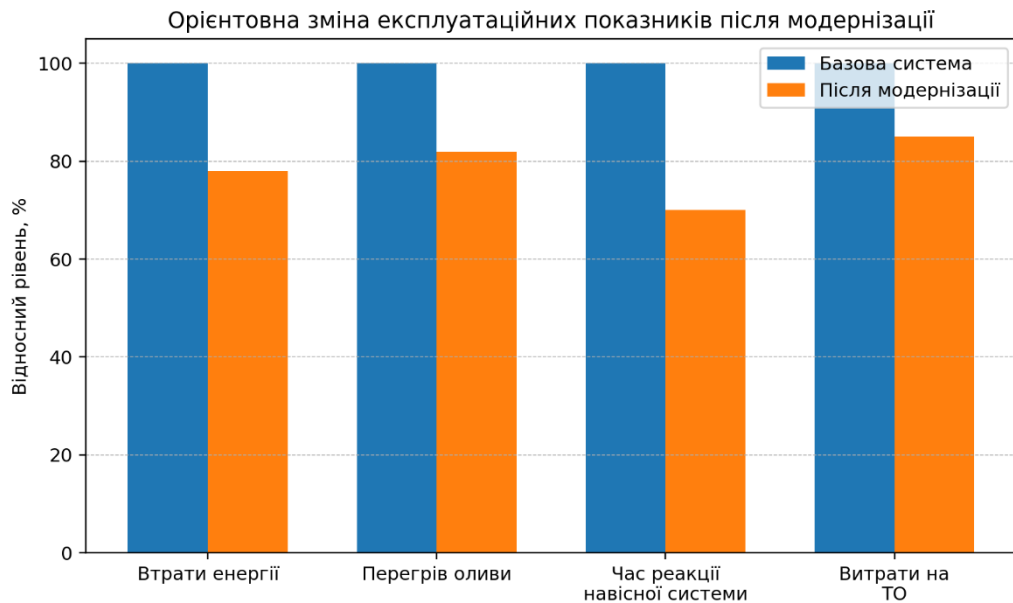


Рисунок 1.3 – Орієнтовна зміна експлуатаційних показників після модернізації гідравлічної системи

На рисунку 1.3 наведено орієнтовну зміну окремих експлуатаційних показників після модернізації. Значення подані у відносних одиницях і можуть уточнюватися під час техніко-економічних розрахунків. Графік демонструє, що модернізація може зменшити втрати енергії, знизити перегрівання оливи, скоротити час реакції навісної системи та зменшити витрати на технічне обслуговування.

Особливе значення має підвищення зручності керування. Сучасні електрогідравлічні системи дають змогу зменшити фізичне навантаження на тракториста, забезпечити плавніше керування робочими органами, підвищити точність виконання технологічних операцій. Це важливо під час тривалої роботи, коли втома оператора може впливати на якість виконання завдання та безпеку праці.

1.5 Обґрунтування доцільності модернізації гідравлічної системи

Доцільність модернізації гідравлічної системи трактора визначається сукупністю технічних, економічних і експлуатаційних чинників. З технічної точки зору модернізація дозволяє усунути недоліки традиційної системи,

забезпечити адаптивну подачу робочої рідини, підвищити точність керування та зменшити теплові втрати. З економічної точки зору вона сприяє зниженню витрат на паливо, технічне обслуговування та ремонт, а також скорочує простої техніки в період виконання сезонних робіт.

Модернізація є особливо доцільною для тракторів, які експлуатуються з енергонасиченими агрегатами, навантажувачами, сівалками, обприскувачами, прес-підбирачами, причепами з гідравлічним керуванням або іншими машинами, що потребують стабільного гідравлічного потоку. У таких умовах гідравлічна система стає одним із ключових факторів ефективності всього машинно-тракторного агрегату.

З урахуванням аналізу можна запропонувати такі основні технічні рішення модернізації:

1. заміна нерегульованого насоса на регульований насос із можливістю зміни подачі;
2. впровадження Load Sensing-регулювання;
3. встановлення секційного розподільника з підвищеною пропускною здатністю;
4. використання датчиків тиску, температури та витрати;
5. удосконалення системи фільтрації робочої рідини;
6. встановлення індикатора забруднення фільтра;
7. застосування якісних рукавів високого тиску з відповідним запасом міцності;
8. введення контрольних точок для діагностування;
9. встановлення теплообмінника або системи контролю перегрівання оливи;
10. інтеграція гідросистеми з електронним блоком керування.

Таким чином, модернізація гідравлічної системи трактора є технічно обґрунтованим напрямом підвищення його ефективності. Вона дозволяє поліпшити продуктивність, зменшити енергетичні втрати, підвищити ресурс елементів і забезпечити кращі умови праці тракториста.

2. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Призначення та загальна характеристика конструктивної розробки

Конструктивний розділ присвячено обґрунтуванню модернізації гідравлічної системи трактора ХТЗ-17221 з метою підвищення її техніко-експлуатаційних показників, розширення функціональних можливостей агрегування з сучасними сільськогосподарськими машинами та забезпечення стабільнішого керування начіпним обладнанням.

Базова гідравлічна система трактора ХТЗ-17221 побудована за роздільно-агрегатною схемою. До її основних елементів належать масляний бак, гідронасос, розподільник, силові гідроциліндри, фільтр, маслопроводи, запірні пристрої та механізм навішування. Така схема забезпечує піднімання, опускання та утримання начіпного знаряддя в заданому положенні. Однак за умов роботи з сучасними енергонасиченими агрегатами виникає потреба в точнішому дозуванні потоку робочої рідини, зменшенні втрат потужності та підвищенні чутливості системи до навантаження.

Недоліком традиційної системи є те, що шестеренний насос подає робочу рідину з майже постійною продуктивністю незалежно від фактичної потреби виконавчих механізмів. У результаті частина енергії витрачається на циркуляцію оливи через перепускні канали, що призводить до нагрівання робочої рідини, зниження коефіцієнта корисної дії та збільшення витрати палива. Крім того, механічне керування розподільником не завжди забезпечує достатню точність регулювання положення начіпного обладнання під час виконання операцій, пов'язаних із дотриманням заданої глибини обробітку ґрунту.

З урахуванням зазначених факторів у роботі запропоновано модернізувати гідропривід системи навішування шляхом застосування регульованого аксіально-поршневого насоса «НАПОР-63Р», гідророзподільника РПС-80 з електрогідравлічним керуванням, датчика положення, датчика навантаження, електронного блока керування та панелі

оператора. Така конструкція дає змогу автоматизувати процес керування начіпним обладнанням і підвищити ефективність використання трактора під час роботи з плугами, культиваторами, сівалками та іншими гідрофікованими машинами.

2.2 Аналіз базової гідравлічної системи трактора ХТЗ-17221

Гідросистема трактора ХТЗ-17221 призначена для керування навісними, напівнавісними та причіпними машинами. Вона забезпечує подачу робочої рідини до силових циліндрів, зміну напрямку руху штока, фіксацію знаряддя в транспортному або робочому положенні, а також можливість роботи в плаваючому режимі.

Масляний бак виконує функцію резервуара для робочої рідини. У конструкції передбачено фільтр, через який олива очищується перед поверненням у бак. За надмірного забруднення фільтрувального елемента перепускний клапан відкриває додатковий канал, що запобігає різкому зростанню опору потоку. Для стабілізації тиску всередині бака використовується сапун, через який внутрішній простір бака сполучається з атмосферою.

