



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ
ТА ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

**«Оцінка шляхів підвищення надійності елементів силових
гідравлічних систем сільськогосподарської техніки у ТОВ
«Ремсинтез» м. Кропивницький»**

Виконав:

магістрант групи AI(ТС)-22М спеціальності 208
«Агроінженерія» ОПП «Технічний сервіс
сільськогосподарської техніки»

_____ Владислав САМІЛИК

Керівник:

к.т.н., доцент _____ Сергій МАГОПЕЦЬ

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

к.т.н., доцент _____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2023 р.

Рецензент:

_____, _____
(наук. ст., вч. звання) (підпис) (ім'я та прізвище)
«__» _____ 2023 р.

Кропивницький – 2023 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма: «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

САМІЛИКУ Владиславу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Оцінка шляхів підвищення надійності елементів силових гідравлічних систем сільськогосподарської техніки у ТОВ «Ремсинтез» м. Кропивницький»

керівник роботи МАГОПЕЦЬ Сергій Олександрович, к.т.н, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь) (вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 2023 року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи «30» грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: встановити шляхи підвищення надійності та ресурсу силових гідросистем сільськогосподарських машин в експлуатаційних умовах

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

4.1. Розділ 1. Провести аналіз виробничих потужностей підприємства та ефективності організації його виробничої діяльності. Встановити причини погіршення показників надійності гідроприводів с/г машин; обґрунтувати напрямки наукових досліджень; сформулювати мету, об'єкт та предмет досліджень, встановити основні завдання, які потребують подальшого вирішення в роботі.

4.2. Розділ 2. Дослідити основні показники надійності гідроприводу. Виконати аналіз факторів, що впливають на експлуатаційну надійність силових гідроприводів. Дослідити вплив забрудненості робочої гідравлічної рідини на ефективність роботи гідроагрегатів. Визначити допустимий рівень забрудненості робочої рідини гідроприводів.

4.3. Розділ 3. Запропонувати та розробити додаткові системи фільтрації робочих гідравлічних рідин. Навести методiku оцінки властивостей оливи в процесі фільтрації. Провести експериментальні дослідження з оцінки ефективності

очищення робочих гідравлічних рідин розробленими додатковими системами фільтрації.

4.4. Розділ 4. Навести основні правила та вимоги з експлуатації та технічного обслуговування гідроприводів с/г техніки. Описати заходи з модифікації гідросистем с/г машин та практичного використання результатів проведених досліджень.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

5.1. Особливості виробничої діяльності та SWOT-аналіз підприємства. 5.2. Обґрунтування актуальності наукових досліджень. Мета, об'єкт, предмет 5.3. Аналіз факторів, що впливають на експлуатаційну надійність силових гідроприводів. 5.4. Результати дослідження впливу забрудненості робочої гідравлічної рідини на ефективність роботи гідроагрегатів с/г техніки. 5.5. Вимоги до чистоти робочої рідини гідроприводів с/г техніки. 5.6. Схеми додаткових систем фільтрації робочих гідравлічних рідин для застосування в експлуатаційних умовах. 5.7. Результати оцінки ефективності очищення робочих гідравлічних рідин додатковими системами фільтрації. 5.8 Загальні висновки по роботі.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Обґрунтування напрямку наукових досліджень	28.11.2023	
2	Розділ 2. Аналіз існуючих методик оцінки динамічних властивостей автомобілів	11.12.2023	
3	Розділ 3. Результати оцінки зміни динамічних властивостей автомобілів	18.12.2023	
4	Розділ 4. Організація випробувань ТЗ та використання результатів дослідження	25.12.2023	
5	Загальні висновки по роботі	28.12.2023	
6	Оформлення структурних елементів МР	28.12.2023	
7	Ілюстративний матеріал до МР	30.12.2023	

Магістрант

_____ (підпис)

САМІЛИК В.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

МАГОПЕЦЬ С.О.

_____ (ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Метою дослідження виступало встановлення основних експлуатаційних факторів, які викликають зниження показників надійності основних елементів силових гідравлічних систем сільськогосподарської техніки та мінімізація їх негативної дії.

В першому розділі роботи «Обґрунтування напрямку наукових досліджень» проведена оцінка виробничого потенціалу підприємства та виконаний «SWOT-аналіз» ефективності організації його діяльності; визначене суттєве зниження показників надійності силових гідроциліндрів, якими комплектуються с/г машини вироблені підприємством; обґрунтована актуальність наукових досліджень роботи; визначено мету, об'єкт та предмет досліджень; сформовані основні завдання, які потребують розв'язання у роботі.

Так *об'єктом дослідження* є показники надійності елементів силових гідравлічних систем сільськогосподарської техніки, *а предметом* - виступають напрямки підвищення показників надійності елементів силових гідравлічних систем в експлуатаційних умовах.

Основними завданнями кваліфікаційної роботи є:

- проведення детальної порівняльної оцінки показників надійності основних структурних елементів гідросистем с/г машин;
- встановлення основних експлуатаційних факторів, що визначають рівень надійності гідросистем с/г машин;
- розробка технічних рішень та практичних рекомендацій із підвищення рівня експлуатаційної надійності гідросистем с/г техніки.

В другому розділі «Формування напрямків підвищення експлуатаційної надійності силових гідроприводів» встановлені основні показники надійності гідроприводу с/г техніки; проведено аналіз факторів, що впливають на експлуатаційну надійність силових гідроприводів та досліджено вплив забрудненості робочої гідравлічної рідини на ефективність роботи гідроагрегатів с/г техніки.

В третьому розділі «проектування ефективних систем очищення робочих рідин гідроприводів с/г машин» запропоновані конструктивні схеми додаткових систем фільтрації робочих гідравлічних рідин для застосування в експлуатаційних умовах; описана методика оцінки властивостей оливи в процесі фільтрації та представлені результати оцінки ефективності очищення робочих гідравлічних рідин додатковими системами фільтрації.

В четвертому розділі «Організація робіт із до оснащення с/г машин та використання результатів дослідження» визначені основні правила експлуатації та технічного обслуговування гідроприводів с/г техніки й описані особливості модифікації гідросистем с/г машин.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 68 сторінок тексту, 28 рисунків та 12 таблиць.

ЗМІСТ

	стор.
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
1.1. Аналіз виробничих потужностей підприємства та ефективності організації його виробничої діяльності	7
1.2. Обґрунтування напрямків наукових досліджень кваліфікаційної роботи	11
1.3. Предмет та об'єкт дослідження. Мета та задачі дослідження	15
РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ СИЛОВИХ ГІДРОПРИВОДІВ	17
2.1. Визначення основних показників надійності гідроприводу с/г техніки	17
2.2. Аналіз факторів, що впливають на експлуатаційну надійність силових гідроприводів	19
2.3. Дослідження впливу забрудненості робочої гідравлічної рідини на ефективність роботи гідроагрегатів с/г техніки	23
2.4. Вимоги до чистоти робочої рідини гідроприводів с/г техніки	31
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ РОБОЧИХ РІДИН ГІДРОПРИВОДІВ С/Г МАШИН	37
3.1. Передумови доцільності та необхідності підвищення чистоти робочої рідини гідроприводу с/г техніки	37
3.2. Проектування додаткових систем фільтрації робочих гідравлічних рідин для застосування в експлуатаційних умовах ..	39
3.3. Методика оцінки властивостей оливи в процесі фільтрації	45
3.4. Результати оцінки ефективності очищення робочих гідравлічних рідин додатковими системами	48
РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ ІЗ ДО ОСНАЩЕННЯ С/Г МАШИН ТА ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	55
4.1. Правила експлуатації та технічного обслуговування гідроприводів с/г техніки	55
4.2. Особливості модифікації гідросистем с/г машин та практичне використання результатів проведених досліджень	60
ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
ДОДАТКИ	69

ВСТУП

Одним із вирішальних напрямків підвищення експлуатаційних та техніко-економічних характеристик сучасної сільськогосподарської техніки є широке застосування гідроприводів. Незалежне розташування агрегатів, можливість керування одночасно декількома знаряддями, висока потужність, мала вага конструкції, можливість уніфікації агрегатів та інші переваги роздільно-агрегатної гідросистеми, дозволили їй зайняти вирішальне місце у конструкції сільськогосподарських машин.

У світовій практиці сільськогосподарського виробництва гідропривід максимально широко використовується під час роботи та при керуванні машинами, знаряддями та механізмами під час обробки ґрунту, збиранні культур, при проведенні землеобробних, навантажувально-розвантажувальних та інших видів робіт. Останнім часом гідропривід застосовується також в системах керування (гідропідсилювачах рульового керування), трансмісіях (гідростатичні та гідромеханічні передачі) та інших системах й механізмах сучасних сільськогосподарських машин. Все це свідчить про те, що питання працездатності гідроагрегатів набувають особливого значення. Недостатня довговічність гідроагрегатів знижує ефективність використання гідроприводу в сільському господарстві. Крім того, багаторічною практикою експлуатації гідросистем тракторів та комбайнів, як вітчизняного так й закордонного виробництва, встановлено, що окремі агрегати гідросистеми характеризуються більш низькою експлуатаційною довговічністю у порівнянні з іншими вузлами, та й машиною в цілому. Це збільшує рівень простою техніки, викликає збільшення експлуатаційних витрат, знижує продуктивність та якість виконання сільськогосподарських робіт.

Проблема підвищення надійності та довговічності може вирішуватися різними способами, наприклад, підвищенням технічного рівня конструкції, підбором та застосуванням якісних матеріалів для пар тертя, новітніми технологіями виготовлення та ремонту гідроагрегатів. Однак все це в повній мірі не в змозі вирішити задачу ефективного використання гідросистеми в умовах

реальної експлуатації, пов'язаних із забрудненням навколишнього середовища твердими механічними частинками (домішками).

Аналіз літературних джерел показує, що на сьогодні вітчизняними та закордонними науковцями й дослідниками, детально проаналізовані питання теорії гідроприводу, проведенні ґрунтовні роботи із дослідження впливу окремих конструктивних елементів та конструктивних факторів на працездатність гідроагрегатів. Максимально такі дослідження проведені для гідросистем літаків, верстатів та автомобілів, які працюють в умовах відмінних від умов роботи гідросистем тракторів, комбайнів та іншої сільськогосподарської техніки. Враховуючи різноманіття умов роботи гідросистем, наприклад, тракторів, данні про працездатність та надійність їх агрегатів слід вважати обмеженими. Проблема підвищення довговічності та надійності гідроагрегатів в цілому далеко не вирішена й додаткові дослідження в цьому напрямку мають практичну й теоретичну актуальність.

Розділ 1.

ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз виробничих потужностей підприємства та ефективності організації його виробничої діяльності

Підприємство ТОВ «Ремсинтез» (м. Кропивницький) відноситься до машинобудівних підприємств із виробництва та реалізації сучасної сільськогосподарської техніки та знарядь із розміром статутного капіталу 2 млн. 855 тис. 571 грн. Зареєстровано підприємство 1 грудня 2000 р. за юридичною адресою: 25004, Україна, Кіровоградська область, м. Кропивницький, вулиця Перша виставкова, 27-Б. З моменту організації та по сей день, засновником, основним бенефіціаром та керівником підприємства є Олександр САМІЛИК.

Основним видом виробничої діяльності підприємства [1] є 28.30 «Виробництво машин і устаткування для сільського та лісового господарства». Разом з тим, його статутом передбачені й інші види діяльності, до яких відносяться:

- 46.21 «Оптова торгівля зерном, необробленим тютюном, насінням і кормами для тварин»;
- 46.61 «Оптова торгівля сільськогосподарськими машинами й устаткуванням»;
- 46.62 Оптова торгівля верстатами тощо.

На поточний момент компанія «Ремсинтез» налагодила власне виробництво сучасної сільськогосподарської техніки (сіялок, культиваторів, плугів й запчастин до них). Конкурентноздатність продукції підприємства забезпечується сучасним технологічним обладнанням; висококваліфікованим виробничим персоналом; власним конструкторським бюро, робота якого забезпечує постійну модернізацію та удосконалення агрегатів без підвищення їх вартості; мінімальний відсоток рентабельності, закладений в ціну виробів; внутрішній контроль якості продукції у відповідності до міжнародних сертифікатів ISO 9000/9001/9004/19011:2000; безкоштовне відвантаження та доставка продукції до споживачів в межах України тощо.

За час своєї діяльності підприємство багатократно визнавалося та нагороджувалося золотими медалями в номінації «Кращий вітчизняний виробник сільськогосподарської техніки» (2016-2020 рр.), що дозволило їй долучити до співпраці та партнерства відомі вітчизняні машинобудівні та агропромислові компанії, більшість з яких сьогодні є постійними клієнтами й друзями.

Головною концепцією підприємства є гасло: «Наша компанія – налагоджений механізм із закупки, продажу, поставки й організації будь-якої роботи із товаром, який вибирає наш клієнт; ми виконуємо нашу роботу якісно, швидко й зручно для Вас» [2].

Основні виробничі потужності підприємства, а саме - завод «Ремсинтез» (1000-5000 м²) на якому працюють від 50 до 100 осіб (в залежності від наявних обсягів виробництва), також розташовані у м. Кропивницькому (вул. Мурманська, буд. 43-Б). Номенклатура продукції підприємства охоплює широку лінійку сільськогосподарських агрегатів для всіх технологій обробітку ґрунту, а саме [1]:

- сівалки зернові модернізовані - СЗ-3,6 (рис. 1.1а); СЗ-4 mini-till (рис. 1.1б) та СЗ-5.4;
- сівалки зернові класичні - СЗ-3,6 Classic та СЗ-5,4 Classic;
- сівалки зернові прямого посіву - СІЧ-3,6 (рис. 1.2); СІЧ-4,2 та СІЧ-6,0;
- сівалки пропашні точного висіву - УПС-4 (рис. 1.3), УПС-6, УПС-8 та Церера-8 mini-till;
- сівалки пропашні прямого посіву - Атрія-6, Атрія-8, Атрія-8 АЛ та Атрія-8 LUX (рис. 1.4);
- котки подрібнювачі КПП-6 «Отаман»;
- борони БГП-14;
- плуги (ПШК) «Гетьман-5» (рис. 1.5);
- культиватори КРН 5,6 (КНП) з системою внесення добрив (рис. 1.6);
- запчастини до сівалок, плугів та інших с/г знарядь (рис. 1.7) тощо.



а)



б)

Рисунок 1.1 - Сівалки зернові модернізовані СЗ «Ремсінтез»:
а) модель СЗ-3,6; б) моделі СЗ (СРЗ) 5,4-02 mini-till з прикочуючими котками.



Рисунок 1.2 - Сівалка зернова прямого посіву СІЧ-4,2 No-till



Рисунок 1.3 - Сівалка точного висіву УПС-4 (СПУ-4) з Турецьким висівним апаратом



Рисунок 1.4 - Сівалка пунктирна універсальна «Атрія-8 LUX» (no-till, mini-till, традиційна технологія)



Рисунок 1.5 - Плуг (ПШК)
«Гетьман-5» (широкозахватний)



Рисунок 1.6 - Культиватор КРН 5,6 (КНП) з
системою внесення добрив



а)



б)

Рисунок 1.7 - Запчастини до сіялок, плугів та інших с/г знарядь

а) комплект переобладнання mini-till в зборі для СЗ-5,4;

б) транспортний пристрій сіялки СЗ-5,4.

Проведений SWOT-АНАЛІЗ (таблиця. 1.1) ефективності функціонування підприємства на проведений на основі порівняння його сильних й слабких сторін, потенційних можливостей у організації виробничої діяльності та загроз її провадженню, дозволяє передбачити на найближчі роки перспективу у реалізації виробничих можливостей.

Таблиця 1.1 - SWOT-АНАЛІЗ виробничої діяльності ТОВ «Ремсинтез» (м. Кропивницький)

Сильні сторони	Слабкі сторони
-1-	-2-
1. Повний виробничий цикл «проектування – виготовлення – реалізація продукції». 2. Сучасне технологічне обладнання. 3. Висококваліфікований персонал. 4. Власне конструкторське бюро.	1. Обмежені наявні виробничі потужності без можливості їх розширення. 2. Зміни обсягів виробленої продукції протягом року.

Продовження таблиці 1.1

-1-	-2-
5. Постійна модернізація та удосконалення продукції. 6. Нижча за конкурентів вартість продукції за рахунок мінімального відсотку рентабельності закладеного у кінцеву ціну. 7. Внутрішній контроль якості на рівні світових стандартів. 8. Безкоштовна доставка продукції. 9. Гарантія на всю вироблену продукцію. 10. Відкритість до клієнтів - можливість безпосередньо ознайомитися із процесом виробництва та поспілкуватись із конструкторами. 11. Зручність розташування виробничих площ.	3. Змінна чисельність виробничого персоналу визначена наявними обсягами виробленої продукції. 4. Відсутність в структурі достатньої кількості дослідницьких лабораторій із проведення наукових досліджень щодо показників надійності та безвідмовності продукції. 5. Реалізація продукції в основному для агропідприємств України.
Можливості	Загрози
1. Ідентифікація існуючих проблем та напрямів їх вирішення. 2. Розширення обсягів проведення проектних та конструкторських робіт, як для власних потреб, так й на замовлення інших підприємств та організацій. 3. Розширення номенклатури виробленої продукції за рахунок виробництва нових видів й типів с/г машин та знарядь. 4. Організація нових структурних підрозділів для виконання сервісних робіт, із розміщенням як на основних виробничих потужностях підприємства, так й на віддаленні – регіональні сервісні центри. 5. Достатній досвід роботи на ринку для формування взаємовідносин із дилерами відомих світових с/г виробників.	1. Недостатні та нестабільні обсяги щорічних контрактів. 2. Високі ризики втрати та/або зміни кадрового потенціалу за рахунок наявних в країні міграційних процесів. 3. Висока конкуренція на ринку продукції в регіоні, насамперед від відомого виробника аналогічної продукції АТ «Ельворті-Груп» (м. Кропивницький). 4. Можлива втрата замовлень з-за високого рівня завантаженості виробництва. 5. Форсмажорні обставини.

1.2 Обґрунтування напрямків наукових досліджень кваліфікаційної роботи

Намагаючись підтримати високий рівень якості виробленої продукції компанія «Ремсинтез» багато уваги приділяє аналізу проблем, які виникають під час використання власної продукції в експлуатаційних умовах. Це стосується всієї номенклатури сільськогосподарських машин та знарядь, без виключення. Під час проходження науково-дослідної практики на підприємстві було виявлено, що за

останні 3 роки суттєво збільшилася кількість негативних відгуків від споживачів на технічний стан та втрату працездатності гідравлічних силових циліндрів, які входять до конструкції транспортних пристроїв сівалок та культиваторів.

Основним призначенням силових гідроциліндрів є перетворення енергії робочої рідини, що створюється силовим насосом 1 гідросистеми сільськогосподарської машини (трактора, комбайна тощо) в енергію зворотно-поступального руху (рис. 1.8). При цьому, отриманий зворотно-поступальний рух дозволяє застосовувати такі циліндри для переміщення причіпних та навісних робочих органів сільськогосподарських машин [3, 4]. Завдяки використанню в конструкції гідрозподільника (регулюючого клапану) 4 із керуючим модулем 5, забезпечується регулювання напрямку руху гідравлічної рідини (оливи) по відповідних гідропроводах 7 (8) високого тиску до робочих порожнин силового гідроциліндру 6, величини тиску в гідро циліндрі та відповідно швидкості операції підйому робочого органу с/г машини. Для запобігання перевантаження гідронасосу 1 система забезпечена запобіжним клапаном 3, який спрацьовує при надлишковому тиску й спрямовує потік оливи не до гідро розподільника, а повертає її знову до гідробаку 2.