У базовій системі застосовується шестеренний насос типу НШ-50-Л-2. Він забезпечує всмоктування оливи з бака та подачу її в напірну магістраль. Основними робочими елементами насоса є ведуча і ведена шестерні, корпус, кришка, бронзові втулки та ущільнення. Під час обертання шестерень робоча рідина переноситься із зони всмоктування до зони нагнітання. Перевагою такого насоса є простота будови, ремонтпридатність і невисока вартість. Разом із тим він не забезпечує гнучкого регулювання подачі, що є суттєвим обмеженням для сучасних гідросистем.

Силові гідроциліндри трактора мають двосторонню дію. Це означає, що робоча рідина може подаватися як у штокову, так і в поршневу порожнину. Основний гідроциліндр використовується для керування механізмом навішування, а виносні циліндри можуть застосовуватись для роботи з причіпними або напівнавісними агрегатами. Переміщення поршня

передається через шток на важелі механізму навішування, унаслідок чого відбувається піднімання або опускання знаряддя.

Розподільник Р80 у базовій системі виконує функцію керування напрямком потоку робочої рідини. Він має декілька робочих положень: нейтральне, піднімання, опускання та плаваюче. У нейтральному положенні порожнини гідроциліндра перекриті, а знаряддя утримується в заданому положенні. У положенні піднімання робоча рідина подається в одну порожнину циліндра, а з протилежної порожнини витісняється до бака. У положенні опускання напрямок руху рідини змінюється на протилежний. Плаваючий режим дає можливість знаряддю копіювати рельєф поля під дією власної ваги.

Наявність перепускного та запобіжного клапанів забезпечує захист гідросистеми від перевантаження. Якщо тиск у напірній магістралі перевищує допустиме значення, запобіжний клапан відкривається і спрямовує частину потоку в зливну лінію. Проте часте спрацювання запобіжного клапана супроводжується перегріванням оливи та втратою енергії, тому для підвищення ефективності роботи доцільно застосовувати регульовану насосну установку.

2.3 Обґрунтування необхідності модернізації гідроприводу

Сучасні машинно-тракторні агрегати працюють у складних умовах, де важливе значення мають точність регулювання робочих органів, зменшення енергетичних втрат, стабільність заданої глибини обробітку та можливість швидкої адаптації до зміни навантаження. Для виконання цих вимог традиційна гідросистема з постійною подачею робочої рідини є недостатньо ефективною.

Модернізація гідроприводу трактора ХТЗ-17221 передбачає перехід від простої системи з шестеренним насосом до системи з регульованим аксіально-поршневим насосом. Такий насос змінює подачу залежно від потреб виконавчих механізмів. Якщо навантаження незначне або робочі органи не потребують інтенсивного переміщення, насос зменшує подачу, що знижує

втрати енергії. Якщо ж потрібно швидко підняти знаряддя або забезпечити стабільну роботу декількох споживачів, подача збільшується.

Доцільність удосконалення також пов'язана з необхідністю роботи з плугами та іншими знаряддями, які не мають власного опорного колеса. У такому випадку система навішування повинна не лише піднімати або опускати агрегат, а й підтримувати задане положення робочих органів відносно поверхні ґрунту. Для цього в модернізовану систему вводяться датчики положення та навантаження, сигнали від яких надходять до електронного блока керування.

Електрогідравлічне керування розподільником дає змогу підвищити точність переміщення золотника, а отже, забезпечити більш плавну зміну витрати робочої рідини. Це особливо важливо під час виконання технологічних операцій, де різкі переміщення начіпного обладнання можуть погіршити якість обробітку, збільшити буксування трактора або спричинити перевантаження окремих вузлів.

Таким чином, конструктивна модернізація гідросистеми спрямована на розв'язання таких завдань:

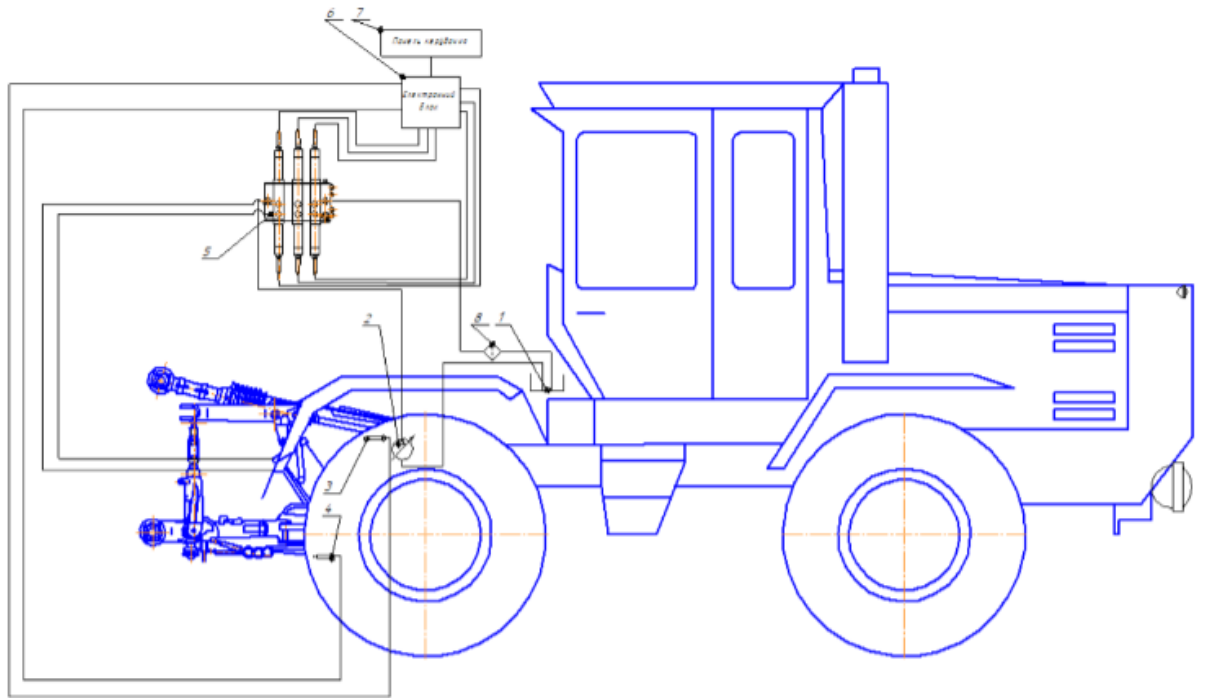
- підвищення точності керування начіпним обладнанням;
- зменшення непродуктивних втрат потужності в гідросистемі;
- зниження нагрівання робочої рідини;
- покращення умов агрегатування трактора з сучасними машинами;
- підвищення продуктивності машинно-тракторного агрегату;
- зменшення витрати палива під час виконання польових робіт.

2.4 Конструктивна схема модернізованого гідроприводу

Модернізована гідравлічна система трактора ХТЗ-17221 включає такі основні елементи:

1. масляний бак;
2. аксіально-поршневий регульований насос «НАПОР-63Р»;
3. датчик положення начіпного механізму;
4. датчик навантаження;

5. гідророзподільник РПС-80 з електрогідравлічним керуванням;
6. електронний блок керування;
7. панель керування оператора;
8. фільтр робочої рідини;
9. силові гідроциліндри;
10. напірні, зливні та всмоктувальні трубопроводи.



1 – масляний бак; 2 – регульований аксіально-поршневий насос «НАПОР-63Р»; 3 – датчик положення; 4 – датчик навантаження; 5 – гідророзподільник РПС-80; 6 – електронний блок; 7 – панель керування; 8 – фільтр.

Рисунок 2.1 – Модернізована схема гідропроводу системи навішування трактора ХТЗ-17221

У запропонованій схемі робоча рідина з масляного бака надходить до регульованого насоса. Насос створює необхідний тиск і подає рідину до гідророзподільника РПС-80. Залежно від команди електронного блока керування розподільник спрямовує потік до відповідної порожнини гідроциліндра. Після виконання робочого ходу рідина через зливну магістраль і фільтр повертається до бака.

Датчик положення контролює фактичне переміщення механізму навішування, а датчик навантаження визначає силу, що діє на начіпне

знаряддя. Інформація з датчиків обробляється електронним блоком, який формує керуючий сигнал для електрогідравлічного розподільника. Завдяки цьому система може автоматично коригувати положення робочих органів залежно від умов роботи.

Гідророзподільник РПС-80 забезпечує пропорційне керування потоком робочої рідини. На відміну від механічного розподільника, він дає змогу плавніше змінювати положення золотника, що підвищує точність роботи виконавчих механізмів. Регульований насос «НАПОР-63Р» забезпечує зміну подачі відповідно до потреб системи, завдяки чому зменшується надлишкова циркуляція оливи та підвищується загальна енергоефективність гідроприводу.

2.5 Принцип роботи модернізованої системи

Під час роботи трактора оператор задає необхідний режим функціонування начіпного обладнання за допомогою панелі керування. Сигнал надходить до електронного блока, який порівнює задане положення з фактичними даними від датчика положення та датчика навантаження. Якщо положення знаряддя не відповідає заданому, блок керування подає сигнал на електрогідравлічний розподільник.

У режимі піднімання розподільник спрямовує потік робочої рідини в поршневу порожнину гідроциліндра. Під дією тиску поршень переміщується, шток передає зусилля на важільний механізм навішування, і знаряддя піднімається. Рідина з протилежної порожнини циліндра через розподільник повертається в бак.

У режимі опускання напрямок потоку змінюється. Робоча рідина надходить у протилежну порожнину гідроциліндра, а знаряддя опускається до заданого рівня. Якщо система працює в автоматичному режимі, електронний блок контролює швидкість опускання та коригує подачу рідини, щоб уникнути різких переміщень.

У режимі утримання розподільник перекриває канали гідроциліндра, завдяки чому начіпне обладнання залишається в заданому положенні. У плаваючому режимі порожнини циліндра сполучаються між собою або зі

зливною лінією, що дає змогу знаряддю вільно переміщуватися відповідно до рельєфу поля.

Особливістю модернізованої системи є те, що подача насоса не є сталою. Вона змінюється залежно від потреби гідроприводу. Якщо навантаження зростає, насос збільшує подачу й підтримує необхідний тиск. Якщо виконавчі механізми не потребують значного потоку, подача зменшується. Це дозволяє знизити втрати потужності, зменшити перегрівання оливи та покращити паливну економічність трактора.

2.6 Вибір основних елементів модернізованого гідроприводу

2.6.1 Вибір регульованого гідронасоса

Для модернізованої системи обрано аксіально-поршневий регульований насос «НАПОР-63Р». Його застосування обґрунтоване потребою в зміні подачі робочої рідини залежно від навантаження та режиму роботи гідросистеми. На відміну від шестеренного насоса, аксіально-поршнева конструкція має вищу енергоефективність, ширший діапазон регулювання та кращу придатність до роботи в системах із підвищеним тиском.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики насоса «НАПОР-63Р»

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Максимальний робочий об'єм	см ³	63
Мінімальний робочий об'єм	см ³	3
Номінальна подача	л/хв	94,5
Максимальний тиск	МПа	25,0
Максимальна частота обертання	хв ⁻¹	2400
Мінімальна частота обертання	хв ⁻¹	780
Номінальна частота обертання	хв ⁻¹	1500
Час зміни подачі, не більше	с	0,1
Максимальний кут нахилу шайби	град	17
Маса без робочої рідини	кг	21

Вибраний насос забезпечує достатню подачу для роботи силових гідроциліндрів системи навішування та має запас за тиском. Наявність регулювання робочого об'єму дає змогу адаптувати подачу до поточного навантаження, що є важливою умовою енергоощадної роботи трактора.

2.6.2 Вибір гідророзподільника

Для керування потоками робочої рідини в модернізованій системі доцільно застосувати гідророзподільник РПС-80 з електрогідравлічним керуванням. Його використання забезпечує можливість дистанційного та автоматизованого керування силовими гідроциліндрами.

Перевагами такого розподільника є:

- плавне переміщення золотника;
- можливість пропорційного керування витратою;
- сумісність з електронним блоком керування;
- зменшення фізичного навантаження на оператора;
- підвищення точності встановлення робочого органа;
- можливість реалізації автоматичного регулювання положення

начіпного механізму.

2.6.3 Датчики та електронний блок керування

Датчик положення призначений для визначення фактичного положення начіпного механізму. Його сигнал використовується для порівняння із заданим положенням, яке встановлює оператор. Датчик навантаження дає змогу оцінити силу, що діє на робоче знаряддя під час взаємодії з ґрунтом.

Електронний блок керування виконує функцію центрального елемента системи. Він приймає сигнали від датчиків, аналізує їх і формує керуючі імпульси для гідророзподільника. У результаті забезпечується автоматичне підтримання заданого режиму роботи, що підвищує якість виконання технологічних операцій.

2.7 Інженерний розрахунок гідроприводу

2.7.1 Вихідні дані для розрахунку

Для виконання розрахунку приймаємо, що гідропривід працює з начіпним знаряддям, яке створює опір під час взаємодії з ґрунтом. Розрахунок виконується з урахуванням глибини обробітку, ширини захвату одного робочого органа, кількості корпусів, швидкості переміщення штока гідроциліндра та коефіцієнтів запасу.

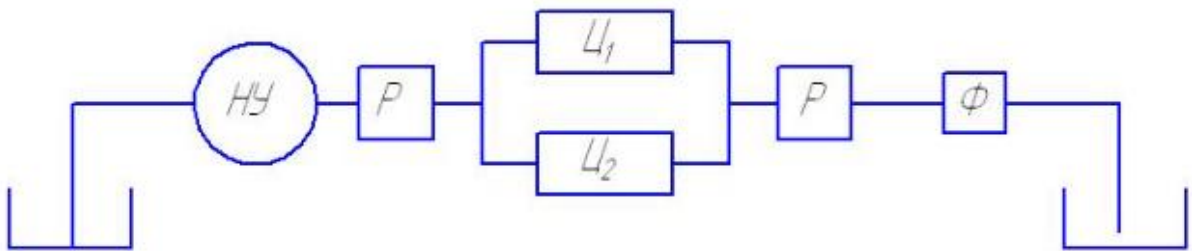


Рисунок 2.2 – Еквівалентна схема гідроприводу системи навішування

На еквівалентній схемі насосна установка подає робочу рідину до розподільника. Далі потік надходить до гідроциліндрів, які з'єднані паралельно. Після виконання роботи рідина через зливну магістраль і фільтр повертається до бака. З погляду гідравлічного розрахунку така система може розглядатися як послідовність гідравлічних опорів: насос, напірний трубопровід, розподільник, гідроциліндр, зливний трубопровід і фільтр.

2.7.2 Визначення зусилля опору ґрунту

Зусилля, яке виникає під час взаємодії одного робочого органа із ґрунтом, визначається за формулою:

$$F_1 = q \cdot a \cdot b \quad (2.1)$$

де F_1 – зусилля опору одного робочого органа, Н;

q – питомий опір ґрунту, Н/см²;

a – глибина обробітку, см;

b – ширина захвату одного робочого органа, см.

За умови питомого опору ґрунту $q = 4 \text{ Н/см}^2$, глибини обробітку $a = 25$ см і ширини захвату $b = 35$ см:

$$F_1 = 4 \cdot 25 \cdot 35 = 3500 \text{ Н}$$

Загальне тягове зусилля для шести робочих органів становитиме:

$$\Sigma F = F_1 \cdot n \quad (2.2)$$

де n – кількість робочих органів.

$$\Sigma F = 3500 \cdot 6 = 21000 \text{ Н}$$

Отже, сумарний опір робочих органів становить 21 кН.