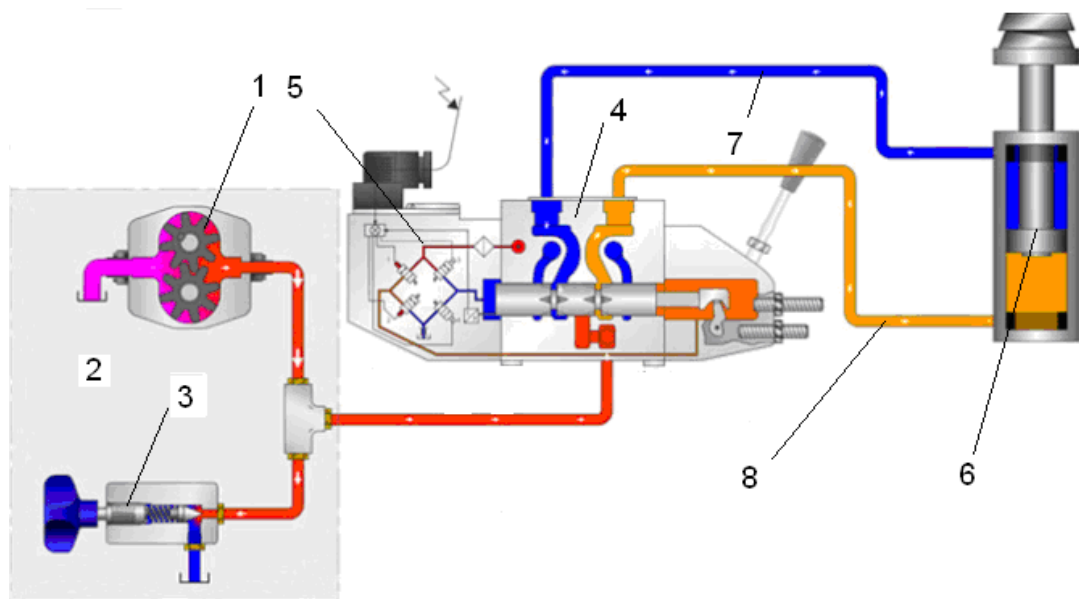


Рисунок 1.8 – Типова схема гідравлічної системи сільськогосподарської машини:

- 1 – силовий гідравлічний насос (шестеренний або аксіально-поршневий);
- 2 – гідробак; 3 – запобіжний клапан (клапан скидання надлишкового тиску гідравлічної рідини);
- 4 – гідророзподільник (регулюючий клапан);
- 5 - керуючий модуль гідророзподільника;
- 6 – силовий гідроциліндр; 7, 8 – гідропроводи високого тиску.

На поточний момент більшість гідравлічних силових циліндрів для сільськогосподарських машин та знарядь, різних виробників, в тому й числі закордонних, мають фактично ідентичну конструкцію та розрізняються розмірами (діаметрами штоків, гільз й поршнів) та характеристиками матеріалів, з яких виготовляються їх основні деталі. В конструкціях власної техніки компанія «Ремсинтез» використовує силові гідравлічні циліндри провідного вітчизняного виробника ПАТ «Гідросила» (Україна, 25006, м. Кропивницький, вул. Братиславська, 5), а саме [5]:

- поршневі гідроциліндри двохсторонньої дії серії С (75/30X110-3.42 (380), С 75/30X200-4.44 (515), С100/40X400-4.44 (715) та ін.) рис. 1.9;
- поршневі гідроциліндри двохсторонньої дії серії МС (40/25X160-4.11 (350), 40/25X250-4.11 (440), 80/40X200-4.44 (515), 80/40X400-4.11 (700), 80/40X400-4.22 (700) та ін.) рис. 1.10;
- плунжерні гідроциліндри серії МСР (80X220-3.82 (395)) рис. 1.11.



Рисунок 1.9 - Гідроциліндр
С100/40X400-4.44 (715)



Рисунок 1.10 – Гідроциліндр МС
40/25X160-4.11 (350)



Рисунок 1.11 – Гідроциліндр МСР 80X220-3.82 (395)

В процесі роботи гідроциліндра відбувається поступальне переміщення штоку 6 та поршня 5 відносно гільзи 4 й передньої кришки 1 за рахунок тиску оливи, який створюється гідравлічним силовим насосом у штоковій порожнині (рис. 1.12). При цьому, на деталі гідроциліндра діє осьове та радіальне навантаження; в результаті чого відбувається зношення спряжених поверхонь вузлів. За даними як вітчизняних, так й провідних світових науковців, погнутість штоку, зноси робочих поверхонь деталей поршневого й штокового вузлів, призводять до зміщення осі поршня та штоку відносно осі передньої кришки та гільзи, в наслідок чого знижується коефіцієнт корисної дії гідроциліндра [6].

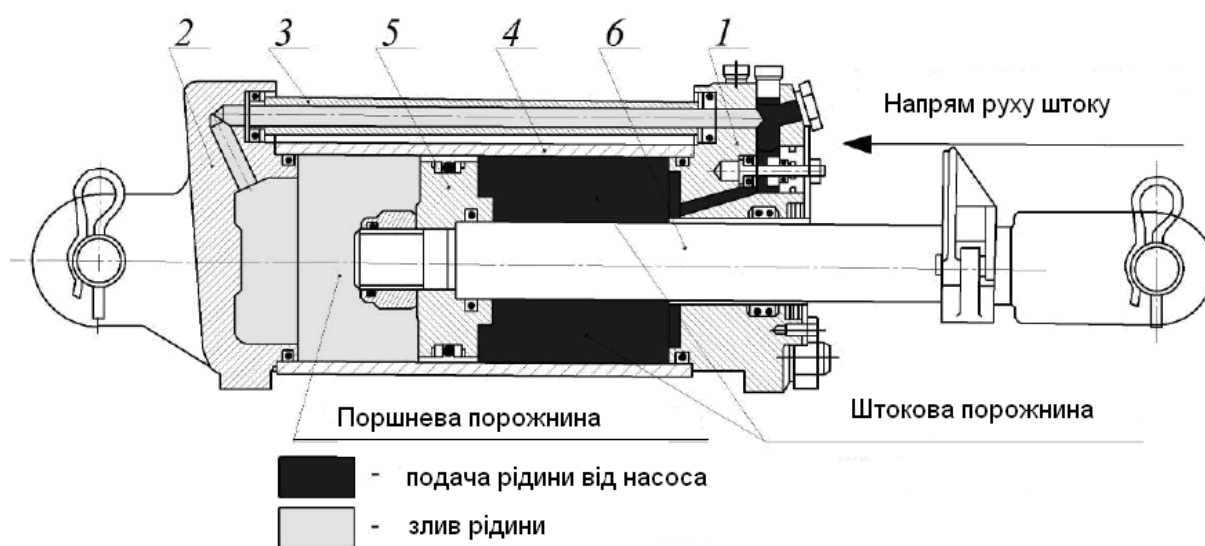


Рисунок 1.12 - Принцип роботи гідроциліндра:

1 – передня кришка; 2 – задня кришка; 3 – маслопровід; 4 – гільза;
5 – поршень; 6 – шток.

Головним фактором, який визначає працездатність гідроагрегатів є втрати робочої рідини, кількісні значення яких в першу чергу визначаються величинами зносів окремих деталей та станом гумових ущільнюючих елементів. Зноси деталей визначають такі експлуатаційні показники як: час підйому знаряддя, величину транспортного завантаження, надійність роботи автоматики золотникового механізму гідро розподільника, витрату оливи та ін.

Фахівцями підприємства «Ремсинтез» встановлено, що відмови гідроциліндрів в експлуатаційних умовах складають 6...15% у загальній кількості відмов всіх елементів гідравлічної системи сільськогосподарських машин. При цьому, у 42...45% випадках відмов, причинами такого стану є несправності ущільнюючих вузлів (52% відмов штокового вузла й 40% – поршневого). Крім

цього, 80% гамма-ресурс гідроциліндрів серії С виявився у 1,5 рази нижчим ресурсу, заявленого заводом-виробником й склав менше 6000 мото-годин роботи сільськогосподарських машин [6].

Отже, актуальним постає питання дослідження причин зниження рівня надійності гідроциліндрів та інших елементів гідравлічних систем сільськогосподарських машин в експлуатаційних умовах.

1.3 Предмет та об'єкт дослідження. Мета та задачі дослідження

Надійність є узагальненою комплексною властивістю гідроприводу, яка включає в себе в загальному випадку безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збереженість [7]. Сучасна теорія надійності сільськогосподарської техніки дає можливість прогнозувати ймовірність безвідмовної роботи та інші показники виробу або системи, без врахування взаємозв'язку ознак, форм прояву відмов та наслідків з цим пов'язаних.

В той же час, з точки зору користувача, очевидним є те, що ефективність експлуатації гідроприводу залежить як від структури показників надійності її елементів, так й від способів виявлення відмов та рівня необхідних ремонтних впливів по їх усуненню.

Класифікація відмов здійснюється за різними ознаками, основними з яких є причини виникнення, характер зміни параметрів приводу до моменту завершення відмови, способи виявлення, рівень ремонтних впливів та ін. (рис. 1.13) [8]. Наведена класифікація дозволяє визначити пріоритетні напрямки як для зменшення кількості відмов, так й для зниження рівня їх наслідків. Для зменшення кількості відмов перш за все необхідно усунути причини їх виникнення. Аналіз даних експлуатаційних спостережень за роботою гідроприводів сільськогосподарської техніки та причин їх відмов свідчить, що конструктивні, виробничо-технологічні та експлуатаційні фактори викликають відповідно 27%, 26% та 47% відмов. Крім цього, було встановлено, що підвищення технічного рівня конструкцій сучасних гідроагрегатів, яке мало місце в останні 20 років, та було спричинене вдосконаленням умов, технологій та рівня організації виробництва, призвело до збільшення кількості відмов, які були викликані експлуатаційними факторами.

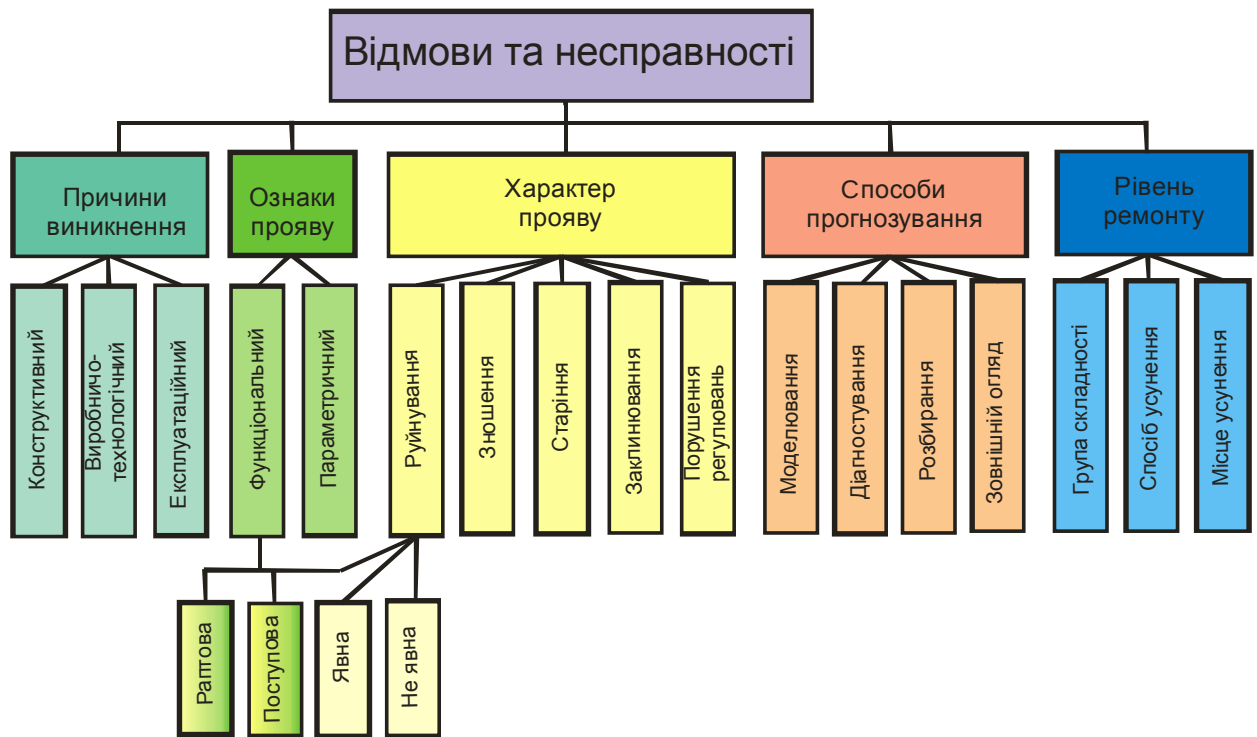


Рисунок 1.13 – Класифікація відмов гідроприводів с/г техніки

Саме тому, забезпечення та підтримка надійності гідроприводів слід проводити на всіх стадіях: при їх проектуванні, в процесі виготовлення, експлуатації та ремонті. Для всіх перелічених етапів необхідно розробити та мати окремі програми забезпечення надійності з урахуванням тих процесів, які відбуваються в експлуатації під впливом різних факторів. Таким чином, *об'єктом дослідження* є показники надійності елементів силових гідравлічних систем сільськогосподарської техніки.

Предметом дослідження виступають напрямки підвищення показників надійності елементів силових гідравлічних систем в експлуатаційних умовах.

Метою дослідження є встановлення основних експлуатаційних факторів, які викликають зниження показників надійності основних елементів силових гідравлічних систем сільськогосподарської техніки та мінімізація їх негативної дії.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні *задачі*:

- провести детальну порівняльну оцінку показників надійності основних структурних елементів гідросистем с/г машин;
- встановити основні експлуатаційні фактори, що визначають рівень надійності гідросистем с/г машини;
- запропонувати технічні рішення та розробити практичні рекомендації із підвищення рівня експлуатаційної надійності гідросистем с/г техніки.

Розділ 2.

ФОРМУВАННЯ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ СИЛОВИХ ГІДРОПРИВОДІВ

2.1. Визначення основних показників надійності гідроприводу с/г техніки

Якість будь-якої технічної системи (виробу, продукції та ін.) прийнято оцінювати за комплексом показників або властивостей, які забезпечують цій системі можливість виконання визначених функцій [7-9].

Надійність може виступати в якості одного із показників якості, так й бути самостійною характеристикою якості в тому випадку, коли показник надійності є визначальним критерієм споживчої цінності продукції, а вимоги до інших показників якості виконуються в достатній мірі. Показники якості характеризують потенційні можливості виробу, які можуть бути реалізовані в повному обсязі, частково або зовсім не реалізовані, якщо не забезпечити здатність до збереження цих показників в експлуатаційних умовах.

В кожний визначений момент часу об'єкт (структурний елемент гідравлічної системи с/г машини) знаходиться в одному із трьох наступних станів: працездатному, граничному та непрацездатному [7].

Працездатний стан визначає експлуатаційний стан об'єкту, при якому він здатний виконувати задані функції у відповідності до встановлених нормативно-технічною документацією вимог. Такий стан є основним станом об'єкту в процесі його використання за призначенням, тобто в процесі функціонування. Він у багатьох випадках є необхідним під час зберігання та при транспортуванні. Властивість об'єкту безперервно зберігати працездатний стан протягом фіксованого періоду часу або визначеного напрацювання визначають його безвідмовність [7].

Безвідмовність властива об'єкту у будь-якому з режимів його експлуатації. Саме ця властивість визначає основний сенс всього змісту надійності, але при цьому навіть самий рівень безвідмовності не дає абсолютних гарантій того, що відмова не з'явиться. Слід також зазначити, що наслідки відмови в більшості випадків залежать не від самого факту її появи, а від того,

наскільки швидко може бути відновлена втрачена об'єктом працездатність, тобто усунена сама відмова. Якщо час на усунення відмови відносно незначний, то її наслідки можуть не вплинути на результати функціонування об'єкту. Таким чином працездатний стан об'єктів може тривалий час зберігатися завдяки швидкому усуненню відмов [7].

Це дозволяє поділити всі об'єкти на дві групи:

- 1) такі, що підлягають відновленню та/або ремонту;
- 2) такі що не підлягають відновленню та/або ремонту.

Властивість об'єкта, яка полягає у пристосуванні до попередження причин виникнення відмов, підтримці та відновленні працездатного стану за рахунок проведення технічних обслуговувань та ремонтів, визначають як його ремонтпридатність. Ця властивість широко використовується для забезпечення необхідного рівня надійності об'єктів як на етапі їх проектування, так й в експлуатаційний період [6, 7].

Процес експлуатації об'єкта включає не тільки час його безперервного функціонування, а й планові та позапланові перерви в його роботі. Перші пов'язані із проведенням технічних обслуговувань, поточних ремонтів та ін.; другі – з усуненням відмов, що виникли [6, 7].

В процесі експлуатації об'єкта, який характеризується властивістю до відновлення, може виникнути ряд відмов, які вимагають навіть тривалого процесу відновлення; однак це не накладає обмеження на подальшу експлуатацію об'єкта після відновлення. Тому, в загальному випадку, тривалість експлуатації об'єкта вимірюється технічним ресурсом або напрацюванням, обмежується не його відмовою, а досягненням ним граничного стану [7].

Граничним станом називається стан об'єкту, при якому його подальше використання за призначенням неприпустиме або недоцільне, або відновлення його працездатності неможливе або недоцільне [7].

Властивість об'єкту зберігати працездатний стан до появи граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту називають його довговічністю. Таким чином, довговічність характеризує властивість надійності з позиції граничної тривалості збереження працездатності об'єкту із

врахуванням перерв у його роботі. Збереження працездатності в межах строку експлуатації залежить не тільки від режимів та умов роботи об'єкту, а й від відновлювальних заходів, які проводяться в цей період, а також від здатності об'єкта зберігати власні характеристики в процесі зберігання та транспортування, якщо такі процеси наявні.

Таким чином надійність є комплексною властивістю, яка включає в якості складників властивості безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збережуваності. Остання враховується не у всіх випадках, так як є характерною лише для певного виду виробів машинобудування [7, 9].

В залежності від виду об'єкту, його призначення та умов застосування, різною є й значущість кожного складового показника в загальному показнику надійності. Всі показники надійності взаємозалежні; однак до основних напрямків підвищення надійності техніки, як правило, відносять підвищення безвідмовності та довговічності (ресурсу), так як значення цих показників можуть непрямим чином характеризувати рівень ремонтпридатності, закладений у об'єкт на стадіях проектування.

Напрацювання на відмову є якісним показником надійності, який визначається в одиницях кількості, в той час як якісним показником відносного технологічного рівня й безвідмовності різних систем сільськогосподарської техніки може служити розподілення між ними загальної кількості відмов на одну машину в експлуатаційний період [7].

2.2 Аналіз факторів, що впливають на експлуатаційну надійність силових гідроприводів

Поява відмов пояснюється тим, що гідропривід працює в складних умовах, при цьому різні процеси та фактори змінюють значення його функціональних параметрів у часі. Крім того спостерігається відмінність фізичних властивостей та міцності матеріалів, нестабільність та не ідентичність технологічних процесів, змінність зовнішніх впливів та навантажень. На працездатність гідроприводу оказують вплив сукупність різних випадкових факторів, які передбачити та врахувати заздалегідь не представляється можливим [7, 10].

Комплексний метод рішення проблеми підвищення надійності передбачає всебічне вивчення факторів, які впливають на надійність за для пошуку та встановлення причин виникнення відмов на всіх етапах розробки та технічної експлуатації гідроприводів.

Дослідження ступеня впливу безвідмовності гідроприводів сільськогосподарської техніки на загальні показники надійності сільськогосподарської техніки, зібрані підприємством «Ремсинтез» за останні 3 роки під час проведення експлуатаційних випробування власної продукції на базі провідних агрогосподарств центрального регіону України та проаналізовані під час проходження науково-дослідної практики показали, що такий вплив є суттєвим й складає в середньому понад 32%, (у окремих випадках досягаючи значень 46%) та безпосередньо залежить від поточного технічного рівня різних систем і агрегатів, режимів та умов їх експлуатації (рис. 2.1) [6].

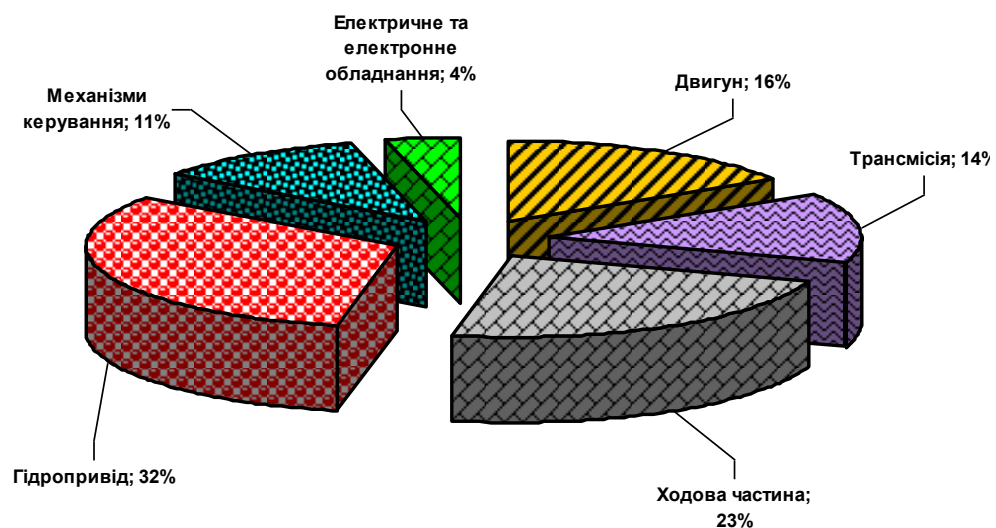


Рисунок 2.1 – Усереднене розподілення відмов основних механізмів та систем сільськогосподарських машин (%)

Дослідження же частоти появи відмов елементів самих силових гідросистем сільськогосподарської техніки (рис. 2.2) виявили, що найбільш безвідмовним агрегатом гідравлічного силового приводу с/г техніки є гідравлічний насос (в більшості типу НШ), так як він складається з меншої кількості конструкційних елементів, в першу чергу елементів ущільнення виготовлених з гумових сумішей та еластомірів.

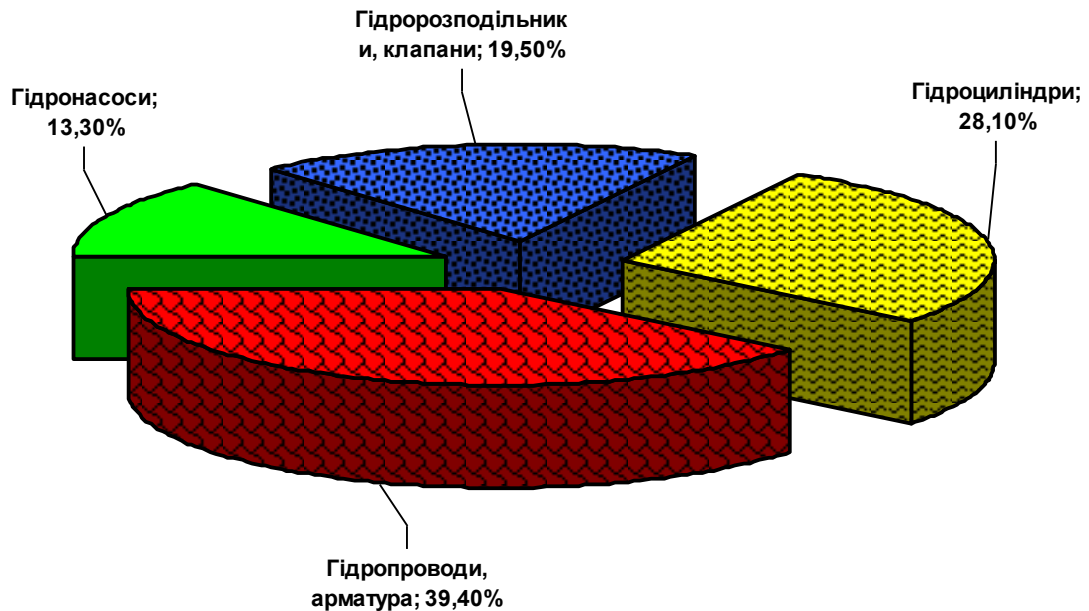


Рисунок 2.2 – Усереднене розподілення відмов за агрегатами та вузлами силового гідроприводу с/г техніки (%)

Аналізуючи наведені на рис. 2.2 дані, можна зазначити, що найбільша кількість відмов, які систематично повторюються, припадає на такі елементи гідросистем як: гідропроводи (39,4%), гідроциліндри (28,1%) та гідророзподільники (19,5%). Також попередніми дослідженнями виявлено, що втрата працездатності цих елементів пов'язана із втратою герметичності різного виду ущільнювачів (40...90%) та руйнуванням трубопроводів високого тиску (20...65%).

Іншим видом відмов, які систематично повторюються, є зависання та заклинювання золотників та клапанів гідророзподільників (30...50%), що пов'язане в першу чергу із підвищеним рівнем забрудненості гідравлічної робочої рідини під час роботи в складних умовах, які характеризуються підвищеним рівнем запиленості та вологості повітря. Слід також зазначити, що заїдання підшипників гідронасосів в результаті зносів в їх спряженнях, є відмовами пов'язаними із роботою насосів в режимі неефективного мащення (із підвищеним рівнем забруднень) в експлуатаційний період роботи с/г машини, які підсилюються в результаті частих запусків гідросистеми при низьких температурах навколишнього середовища або інтенсифікуються після втручань в гідросистему зумовлених необхідністю проведення поточного ремонту (таблиця 2.1) [7].

Таблиця 2.1 Характер появи відмов агрегатів та вузлів гідросистем сільськогосподарської техніки

Агрегат (вузол)	Вид відмови	Доля відмови по агрегату, %
Насоси	Втрата герметичності ущільнювачів валу, кришки, підтискної системи тощо	40...90
	Заїдання підшипників	3...20
Гідро-розподільники	Зависання та заклинювання основного золотника, золотників керування, клапанів	30...50
	Руйнування корпусних деталей, електромагнітів, важелів тощо	0...20
	Втрата герметичності ущільнювачів	40...70
Силові гідроциліндри	Втрата герметичності та руйнування ущільнюючих елементів штоку та поршня	70...90
	Зноси на робочих поверхнях штоків та циліндру	0...10
	Зависання клапанів	0...10
Гідропроводи	Руйнування	30...65
	Втрата герметичності та руйнування ущільнень в місцях з'єднання гідропроводів	40...70
	Руйнування зварних з'єднань гідромагістралей	20...36

Виходячи із ознак та характеру прояву наведених у таблиці 2.1 відмов, основними причинами їх появи слід визнати конструкторсько-технологічні та експлуатаційні фактори, загальна схема впливу яких наведена на рис. 2.3.

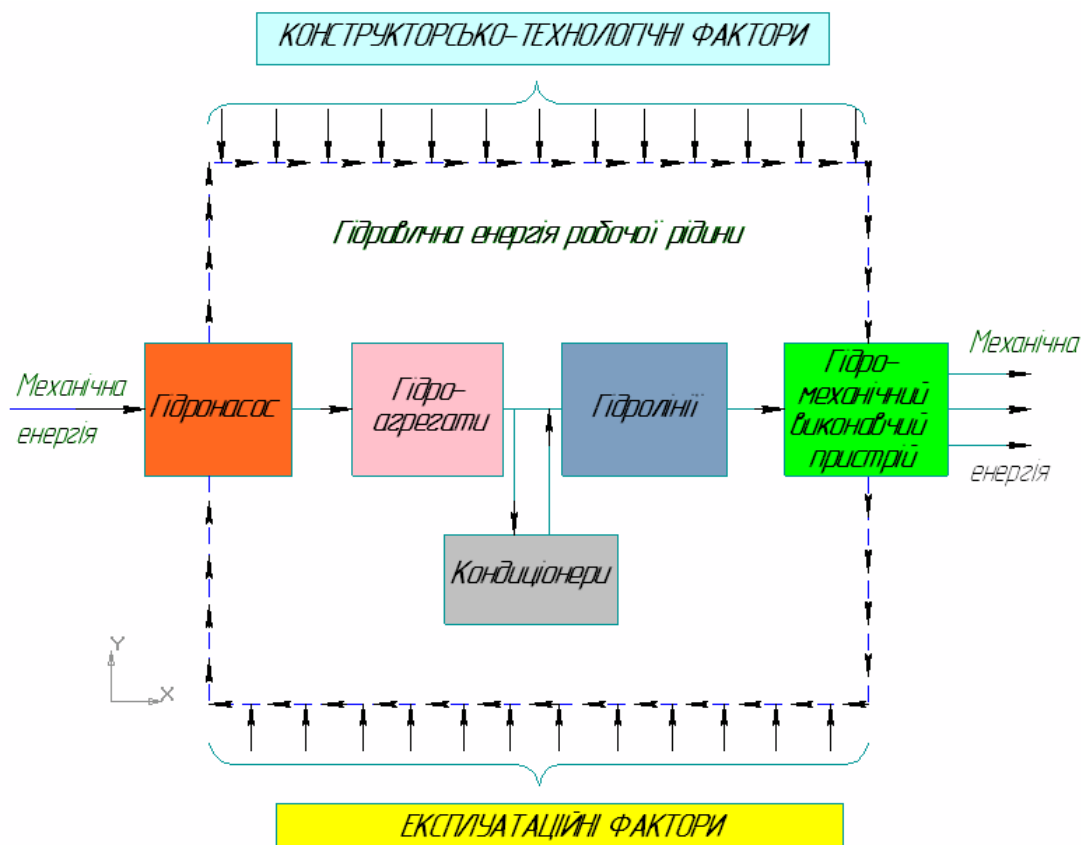


Рисунок 2.3 - Схема впливу конструкторсько-технологічних та експлуатаційних факторів на функціональні параметри гідроприводу с/г техніки

Отже, метою подальших досліджень є виявлення загальних закономірностей впливу конструкторсько-технологічних та експлуатаційних факторів на функціональні характеристики елементів гідроприводів та винайдення шляхів їх покращення. Для досягнення поставленої мети на основі оцінки групи факторів, які здійснюють вплив на функціональні характеристики, необхідно виділити основні та такі, що є малодослідженими.

В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що серед конструкторсько-технологічних факторів до цього часу залишилося малодослідженим вплив відхилень від встановлених допусків розмірів, форми та положення осей й поверхонь деталей щільових ущільнювачів прецизійних з'єднань та клапанів, а також механічних елементів гідродвигунів та кінематично пов'язаних із ними елементів машин. Так як підприємство «Ремсинтез» не виготовляє такі механізми гідросистем с/г техніки як: гідронасоси та гідромотори, силові гідро циліндри та гід розподільники, то проведення таких досліджень для підприємства є неактуальними.

Серед же експлуатаційних факторів не достатньо вивченими визнано вплив: режимів роботи, забрудненості робочої гідравлічної рідини агресивним технологічним середовищем та зносів спряжених поверхонь тертя гідроагрегатів.

2.3 Дослідження впливу забрудненості робочої гідравлічної рідини на ефективність роботи гідроагрегатів с/г техніки

У будь-якій гідравлічній силовій системі робоча рідина, крім функцій передавача потужності, забезпечує також оливою поверхні тертя гідравлічних агрегатів. З огляду на це до неї, крім інших вимог, пред'являється також й вимога забезпечення на поверхні тертя деталей, міцних й стійких плівок, які виключають можливість виникнення сухого тертя та пов'язаного із ним підвищеного зносу. Однак зберегти механічні та фізичні властивості робочих рідин протягом тривалого періоду експлуатації практично не вдається [11, 12].

Експлуатація гідроприводів відбувається у вельми запилених технологічним середовищем умовах [13]. В результаті нагрівання в процесі роботи, а також контактування із різними матеріалами та повітрям, рідина забруднюється сторонніми частинками різних розмірів і складу. Забруднення, що

містяться в робочій рідині, складаються, в основному, з продуктів зношування деталей агрегатів гідравлічної системи, продуктів окислення рідини та сторонніх частинок, що потрапляють ззовні (через зазори ущільнень, дренажні отвори та ін.). Частина цих забруднювачів розчиняється в рідині, а інша знаходиться у зваженому стані.

Технологічне середовище, різне за своїм хімічним складом, часто є дуже агресивним, що визначає умови експлуатації машин та особливості їх експлуатації. В першу чергу це стосується експлуатації гідроприводів, яка відрізняється тим, що їх робоча рідина забруднюється дрібнодисперсними частинками, здатними завдяки власним корозійним властивостям здійснювати більш шкідливий вплив ніж звичайне абразивне середовище, як власне на саму робочу рідину, так й на пари тертя гідроагрегатів.

Аналіз відкладень на фільтрах гідравлічних систем [14] показує, що основну частину забруднень (75...80%) робочої рідини становить кварц, польові шпати та оксиди металів, а органічна частина відкладень не перевищує 20...25%; у гідравлічній оливі містяться окисли заліза, алюмінію та продукти зношування у вигляді високодисперсних частинок металів, сплавів, частинок гуми, пластмас, волокна та ін. Основні властивості технологічних середовищ, в яких найбільш часто експлуатуються гідрофіковані сільськогосподарські машини, представлені в таблиці 2.2 [14].

Таблиця 2.2 Властивості технологічних середовищ

Грунтовий пил			Пил, що утворюється при внесенні мінеральних добрив		
речовина	вміст речовини, %	мікро-твердість, Н/мм ²	речовина	мікро-твердість, Н/мм ²	коефіцієнт розчинності у гідравлічній оливі
Кварц	68	10500-12250	Сульфат амонію	280	0,53
Окис алюмінію	14	20900-22900	Аміачна селітра	50-70	0,84
Окис кальцію	4	-	Амофос	-	0,21
Окис магнію	2	-	Суперфосфат	200-300	0,14
Окис заліза	2	-	Хлористий калій	350	0,45
Польовий шпат та ін.	-	10200	Сечовина	90	0,90

Розміри частинок, зважених у рідині, зазвичай не перевищують 15...20 мкм, хоча можлива присутність у рідині й частинок розміром до 100 мкм (рис. 2.4) [14, 15, 16]. Дослідження показали, що кількість часток забруднення різних розмірів, що знаходяться в кожному кубічному сантиметрі стандартної чистоти рідини є доволі різною та коливається в широким межах (таблиця 2.3) [14, 15].

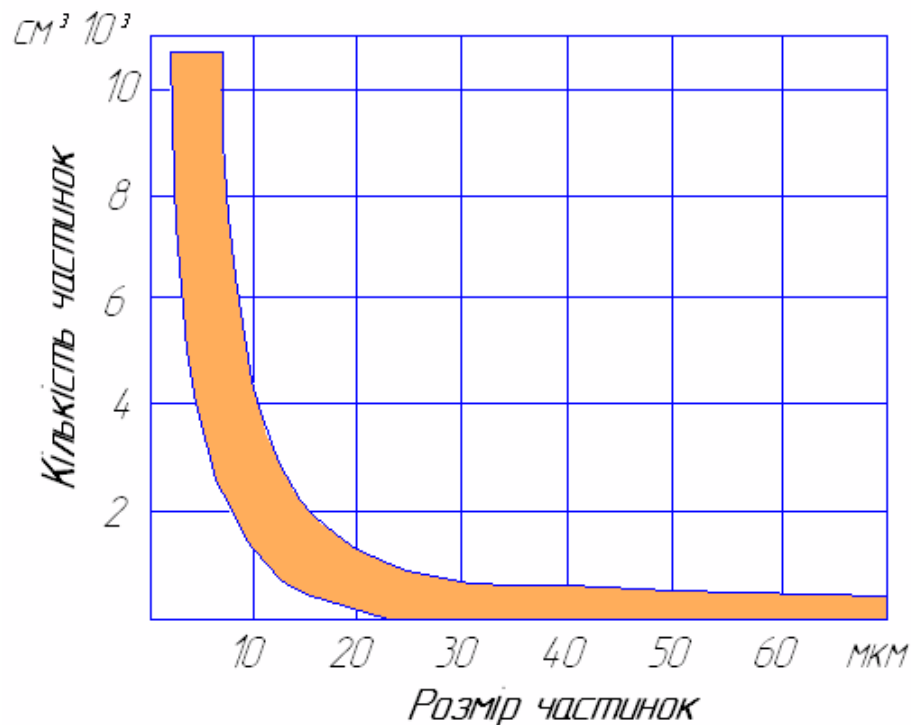


Рисунок 2.4 - Залежність кількості частинок, що забруднюють рідину від їх розміру (мкм)

Таблиця 2.3 Концентрація часток забруднення різних розмірів в 1 см³ стандартної чистоти гідравлічної рідини

Розмір частинок, мкм	3 ± 1	5^{+3}_{-1}	10^{+3}_{-2}	15^{+3}_{-2}	25^{+10}_{-3}
Кількість частинок, тис. од.	2...8	0,8...4,5	0,4...1,5	0,2...0,6	0,2...0,6

Під час руху рідини ці частинки переміщуються практично вздовж лінії струму й осідають лише тих ділянках системи, де швидкість руху рідини є низькою (при раптовому розширенні перерізу трубопроводів на входах до агрегатів, бачках тощо), й навіть там, де має місце періодичний рух рідини характерний для різних розподільчих пристроїв. Так, за деякими даними, швидкість осідання частинок розміром 3...5 мкм й менших дуже мала та становить при в'язкості оливи $\nu = 0,1 \text{ см}^2 / \text{сек}$ приблизно $(0,05...0,01) \cdot 10^{-2} \text{ см} / \text{сек}$.

В процесі роботи можливі й зміни зазорів, пов'язані із різким підвищенням тиску та температурними деформаціями. Ці зміни викликають відповідні зміни у розподілі тисків та зусиль, що може стати причиною перекосів, заїдань та поломок гідравлічних агрегатів. Збільшення зазорів та спотворення їх правильної геометричної форми при підвищенні тиску рідини сприяє попаданню в зазор твердих частинок, що циркулюють разом із потоком рідини в системі.

При скиданні тиску (різкому зниженні тиску) й зменшенні зазорів, тверді частинки, блоковані полярноактивними будовами молекул рідини, залишаються в зазорі й викликають заклинювання плунжерних пар розподільчих пристроїв та інших пар рухомих зчленувань, що мають малі зазори (5...20 мкм) [17].

Практика експлуатації показала, що зусилля, потрібні для переміщення плунжерів, що вимірюються при якісному їх виготовленні десятками грамів, можуть у деяких випадках зрости в сотні разів й досягати кількох кілограмів. Звичайно, таке зростання зусилля може призвести до порушення нормальної роботи всієї гідравлічної системи або окремих її ділянок.

Деякі частинки, що містяться в пилу, мають дуже високу твердість; наприклад твердість кварцу за шкалою Моосу дорівнює 7 од., польових шпатів 6...6,5 од., а оксидів алюмінію - 9 од. Твердість деяких компонентів забруднювача значно вища за твердість матеріалів, з яких виготовлені пари гідравлічних агрегатів, що труться. Це призводить в процесі експлуатації до підвищеного зносу останніх і ще більшого забруднення робочої рідини продуктами зносу.

Навіть при дотриманні всіх правил експлуатації та застосування заходів із захисту робочої рідини гідросистем техніки від забруднень, рівень механічних домішок в процесі роботи все ж таки доволі високий [18]. Слід також зазначити, що залежить він від різних типів та конструкцій гідравлічних приводів [3, 4, 15]. Аналізуючи дані таблиці 2.4, щодо забрудненості робочих рідин окремих гідросистем, можна стверджувати, що не враховуючи незначні відмінності за дисперсним складом забруднювачів, значення вагової концентрації суттєво відрізняються. Різний рівень забрудненості можна пояснити відмінностями в експлуатаційних умовах, технічному стані гідроагрегатів, та чутливістю до забруднення гідросистем, яка обумовлюється її конструктивними особливостями.

Таблиця 2.4 Забрудненість робочих рідин гідроприводів с/г машин

Гідросистема	Сумарна концентрація забруднень, % за масою	Дисперсний склад при різних розмірах частинок			
		до 10 мкм	до 25 мкм	до 40 мкм	до 50 мкм
Роздільно-агрегатна навісна	0,015-0,080	72-80	15-20	3-5	до 1
Роздільно-агрегатна навісна система разом із гідросистемою розкидання мінеральних добрив	0,020-0,220	70	25	3	до 1
Двигун	0,015-0,143	90	5	4	до 1
Рульове керування	0,020-0,200	75	23	2	до 1
Трансмісія	0,030-0,140	90	5	4	до 1

Наприклад, підвищений рівень забрудненості робочої рідини може бути пояснений наявністю додаткових джерел проникнення забруднень, підвищеною запиленістю повітря та розташуванням виконавчого пристрою (механізму) машини безпосередньо в технологічному середовищі.

Встановлено також, що в окремих випадках, особливо під час внесення пиловидних добрив у вітряну погоду, темп збільшення забрудненості робочої рідини гідросистем тракторів, які агрегатуються із гідрофікованими розкидувачами добрив, може складати 0,005% за масою на кожні 10 т внесених добрив [14].

Негативний вплив добрив погіршується тим, що вони взаємодіють із нерозчиненою водою, яка неминуче присутня в робочій рідині в експлуатаційних умовах, підвищуючи її корозійно-активні властивості. Так, статистичними дослідженнями фізико-хімічних властивостей рідин встановлено, що під час роботи гідроприводів машин в середовищі абразиву (культивация, боронування та ін.), в'язкість та показник водню робочої рідини складають відповідно 38,1-57,2 сСт та 7,41-8,80 од., а для гідроприводів машин для внесення мінеральних добрив відповідно 15,4-63,5 сСт та 8,48-9,0 од. (рис. 2.5) [14].

Процес зміни протизносних властивостей робочої рідини при потраплянні і неї мінеральних добрив пояснюється тим, що частина нерозчинених дрібнодисперсних добрив разом із робочою рідиною під тиском проходить через зазори пар тертя та викликає гідро абразивне та абразивне зношення; інша частина, при поєднанні із водою – розчиняється в ній та змінює експлуатаційні властивості оливи.