2.7.3 Визначення навантаження на гідроциліндр

Навантаження на гідроциліндр піднімання залежить від маси начіпного знаряддя, схеми його приєднання, плечей важільного механізму та коефіцієнта корисної дії гідроциліндра. У загальному вигляді навантаження можна визначити за формулою:

$$P_1 = G \cdot l_1 l_2 \cdot \eta_c \quad (2.3)$$

де P_1 – розрахункове навантаження на гідроциліндр, Н;

G – вага знаряддя або приведенне навантаження на шток, Н;

l_1, l_2 – плечі важільної системи, м;

η_c – коефіцієнт корисної дії гідроциліндра.

Для подальших розрахунків коефіцієнт корисної дії гідроциліндра приймаємо: $\eta_c = 0,97$.

З урахуванням коефіцієнта запасу за зусиллям розрахункове навантаження визначається так:

$$P_p = K_F \cdot P_1 \quad (2.4)$$

де K_F – коефіцієнт запасу за зусиллям, який приймається в межах 1,15 ... 1,251.

Для розрахунку приймаємо: $K_F = 1,2$.

2.7.4 Визначення швидкості переміщення штока

Швидкість переміщення штока гідроциліндра визначає продуктивність роботи механізму навішування та час переведення знаряддя з робочого положення в транспортне. Розрахункова швидкість визначається з урахуванням коефіцієнта запасу:

$$v_p = K_v \cdot v \quad (2.5)$$

де v_p – розрахункова швидкість переміщення штока, м/с;

v – задана швидкість піднімання, м/с;

K_v – коефіцієнт запасу за швидкістю.

Коефіцієнт запасу за швидкістю приймається в межах: $K_v = 1,2 \dots 1,4$.

Для подальших розрахунків можна прийняти: $K_v = 1,3$.

2.7.5 Розрахункова потужність гідроприводу

Потужність гідроприводу визначається добутком розрахункового зусилля на розрахункову швидкість переміщення штока:

$$N_p = P_p \cdot v_p \quad (2.6)$$

де N_p – розрахункова потужність гідроприводу, Вт;

P_p – розрахункове навантаження на гідроциліндр, Н;

v_p – розрахункова швидкість переміщення штока, м/с.

Робочий тиск у системі приймаємо: $p = 16$ МПа.

Максимальний тиск має враховувати короточасні перевантаження, тому його можна визначити за формулою:

$$p_{max} = K_p \cdot p \quad (2.7)$$

де K_p – коефіцієнт запасу за тиском.

Якщо прийняти $K_p = 1,25$ то: $p_{max} = 1,25 \cdot 16 = 20$ МПа.

Отже, вибраний насос із максимальним тиском 25 МПа має достатній запас працездатності для модернізованої гідросистеми.

2.7.6 Визначення подачі насосної установки

Подача насосної установки визначається за залежністю:

$$Q = N_p \cdot p \quad (2.8)$$

де Q – подача насосної установки, м³/с;

N_p – розрахункова потужність гідроприводу, Вт;

p – номінальний тиск робочої рідини, Па.

Якщо у системі використовується один насос, подача одного насоса дорівнює:

$$Q_H = Q \cdot i \quad (2.9)$$

де Q_H – подача одного насоса, м³/с;

i – кількість насосів.

Для даної конструкції приймаємо: $i = 1$.

Тому:

$$Q_H = Q \quad (2.10)$$

Оскільки номінальна подача насоса «НАПОР-63Р» становить 94,5 л/хв, він забезпечує необхідний запас продуктивності для роботи системи навішування трактора.

2.8 Гідрравлічний розрахунок трубопроводів

Діаметри трубопроводів визначаються залежно від подачі робочої рідини та допустимої швидкості її руху в магістралях. Для різних ділянок гідросистеми швидкість рідини приймається різною, оскільки умови роботи всмоктувальної, напірної та зливної ліній відрізняються.

Для розрахунку приймаємо такі орієнтовні швидкості:

- для всмоктувальної магістралі: $v_{вс} = 0,8 \dots 1,2$ м/с;
- для напірної магістралі: $v_{н} = 4 \dots 6$ м/с;
- для зливної магістралі: $v_{зл} = 1,5 \dots 2,5$ м/с.

Внутрішній діаметр трубопроводу визначається за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (2.11)$$

де d – внутрішній діаметр трубопроводу, м;

Q – подача робочої рідини, м³/с;

v – допустима швидкість руху рідини, м/с.

За результатами розрахунку приймаються такі діаметри трубопроводів:

$$d_{вс} = 50 \text{ мм}, d_{н} = 20 \text{ мм}, d_{зл} = 32 \text{ мм}.$$

Після вибору стандартних діаметрів необхідно перевірити фактичну швидкість руху рідини в кожній магістралі:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (2.12)$$

Для всмоктувальної магістралі:

$$v_{\text{вс.д}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{вс}}^2} \quad (2.13)$$

Для напірної магістралі:

$$v_{\text{н.д}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{н}}^2} \quad (2.14)$$

Для зливної магістралі:

$$v_{\text{зл.д}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{зл}}^2} \quad (2.15)$$

Отримані значення фактичних швидкостей повинні відповідати допустимим межах. Якщо швидкість у напірній магістралі буде надмірною, це може спричинити збільшення втрат тиску, шум, нагрівання оливи та зменшення ресурсу ущільнень. Якщо швидкість у всмоктувальній магістралі буде зовеликою, можливе виникнення кавітації, що негативно вплине на роботу насоса.

2.9 Перевірка режиму руху робочої рідини

Для оцінки характеру руху робочої рідини в трубопроводах визначають число Рейнольдса:

$$R_e = v \cdot d_v \quad (2.16)$$

де R_e – число Рейнольдса;

v – фактична швидкість руху рідини, м/с;

d – внутрішній діаметр трубопроводу, м;

ν – кінематична в'язкість робочої рідини, м²/с.

Для гідросистеми приймається робоча рідина з в'язкістю, що відповідає умовам роботи за тиску 10–20 МПа. У такому діапазоні доцільно застосовувати оливу з кінематичною в'язкістю: $\nu = 40 \dots 60 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Робоча температура гідроприводу повинна перебувати в межах: $t = 40 \dots 60^\circ\text{C}$.

Якщо число Рейнольдса не перевищує критичного значення, рух рідини є ламінарним або перехідним. За більших значень виникає турбулентний режим, що супроводжується збільшенням гідравлічних втрат. Тому під час вибору діаметрів трубопроводів необхідно забезпечити такі швидкості руху робочої рідини, за яких втрати тиску залишатимуться в допустимих межах.

2.10 Конструктивні переваги запропонованого рішення

Запропонована модернізація гідроприводу трактора ХТЗ-17221 має низку конструктивних та експлуатаційних переваг. Насамперед застосування регульованого аксіально-поршневого насоса дозволяє зменшити втрати потужності, оскільки насос подає лише ту кількість робочої рідини, яка потрібна для виконання конкретної операції. Це особливо важливо під час тривалої роботи в полі, коли зменшення втрат енергії безпосередньо впливає на витрату палива.

Використання гідророзподільника з електрогідравлічним керуванням підвищує точність і плавність роботи начіпного механізму. Оператор отримує можливість керувати положенням знаряддя без різких переміщень, а електронний блок може автоматично коригувати роботу системи за сигналами датчиків.