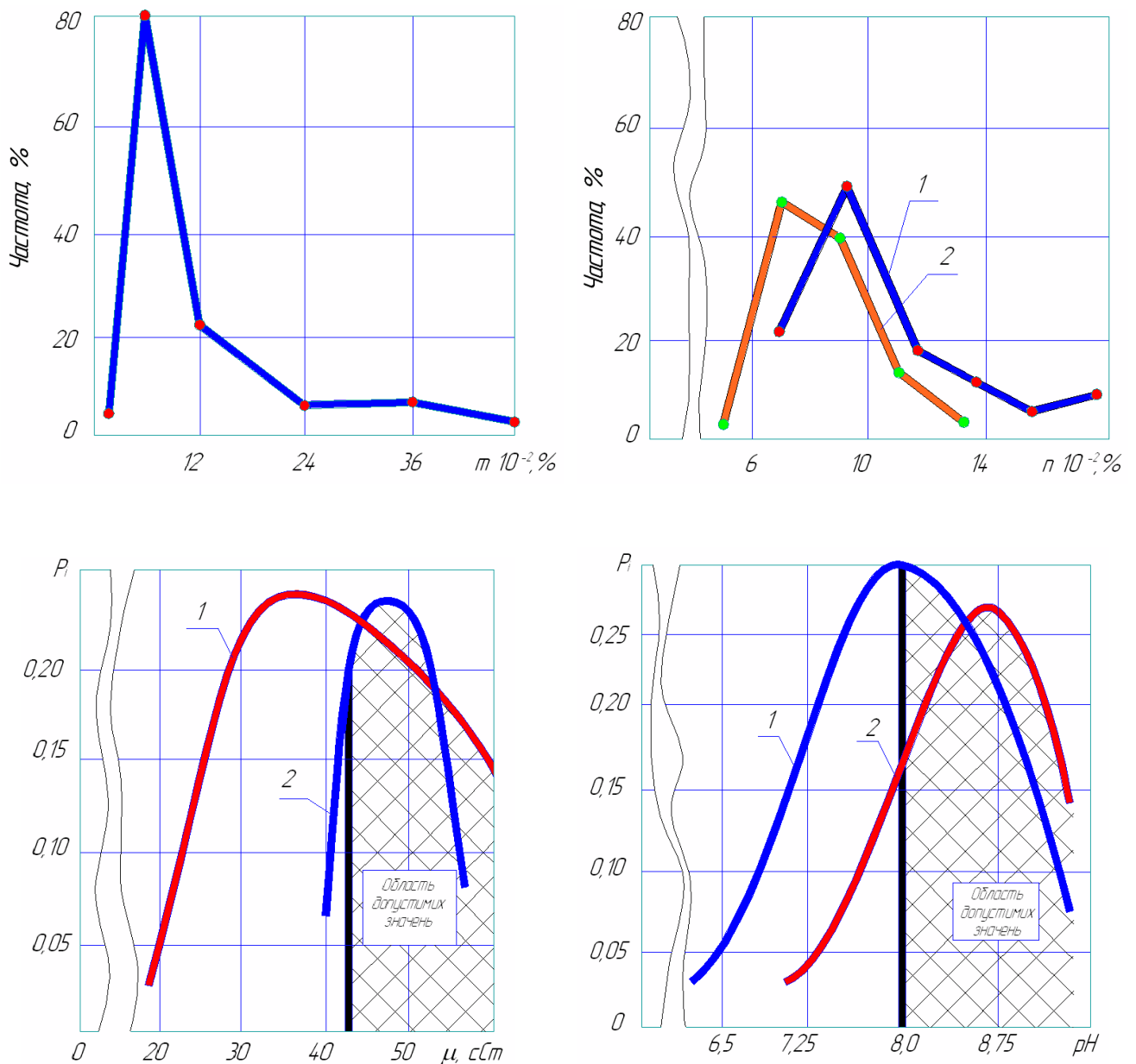


Рисунок 2.5 – Розподілення значень забрудненості водою (m) та механічними домішками (n), кінематичної в'язкості (μ) та водневого показника (кислотності)- (pH) робочої рідини гідроприводів с/г машин

Інтенсивність корозійного впливу залежить від кількості води, яка залишилася не розчиненою, розчинності добрив та їх хімічної активності. Вітчизняними дослідниками встановлено, що забруднення гідравлічної рідини мінеральними добривами збільшує швидкість корозії у 1,53...4,25 рази. На поточний момент у сільськогосподарському виробництві використовуються головним чином азотні, фосфорні та калійні мінеральні добрива: аміачна селітра NH_4NO_3 , суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ та хлористий калій KCl [14-16].

Розчинені добрива у вигляді електролітів дисоціюють на іони та піддаються дисоціації та гідролізу та сприяє накопиченню і гідравлічній рідині

різних агресивних молекул та іонів (NO_3^- , Cl^- , H^+ та ін.), які не сказати на функціональних властивостях олив. При цьому створюються сприятливі умови для протікання електрохімічної корозії, швидкість якої залежить від концентрації іонів водню і рідині (pH). Особливо шкідливий вплив на матеріали деталей здійснюють іони хлору Cl^- , інтенсивність накопичення яких залежить від вмісту в оливі води. Іони хлору в кислому середовищі володіють високою активністю та спричиняють локальне руйнування повітряно-пасивної поверхні алюмінієвої плівки. В результаті чого алюміній безпосередньо взаємодіє з соляною кислотою, концентрація якої збільшується внаслідок гідролізу $AlCl_3$. Як наслідок – інтенсивне зношення та руйнування поверхонь деталей виготовлених на основі алюмінію – опорних втулок та корпусів шестеренних насосів, поршнів гідроциліндрів, корпусів гідро розподільників та ін. [14]

В якості висновку слід зазначити наступне. Тривалий час науковці вважали, що зношення пар тертя гідроагрегатів відбувається в результаті лише механічного зношування. Однак, враховуючи особливості технологічного середовища, в якому відбувається експлуатація гідроприводів сільськогосподарської техніки, знос необхідно розглядати як результат механічного та корозійного видів зношування. Поєднання цих видів зношування обумовлено перш за все складним складом забруднювачів робочої рідини, який містить абразиви, різні види мінеральних добрив, води, продуктів зношення та ін.

Для встановлення кількісних характеристик впливу різних компонентів забруднень робочої рідини, які переважно є складовими технологічного середовища, був застосований регресивний аналіз. В цьому випадку функцію відклику можна представити наступним чином:

$$U = f(B, C, \Phi, X, A), \quad (2.1)$$

Де B - вода; C - аміачна селітра; Φ - порошковидний суперфосфат; X - хлористий калій; A - абразив.

Реалізація плану дробно-факторного експерименту була проведена для пар тертя обертання $\varnothing 30H6 / q5$. Визначення зносів проводилося під час науково-дослідної практики на базі виробничих потужностей ТОВ «Ремсинтез» на машині

тертя СМЦ-2 при температурі від 65 °С до 70 °С за схемою «вал - колодка». При цьому вал виготовляли зі сталі 18ХГТ, а колодки з чавуну СЧ20 та алюмінію Ал9; в якості робочої рідини використовували оливу М10В за питомого навантаження $1,3 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^2$.

В результаті математичної обробки експериментальних даних отримані рівняння регресії, які адекватно описують процеси зношування:

- для спряження «сталь - алюміній»:

$$U_{ст} = -10,6 + 20B + 792C + 48,8\Phi + 125X + 35A - 1077,8BC - 97B\Phi(\text{мкм}) \quad (2.2)$$

$$U_{ал} = 7,70 - 24,3B + 342C - 110\Phi + 375X + 180A - 777,8BC + 250B\Phi(\text{мкм}) \quad (2.3)$$

- для спряження «сталь - чавун»:

$$U_{ст} = 3 - 7,3B + 637,5C - 657\Phi + 194X + 581A + 243B\Phi(\text{мкм}) \quad (2.4)$$

$$U_{чав} = -1,4 - 0,17B - 6,2C + 644\Phi + 281X + 100A + 469BC - 781B\Phi(\text{мкм}) \quad (2.5)$$

Аналіз рівнянь регресії дозволяє зробити висновок, що найбільшого впливу на зношення сталі, алюмінію та чавуну здійснюють аміачна селітра та хлористий калій. Це пояснюється тим, що азотна кислота, яка утворюється під час гідролізу, здійснює не одноковий вплив на швидкість корозії різних металів, так як метали володіють на однаковим ступенем пасивації.

Максимальний знос сталюї деталі в парі тертя «сталь-алюміній» за 2 години складає 28 мкм, виготовленої з алюмінію – 46 мкм. Це відповідно у 1,5 та 5,0 разів більше ніж у порівнянні із абразивним зношенням, що в повній мірі узгоджується із теоретичними передумовами.

Вплив механічних домішок в гідравлічній оливі, які утримуються в складі дрібнодисперсних мінеральних добрив на знос U поверхонь тертя із сталі 18ХГТ та алюмінієвого сплаву Ал9, в залежності від концентрації (C) нерозчиненої води, представлено на рис. 2.6.

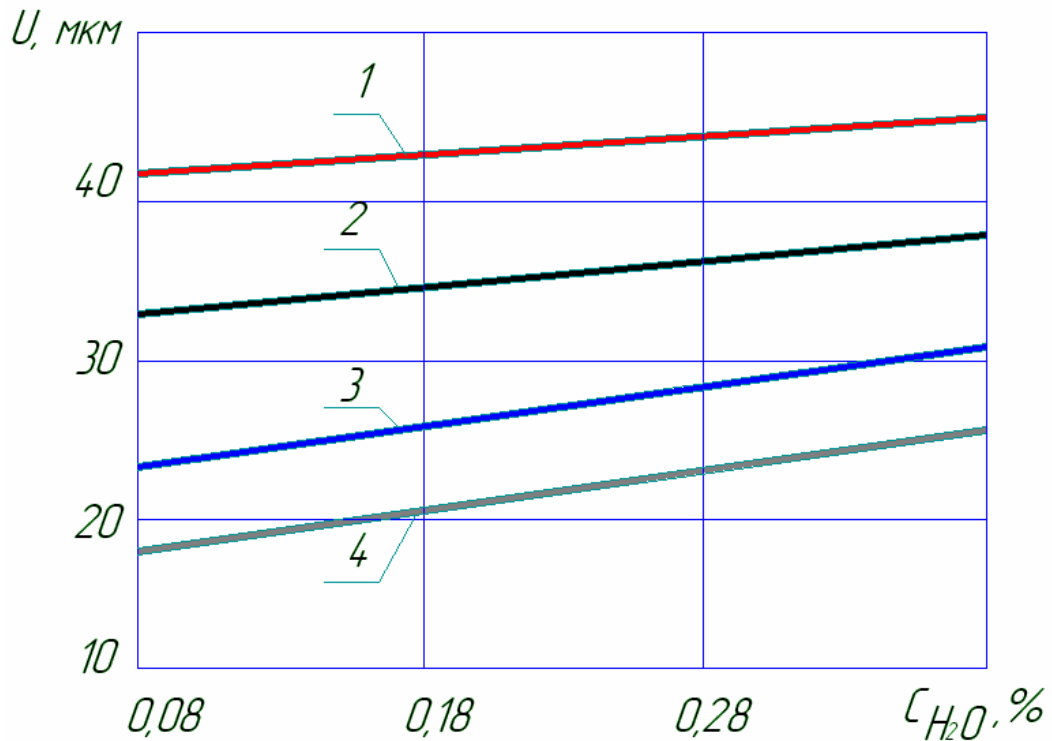


Рисунок 2.6 – Залежність зносу U пари тертя із сталі 18ХГТ та алюмінієвого сплаву Ал9 від концентрації (C) у робочій рідині нерозчиненої води

Дослідженнями встановлено, що із підвищенням концентрації води в гідравлічній оливі сумарний знос деталей гідроприводів збільшується при різних концентраціях добрив. Таким чином, проведені дослідження дозволяють констатувати, що поряд із заходами із захисту гідроприводів від потрапляння забруднень технологічного середовища, одним з перспективних напрямків підвищення ресурсу гідроагрегатів, а відповідно й зменшення потоку параметричних відмов, є зниження концентрації води в гідравлічній рідині.

Саме тому, актуальними є питання забезпечення ефективної експлуатації гідравлічних систем сільськогосподарської техніки, підвищення рівня її надійності за рахунок розробки та впровадження комплексу заходів із зменшення концентрації шкідливих домішок та води в гідравлічній оливі. Це можливе лише за рахунок якісного та своєчасного проведення заходів із механічної, електричної та магнітної фільтрації гідравлічних рідин.

2.4 Вимоги до чистоти робочої рідини гідроприводів с/г техніки

Показник тонкості фільтрації штатних фільтрів, які входять до конструкції гідравлічної силової системи сільськогосподарської машини, є одним з основних критеріїв під час вибору фільтруючого матеріалу або фільтруючого елементу [4, 15].

Вибір тонкості фільтрації з урахуванням чутливості агрегату до забруднення не завжди можливий з-за відсутності для низки агрегатів даних випробувань матеріалів на абразивну зносостійкість. Тому, в більшості схильність гідросистем до забруднення намагаються оцінити за величиною робочого тиску в гідроприводі та зазорах в парах тертя спряжених деталей основних механізмів.

Це відбувається тому, що чистоту фільтрації робочої рідини пов'язують із допустимим тиском в гідросистемі, оскільки існує наявний взаємозв'язок із втратою працездатності при наявності зносів агрегатів та величинами зазорів.

Так, відносно зазорів вважають, що максимально допустимі розміри частинок при повільному русі поверхонь одна відносно іншої, які створюють між собою зазор, не повинні перевищувати $1/3$ величини найменшого зазору. Якщо ж частинка має більший розмір, то в зазорах із ламінарною течією рідини та параболічним профілем швидкостей руху, частинки, що рухаються в центрі вздовж лінії току, можуть наздоганяти частинки, що рухаються поблизу поверхонь із меншими швидкостями; в результаті чого відбувається їх місцева концентрація, яка спричиняє закриття зазору.

Загалом же, в гідравлічній рідині не повинні знаходитися частинки, розмір яких перевищує $3/4$ розміру (висоти) найменшого зазору. Ця вимога справедлива з точки зору абразивного зношування; вважається, що на знос практично не впливають частинки, розмір яких не перевищує товщини плівки оливи. З цього витікає, що наявність в робочій рідині частинок розміром близько $1...2$ мкм в більшості випадків вже є небажаним.

Однак, якщо видалення із рідини частинок розміром від 10 до 100 мкм здійснити відносно просто, а основної маси частинок розміром близько 5 мкм – складно, але можливо, то повне видалення частинок розміром 2 мкм й менших, на поточний момент, в більшості, не представляється можливим [15, 18].

В першу чергу це стосується вимог до номінальної (95%) тонкості фільтрації, показник якої умовно приймається за мінімальний розмір частинок, які видаляються із гідравлічної рідини.

Окремі рекомендації щодо забезпечення потрібної чистоти за рахунок комплексного застосування в гідросистемах фільтрів, представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 Рекомендації по вибору фільтрів в залежності від тиску в гідросистемі с/г машини

Робочий тиск, МПа	Тип фільтру					Контрольна промивка гідросистеми
	повітряний	заливний	на всмоктуванні	на злив	на паралельному потоці (10% витрати)	
	тонкість фільтрації, мкм					
До 1,3	5,0	40,0	200,0	80,0	40,0	не потрібна
До 5,0		25,0	100,0	40,0	25,0	
До 12,5	3,0	15,0	60,0	25,0	15,0	потрібна
До 20,0	1,0	10,0	25,0	15,0	10,0	
До 35,0		5,0	15,0	10,0	5,0	

Окремі виробники гідросистем сільськогосподарської техніки, як правило закордонного виробництва, рекомендують тонкість фільтрації робочої рідини визначати не тільки величиною робочого тиску в системі, а й наявністю в її конструкції пристроїв підсилення (гідропідсилювачів), які є найбільш чутливими, з точки зору функціональної працездатності, до розмірів частинок забруднювачів гідравлічної рідини (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 Рекомендації із вибору фільтрів в залежності від функціональної характеристики гідроприводу

Гідропривід	Робочий тиск, МПа	Тонкість фільтрації, мкм
Без гідропідсилювачів	7,0...35,0	10,0...25,0
З механічно керованими гідро підсилювачами із незначним коефіцієнтом підсилення, які застосовуються для керування швидкістю або положенням, із запобіжними клапанами, регулятором витрати та іншою гідроапаратурою при величинах зазорів с прямих до 2,5 мкм	до 14,0	10,0...15,0
З електрогідравлічними гідропідсилювачами із підвищеним коефіцієнтом підсилення та робочими зазорами меншими за 2,5 мкм	до 21,0	2,5...5,0

Проведеними фахівцями підприємства дослідженнями встановлено [6], що на практиці існують розбіжності у вимогах до тонкості фільтрації та практичному застосуванню фільтрів. Однією з причин такої ситуації є те, що у певних умовах знос агрегатів та погіршення показників функціональної працездатності в більшій мірі обумовлюється не розміром частинок, а їх вмістом (концентрацією). Саме тому, більш доцільними слід вважати рекомендації не за тонкістю фільтрації, а за допустимим класом чистоти робочої рідини в залежності від експлуатаційного

тиску в гідросистемі та виду гідро обладнання. За даними практичного застосування фільтрів групи провідних виробників, були складені рекомендації з тонкості фільтрації різними фільтрами, застосування яких забезпечує той чи інший клас чистоти (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7 Рекомендації з вибору фільтрів в залежності від потрібного класу чистоти робочої рідини

Потрібний клас чистоти	Тонкість фільтрації фільтру на лініях гідроприводу, мкм			
	заправна	напірна	зливна	повітряна (сапун)
7-8	3,0	3,0	3,0	1,0
8-9	4,0	5,0	5,0	1,0
9-10	8,0...10,0	5,0...8,0	8,0...10,0	2,0
11-12	10,0...13,0	8,0...10,0	10,0...13,0	3,0
13	10,0...15,0	10,0...13,0	10,0...15,0	3,0
14	15,0...25,0	10,0...15,0	15,0...20,0	3,0
15	25,0...40,0	15,0...20,0	20,0...25,0	5,0
16	63,0...80,0	20,0...25,0	25,0...40,0	5,0
17	125,0	25,0...40,0	63,0...80,0	5,0

На поточний момент конструкція фільтруючих елементів фільтрів переважної більшості гідроприводів є однотипною, що дозволяє вважати її достатньо випробуваною, відпрацьованою та оптимальною. Фільтруючий елемент виконаний у корпусі із фільтрувального паперу, картону або нетканого матеріалу, гофрований за утворюючою у вигляді багатопроменевої зірочки та розташований між зовнішньою та внутрішньою перфорованими пластинами, які затиснути між двома торцевими кришками. Загальний вигляд типових фільтруючих елементів, які використовуються у гідроприводах сільськогосподарських машин провідних закордонних виробників представлений на рис. 2.7.

Для конкретного гідроприводу визначення та вибір типорозміру фільтруючого елементу залежить, головним чином, від показників тонкості фільтрації матеріалу та обумовлюється витратною характеристикою фільтруючого елементу, яка визначає величину питомої витрати робочої рідини, тобто витрату через одиницю його поверхні, при нормованих та постійних значеннях в'язкості та перепаду тиску.

Слід також зазначити, що вагомий вплив на процеси фільтрації гідравлічної рідини здійснює місце розташування фільтру в конструкції гідросистеми с/г машини; фільтри можуть бути розміщені як на лінії низького, так

й на лінії високого тиску. Це визначає експлуатаційні особливості роботи гідроприводів, їх переваги та недоліки тощо. Так, фільтри на лінії всмоктування, або прийомні фільтри, як правило забезпечують лише обмежений захист гідроприводів. Такі фільтри повинні мати низький опір для організації ефективної роботи гідросистеми в режимі холодного пуску, й забезпечувати початковий опір в діапазоні не більше 0,001...0,003 МПа при гранично допустимому рівні перепаду тиску 0,014...0,035 МПа із підтримкою робочої швидкості руху рідини не більше 1,0...1,5 м/с. Нажаль, забезпечити очищення рідини такі фільтри можуть в діапазоні 74...150 мкм, що є вкрай малоефективним.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд типових фільтруючих елементів, які використовуються у силових гідроприводах с/г машин

Більш ефективними є фільтри в магістралі нагнітання або фільтри високого тиску, які забезпечують видалення забруднень включаючи й ті, що утворюються при зносі силового гідравлічного насосу до того, як вони потрапляють до інших агрегатів і механізмів гідроприводу.

До основних переваг фільтрів високого тиску також можна віднести:

- необмежені можливості з тонкості фільтрації (від 0,5 мкм й вище);
- компактні розміри фільтрів у порівнянні із фільтрами тієї ж тонкості фільтрації але із розміщенням магістралях всмоктування та зливу;
- підвищений ресурс (термін експлуатації) фільтру, так в ньому допускаються більш високі перепади тиску (опору) на фільтрі;

- відсутність потреби у повторній промивці гідروприводу після пошкодження насосу.

Фільтра високого тиску мають початковий опір не більше 0,03 МПа, а граничним опором в більшості випадків є 0,11...0,15 МПа; хоча останнім часом на ринку пропонуються фільтра із допустимим перепадом тиску у 0,35 МПа та швидкістю руху робочої рідини через фільтруючий елемент 3...4 м/с.

До недоліків таких фільтрів можна віднести:

- роботу під максимальним робочим навантаженням, що визначає необхідність забезпечення підвищеної міцності корпусу фільтру;
- практичну відсутність можливості встановлення в таких фільтрах перепускних клапанів з-за високого рівня пульсації робочої рідини;
- необхідність розміщення такого фільтру як найближче до насосу обумовлена зниженням рівня ударного потоку.

На завершення слід сказати, що останнім часом в розвитку гідроприводу с/г машин прослідковуються три наступні основні тенденції: підвищення робочого тиску в системі, застосування електрогідравлічного керування та намагання підвищити рівень надійності системи [5, 19].

Розділ 3

ПРОЕКТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ РОБОЧИХ РІДИН ГІДРОПРИВОДІВ С/Г МАШИН

3.1 Передумови доцільності та необхідності підвищення чистоти робочої рідини гідроприводу с/г техніки

Як вже було зазначено у попередніх розділах роботи, сучасні світові тенденції у конструкціях силових гідроприводів с/г техніки спрямовані на: підвищення потужності, що передається; зниження енергоємності приводів; мінімізацію забруднення навколишнього середовища гідравлічними рідинами; збільшення технічного ресурс та надійності тощо.

Сьогодні більшість виробників сучасної сільськогосподарської техніки в застосовують в конструкціях власних машин так звану єдину гідравлічну систему, яка з'єднує механізми трансмісії, заднього мосту, диференціала, мокрих гальм й силової гідравлічної системи, що живляться від загального масляного резервуару (гідробаку). В таких системах використовується універсальна олива, властивості якої повинні забезпечити, як ефективне мащення всіх пар тертя цих механізмів, так й роботу силової гідравлічної системи, тобто перетворення енергії рідини у механічну роботу конкретного робочого органу. Саме тому, чистота оливи у системі є важливою та вирішальною передумовою збереження працездатності обладнання та с/г машини в цілому [17].

Експериментальними дослідженнями встановлено, що саме забруднення оливи є найпоширенішим й одним з основних джерел поломки с/г машин. Концентрація забруднень в оливі не тільки інтенсифікує процеси зношення, а й прискорює процес її старіння (швидкої втрати основних фізичних та хімічних властивостей, зниження рівня присадок тощо).

Польові випробування с/г машин проведені фахівцями ТОВ «Ремсинтез» у 2019-2021 роках показали, що збільшення концентрації забруднень в універсальних оливах відбувається переважно трьома шляхами [6].

Процес зношування пар тертя, який нажаль в повній мірі виключити не представляється можливим навіть на сучасному етапі розвитку технологій машинобудування, є першим напрямком появи забруднень оливи.

Забруднювачами при цьому виступають частинки металу, що відокремилися від поверхонь деталей в результаті їх контакту. Зменшення концентрації частинок досягається дотриманням експлуатаційних умов машин у відповідності до інструкцій з їх експлуатації – при забезпеченні робочих режим без перевантажень та організації нормального процесу зношування протягом всього планового терміну служби.

Другим шляхом інтенсифікації забруднення оливи є робота с/г машини у запиленому, вологому та забрудненому навколишньому середовищі із підвищеним вмістом забруднювачів у повітрі. Тут слід відмітити, що виробники с/г техніки докладають суттєвих зусиль для конструктивного захисту гідравлічних систем від впливу навколишнього середовища, що реалізується у мінімальному рівні забруднення оливи, хоча повністю виключити його на поточний момент не представляється можливим.

Третім шляхом появи забруднювачів у оливах є гідравлічний контур тракторного знаряддя, який з'єднує знаряддя (наприклад сівалку або причіпний плуг) із трактором. В гідросистемі такого знаряддя присутня олива, яка залишилася від попереднього робочого процесу при агрегуванні з іншим трактором, тобто може характеризуватися невідомими властивостями та містити значний рівень забруднювачів. Ідеальним варіантом є експлуатації машино-тракторного агрегату (МТА) із закріпленим за ним власним знаряддям, що вістить в гідросистемі ту ж саму оливу, як й у МТА. На практиці ж, забезпечити такі умови агрегування досить складно, а в більшості агрогосподарств технічно не реально.

На даний момент найбільш раціональним вважається регламентна заміна оливи в гідросистемах із дотриманням рекомендацій виробника с/г техніки. При цьому слід зазначити, що така система, хоча й дійсно дозволяє видалити разом із оливою більшість наявних в ній забруднень, на сьогодні визнана консервативною й обумовлює вкрай неефективне використання самої оливи. Підтвердженням такої позиції є аналіз результатів оцінки властивостей гідравлічних олив, які дійсно вказують на перевищення гранично допустимого рівня вмісту забруднень, натомість, повну відповідність фізичних та хімічних властивостей олив, а саме

кінематичної в'язкості (при 40°C), загального кислотного числа та вмісту води, у межах встановленого допуску протягом експлуатаційного періоду.

Це дає підстави стверджувати, що за рахунок якісної та своєчасно проведеної в експлуатаційних умовах фільтрації оливи, можна не тільки мінімізувати витрати пов'язані із заміною оливи, а й відновити працездатний стан та забезпечити ефективну роботу гідравлічної системи МТА. Саме додаткова система фільтрації, може усунути забруднення оливи забезпечивши її ефективне використання та захистити механізми с/г машини від надмірного зносу.

Технічне вирішення задачі підвищення якості фільтрації оливи, можливе двома шляхами: збільшенням фільтраційної спроможності штатної системи трактора (комбайна) або ж використанням додаткових систем фільтрації. Більш ефективним, на нашу думку, є розробка та використання систем додаткової фільтрації, як другого ступеня очищення оливи, які зможуть підвищити ефективність штатного першого ступеня фільтрації с/г машини.

3.2 Проектування додаткових систем фільтрації робочих гідравлічних рідин для застосування в експлуатаційних умовах

Універсальні тракторні трансмісійні оливи повинні забезпечити роботу трансмісійних й гідравлічних систем - єдина олива використовується і як мастильна речовина у трансмісії, й як гідравлічна рідина в силовій гідравлічній системі [11, 12]. Саме тому технічно можливо забезпечити її очищення за допомогою штатної гідравлічної системи машини. Враховуючи певні відмінності в конструкціях гідравлічних систем с/г машин різних класів та різних виробників було прийнято доцільним не обмежуватися лише одним варіантом додаткової системи очищення оливи, а розробити три конструктивні схеми із різним розташуванням додаткових фільтрів (фільтрів другого ступеня) для різних гідросистем тракторів (комбайнів) (рис. 3.1). Шляхом проведення порівняльної оцінки ефективності їх функціонування (очищення оливи), можна буде визначитися із найбільш оптимальним варіантом для реального впровадження у виробничий процес роботи МТА.

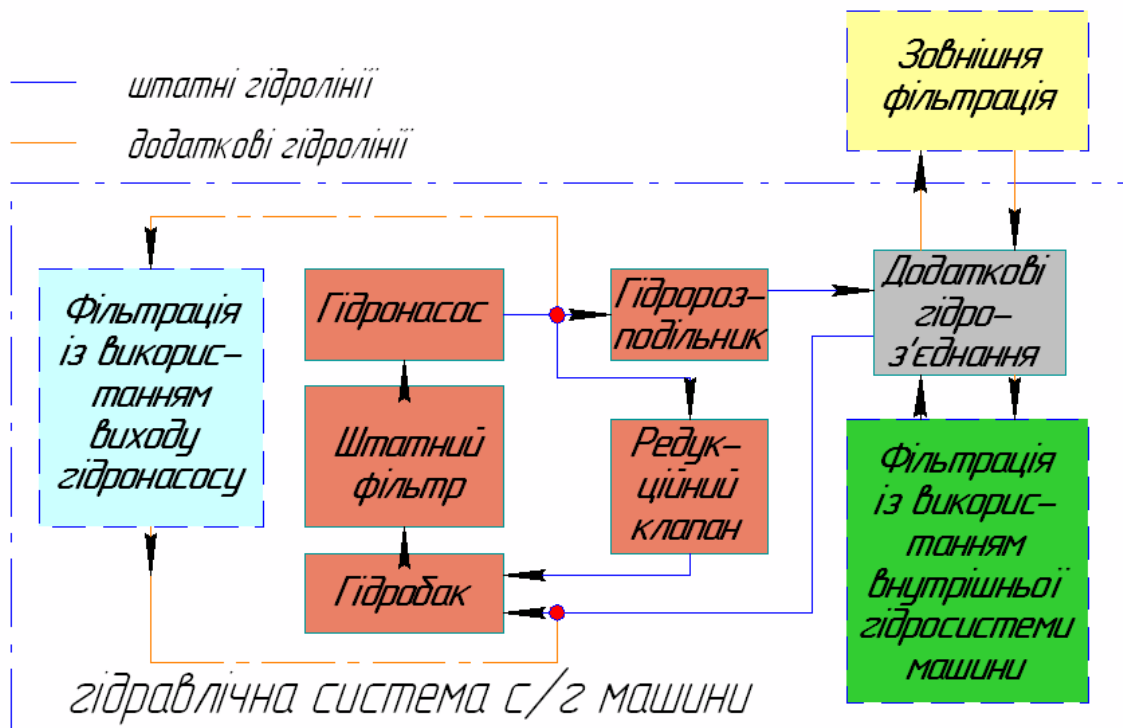
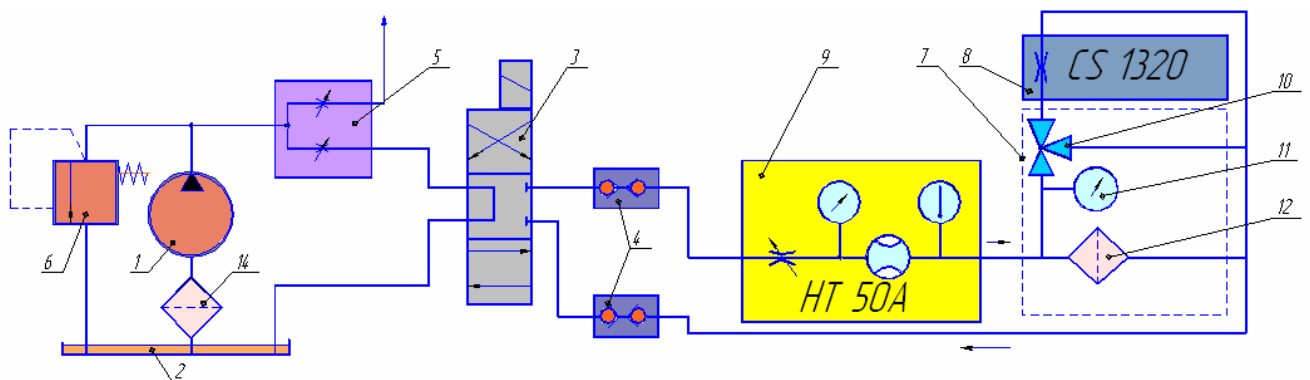
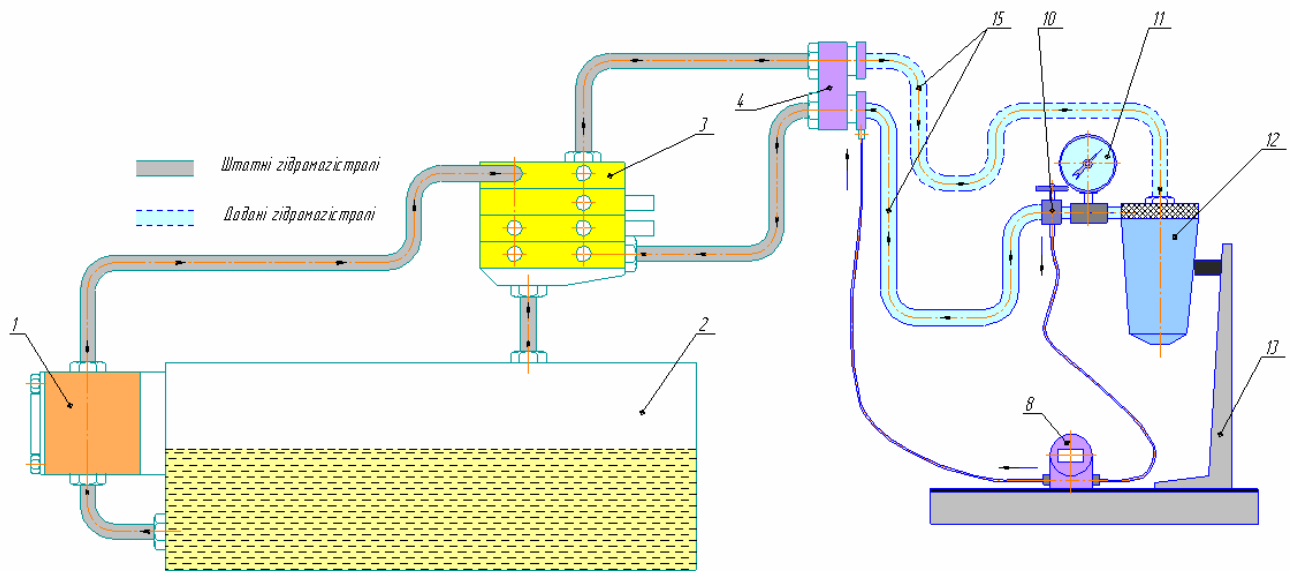


Рисунок 3.1 - Варіанти організації додаткової системи фільтрації оливи силової гідросистеми с/г машини в експлуатаційних умовах

Перша конструктивна схема забезпечує зовнішню фільтрацію оливи та використовує портативний фільтруючий пристрій, розміщений поблизу с/г машини. Дана система фільтрації не повинна працювати постійно під час звичайної роботи машини, та забезпечує очищення оливи під час проведення регламентованих сервісних операцій (при обслуговуванні машини). Елементи системи зовнішньої фільтрації за допомогою швидкозчіпних пристроїв (фітінгів) з'єднуються із штатною гідравлічною системою с/г машини та використовує гідравлічний контур для під'єднання тракторного агрегату (рис. 3.2).



а)



б)

Рисунок 3.2 - Гідравлічна схема (а) та принцип організації (б) зовнішньої фільтрації:

1 – гідронасос; 2 – гідробак; 3 – гідророзподільник (блок регулюючих клапанів; 4 – фітинги; 5 – головний клапан; 6 – запобіжний (редукційний) клапан, 7 – зовнішня фільтрація, 8 – датчик забруднення рідини; 9 – вимірювальний прилад; 10 – трьохходовий кран; 11 – манометр; 12 – корпус фільтра із фільтруючим елементом; 13 – опорна стійка; 14 – штатний фільтр; 15 – додаткові гідрошланги.

Основними частинами системи зовнішньої фільтрації 7 додатковий фільтруючий елемент розміщений є окремому корпусі 12. При проведенні експериментальних досліджень використовувався паперовий фільтруючий елемент типу H1169/2 (Mann+Hummel, Німеччина) із номінальною тонкістю очищення 10 мкм. До конструкції розробленої системи фільтрації входили також корпус фільтра ФС02 із фітінгами, триходовий клапан 10 та манометр 11 змонтовані на переносній опорній стійці 13. Використаний тип корпусу фільтра передбачав низький тиск (до 0,2 МПа) оливи під час фільтрації. Обмеження максимального тиску було реалізовано за допомогою вимірювального приладу 9 типу HT50A (XPS Corporation, США) при встановленому максимальному значенні витрати 0,2 $\text{дм}^3/\text{с}$. Клапан регулювання потоку вимірювального пристрою дозволяв попередній підігрів гідравлічної оливи перед фільтрацією. Цей вимірювальний прилад використовувався також для вимірювання загальної витрати оливи через гідравлічну систему «трактор - навісне обладнання» та температури гідравлічної оливи в процесі очищення.

Друга схема фільтрації інтегрована із штатною гідравлічною системою МТА та реалізована із використанням виходу штатного гідравлічного насоса машини та здійснює відбір оливи із гідросистеми та наступне її повернення після фільтрації до штатного гідробаку (рис. 3.3). Ця система виконує безперервне очищення оливи під час роботи с/г машини за рахунок функціонування базового гідравлічного насоса. Дана система фільтрації монтується безпосередньо на машині та не перешкоджає виконанню основного виробничого процесу.

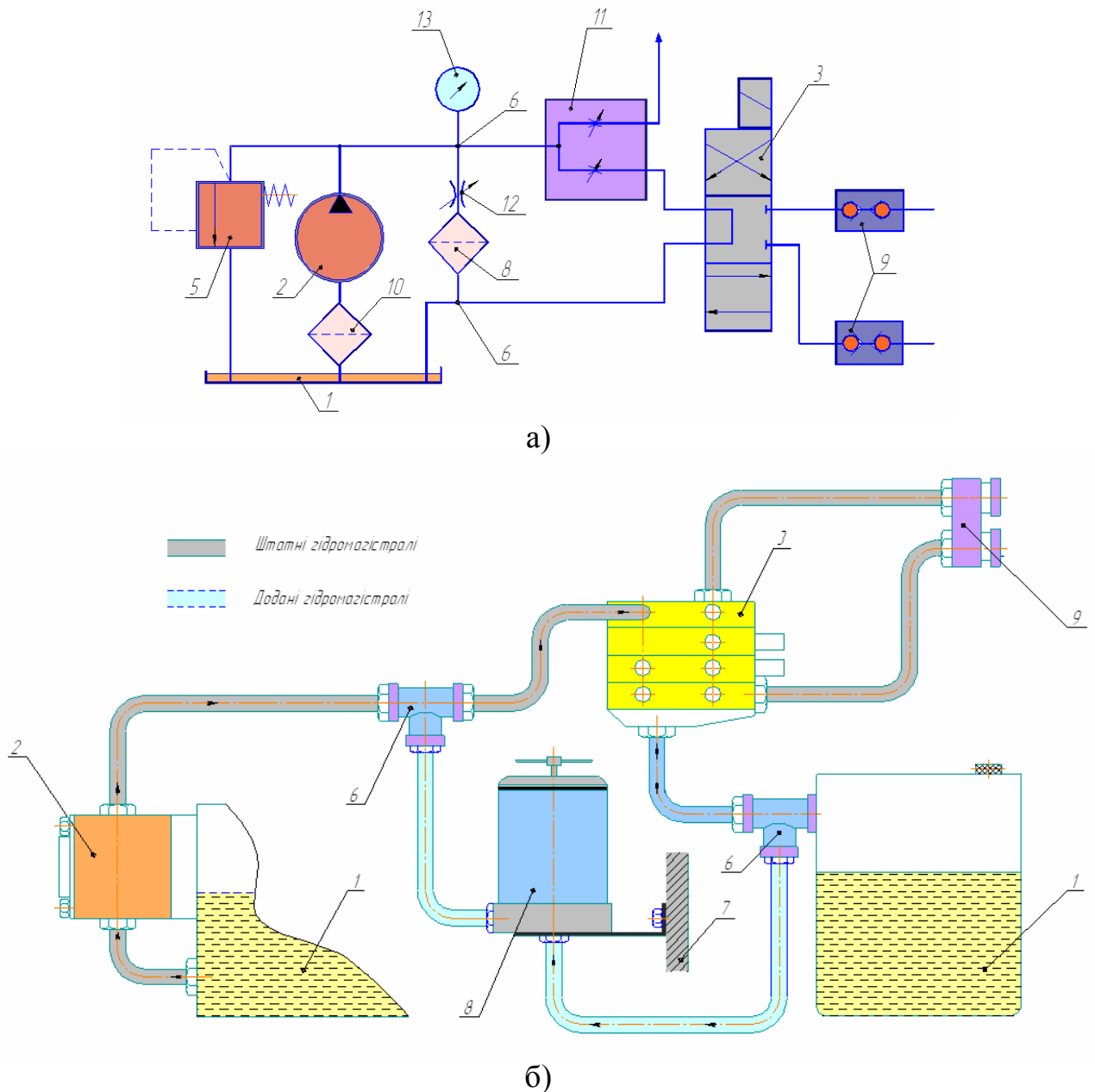


Рисунок 3.3 - Гідравлічна схема (а) та фільтрація рідини (б) на виході гідронасоса:

1 – гідробаки; 2 – гідронасос с/г машини; 3 – гідророзподільник (блок регулюючих клапанів); 4 – гідрошланги; 5 – редукційний клапан; 6 – трійник; 7 – консоль; 8 – корпус фільтра з фільтруючим елементом; 9 – фітинги; 10 – штатний фільтр; 11 – пріоритетний клапан; 12 – дросель; 13 – манометр.