Датчик навантаження забезпечує контроль сили взаємодії знаряддя з ґрунтом. Це дає змогу уникати перевантаження трактора, зменшувати буксування та підтримувати стабільний режим роботи. Датчик положення, своєю чергою, забезпечує зворотний зв'язок за переміщенням начіпного механізму, що є необхідною умовою для автоматизованого керування.

До основних переваг модернізованої системи можна віднести:

- підвищення точності керування положенням начіпного обладнання;
- зменшення енергетичних втрат у гідроприводі;
- зниження температурного навантаження на робочу рідину;
- покращення умов роботи оператора;
- підвищення надійності агрегування з сучасними машинами;

- можливість роботи з плугами без опорного колеса;
- збільшення продуктивності машинно-тракторного агрегату;
- зниження питомої витрати палива.

2.11 Технічне обслуговування модернізованої гідросистеми

Надійність роботи модернізованого гідроприводу значною мірою залежить від якості технічного обслуговування. Під час експлуатації необхідно регулярно перевіряти рівень робочої рідини в баку, герметичність з'єднань, стан фільтра, чистоту трубопроводів, відсутність пошкоджень гнучких рукавів та правильність роботи датчиків.

Особливу увагу слід приділяти чистоті робочої рідини. Забруднення оливи призводить до прискореного зношування золотників, клапанів, плунжерних пар, ущільнень і робочих поверхонь насоса. Тому фільтрувальні елементи необхідно замінювати відповідно до регламенту, а під час під'єднання зовнішніх гідрофікованих машин слід не допускати потрапляння бруду в гідролінії.

Гнучкі рукави потрібно встановлювати без перекручування та надмірного натягу. Вони не повинні торкатися рухомих деталей, гострих кромek або нагрітих поверхонь. У місцях можливого механічного контакту доцільно застосовувати захисні кожухи або додаткові кронштейни.

Перед початком роботи необхідно перевірити справність електронного блока, датчиків і панелі керування. У разі появи нестабільної роботи начіпного механізму потрібно перевірити електричні з'єднання, наявність сигналу від датчиків, стан розподільника та тиск у напірній магістралі.

Якщо трактор тривалий час працює без використання гідросистеми, насос доцільно переводити в режим мінімальної подачі або вимикати відповідно до вимог інструкції з експлуатації. Це зменшує зношування елементів приводу та запобігає зайвому нагріванню робочої рідини.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні положення з охорони праці під час модернізації та експлуатації гідравлічної системи трактора

Охорона праці під час модернізації та експлуатації гідравлічної системи трактора має важливе значення, оскільки роботи пов'язані з дією підвищеного тиску, рухомими частинами машин, нагріванням робочої рідини, використанням інструменту, можливістю витoku оливи та ризиком травмування працівників. Гідравлічна система трактора належить до технічних систем, у яких енергія передається за допомогою рідини під тиском. Тому навіть незначне порушення правил експлуатації може призвести до пошкодження обладнання або травмування персоналу.

Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві в Україні затверджені наказом Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240 і зареєстровані в Міністерстві юстиції 21.09.2018 за № 1090/32542; документ діє як НПАОП 01.0-1.02-18 [12]. Під час проєктування, модернізації та експлуатації гідравлічної системи також доцільно враховувати вимоги ДСТУ EN ISO 4413:2018, який є ідентичним EN ISO 4413:2010 та ISO 4413:2010 щодо загальних правил і вимог безпеки для гідравлічних систем та їхніх компонентів [5].

Метою заходів з охорони праці є створення безпечних умов роботи тракториста, слюсаря-ремонтника та інших працівників, які виконують монтаж, обслуговування, діагностування або ремонт гідравлічної системи. Для цього необхідно передбачити організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні та протипожежні заходи.

До робіт із модернізації гідравлічної системи допускаються працівники, які пройшли відповідне навчання, інструктаж з охорони праці, ознайомлені з будовою гідравлічної системи, знають порядок безпечного скидання тиску та правила роботи з рукавами високого тиску, насосами, фільтрами, клапанами і гідроциліндрами.

3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час модернізації та експлуатації гідравлічної системи трактора можуть виникати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. високий тиск робочої рідини в магістралях;
2. можливість розриву рукава високого тиску;
3. витікання гідравлічної оливи через пошкоджені ущільнення або з'єднання;
4. нагрівання робочої рідини та деталей системи;
5. ризик травмування рухомими частинами трактора;
6. небезпека защемлення під час роботи навісного механізму;
7. підвищений рівень шуму та вібрації;
8. забруднення робочої зони оливою;
9. пожежна небезпека при контакті гарячої оливи з джерелами займання;
10. можливість помилкового вмикання системи під час ремонту.

Особливо небезпечним є пошкодження рукава високого тиску. Струмінь гідравлічної рідини під високим тиском може проникати під шкіру та спричиняти важкі травми. ISO 4413 прямо розглядає суттєві небезпеки, пов'язані з гідравлічними системами машин, а OSHA звертає увагу на небезпеки нагрітої нафтової гідравлічної рідини, зокрема її пожежну небезпеку при наявності джерел займання [5, 13].

Небезпека також виникає під час демонтажу елементів системи без попереднього скидання тиску. Навіть після зупинки двигуна в окремих ділянках гідросистеми може залишатися залишковий тиск. Якщо працівник роз'єднує трубопровід або рукав без перевірки тиску, можливе раптове викидання рідини, переміщення виконавчого механізму або падіння навісного обладнання.

Під час роботи з гідравлічною системою слід також враховувати екологічний фактор. Витікання оливи забруднює ґрунт, робочу зону, підлогу ремонтної майстерні та створює небезпеку ковзання. Забруднена гідравлічна рідина повинна збиратися в окрему тару й утилізуватися відповідно до встановлених вимог.

3.3 Вимоги безпеки перед початком робіт

Перед початком робіт з обслуговування або модернізації гідравлічної системи необхідно встановити трактор на рівний майданчик, загальмувати його стоянковим гальмом, вимкнути двигун, опустити навісне обладнання на опору або на землю, вимкнути привід гідросистеми та переконатися у відсутності залишкового тиску в магістралях.

Перед розбиранням гідравлічної системи слід кілька разів перевести важелі керування розподільником у різні положення при вимкненому двигуні. Це дозволяє частково зняти залишковий тиск у системі. Після цього необхідно обережно послабити з'єднання, використовуючи захисні окуляри та рукавиці.

Перед початком роботи працівник повинен перевірити:

- справність інструменту;
- наявність засобів індивідуального захисту;
- відсутність відкритих джерел вогню поблизу місця роботи;
- надійність фіксації трактора;
- стан рукавів високого тиску;
- відсутність пошкоджень на з'єднаннях;
- наявність тари для зливання робочої рідини;
- справність освітлення робочої зони.

Засобами індивідуального захисту під час таких робіт є захисні окуляри, рукавиці, спецодяг, захисне взуття, а за потреби — щиток для обличчя. Забороняється перевіряти витік гідравлічної рідини рукою. Для цього слід використовувати картон, папір або спеціальні індикаторні засоби.

3.4 Вимоги безпеки під час виконання робіт

Під час демонтажу, монтажу або заміни елементів гідравлічної системи слід дотримуватися послідовності операцій, передбаченої технологічною картою. Забороняється застосовувати несправний інструмент, подовжувачі ключів, випадкові пристосування або виконувати роботи при працюючому двигуні, якщо це не передбачено методикою діагностування.

Рукави високого тиску повинні встановлюватися без перекручування, надмірного згинання та контакту з гострими кромками. Радіус вигину рукава має відповідати вимогам виробника. У місцях можливого тертя рукавів об металеві частини трактора необхідно встановлювати захисні кожухи або додаткові кріплення.