В конструкції цієї системи використовувалися фітінги 6 гідравлічних ліній марки «Tfittings», які забезпечують розподілення потоку оливи між оригінальною гідравлічною лінією та шлангами 4, що йдуть до корпусу фільтру 8 FT-B68 та фільтруючого елементу FT-Тип V68 із номінальною чистотою фільтрації до 1 мкм. Шланги дозволяють гнучко підключати систему фільтрації до гідравлічного контуру с/г машини. Гідравлічний насос 2 починає працювати одразу після запуску двигуна МТА та забезпечує процес циркуляції оливи у гідравлічній системі.

Універсальна олива перекачується від гідронасоса 2 до фільтру 8 й починає фільтруватися одразу після запуску двигуна трактора. Відфільтрована олива повертається до гідробаку 1 через один з Т-подібних фітінгів 6 та зворотну лінію гідравлічного контуру. Корпус фільтру із фільтруючим елементом встановлюється на рамі с/г машини за допомогою консолі 7 із урахуванням забезпечення місця для повороту її ведучих коліс. Таким чином забезпечується можливість здійснення оператором машини візуального контролю за технічним станом системи фільтрації. За допомогою дросельної заслінки 12 та манометра 13 встановлюється максимальна витрата - $0,5 \text{ дм}^3/\text{хв.}$ через корпус фільтру.

Третя схема системи фільтрації базується на використанні гідравлічної системи тракторного агрегату та наведена на рис. 3.4. Використовуючи цю систему фільтрації, гідравлічну систему трактора через навісне обладнання можна використовувати для процесу фільтрації за допомогою Т-подібних фітінгів із швидкоз'ємними з'єднувальними елементами, які не блокують роботу навісного обладнання. При цьому корпус додаткового фільтру 8 оснащений фільтруючим елементом із фільтраційною здатністю до 1 мкм й дозволяє поглинати $0,5 \text{ дм}^3$ води, на відміну від стандартного фільтру машини 10.

Максимальний потік оливи через корпус фільтру не повинен перевищувати $1,5 \text{ дм}^3/\text{хв.}$, тому оператор машини повинен встановити та контролювати правильне значення витрати оливи після пуску двигуна машини. Максимальний тиск оливи при цьому є на 30 МПа вищим за максимальний тиск у базовій гідравлічній системі «машина - навісне обладнання». Використання цієї системи фільтрації не впливає на роботу знарядь МТА, оскільки максимальний тиск машини не знижується, а витрата оливи зменшується мінімально.

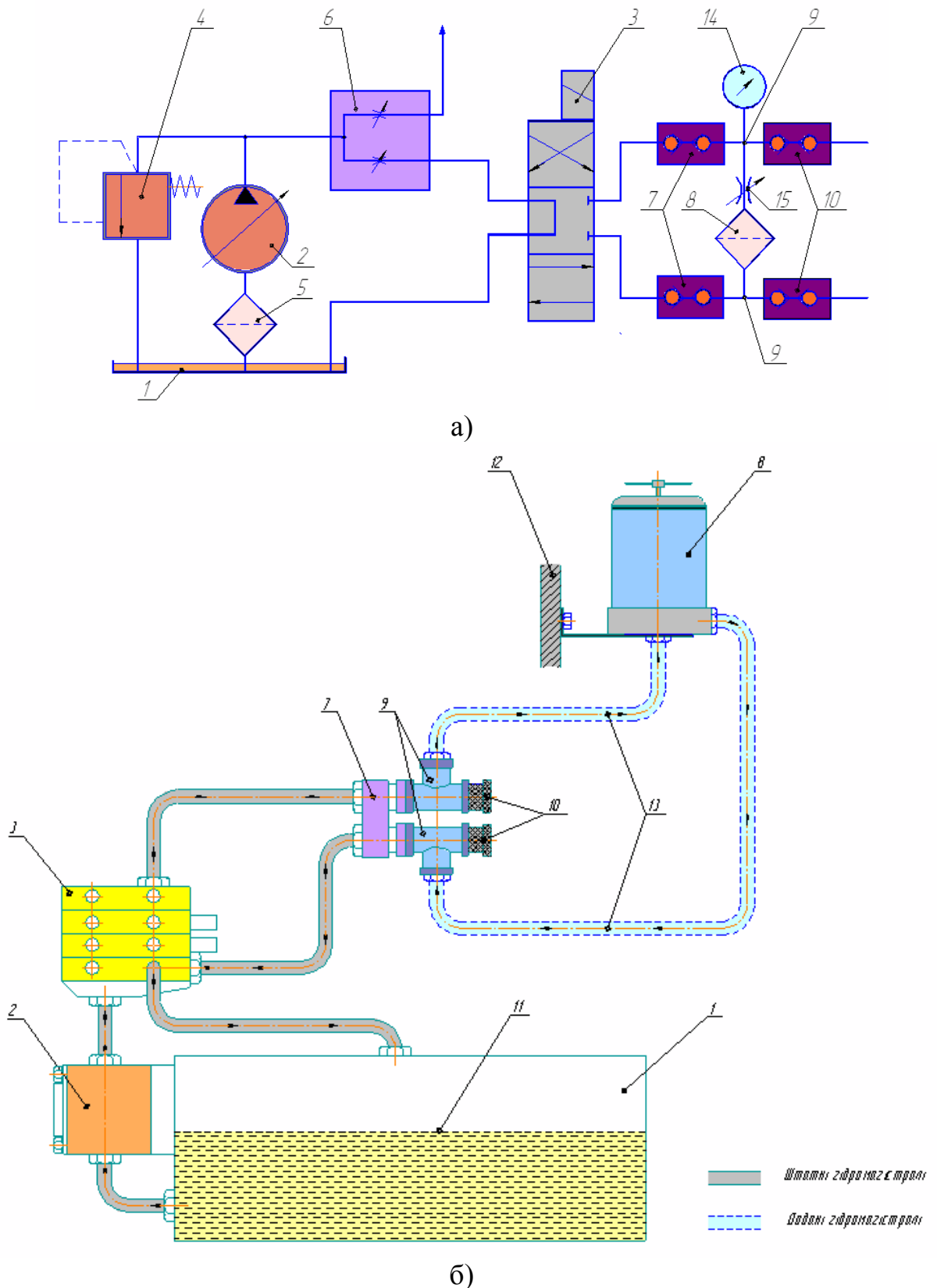


Рисунок 3.4 - Гідравлічна схема (а) та принцип фільтрації (б) оливи за допомогою гідросистеми «трактор – агрегат»:

1 – гідробак; 2 – гідронасос с/г машини; 3 – блок регулюючих клапанів (гідророзподільник); 4 – запобіжний (редукційний) клапан; 5 – штатний фільтр; 6 – пріоритетний клапан; 7 – фітинги; 8 – корпус фільтру з фільтруючим елементом; 9 – трійник; 10 – додаткові фітинги; 11 – олива; 12 – консоль; 13 – додаткові гідрошланги; 14 – манометр; 15 – дросель.

Клапан регулювання потоку 15 є частиною корпусу фільтра й захищає систему фільтрації від високого тиску (до 30 МПа) за рахунок високих значень витрати. Саме тому, дана система фільтрації можлива для реалізації лише на с/г машинах, які мають в конструкції штатної гідравлічної системи гідравлічний насос змінного об'єму, який дозволяє встановити правильне значення витрати оливи.

3.3. Методика оцінки властивостей оливи в процесі фільтрації

3.3.1. Оцінка властивостей олив. Забруднення оливи оцінювали за концентрацією хімічних елементів, а саме заліза (Fe), міді (Cu), кремнію (Si), алюмінію (Al), свинцю (Pb), олова (Sn) та хрому (Cr). Вміст цих хімічних елементів у пробах оливи відібраних із гідросистем с/г техніки аналізували методом ІСП-спектрометрії у відповідності до стандарту [20].

Інтерпретація аналізу відпрацьованих олив дуже складна, оскільки окремі аналізи взаємозалежні. Тому необхідно оцінювати результати всього аналізу оливи, а не формувати висновки за результатами лише окремих аналізів.

Саме тому, оцінку чистоти оливи проводили для основних фізичних властивостей за порівнянням визначених величин із нормативними значеннями, а саме [20]:

- кінематичної в'язкості при 40 °C і 100 °C;
- індексу в'язкості;
- вмісту води (за потребою).

Властивості оливи оцінювали на основі аналізу її проб в акредитованій лабораторії ПАТ «Гідросила» м. Кропивницький. Забруднення оливи, загалом, впливає на її фізико-хімічні властивості; усуваючи забруднення, властивості оливи можна покращити за рахунок її регенерації. Тому властивості базової оливи контролювали до та після процесу фільтрації.

3.3.2. Оцінка якості фільтрації оливи. Рівень забруднення оливи та якість її фільтрації оцінювали за концентрацією хімічних елементів, що представляють частинки зносу пар тертя механізмів машини та забруднення із навколишнього середовища (Fe, Cu, Si, Al, Pb, Sn та Cr).

Розрахунок зниження вмісту хімічних елементів, що представляють нафтове забруднення $\Delta E[\%]$ та якість фільтрації оливи оцінено за:

$$\Delta_E = \frac{E_{CO} - E_{FO}}{E_{CO}} 100\%, \quad (3.1)$$

де E_{CO} – вміст хімічних елементів у забрудненій оливі, мг/кг;

E_{FO} – вміст хімічних елементів у відфільтрованій оливі, мг/кг.

Фільтруючий елемент є основною частиною кожної системи фільтрації, виготовлений із різних матеріалів й вимагає правильної швидкості потоку та градієнту тиску для правильної та надійної роботи машини. Фільтруючий елемент більшого розміру підходить для більшої швидкості потоку та дозволяє фільтрувати оливу за менший час. З іншого боку, він дорожчий й більші габарити ускладнюють його розміщення в тракторі.

Число циклів проходження оливи (1/с) показує, з якою інтенсивністю циркулює весь обсяг оливи в резервуарі централізованої системи мащення за одиницю часу й розраховується за формулою:

$$o = \frac{Q_f}{V}, \quad (3.2)$$

де Q_f – витрата через систему фільтрації, $\text{дм}^3/\text{с}$;

V – об'єм оливи в гідросистемі с/г машини, дм^3 .

За цим параметром визначили кількість циклів протікання оливи через фільтруючий елемент за час роботи машини в кожній із запропонованих систем фільтрації. Підрахунок циркуляції оливи через систему фільтрації проводили за виразом:

$$c = o \cdot t_0, \quad (3.3)$$

де o – кількість циклів циркуляції оливи, 1/с;

t_0 – тривалість роботи с/г машини, с.

Аналіз оливи складався із визначення її фізико-хімічних властивостей, рівня забрудненості та аналізу залишків зносу (WDA) [21]. Метою даного аналізу є виявлення та характеристика фрикційних частинок протягом терміну служби двох різних зразків універсальних тракторних трансмісійних олив.

Середнє зниження забруднення нафтою є параметром, який статистично перевіряє можливість покращення фізичних властивостей нафти за рахунок усунення забруднення частинками. Цей параметр ($\Delta EA[\%]$) розраховувався як середнє арифметичне зменшення трьох хімічних елементів (Fe, Cu, Si), які є найбільшими забруднювачами оливи:

$$\Delta_{EA} = \frac{\Delta_{EFe} + \Delta_{ECu} + \Delta_{ESi}}{3}, \quad (3.4)$$

де Δ_{EFe} - зниження вмісту заліза (Fe), %;

Δ_{ECu} - зниження вмісту міді (Cu), %;

Δ_{ESi} - зниження вмісту кремнію (Si), %.

Середнє зниження рівня забрудненості оливи визначали для кожного із запропонованих варіантів системи фільтрації.

3.3.3. Процедура відбору проб оливи та аналізу похибок. Визначення ступеня забрудненості всього обсягу оливи в гідросистемі с/г машини проводили за взятими із впускного отвору додаткових систем фільтрації зразками.

Похибки оцінки забруднення можуть бути обумовлені однорідністю оливи. Для усунення цієї похибки вимірювань зразки олив відбирали під час роботи машини після прогріву до робочої температури. Олива відразу після цього гомогенізується, оскільки вона протікає через механізми трансмісії, які інтенсивно її перемішують. Відбір проб оливи проводився з мінімально наближеної до поверхні землі точки системи мащення забезпеченої пилозахисним ковпачком для унеможливлення потрапляння до зразків забруднень із навколишнього середовища. Відібрана проба становила обсяг не менше 150 мл; використовували стандартні ємкості для проб надані акредитованою лабораторією. Точність параметрів проб оливи для проведення аналізу відповідала стандартам прийнятих методів випробувань. При цьому, проби оливи відбиралися із гідравлічної системи машини до процесу фільтрації та після очищення за допомогою розроблених систем фільтрації.

3.3.4. Характеристика олив, що застосувалися у гідросистемах с/г машин. Універсальні тракторні трансмісійні оливи призначені для гідравлічних та трансмісійних систем сільськогосподарських машин. Ці рідини забезпечують

мастильні функції в коробці передач та передачу енергії у гідравлічній системі машини. Крім передачі енергії, універсальні оливи повинні змащувати, відводити тепло, а також бути сумісні із ущільнювальними матеріалами та металевими компонентами системи. Під час проведення експериментальних випробувань в гідросистемах с/г машин використовувалися універсальні тракторні трансмісійні оливи Shell Donax 5W30, MolFarm Utto Synt та PP90.

3.4 Результати оцінки ефективності очищення робочих гідравлічних рідин додатковими системами

3.4.1. Оцінка дефективності проведення зовнішньої фільтрації. Перевірку ефективності проведення зовнішньої фільтрації проводили на тракторі Zetor Forterra 11441. Рівень чистоти оливи за стандартом під час випробування зовнішньої фільтрації контролювався за допомогою датчика забруднення типу CS 1320 (Hydac Ltd., Німеччина) (поз. 8 рис. 3.2). Трьохходовий клапан пропускав лише незначний обсяг оливи через датчик забруднення для оцінки ефективності її фільтрації.

Враховуючи витрату оливи ($0,2 \text{ дм}^3/\text{с}$) через зовнішню фільтрацію та загальний об'єм оливи в гідросистемі машини ($56,0 \text{ дм}^3$), тривалість циркуляції оливи була розрахована у відповідності до наведеної вище залежності (3.2) та склала $0,0035 \text{ 1/с}$. Використовуючи рівняння (3.3) було визначено, що протягом приблизно 10 хв. фільтрації оливи, мінімальна кількість циклів її циркуляції через систему фільтрації складе 2 цикли (одна фільтрація всього обсягу оливи в гідросистемі обсягом $56,0 \text{ дм}^3$ зайняла близько 5,0 хв. Після другої циркуляції оливи через систему зовнішньої фільтрації рівень її чистоти (виміряний датчиком забруднення CS 1320) залишився на рівні першого циклу фільтрації. Після нагрівання оливи був виміряний початковий рівень чистоти ISO (24/23/12). Між другим та третім періодами фільтрації рівень чистоти ISO знизився до показників 24/23/10. Таким чином, під час фільтрації оливи зменшувалася кількість найбільших частинок забруднень, які є найбільш небезпечними для гідравлічної та трансмісійної оливи в гідросистемі с/г машини.

Зменшення забруднення оливи також було підтверджено вимірюванням концентрації хімічних елементів, що представляють забруднення, за даними ІСП-

спектрометрії (рис. 3.5). Використовуючи рівняння (3.1) та параметри, наведені на рис. 3.6, було оцінено концентрацію забруднень в оливі до та після фільтрації. Зменшення вмісту хімічних елементів, що представляють забруднення, досягло значень 32,95% (для Fe), 33,33% (для Si) та 6,66% (для Cu). Після фільтрації вміст свинцю (Pb) залишався на тому ж рівні. Такі елементи як алюміній (Al), олово (Sn) та хром (Cr) зафіксовані у оливі у незначних обсягах.

Превагою методу зовнішньої фільтрації є простота конструкції фільтруючої системи, яка забезпечує рух потоку оливи у гідравлічній системі машини та під'єданого до неї знаряддя, без необхідності використання зовнішнього силового гідронасосу. Конструкцію системи зовнішньої фільтрації було застосовано на тракторі Zetor Forterra 11441 у гідросистемі якого знаходилася олива Mol Farm Utto Synt.

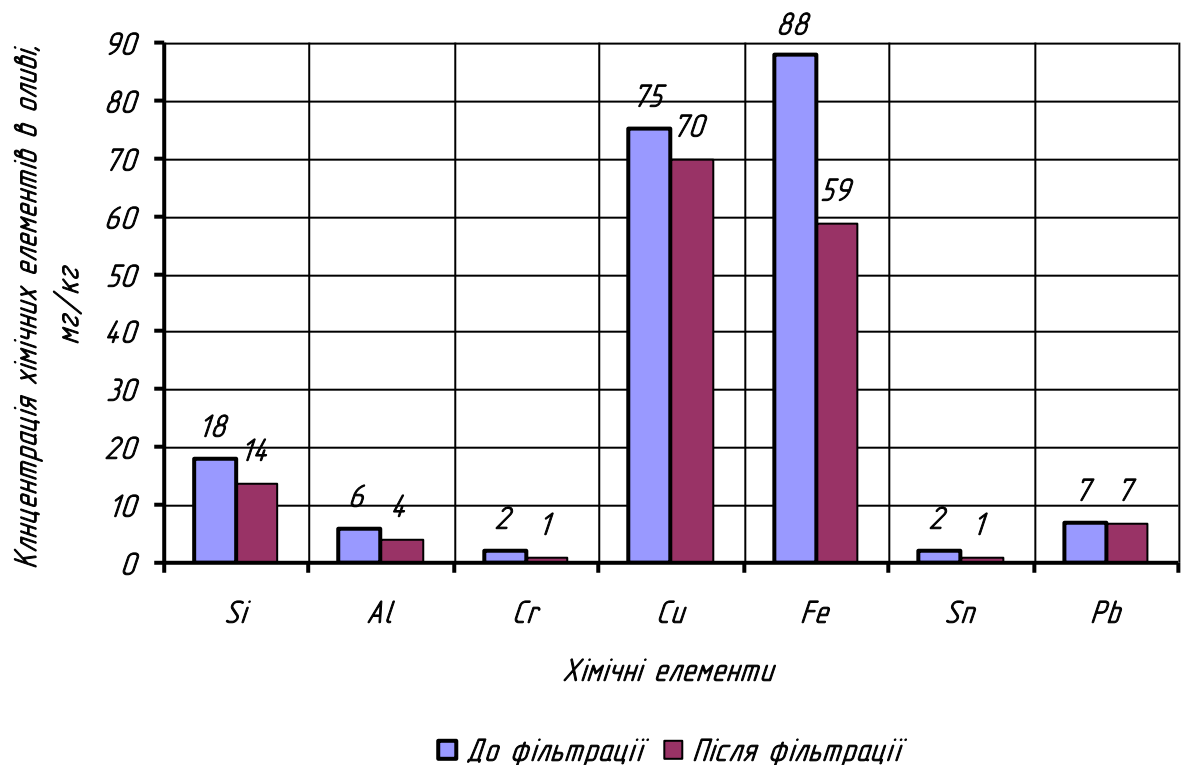


Рисунок 3.5 - Концентрація хімічних елементів до і після зовнішньої фільтраційної перевірки оливи

За результатами досліджень встановлено, що показники кінематичної в'язкості оливи при 40°C змінилися лише на 6,8% й не перевищували граничного значення. Зафіксовано перевищення граничного значення 10,0% кінематичної в'язкості при 100°C й склало 13,9%. Перевищення меж було також відмічено й у випадку концентрації хімічних елементів, які є продуктами зношування (див. рис.

3.5). Результати оцінки властивостей оливи до та після проведення зовнішньої фільтрації представлені у таблиці 3.1.