Під час заміни насоса, розподільника або фільтра необхідно запобігати потраплянню забруднень у відкриті канали системи. Для цього отвори слід закривати чистими заглушками. Забруднення гідросистеми може призвести до заклинювання золотників, пошкодження насоса та аварійної відмови системи.

Після складання системи необхідно виконати пробний пуск на малих обертах двигуна. Спочатку перевіряють герметичність з'єднань, відсутність сторонніх шумів, плавність роботи гідроциліндрів і температуру робочої рідини. Підтягування з'єднань під тиском не допускається. Якщо виявлено витікання, двигун слід зупинити, скинути тиск і лише після цього усунути несправність.

Під час роботи трактора з модернізованою гідравлічною системою тракторист повинен стежити за показниками тиску, температури та сигналами системи діагностування. У разі появи аварійного сигналу, різкого шуму насоса, ривків виконавчих механізмів, перегрівання оливи або падіння тиску роботу слід припинити та встановити причину несправності.

3.5 Безпека під час роботи з навісним обладнанням

Гідравлічна система трактора тісно пов'язана з роботою навісного та причіпного обладнання. Найбільшу небезпеку становить раптове опускання знаряддя або переміщення гідроциліндра під дією залишкового тиску. Тому перед виконанням ремонтних робіт навісне обладнання повинно бути опущене на землю або надійно зафіксоване механічними упорами.

Забороняється перебувати під піднятим навісним обладнанням без механічної фіксації. Гідравлічна система не може вважатися єдиним засобом утримання вантажу, оскільки у разі пошкодження рукава, клапана або ущільнення можливе неконтрольоване опускання знаряддя.

Під час агрегатування трактора з машинами необхідно перевірити відповідність швидкокорознімних муфт, чистоту з'єднань, стан ущільнювальних кілець і правильність підключення магістралей. Неправильне підключення може призвести до протилежного напрямку руху виконавчих органів або до перевантаження системи.

3.6 Пожежна безпека

Гідравлічна олива є горючою речовиною, особливо за умов нагрівання та розпилення під тиском. OSHA зазначає, що нагріта гідравлічна рідина на нафтовій основі становить пожежну небезпеку, зокрема в умовах наявності джерел займання [13]. Тому під час ремонту й експлуатації гідросистеми необхідно не допускати витікання оливи на гарячі поверхні двигуна, випускного колектора або електрообладнання.

У ремонтній зоні мають бути справні первинні засоби пожежогасіння. Забороняється палити, користуватися відкритим вогнем або виконувати зварювальні роботи поблизу відкритих ємностей з оливою. Якщо зварювальні роботи виконуються на рамі або елементах трактора, гідравлічні рукави та ємності з рідиною повинні бути захищені від іскор і нагрівання.

Пролиту оливу необхідно негайно прибирати за допомогою піску, тирси або спеціальних сорбентів. Забруднені матеріали слід збирати в окрему металеву тару з кришкою.

3.7 Заходи щодо поліпшення умов праці

Для поліпшення умов праці під час модернізації та експлуатації гідравлічної системи трактора доцільно передбачити такі заходи:

1. встановлення датчиків тиску й температури для своєчасного виявлення аварійних режимів;
2. використання рукавів високого тиску з маркуванням і запасом міцності;
3. застосування захисних кожухів на ділянках можливого пошкодження рукавів;
4. встановлення індикатора забруднення фільтра;
5. нанесення попереджувальних написів біля гідравлічних з'єднань;

6. використання механічних упорів для фіксації піднятого обладнання;
7. організація робочого місця з достатнім освітленням;
8. застосування піддонів і тари для збирання оливи;
9. проведення періодичного інструктажу працівників;
10. введення журналу контролю технічного стану гідросистеми.

Важливим елементом безпеки є проведення оцінювання ризиків. ISO 12100:2010 встановлює базову термінологію, принципи та методологію досягнення безпеки машин, включаючи принципи оцінювання та зниження ризику [14]. Для модернізованої гідросистеми оцінювання ризиків повинно охоплювати всі стадії життєвого циклу: монтаж, випробування, експлуатацію, технічне обслуговування, ремонт і утилізацію.

4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Мета техніко-економічного обґрунтування

Метою техніко-економічного розділу є визначення доцільності модернізації гідравлічної системи трактора ХТЗ-17221 шляхом встановлення аксіально-поршневого регульованого гідронасоса «НАПОР-63Р», гідророзподільника РПС-80 з електрогідравлічним керуванням, датчика положення, датчика навантаження, електронного блока та панелі керування.

Запропоноване технічне рішення спрямоване на підвищення ефективності роботи машинно-тракторного агрегату під час виконання ґрунтообробних операцій. Основний економічний результат досягається за рахунок зменшення непродуктивних втрат потужності в гідросистемі, скорочення витрати палива, підвищення продуктивності агрегату та зменшення часу виконання польових робіт.

Базова гідравлічна система трактора ХТЗ-17221 не повною мірою відповідає сучасним вимогам до роботи з начіпними машинами, особливо з плугами без опорного колеса. У наданих даних зазначено, що модернізована схема з насосом «НАПОР-63Р», гідророзподільником РПС-80, датчиками та електронним блоком дає змогу виконувати агротехнічні вимоги, які ставляться до сучасних тракторів

4.2 Вихідні дані для розрахунку

Для виконання економічного розрахунку приймаємо такі вихідні дані.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Річний обсяг виконання робіт	W_p	га	900
Продуктивність агрегату до модернізації	P_1	га/год	1,45
Продуктивність агрегату після модернізації	P_2	га/год	1,60
Витрата палива до модернізації	q_1	л/га	19,5

Витрата палива після модернізації	q_2	л/га	18,1
Ціна дизельного палива	C_p	грн/л	55
Годинна тарифна ставка механізатора	C_r	грн/год	95
Річні витрати на ремонт базової системи	C_{p1}	грн	70000
Зниження ремонтних витрат після модернізації		%	8
Вартість модернізації	K	грн	153600

Прийняті показники продуктивності та витрати палива є розрахунковими. Вони враховують те, що модернізована гідросистема забезпечує точніше керування напіпним обладнанням, зменшує буксування, скорочує втрати часу на регулювання та знижує навантаження на двигун.

4.3 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення включають витрати на придбання основних вузлів модернізованої гідросистеми, допоміжних елементів, монтажних матеріалів, а також витрати на встановлення та налагодження обладнання.

Таблиця 4.2 – Орієнтовна вартість елементів модернізації гідросистеми

Найменування елемента	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
Аксіально-поршневий регульований насос «НАПОР-63Р»	1	58000	58000
Гідророзподільник РПС-80 з електрогідравлічним керуванням	1	26000	26000
Електронний блок керування	1	14000	14000

Панель керування оператора	1	7000	7000
Датчик положення	1	4000	4000
Датчик навантаження	1	4000	4000
Фільтр робочої рідини	1	2500	2500
Гідравлічні рукави, трубопроводи, штуцери	комплект	8500	8500
Кронштейни, перехідні елементи, монтажні матеріали	комплект	4000	4000
Разом вартість обладнання			128000

Витрати на монтаж, налагодження та транспортно-заготівельні операції визначаємо у відсотках від вартості обладнання.

Витрати на монтаж:

$$C_m = C_{обл} \cdot 0,15 \quad (4.1)$$

$$C_m = 128000 \cdot 0,15 = 19200 \text{ грн}$$

Транспортно-заготівельні витрати:

$$C_{тз} = C_{обл} \cdot 0,05 \quad (4.2)$$

$$C_{тз} = 128000 \cdot 0,05 = 6400 \text{ грн}$$

Загальна сума капітальних вкладень:

$$K = C_{обл} + C_m + C_{тз} \quad (4.3)$$

$$K = 128000 + 19200 + 6400 = 153600 \text{ грн}$$

Отже, загальні капітальні вкладення на модернізацію гідросистеми трактора ХТЗ-17221 становлять 153600 грн.