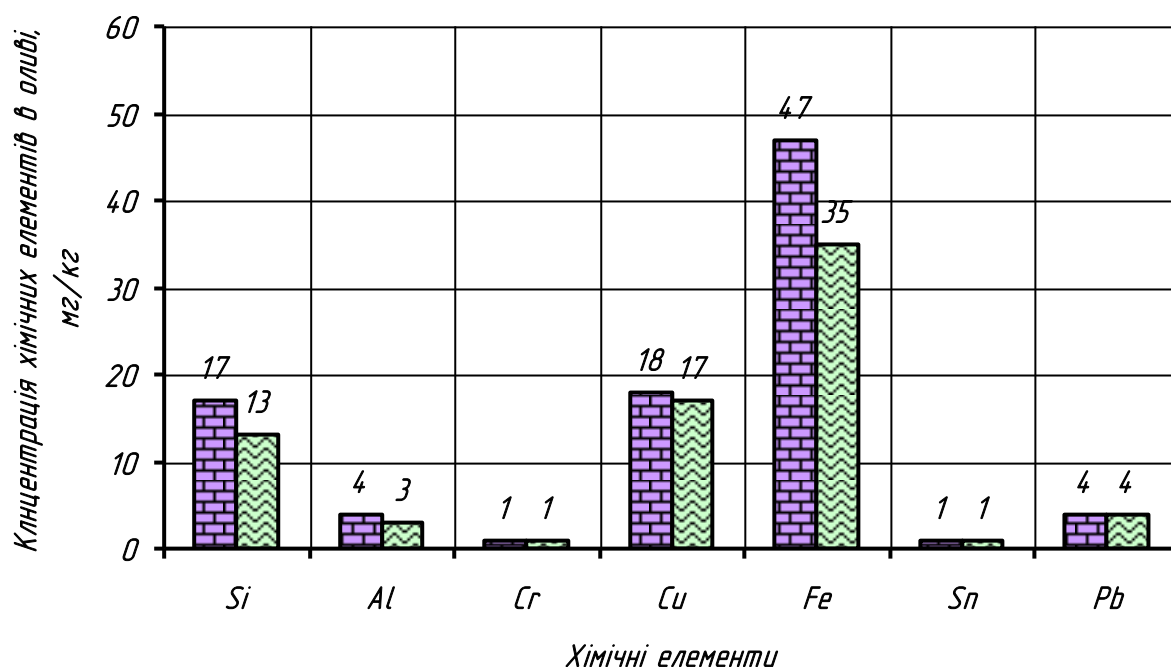
Таблиця 3.1. Властивості оливи Mol Farm Utto Synt до та після проведення процедури додаткової зовнішньої фільтрації

Параметр	Одиниця виміру	Нова олива	Попередня фільтрація	Остання фільтрація
Напрацювання с/г машини	МОТО-ГОД	0	900	950
Час використання оливи		0	50	
Кінематична в'язкість при 40 °C	мм ² /с	58,0	54,0	54,0
Кінематична в'язкість при 100 °C	мм ² /с	10,22	8,8	8,7
Індекс в'язкості	-	165	141	138
Вміст води	ppm	*	*	*

Примітка: * - вміст води не оцінювався

3.4.2. Оцінка ефективності фільтрації оливи за допомогою гідравлічної системи с/г машини. Конструкцію системи фільтрації розроблено для трактора John Deere 8100 в гідравлічній системі якого знаходиться олива Shell Donax в'язкістю 5W30. Гідросистема цього трактору має гідравлічний насос змінного об'єму, що дозволяє проводити монтаж фільтруючого пристрою до зовнішнього гідравлічного контуру. Гідравлічний насос дозволяє встановити мінімальну витрату через систему фільтрів на рівні 0,5 дм³/хв при загальному об'ємі оливи в гідросистемі трактора 118 дм³. За таких умов, кількість циклів проходження оливи через систему додаткової фільтрації, розрахована за рівнянням (3.2) склало $o = 0,0007$ л/с. Підрахунок циркуляції оливи через систему фільтрації проведений за виразом (3.3) встановив, що $c = 37,8$ протягом 150,0 годин роботи трактора із фільтрацією оливи.

Зменшення вмісту хімічних елементів (рис. 3.6), що представляють забруднення, було розраховано у відповідності до рівняння (3.1) й досягло значень 25,5% (для Fe), 25,0% (для Al), 23,5% (для Si) та 5,6% (для Cu). Після фільтрації вміст таких хімічних елементів як Cr, Sn та Pb - залишився фактично на попередньому рівні.



■ До фільтрації ■ Після фільтрації

Рисунок 3.6 - Концентрація хімічних елементів до та після фільтрації за допомогою гідравлічної системи «трактор - навісне обладнання»

Концентрація забруднення (див. рис. 3.6) й визначені фізичні властивості оливи (таблиця 3.2) свідчать про відмінний технічний стан оливи після 1900 год. напрацювання (фактично безпосередньо перед проведенням регламентованої заміни оливи після 2000 год. роботи). Сільськогосподарські машини, що експлуатуються таким чином, можуть працювати протягом більш тривалого терміну технічної експлуатації без аномального процесу зношування та ризику раптової поломки.

Таблиця 3.2. Властивості нової оливи Shell Donax (5W30) до та після фільтрації на виході гідравлічного насосу

Параметр	Одиниця виміру	Нова олива	Попередня фільтрація	Остання фільтрація
Напрацювання с/г машини	МОТО-ГОД	0	1900	2050
Час використання оливи		0	150	
Кінематична в'язкість при 40 °C	мм ² /с	38	41	40
Кінематична в'язкість при 100 °C	мм ² /с	7,1	6,8	6,8
Індекс в'язкості	-	151	123	127
Вміст води	ppm	*	*	*

Примітка: * - вміст води не оцінювався

Визначена різниця у показниках кінематичної в'язкості оливи трактора John Deere 8100 при 40 °С досягла значення 7,3%, а при 100 °С - значення 4,2%. Обидва показники не перевищували гранично допустимого значення у 10,0%.

3.4.3. *Оцінка дефективності фільтрації оливи із використанням потужності гідравлічного насоса.* Дана система фільтрації була апробована на новому типі трактора ХТЗ-181.22 з гідравлічною оливою в системі марки МГЕ-46В. Аналіз проб оливи перед фільтрацією показав, що вона сильно забруднена; так найбільші значення забруднень були відмічені для заліза (373 мг/кг) та міді (108 мг/кг) (рис. 3.7). Аналіз причин появи такої ситуації показав, що вона спричинена агрегуванням трактора різними типами с/г знарядь та механізмів (причепів, плугів і т.д.), гідросистеми яких були заповнені старими та деградованими оливами невідомих типів, які в процесі підключення в єдину гідросистему МТА змішалися із оливою трактора та призвели до сильного її забруднення.

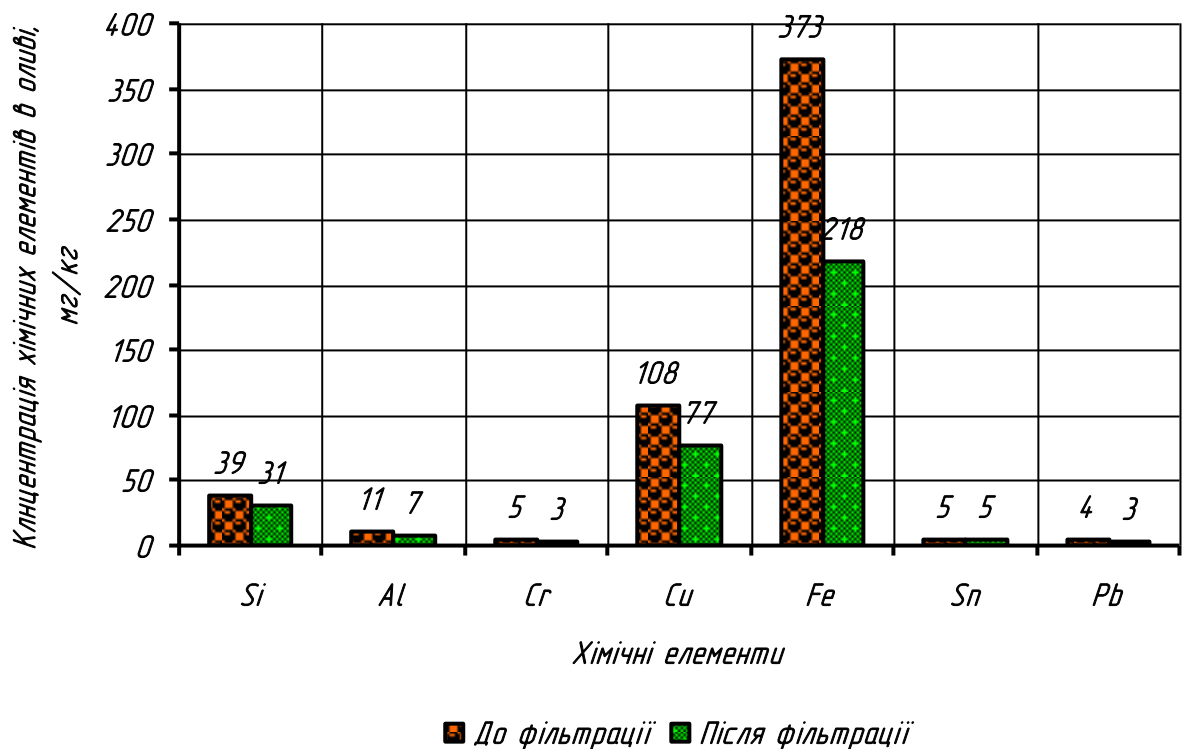


Рисунок 3.7 - Концентрація хімічних елементів до і після фільтрації за допомогою виходу гідронасоса трактора

Число циклів фільтрації оливи, розраховане згідно із рівнянням (3.2) склало - $o = 0,0089$ 1/с при загальному об'ємі гідросистеми трактора у 56,0 дм³ та витраті через додаткову фільтруючу систему 0,5 дм³/хв. Підрахунок циркуляції

оливи через систему фільтрації встановив, що $c=107,0$ протягом 201,0 год. роботи трактора в експлуатаційних умовах із фільтрацією оливи.

При роботі трактора із фільтрацією при використанні потужності гідронасоса зниження вмісту хімічних елементів (див. рис. 3.8), що представляють забруднення, досягло значень 41,6% (для Fe), 36,4% (для Al), 28,7% (для Cu) та 20,5% (для Si). Оцінка вмісту в оливі таких хімічних елементів як Cr, Sn та Pb виявила їх несуттєвий рівень.

Для цього трактора, встановлені показники кінематичної в'язкості оливи при 40 °C досягли значення 27,9%, а при 100 °C – 19,8% (таблиця 3.3). Це свідчить про втрату кінематичної в'язкості оливи в гідросистемі трактора (гранично допустимий рівень складає 10,0%) та потребує обов'язкової заміни в найкоротші часові терміни.

Таблиця 3.3. Властивості оливи МГЕ-46В до та після фільтрації за допомогою виходу гідравлічного насосу трактора

Параметр	Одиниця виміру	Нова олива	Попередня фільтрація	Остання фільтрація
Напрацювання с/г машини	МОТО-ГОД	0	1889	2100
Час використання оливи		0	201	
Кінематична в'язкість при 40 °C	мм ² /с	172	124	123
Кінематична в'язкість при 100 °C	мм ² /с	15,6	12,5	12,7
Індекс в'язкості	-	92	91	95
Вміст води	ppm	*	*	*

Примітка: * - вміст води не оцінювався

Аналіз представлених вище результатів показав, що при застосуванні всіх запропонованих систем додаткової фільтрації оливи, середнє зниження рівня забрудненості склало 24,3% для зовнішньої фільтрації, 24,7% для фільтрації із використанням гідравлічної системи трактора та 35,5% для фільтрації із використанням виходу гідравлічного насоса. Спостерігалися лише незначні зміни фізичних властивостей оливи після її фільтрації (таблиці 3.1-3.3), які при досягнутих рівнях зниження забрудненості частинками, не впливають на фізичні властивості оливи. У всіх випадках, визначення вмісту води у оливі не проводилося (див. таблиці 3.1-3.3), що є типовим для більшості с/г машин,

оскільки їх трансмісії та гідравлічні системи добре захищені від води із ґрунту та зрідженої води із навколишнього повітря.

Оцінюючи ефективність роботи всіх розроблених систем слід зазначити, що всі води показали працездатність та виявилися доволі ефективними для зменшення рівня шкідливих забруднювачів гідравлічної оливи с/г машини.

Розділ 4

ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ ІЗ ДО ОСНАЩЕННЯ С/Г МАШИН ТА ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Правила експлуатації та технічного обслуговування гідроприводів с/г техніки

В першу чергу слід зазначити, що до організації експлуатації, заходів із технічного обслуговування та поточного ремонту вузлів й механізмів гідроприводів с/г машин, повинен залучатися лише кваліфікований сертифікований персонал, який має отриманий допуск на обслуговування техніки відповідних марок [21, 22, 23]. Виконання технічних дій обслуговуючим персоналом повинне супроводжуватися чітким дотриманням положень відповідних інструкцій заводів-виготовлювачів машин та їх гідро-пристроїв. Допуск до проведення робіт повинні отримати фахівці після підтвердження відповідної кваліфікації, яка визначається за рівнем їх знань з будови та принципів дії всіх структурних елементів гідроприводу; навичками з оцінки та аналізу принципових гідравлічних схем, принципів роботи гідроприводу та окремих його функціональних ланок; вміннями із підготовки, налаштування та запуску гідроприводу, здатністю виявляти й усувати виявлені несправності та поломки тощо [21, 24].

Гідропривід, це складна мехатронна система машини, надійність роботи якої, значною мірою визначається як правильним та кваліфікованим налаштуванням, так й не менш кваліфікованою експлуатацією та сервісом гідро пристроїв [10, 25].

Процедура підготовки гідроприводу с/г машини перед першим запуском передбачає [15]:

- перевірку наявного необхідного об'єму оливи у гідробаці та її доливання до визначеного рівня (за необхідністю);
- перевірку ступеня забрудненості фільтруючих елементів та, за необхідністю, їх промивання та/або заміну. Для проведення процедури промивання фільтрів встановлені наступні умови: для сітчастих фільтрів – 200...300 мото-годин напрацювання, для магістральних фільтрів – 200 мото-годин, для пластинчастих – не рідше ніж два рази на рік;
- перевірку правильності монтажу гідрошлангів та гідропроводів й

відповідність їх стану встановленим технічним умовам; при наявності дефектів - їх обов'язкова заміна;

- перевірку надійності кріплень всіх структурних елементів гідросистеми.

Враховуючи складність конструкції більшості елементів гідросистеми, в експлуатаційних умовах виникають різного роду несправності, які потрібно вчасно визначити (діагностувати) та усунути. Найбільш поширені типові несправності та поломки в гідросистемах с/г машин, їх причини та оптимальні способи усунення наведені в таблиці 4.1 [3, 4, 26, 27].

Таблиця 4.1 - Основні несправності гідросистем с/г машин та способи їх усунення

Вид несправності	Причина несправності	Спосіб усунення, що пропонується
-1-	-2-	-3-
Насос не подає рідину в систему	Невідповідний напрямок обертання валу насоса Недостатній рівень робочої рідини в гідробаці Засмітився трубопровід низького тиску Підсмоктування повітря на вході до гідронасосу Поломка гідронасоса Підвищена в'язкість оливи Засмітився демпфер переливного клапану	Змінити напрямок обертання валу Долити оливу до відмітки показчика Прочистити трубопровід Підтягнути з'єднання Усунути пошкодження або замінити насос Замінити оливу Промити клапан та прочистити отвір демпферу
Гідронасос не створює достатній рівень тиску в гідросистемі	Гідронасос не подає рідину в систему Підвищений знос гідронасоса (збільшені внутрішні втрати) Підвищені зовнішні витоки Підвищені внутрішні втрати в гідронасосі Обмеження руху золотника запобіжного клапану Зменшення в'язкості оливи внаслідок її перегрівання	Див пункт 1 Перевірити об'ємну подачу насоса на різних режимах. При об'ємному ККД нижче паспортного - замінити гідронасос. Замінити ущільнення. Перевірити деталі насоса на наявність раковин, тріщин і т.д. При їх виявленні - замінити насос. Замінити ущільнення. Перевірити вузли гідросистеми на герметичність і відремонтувати Розібрати та промити клапан, перевірити стан демпфера, пружини, кульки і його сидла Забезпечити потрібні умови охолодження оливи

Продовження таблиці 4.1

-1-	-2-	-3-
Шум та вібрація у гідросистемі	Підвищений опір у всмоктуючому трубопроводі Низька пропускна здатність фільтру або його засмічення Підсмоктування повітря в контурі низького тиску Засмітився сапун гідробаці Вібрація клапану демпфера Різка зміна прохідного перерізу гідропроводів Нежорстке кріплення гідропроводів	Збільшити прохідний переріз трубопроводу Замінити фільтруючий елемент або промити його Підтягнути з'єднання Прочистити сапун Розібрати та перевірити канали Збільшити та/або виправити прохідні перерізи гідропроводів Закріпити гідропроводи
Нерівномірний рух робочих органів с/г машини	Наявність повітря у гідросистемі Тиск налаштування запобіжного клапану близький до тиску, що є необхідним для руху робочих органів Недостатній опір на злив із гідроциліндра Механічне заїдання рухомих частин гідро циліндру Нерівномірна подача оливи гідронасосом; шум та стукіт у насосі внаслідок поломки шестерень або плунжера	Випустити повітря із гідросистеми Налаштувати запобіжний клапан на тиск, що на 0,5...1,0 МПа є більшим за тиск, необхідний для руху робочих органів машини Підвисити опір на зливі регулюванням дроселю або запобіжного клапану Відремонтувати гідроциліндр Замінити насос
Різде зменшення швидкості руху при зростанні навантаження	Підвищені внутрішні або зовнішні втрати у елементах гідросистеми Регулятор швидкості заїдає у відкритому положенні Запобіжні й перепускні клапани відрегульовані на низький тиск	Див пункт 2 Розібрати регулятор швидкості, перевірити справність пружини та плавність переміщення золотника. Усунути дефекти, промити та зібрати регулятор Налаштувати запобіжні та перепускні клапани
Поступове зменшення швидкості руху робочого органу с/г машини	Забруднення робочої рідини Засмічення фільтрів, дроселів та інших елементів системи. Облітерація щілин дроселю Знос ущільнюючих поверхонь гідроагрегатів або зниження в'язкості оливи	Замінити рідину і промити гідросистему Промити гідроапаратуру Збільшити мінімальне відкриття дроселя або встановити дросель із меншою мінімальною витратою Замінити зношені гідроагрегати або замінити оливу

Продовження таблиці 4.1

-1-	-2-	-3-
Підвищений тиск у нагнітальній лінії в режимі холостого ходу	Підвищені втрати тиску у системі через неправильний вибір апаратури, зменшення прохідного перерізу гідропроводів, та/або в результаті неякісного монтажу Засмітився канал управління переливним клапаном гідророзподільника Підвищені механічні опори руху робочих органів	Замінити апаратуру, встановити гідропроводи із більшим прохідним перерізом, виключити зайві вигини, з'єднання тощо Прочистити канали гідророзподільника Усунути недоліки конструкції, відремонтувати штоки гідроциліндрів
Підвищена температура оливи у гідросистемі	Підвищені втрати тиску у гідропроводах та гідроагрегатах. Недостатній рівень тепловідведення від гідробаку та гідропроводів Гідронасос не розвантажується під час пауз у роботі Несправність терморегулюючої апаратури	Див пункт 7, а також поліпшити тепловідведення від бака і труб Перевірити роботу розвантажувального пристрою, усунути дефекти Усунути несправність
Зворотний клапан пропускає рідину при зміні напрямку потоку	Клапан не прилягає до сідла Дефект робочих крайок клапана або сідла. Зламалася пружина клапана	Розібрати клапан, перевірити стан сідла, конусу клапана та пружини Усунути дефекти, промити та зібрати клапан
Запобіжний клапан не утримує тиск	Засмітився демпфер або сідло клапана. Втрата герметичності в системі дистанційного розвантаження Зносилася кулька або сідло Зламалася пружина	Прочистити демпфер, промити потоком рідини Замінити кульку або сідло Замінити пружину
Тиск за редуційним клапаном відсутній	Засмітився демпфер або сідло клапана Зносилася кулька або сідло Зламалася пружина	Див пункт 10 Див пункт 10 Див пункт 10
Підвищені витоки оливи через дренажні отвори	Зношилися ущільнення Зношилися робочі поверхні рухомих розподільчих пристроїв	Замінити ущільнення Провести ремонт або заміну
Золотники з електрогідравлічним керуванням не перемикаються при включенні електромагніту	Заїдання золотника в корпусі (задир золотника). Заклинювання золотника при брудному маслі або осілої поворотній пружині. Густа олива ускладнює переміщення золотника Якоря електромагнітів не переміщуються на повну величину ходу Кінець штовхача має дефекти Засмітився дренажний отвір у золотнику	Зняти електромагніти, перевірити вручну переміщення золотника, перевірити затягування кріплення корпусу золотника, промити систему, змінити оливу Перевірити напругу в затискачах електромагніту, усунути заїдання якоря при переміщенні Замінити штовхач Розібрати, промити отвір