4.4 Розрахунок річного фонду часу роботи агрегату

Тривалість виконання річного обсягу робіт до модернізації визначається за формулою:

$$T_1 = \frac{W_p}{\Pi_1} \quad (4.4)$$

де T_1 – тривалість роботи агрегату до модернізації, год;

W_p – річний обсяг робіт, га;

P_1 – продуктивність агрегату до модернізації, га/год.

$$T_1 = 900/1,45 = 620,7 \text{ год}$$

Тривалість виконання того самого обсягу робіт після модернізації:

$$T_2 = \frac{Wp}{P_2} \quad (4.5)$$

$$T_2 = 900/1,60 = 562,5 \text{ год}$$

Економія робочого часу:

$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (4.6)$$

$$\Delta T = 620,7 - 562,5 = 58,2 \text{ год}$$

Отже, завдяки підвищенню продуктивності агрегату річна економія робочого часу становить 58,2 год.

4.5 Розрахунок економії витрат на оплату праці

Економія витрат на оплату праці механізатора визначається за формулою:

$$E_{\text{оп}} = \Delta T \cdot C_r \quad (4.7)$$

де $E_{\text{оп}}$ – економія витрат на оплату праці, грн;

ΔT – економія робочого часу, год;

C_r – годинна тарифна ставка механізатора, грн/год.

$$E_{\text{оп}} = 58,2 \cdot 95 = 5529 \text{ грн.}$$

Отже, річна економія витрат на оплату праці становить 5529 грн.

4.6 Розрахунок економії палива

Річна витрата палива до модернізації:

$$Q_1 = W_p \cdot q_1 \quad (4.8)$$

де Q_1 – річна витрата палива до модернізації, л;

q_1 – витрата палива до модернізації, л/га.

$$Q_1 = 900 \cdot 19,5 = 17550 \text{ л}$$

Річна витрата палива після модернізації:

$$Q_2 = W_p \cdot q_2 \quad (4.9)$$

$$Q_2 = 900 \cdot 18,1 = 16290 \text{ л.}$$

Річна економія палива:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (4.10)$$

$$\Delta Q = 17550 - 16290 = 1260 \text{ л}$$

Грошова економія від зменшення витрати палива:

$$E_{\Pi} = \Delta Q \cdot \Pi_{\Pi} \quad (4.11)$$

$$E_{\Pi} = 1260 \cdot 55 = 69300 \text{ грн}$$

Отже, річна економія палива становить 1260 л, або 69300 грн.

4.7 Розрахунок економії на технічному обслуговуванні та ремонті

Завдяки встановленню регульованого насоса та електрогідравлічного розподільника зменшується кількість режимів роботи з надлишковим тиском, знижується перегрівання робочої рідини та зменшується навантаження на елементи гідросистеми. Це сприяє зниженню витрат на технічне обслуговування і ремонт.

Економія витрат на ремонт визначається за формулою:

$$E_{\text{рем}} = C_{\text{р1}} \cdot \frac{k_{\text{рем}}}{100} \quad (4.12)$$

де $E_{\text{рем}}$ – економія ремонтних витрат, грн;

$C_{\text{р1}}$ – річні витрати на ремонт базової гідросистеми, грн;

$k_{\text{рем}}$ – відсоток зниження ремонтних витрат, %.

$$E_{\text{рем}} = 70000 \cdot 8100 = 5600 \text{ грн}$$

Отже, річна економія на ремонті та технічному обслуговуванні становить 5600 грн.

4.8 Загальна річна економія

Загальна річна економія визначається як сума економії палива, оплати праці та ремонтних витрат:

$$E_{\text{заг}} = E_{\Pi} + E_{\text{оп}} + E_{\text{рем}} \quad (4.13)$$

$$E_{\text{заг}} = 69300 + 5529 + 5600 = 80429 \text{ грн}$$

Отже, загальна річна економія від модернізації становить 80429 грн.

4.9 Розрахунок додаткових експлуатаційних витрат

Після модернізації виникають додаткові експлуатаційні витрати, пов'язані з амортизацією нового обладнання та його обслуговуванням.

Річні амортизаційні відрахування визначаємо за формулою:

$$A = K \cdot \frac{H_a}{100} \quad (4.14)$$

де A – річні амортизаційні відрахування, грн;

K – капітальні вкладення, грн;

H_a – норма амортизації, %.

Приймаємо норму амортизації: $H_a = 15\%$.

$$A = 153600 \cdot 0,15 = 23040 \text{ грн}$$

Витрати на поточне обслуговування модернізованої системи приймаємо на рівні 5 % від капітальних вкладень:

$$C_{\text{то}} = K \cdot \frac{5}{100} \quad (4.15)$$

$$C_{\text{то}} = 153600 \cdot 0,05 = 7680 \text{ грн}$$

Загальні додаткові експлуатаційні витрати:

$$C_{\text{дод}} = A + C_{\text{то}} \quad (4.16)$$

$$C_{\text{дод}} = 23040 + 7680 = 30720 \text{ грн}$$

4.10 Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект визначається як різниця між загальною річною економією та додатковими експлуатаційними витратами:

$$E_p = E_{\text{заг}} - C_{\text{дод}} \quad (4.17)$$

$$E_p = 80429 - 30720 = 49709 \text{ грн}$$

Отже, чистий річний економічний ефект від модернізації гідросистеми становить 49709 грн.

4.11 Розрахунок строку окупності

Строк окупності капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_p} \quad (4.18)$$

де $T_{\text{ок}}$ – строк окупності, років;

K – капітальні вкладення, грн;

E_p – річний економічний ефект, грн.

$$T_{\text{ок}} = 153600 / 49709 = 3,09 \text{ року}$$

Отже, строк окупності запропонованої модернізації становить приблизно 3,1 року.

4.12 Розрахунок коефіцієнта економічної ефективності

Коефіцієнт економічної ефективності визначається за формулою:

$$E_k = \frac{E_p}{K} \quad (4.19)$$

$$E_k = \frac{49709}{153600} = 0,324$$

У відсотках: $E_k = 0,324 \cdot 100 = 32,4\%$.

Отже, коефіцієнт економічної ефективності модернізації становить 32,4 %.

Таблиця 4.3 – Основні результати техніко-економічного обґрунтування

Показник	Одиниця виміру	Значення
Загальні капітальні вкладення	грн	153600
Річний обсяг робіт	га	900
Продуктивність до модернізації	га/год	1,45
Продуктивність після модернізації	га/год	1,60
Економія робочого часу	год	58,2
Річна економія палива	л	1260
Економія коштів на паливі	грн	69300
Економія оплати праці	грн	5529
Економія ремонтних витрат	грн	5600
Загальна річна економія	грн	80429
Додаткові експлуатаційні витрати	грн	30720
Річний економічний ефект	грн	49709
Строк окупності	років	3,09

Коефіцієнт економічної ефективності	%	32,4
--	---	------

ВИСНОВОК

У дипломному проєкті розглянуто питання поліпшення техніко-експлуатаційних показників трактора шляхом модернізації його гідравлічної системи. У процесі виконання роботи встановлено, що гідравлічна система є одним із ключових вузлів трактора, який безпосередньо впливає на продуктивність машинно-тракторного агрегату, якість виконання технологічних операцій, паливну економічність, зручність керування та надійність роботи начіпного обладнання.

У результаті аналізу базової гідравлічної системи трактора ХТЗ-17221 визначено, що її основним недоліком є використання насоса постійної подачі, який не забезпечує гнучкого регулювання витрати робочої рідини відповідно до фактичного навантаження. Це призводить до непродуктивних втрат потужності, підвищеного нагрівання оливи, збільшення витрати палива та зниження ефективності роботи трактора під час виконання польових операцій.

Для усунення виявлених недоліків у роботі запропоновано модернізувати гідропривід системи навішування шляхом встановлення регульованого аксіально-поршневого насоса «НАПОР-63Р», гідророзподільника РПС-80 з електрогідравлічним керуванням, датчика положення, датчика навантаження, електронного блока керування та панелі оператора. Запропонована схема дає змогу забезпечити адаптивну подачу робочої рідини, підвищити точність керування начіпним обладнанням, зменшити енергетичні втрати та покращити умови роботи тракториста.

Виконані інженерні розрахунки підтвердили можливість використання вибраних елементів у модернізованій системі. Обраний насос «НАПОР-63Р» має достатній запас за тиском і продуктивністю, що дозволяє забезпечити стабільну роботу гідроциліндрів системи навішування. Застосування електрогідравлічного розподільника РПС-80 створює умови для плавного та точного керування потоками робочої рідини, а використання датчиків і електронного блока керування дозволяє автоматизувати процес регулювання положення начіпного обладнання.

У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникати під час модернізації, технічного обслуговування та експлуатації гідравлічної системи. Запропоновані заходи безпеки спрямовані на запобігання травмуванню працівників, попередження витоків робочої рідини, зниження ризику пожежі, безпечне виконання робіт із рукавами високого тиску та забезпечення надійної фіксації навісного обладнання під час ремонту.

Техніко-економічні розрахунки показали, що модернізація є економічно доцільною. Загальні капітальні вкладення становлять 153600 грн, річний економічний ефект — 49709 грн, строк окупності — близько 3,1 року, а коефіцієнт економічної ефективності — 32,4 %. Після модернізації очікується підвищення продуктивності агрегату з 1,45 до 1,60 га/год, економія робочого часу — 58,2 год, а загальна річна економія — 80429 грн.

Отже, запропонована модернізація гідравлічної системи трактора ХТЗ-17221 є технічно обґрунтованою та економічно ефективною. Її впровадження дозволяє підвищити продуктивність машинно-тракторного агрегату, зменшити витрату палива, покращити точність керування начіпним обладнанням, знизити навантаження на елементи гідросистеми, підвищити надійність роботи трактора та забезпечити його відповідність сучасним вимогам сільськогосподарського виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: у 3 кн. /А.Ф. Головчук, В.Ф. Орлов, О.П. Строков; за ред. А.Ф. Головчука. – К.: Грамота, 2003 – Кн. 1: Трактори. – 336 с.: іл. – Бібліогр. : с. 332.
2. О.М. Погорілець, М.С. Водянський, В.Д. Войтюк, С.І. Пастушенко Гідропривід сільськогосподарської техніки. –К.: Вища освіта, 2004. -368с.: іл.
3. В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. – Запоріжжя: Прем'єр. 2005. – 464 с.; іл.
4. Головчук А.Ф., Мельніченко В.І. Підручник тракториста-машиніста категорій А і В. – К.: Урожай, 1996, - 288.
5. Білоконь Я.Ю., Окоча А.І. Нова мобільна техніка. 1. Трактори. – Ніжин, 1999. – 263 с.
6. Войтюк Д., Аніскевич Л., Гаврилюк Г., Волянський Н. система точного землеробства – новий індустріальний крок у сільському господарстві// Сільгосптехніка Україна – 1998, №2. – С. 32...33.
7. Гуков Я.С. Грицишин М. І. Стан механізації сільськогосподарського виробництва України / Збірник наукових праць національного наукового університету «Механізації сільськогосподарського виробництва». Том XV Київ : НАУ, 2003.- С.64...69.
8. Надикто В. Т. та ін. Нові мобільні енергетичні засоби України : Теоретичні основи використання в землеробстві // В. Т. Надикто М. Л. Крижачківський, В. М. Кюрчев, С. Л. Обдула. – Мелітополь : «Видавничий будинок ММД», 2005. – 337 с.
9. Мельніченко В.І. Способи поліпшення екологічних, паливних та потужнісних показників трактора Т-150К в умовах рядової експлуатації. - Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. Наук. праць/ Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова НАН України. Дніпропетровськ, 2005. - Вип.60. - С.183-186.
10. Мельніченко В.І.. Вплив характеристик паливного насоса НД-22 на

показники трактора Т-150К // - Харків: ХНАДУ, 2005. – Вип. 16. - С. 242-244.

11. Охмат П.К., Мельниченко В.І., Яцук В.М. Показники роботи трактора Т-150К з серійним паливним насосом. Науково-теоретичний фаховий журнал "Вісник аграрної науки Причорномор'я" Миколаївського державного аграрного університету. Спеціальний випуск. 2(41). - 2007. -С. 119-124.

12. Довідник з експлуатації машинно-тракторного парку / Ільченко В.Ю., Карасьов П.І., Лімонт А.С. та ін. Київ.: Урожай, 1987. – 368 с.

13. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В.Ю. Ільченко, П.І. Карасьов, А.С. Лімонт та ін.; За ред. В.Ю. Ільченка, – К.: Урожай, 1993. – 288 с.

14. Ільченко В.Ю., Мельник В.П., Лімонт А.С. Машиновикористання в землеробстві: терміни та їх визначення. – ДДАУ, 1994. – 23 с.

15. Ільченко В.Ю. Проектування та інженерно-технічна служба з експлуатації машинно-тракторного парку: Навчальний посібник, Дніпропетровськ. ДДАУ, 1992. – 52 с.

16. Ільченко В.Ю., Кобець А.С., Кухаренко П.М., Мельник В.П., Колбасін В.О. Дипломне проектування сервісних підприємств технічного обслуговування: Навчальний посібник – Дніпропетровськ: Вид.-во ДДАУ, 2006.- 161с.

18. Ohmat P.K., Melnychenko V.I. Scientific report about performance of the agreement about creative commonwealth «Effective usage of MPG series fuel combustion catalysts for agricultural diesel engines» (intermediate).- Dnipropetrovs'k: DSAU, department «Tractors and Vehicles», 2010.- 5 p.

19. Охмат П.К. Основи теорії та розрахунку тракторів і автомобілів: Курс лекцій (навчальний посібник) / П.К. Охмат, В.І. Мельниченко.- Дніпропетровськ: ТОВ «ЕНЕМ», 2009.- 320 с.

20. Охмат П.К. Практикум з дисципліни «Трактори та автомобілі» / П.К. Охмат, В.О. Улексін, В.І. Мельниченко.- Дніпропетровськ: ТОВ «ЕНЕМ», 2011.- 156 с.

21. Охмат П.К. Основи теорії та розрахунку тракторів і автомобілів: Курс лекцій (навчальний посібник) / П.К. Охмат, В.І. Мельниченко.- Дніпропетровськ: ТОВ «ЕНЕМ», 2013.- 340 с.

22. Мельниченко В.І. Деякі загальні відомості про особливості виробництва, будови і роботи сучасних транспортних засобів ведучих фірм світу: Монографія.- Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016.- 186 с.

23. Кобець А.С. "Основи теорії робочих органів сільськогосподарських машин" Дніпропетровськ – 1999р

24. Погорілий Л. та ін. Перспективи конструкції ґрунтообробних машин: тенденції та еволюції". – К.: 1998р.

25. Погорілець О.М., Волянський М.С., "Гідропривід сільськогосподарської техніки" Київ "Вища освіта" 2004р. 368с.

26. Савченко І. "Вітчизняна механізація для високоефективного виробництва овочів". – К.: ІМЕСТ УААН. 2000р.