Продовження таблиці 4.1

-1-	-2-	-3-
Електромагніти гудуть та перегріваються	Див пункт 13 Занадто сильними є поворотні пружини Напруга струму живлення не відповідає номіналу Розклепаний якір електромагніту	Див пункт 13 Замінити пружини на більш слабкі Відрегулювати напругу електроструму Переклепати якір
Обрив та тріщини гідропроводів із порушенням герметичності	Недопустимі деформації гідропроводів Старіння та знос гідрошлангів Резонансні коливання у гідропроводах Підвищенні пікові значення тиску в гідросистемі	Відновити конструкцію гідропроводу Замінити гідрошланги Закріпити гідропроводи скобами Відрегулювати перепускні клапани й демпфери. Знизити швидкість робочого органу машини
Редукційний клапан не знижує тиск або знижує його недостатньо	Регулююча пружина стиснута майже до повного прилягання витків. Золотник клапана заїдає. Засмітилася лінія відведення оливи після клапану до гідробаку. Просіла регулююча пружина. Засмітився демпфуючий отвір золотника. Між кулькою та сідлом потрапив бруд або пошкоджена кулька	Розібрати клапан промити та замінити всі дефектні деталі
Швидкість подачі силового вузла замала й падає при навантаженні (регулювання за допомогою регулятора витрати)	Засмітилася щілина дроселю. Ослабла пружина вбудованого редукційного клапану або застряг золотник Підвищенні втрати в гідронасосі та гідроагрегатах Підвищена в'язкість оливи	Розібрати та промити із заміною дефектних деталей Замінити зношені гідроагрегати Замінити оливу
Потік оливи не реверсується золотником припливного виконання	Заїдання золотника в корпусі внаслідок забрудненої оливи, перетискання кріпильних болтів, неплотинність монтажної поверхні, поломка зворотних пружин, відсутність тиску керування Забився штовхач електромагніту золотника курування. Згоріла котушка або розклепався якір	Розібрати та промити золотник. Послабити кріпильні болти. Підвищити тиск керування Замінити дефектні деталі
Олива та піна викидаються через заливну горловину гідробаку або кришку вбудованого зливного фільтру	Надлишок оливи у баці Підсмоктування повітря до гідросистеми Засмітився фільтр або пошкоджені ущільнення кришки фільтру	Злити частину оливи Підтягнути з'єднання на лінії всмоктування Промити фільтр та/або замінити ущільнення

4.2 Особливості модифікації гідросистем с/г машин та практичне використання результатів проведених досліджень

Режими експлуатації гідроприводу поділяють на три види: легкий, середній та важкий, в залежності від тривалості його роботи під навантаженням, температурного стану, забрудненості повітря та оливи, динамічних навантажень тощо [3, 10, 14, 15]. Основною же причиною відмов гідроприводів визнано забруднення робочої рідини домішками. Так, за даними ПАТ «Гідросила», при конструктивному моторесурсах гідронасосів у 9000 мото-годин та гідророзподільників у 6000 мото-годин, в реальних експлуатаційних умовах роботи с/г техніки, напрацювання зменшується втричі й навіть більше. Статистика відмов елементів гідросистем (представлена у першому розділі роботи) показує, що 30...40% випадків основними причинами є саме забрудненням гідравлічних рідин.

Проведений аналіз потрапляння забруднень до робочих рідин гідросистем виявив, що вже на момент заправки гідросистеми трактора (комбайна, іншої с/г машини) в оливі є сторонні домішки, які потрапили в неї під час виробництва (2,0...4,0%), під час транспортування (до 14,0%), при зберіганні (до 20%) та в процесі заправки (до 40%), що в цілому створює їх концентрацію у 0,06...0,07% за масою. В експлуатаційний період, рівень забруднення робочої рідини лише продовжує зростати. Саме тому, кожні 100...250 мото-годин експлуатації гідроприводу потребують очищення оливи, її регенерацію або повну заміну. В процесі експлуатації також змінюється хімічний склад оливи, та її основні властивості, що призводить до інтенсифікації процесів зношування робочих поверхонь деталей гідроелементів, виходу з ладу ущільнень, зниження ККД гідроприводу.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що використання с/г техніки в агроумовах центрального регіону нашої країни, супроводжується високим рівнем запиленості навколишнього середовища [6], що негативним чином впливає на підвищення концентрації кремнію (Si) та продуктів зношування у гідравлічній оливі. Інтенсивному зношенню піддаються найбільш відповідальні деталі вузлів і механізмів с/г машин, які визначають їх функціональну

придатність до ефективного виконання польових та інших видів робіт. Перевищення гранично допустимого рівня забруднень спричиняє насичення штатного фільтруючого елемента при екстремальному забрудненні оливи та спостерігається у більшості с/г машин, навіть не при граничних напрацюваннях; разом з тим, фізичні властивості олив гідросистем фактично знаходяться в межах допуску. За таких умов, оливу беззаперечно потрібно замінювати, але лімітуючим фактором при цьому виступає не втрата її основного показника - в'язкості, а наявність підвищеного вмісту забруднень. За умови видалення шляхом фільтрації з оливи таких забруднень, вона може й надалі виконувати свої функції без необхідності її заміни.

Саме тому розробка маловартісних, але ефективних конструкцій систем додаткової фільтрації олив гідросистем с/г машин в експлуатаційних умовах дозволить суттєво підвищити ефективність використання цієї техніки, позитивно вплине на її працездатність, дозволить зменшити собівартість продукції за рахунок мінімізації часу на сервісні операції, особливо у період збирання врожаю.

Для вирішення цієї задачі в роботі нами було запропоновано одночасно три різних варіанти організації додаткової універсальні фільтрації олив, які фактично без жодних глобальних втручань інтегруються до штатних гідросистем с/г машин в залежності від їх конструктивних особливостей. Перша система (система зовнішньої фільтрації) використовує фільтруючий елемент 10 мкм, друга (фільтрація за допомогою гідравлічної системи тракторного агрегату) та третя (фільтрація за допомогою виходу гідронасоса) виконують процеси фільтрації набагато ефективніше, так як оснащені фільтрами із пропускнуою здатністю 1 мкм.

Кожна із систем показала певні переваги та недоліки у порівнянні з іншими. Так, при організації зовнішньої фільтрації – очищенні гідравлічної системи при разовому підключенні зовнішнього очисного пристрою під час простою трактора, олива не фільтрується постійно (рис. 4.1 а). Перевага способу полягає у універсальності застосування для будь-якого типу с/г машини, оскільки не потребує налаштування витрати оливи у гідравлічній системі трактора. При цьому дросельний клапан обмежує максимальну швидкість потоку рідини та величину тиску у системі. Зовнішня фільтрація є дуже простим рішенням для підвищення рівня чистоти універсальної тракторної оливи.



а)

б)

в)

Рисунок 4.1 – Монтаж різних систем додаткової фільтрації оливи на с/г машинах:

а) зовнішня фільтрація; б) фільтрація за допомогою гідравлічної системи «трактор - навісне обладнання» в) фільтрація за допомогою виходу гідравлічного насоса

Фільтрація із використанням виходу гідравлічного насоса безперервно очищує оливу під час роботи машини, оскільки фільтруюча система інтегрована у її робочу гідравлічну систему (рис. 4.1 б). При цьому оператору машини не потрібно звертати увагу на процес фільтрації, який починається відразу після запуску двигуна. Основним недоліком такої системи є необхідність втручання у гідросистему трактора для проведення монтажних операцій та підключення системи фільтрації до виходу гідронасоса.

Фільтрація за допомогою гідравлічної системи «трактор-навісне обладнання» поєднує в собі переваги описаних вище систем - під'єднується до гідросистеми с/г машини за допомогою швидкозйомних з'єднань (фітінгів) й функціонує безперервно під час всього періоду її роботи (рис. 4.1 в). Недоліком можна вважати наявність в штатній гідросистемі машини гідронасосу із регулюванням витрати для обмеження максимального об'єму рідини, що прокачується через систему фільтрації. Ця умова є лише відносним недоліком, оскільки тенденції машинобудування свідчать про те, що найближчим часом більшість с/г машин будуть оснащені такими типами силових гідронасосів. Відносним недоліком цієї системи можна вважати початок її актуалізації

(вмикання) оператором машини (трактористом), який повинен активувати потік оливи через гідравлічну систему тракторного агрегату.

Перевірка працездатності описаних конструкцій вторинних систем фільтрації (другий ступінь фільтрації) була реалізована під час експлуатації сільськогосподарських тракторів в умовах агрогосподарств Кіровоградської області. Виробники тракторів штатно встановлюють фільтри першого ступеня фільтрації, які забезпечують здатність до фільтрації частинок забруднювачів розмірами 15...20 мкм, в залежності від типу трактора на відміну від вищої здатності фільтрації запропонованих нами додаткових фільтраційних систем.

ВИСНОВКИ

Проведеним під час проходження науково-дослідної практики аналізом показників якості продукції, яку виробляє ТОВ «Ремсинтез» (м. Кропивницький) було встановлено, що нажалі в експлуатаційних умовах спостерігається погіршення характеристик в роботі гідравлічних циліндрів сільськогосподарських знарядь, що знижує показники ефективності їх використання та рівня конкурентності серед аналогічних машин на ринку України. Результати цього аналізу, наведені у першому розділі роботи, визначили необхідність проведення комплексу досліджень, які б були спрямовані на вирішення існуючої проблеми, встановлення найбільш значущих факторів, що в більшій мірі впливають на надійність гідросистем с/г машин та винайдення шляхів мінімізації їх негативного впливу.

Дослідженнями другого розділу роботи було визначено, що надійність є комплексною властивістю будь-якої технічної системи, яка включає в себе низку складників, але для сільськогосподарської техніки найбільш вагомими є такі показники надійності як безвідмовність та довговічність (ресурс). Дослідженнями було встановлено, що наприклад, найнижчими показниками безвідмовності характеризуються саме гідросистеми сільськогосподарської техніки із середніми значеннями відмов 32%, у окремих випадках досягаючи значень 46%. Найбільша кількість відмов, які систематично повторюються, припадає на такі елементи гідросистем як: гідропроводи (39,4%), гідроциліндри (28,1%) та гідрозподільники (19,5%). Серед експлуатаційних факторів, що в першу чергу є відповідальними за появу відмов, визнано підвищений рівень забрудненості робочої гідравлічної рідини агресивним технологічним середовищем, що безпосередньо обумовлюють величини зносів спряжених поверхонь тертя гідроагрегатів та інтенсивність їх збільшення. Виконані дослідження щодо аналізу різних типів сторонніх домішок у гідравлічній оливі показав, що основну частину забруднень (75...80%) робочої рідини становить кварц, польові шпати та оксиди металів, а органічна частина відкладень не перевищує 20...25%; у гідравлічній оливі містяться окисли заліза, алюмінію та продукти зношування у вигляді високодисперсних частинок металів, сплавів, частинок гуми, пластмас, волокна, частинки мінеральних добрив (аміачної селітри NH_4NO_3 , суперфосфату $Ca(H_2PO_4)_2$ та хлористого калію KCl) та ін.

Отже, в процесі експлуатації гідроприводів сільськогосподарської техніки, деталі гідросистем піддаються комплексному механічному та корозійному видам зношування. Зниження рівня механічного зношення забезпечується уловленням абразивних частинок фільтрами, які входять до складу будь-якої гідросистеми с/г машини. Разом з тим, забезпечити високий рівень очищення гідросистеми від сторонніх домішок цими фільтрами фактично не можливо; вони ефективно затримують частинки із розмірами від 10 до 100 мкм, залишаючи в оливі більш дрібні домішки величиною 2...5 мкм.

Виходом з описаної ситуації є очищення гідравлічної рідини за допомогою додаткової гідравлічної системи, яка буде під'єднана або навіть інтегрована до штатної гідросистеми с/г машини. Дослідження третього розділу були спрямовані на розробку таких систем із врахуванням існуючих відмінностей в конструкціях штатних гідравлічних систем с/г машин різних класів та різних виробників. Саме тому, було запропоновано та розроблено три різні конструктивні схеми додаткових систем очищення олив, які відрізнялися способом підключення та різним розташуванням додаткових фільтрів. Експериментальна оцінка ефективності їх роботи показала не тільки їх працездатність, а й виявила ефективне зменшення ними рівня шкідливих забруднювачів гідравлічних олив. Так, при застосуванні запропонованих систем додаткової фільтрації оливи, середнє зниження рівня забрудненості склало 24,3% для зовнішньої фільтрації, 24,7% для фільтрації із використанням гідравлічної системи трактора та 35,5% для фільтрації із використанням виходу гідравлічного насосу. При цьому фізичні властивості оливи після процесу фільтрації фактично залишалися незмінними.

Дослідженнями 4-го розділу визначені основні правила експлуатації та технічного обслуговування гідроприводів с/г техніки (їх несправності, причини їх появи та рекомендовані способи усунення) та визначені умови для дооснащення штатних гідросистем с/г машин додатковими системами фільтрації. Встановлено, що рівень модифікації штатних гідросистем машин можна вважати незначним: підключення додаткових фільтрів проводиться без зміни конструкцій штатних гідросистем та можливе для реалізації в умовах ремонтних або сервісних зон більшості агрогосподарств країни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний сайт ТОВ «Ремсинтез» (м. Кропивницький) remsintez.com.ua/ua.
2. Електронна пошта ТОВ «Ремсинтез» (м. Кропивницький) zavod.remsintez@gmail.com.
3. Гідропривод сільськогосподарської техніки: Навчальне видання / О.М. Погорілець, М.С. Волянський, В.Д. Войтюк, С.І. Пастушенко; За ред. О.М. Погорільця. – К.: Вища освіта, 2004. 368 с.
4. Гевко Б.М. Гідропривод і гідроавтоматика сільськогосподарської техніки : посібник / Б.М. Гевко, С.Г. Білик., А.Ю. Ліник, О.В. Фльонц – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. 384 с. <file:///C:/Users/Rheinsonne/Downloads/Monohrafiya%20Hevko.pdf>
5. Офіційний сайт ПАТ «Гідросила» (м. Кропивницький) <https://shop.hydrasila.com/>.
6. В. Самілик Звіт з науково-дослідної практики «Оцінка шляхів підвищення надійності елементів силових гідравлічних систем сільськогосподарської техніки у ТОВ «Ремсинтез» м. Кропивницький». – Кропивницький, ЦНТУ, 2023. 24 с.
7. Канарчук В. Є. Надійність машин: підручник / В.Є. Канарчук, С.К. Полянський, М.М. Дмитрієв. - Київ: Либідь, 2003. 424 с.
8. Надійність автомобілів. Навчально-методичний посібник /Є.К. Солових, С.О. Магопєць, С.Є. Катеринич, А.Є. Солових, В.О. Дубовик. – Кропивницький. РВЛ ЦНТУ, 2019. 309 с. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/10042/1/%d0%9d%d0%b0%d0%b4%d1%96%d0%b9%d0%bd%d1%96%d1%81%d1%82%d1%8c %d0%b0%d0%b2%d1%82%d0%be%d0%bc%d0%be%d0%b1%d1%96%d0%bb%d1%96%d0%b2.pdf>
9. Надійність технологічних систем Посібник-практикум / Н.І. Болтянська. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 162 с. <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/9179/1/%d0%9d%d0%b0%d0%b4%d1%96%d0%b9%d0%bd%d1%96%d1%81%d1%82%d1%8c%20%d1%82%d0%b5%d1%85%d0%bd%d0%be%d0%bb%d0%be%d0%b3%d1%96%d1%87%d0%bd%d0%b8%d1%85%20%d1%81%d0%b8%d1%81%d1%82%d0%b5%d0%bc%20%28%d0%bf%d0%be%d1%81%d1%96%d0%b1%d0%bd%d0%b8-%d0%bf%d1%80%d0%b0%d0%ba%d1%82%d0%b8%d0%ba%d1%83%d0%bc%29%20%d0%91%d0%be%d0%bb%d1%82%d1%8f%d0%bd%d1%81%d1%8c%d0%ba%d0%b0%20%d0%9d.%d0%86.%202019.pdf>
<http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/9179>
10. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Підручник для здобувачів вищої освіти / Д.П. Журавель, І.П. Паламарчук, С.М. Уманський, В.І. Паламарчук; за ред. Д.П. Журавля. - Київ: ЦП «Компринт», 2021. 449 с. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/15686>
<http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/15686/1/%d0%93%d1%96%d0%b4%d1%80%d0%b0%d0%b2%d0%bb%d1%96%d0%ba%d0%b0%2c%20%d0%b3%d1%96%d0%b4%d1%80%d0%be-%d0%20%d1%82%d0%b0%20%d0%bf%d0%bd%d0%b5%d0%b2%d0%bc%d0%be%d0%>

[bf%d1%80%d0%b8%d0%b2%d0%be%d0%b4%d0%b8.pdf](#)

11. Оливи. Моторні, турбінні, гідравлічні та трансмісійні: властивості та якість. Підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Йосип Любінін, Казимир Лейда; за редакцією проф. С. Бойченка. – К.: «Центр учбової літератури», 2019. 323 с.

https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/38010/3/%D0%9E%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%B8_%D0%BC%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%96_%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B1%D1%96%D0%BD%D0%BD%D1%96_%D0%91%D0%BE%D0%B9%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE_%D0%92%D0%A1%D0%95_%D0%905.pdf

12. Черновол М.І., Солових Є.К., Магопець С.О., Бевз О.В., Солових А.Є., Катеринич С.Є. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. Навчальний посібник. - Кропивницький: ЦНТУ, 2022. 410 с. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/121231>.

13. Гідравліка машинотракторних агрегатів : навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 160 с.

http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/8210/1/NP_Artyukh.pdf

14. Дідур В.А. та ін. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / Дідур В.А., Савченко О.Д., Журавель Д.П., Мовчан С.І. – К. : Аграрна освіта, 2008. 577 с.

15. Дідур В.А., Савченко О.Д., Пастушенко С.І., Мовчан С.І. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. Запоріжжя: Прем'єр, 2005. 464 с.

16. Дідур В.А., Журавель Д.П., Палішкін М.А. та ін. Гідравліка. Підручник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 624 с.

17. Дідур В.А., Журавель Д.П. Технічна механіка рідини і газу. Підручник. Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2019. 468 с

18. Гідравліка: Навчально-методичний комплекс. Навчально-методичний посібник / В.І. Дуганець, І.М. Бендера, В.А. Дідур та ін. / За ред. В.І Дуганця, І М.Бендери, В.А. Дідура. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2013. 572 с.

19. Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ Підручник. Київ. "Каравела", 2-е видання. 2021. 552 с.

20. Стандарт ISO 4406:2021. Потужність гідравлічної рідини. Рідини. Метод кодування рівня забруднення твердими частинками

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/69d30c38-931a-4124-8779-f91ae1bda063/iso-4406-2021>

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/79716/d9e67bb574834f389e27d374af881811/ISO-4406-2021.pdf>

21. Сукач М.К. Технічний сервіс машин. Навчальний посібник. – Ліра-К, 2017. 288 с.

22. Технічний сервіс в АПК: навчально-методичний посібник для самостійної роботи студентів / Ю. Г. Сорваніді, Д. П. Журавель, А. М. Бондар, О. Ю. Новік. – Мелітополь: Видавничополіграфічний центр «Люкс», 2021. 157 с.

<http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/14088/1/%d0%a2%d0%b5%d1%85%d0%bd%d1%96%d1%87%d0%bd%d0%b8%d0%b9%20%d1%81%d0%b5%d1%80>

<http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/14088>
[%d0%b2%d1%96%d1%81%20%d0%b2%20%d0%90%d0%9f%d0%9a%20%d0%a1%
d0%be%d1%80%d0%b2%d0%b0%d0%bd%d1%96%d0%b4%d1%96%20%d0%ae.%d
0%93.%202021.pdf](#)

<http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/14088>

23. Технічне обслуговування і діагностування сільськогосподарських машин / Л.Ф. Вознюк, В.В. Іщенко, Я.М. Михайлович. – К.: Урожай, 1994. 216 с.

24. Правила охорони праці в сільському господарстві. Видавництво «Форт», 2001. 384 с.

25. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві. Наказ Міністерства соціальної політики України від 29 серпня 2018 року № 1240.

26. Практикум з технічного сервісу в агропромисловому комплексі: Навчальний посібник / Л.Ф. Бабицький, І.В. Соболевський, У.С. Абдулгасіс – Сімферополь, ДІАЙП, 2012. 332 с.

27. Грушецький С.М., Бендера І.М., Михайлович Я.М. Технічний сервіс в АПК. Навчальний посібник з грифом МОН для студентів, бакалаврів і викладачів інженерних спеціальностей аграрних вищих навчальних закладів. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І., 2014 р. 680 с.