

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ І ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін**

ДИПЛОМНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

**«ПОКРАЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ МОБІЛЬНИХ МАШИН ЗА
ДОПОМОГОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ АКсіАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ НАСОСІВ»**

Виконав:

здобувач освітнього ступеня «Магістр»
освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності
208 «Агроінженерія» заочної форми
навчання

ІВАНІК Артур Олександрович

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

ОЛЕНЮК Олександр Анатолійович

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____.

Шкала ECTS _____.

« ____ » _____ 20__ р.

Допускається до захисту:

« ____ » _____ 20__ р.

Гарант освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія», канд. техн. наук, доцент,

ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович

м. Кам'янець-Подільський, 2024

ЗМІСТ

Завдання на виконання дипломної роботи.....	4
Анотація.....	6
Реферат	7
ВСТУП.....	8
1. ГІДРОСИСТЕМИ МОБІЛЬНИХ МАШИН ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	12
1.1. Умови роботи та показники роботоздатності елементів гідросистем мобільних машин	12
1.2. Аналіз досліджень довговічності гідросистем мобільних машин.....	21
1.3. Основні висновки та задачі дослідження.....	29
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ГІДРОМАШИН.....	31
2.1. Модель конструкції для мінімізації втрат потужності аксіально- поршневої гідромашини	31
2.2. Синтез конструктивних параметрів гідронасоса з врахуванням вимог уніфікації.....	35
2.3. Розгляд взаємозв'язку між зазором в сполученні «втулка блоку- плунжер» і витоками робочої рідини	42
2.4. Дослідження впливу механічних втрат в плунжерній парі на роботоздатність гідроприводу	47
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ...	58
3.1. Методика визначення характеру і динаміки зношення деталей плунжерної пари.....	58
3.2. Експериментальна установка і вимірювальна апаратура	61
3.3. Методика визначення впливу зношення кільцевої опори п'яти плунжера на температурний режим з'єднання «п'ята плунжера-похила шайба»	65

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	68
4.1. Характер і величини зношення деталей плунжерної пари аксіально-поршневого гідронасоса	68
4.2. Об'ємні втрати робочої рідини в спряженні «втулка блоку-плунжер»	73
4.3. Вплив зношення кільцевої опори п'яти плунжера на температурний режим роботи качаючого вузла	76
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	79
5.1. Охорона праці при обслуговуванні аксіально-поршневих насосів	79
5.2. Забезпечення безпеки при моделюванні процесів в плунжерних парах	80
5.3. Розрахунок повітрообміну лабораторії з дослідження надійності аксіально-поршневих гідромашин.....	82
5.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	84
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	87
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	100
ДОДАТОК А Результати математичної обробки зазору в спряженні «втулка блоку плунжер»	103
ДОДАТОК Б Показники температурного режиму роботи спряження «кільцева опора п'яти плунжера похила шайба» від часу роботи.....	104
ДОДАТОК В Копії друкованих статей	105
ДОДАТОК Г Матеріали комп'ютерної презентації	106

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективність і якість виконання технологічного процесу мобільними машинами залежить від досконалості їх робочих органів і систем керування. Конструктивно закладений рівень надійності і довговічності систем реалізується при відповідності розрахункових параметрів експлуатаційним навантаженням. Елементи сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин сприймають експлуатаційні навантаження змінного характеру, величина та інтенсивність зміни яких залежать від великого числа як контрольованих, так і випадкових факторів.

Роботоздатність гідросистем сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин у значній мірі залежить від функціонування гідравлічних насосів. Надійність, довговічність ефективна робота цих агрегатів багато в чому визначається широким набором різноманітних властивостей, явищ і процесів у трибологічних елементах, детальне вивчення яких стало можливим в наш час, з інтенсивним розвитком комп'ютерних і електронних технологій. У парах тертя аксіально-поршневих насосів відбувається найбільш інтенсивне зношування, що суттєво впливає на наробіток самих насосів, а також на роботоздатність усього гідроприводу мобільної машини. На процес зношування впливають конструктивні і динамічні параметри пара тертя та кінематичні параметри робочої рідини. На етапі проектування закладаються основи надійності і довговічності за рахунок вибору раціональних геометричних і силових параметрів. На деякі з них можна впливати на етапі проектування, а на деякі на етапі експлуатації. Варіювати цими факторами, можна зменшувати або збільшувати інтенсивність зношування пар тертя аксіально-поршневих насосів і відповідно довговічність сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин.

Незважаючи на велику кількість робіт присвячених дослідженню зношування плунжерних пар аксіально-поршневих гідромашин можна

говорити про певні недоробки в області розробки засобів проектування з використанням основних положень гідродинаміки, теорії тертя і зношування. Таким чином, підвищення довговічності аксіально-поршневих насосів сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин на основі моделювання процесів у плунжерних парах є актуальною темою дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами досліджень. Робота виконувалась у відповідності з переліком пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок затверджених Постановою Кабінету Міністрів України.

Мета і завдання досліджень. Метою дослідження є підвищення довговічності мобільних машин і покращення експлуатаційних характеристик аксіально-поршневих насосів шляхом розробки інструментальних засобів проектування, заснованих на моделюванні трибологічних процесів у плунжерних парах.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Аналітично обґрунтувати, на основі взаємозв'язку закладених конструктивних положень та вихідних параметрів аксіально-поршневого гідронасоса, можливість синтезу його оптимальних конструктивних параметрів реальної гідромашини з параметрами деталей в плунжерних парах.
2. Провести аналітичні дослідження з виявлення впливу зміни структурних параметрів технічного стану деталей в плунжерних парах на об'ємні та механічні втрати в аксіально-поршневому гідронасосі.
3. Провести дослідження з виявлення характеру та величини зношення деталей в спряженнях плунжерної пари: «втулка блоку-плунжер», «кільцева опора п'яти плунжера-похила шайба».
4. Експериментально визначити вплив зношення деталей в плунжерній парі качаючого вузла аксіально-поршневого гідронасоса на його об'ємні і механічні втрати.

5. З врахуванням результатів аналітичних та експериментальних досліджень обґрунтувати конструктивні проектні рішення для деталей плунжерної пари аксіально-поршневого гідронасоса.

Об'єкт дослідження – плунжерні пари аксіально-поршневих насосів гідросистем мобільних машин.

Предмет дослідження – процеси тертя і зношування, які відбуваються в плунжерних парах тертя аксіально-поршневих гідромашин.

Методи досліджень. Для досягнення поставленої мети в дослідженні використовувалися такі методи: аналітичний метод – для аналізу науково-технічної літератури, що стосується оптимізації параметрів гідромашин та виявлення основних факторів, які впливають на їх ефективність і надійність. Експериментальний метод застосовували для визначення характеру та величини зношення деталей гідромашини, зокрема плунжерної пари в аксіально-поршневих насосах, що дозволило отримати кількісні показники змін у параметрах роботи та зношення під час експлуатації.

Для обробки та аналізу отриманих даних використовувалися статистичні методи, які дали змогу точно оцінити ефективність запропонованих змін у конструкції, а також встановити закономірності у процесах зношення. Крім того, методи моделювання застосовували для створення математичних моделей процесів зношення, які дали змогу розробити оптимальні структурні схеми гідромашин, підвищити стабільність і довговічність їхньої роботи.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати досліджень сприяють підвищенню надійності та ефективності роботи гідромашин, зокрема аксіально-поршневих насосів, які широко використовуються в мобільних машинах. Виявлені закономірності зношення деталей та оптимальні конструктивні параметри дозволяють зменшити втрати потужності, знизити об'ємні витрати робочої рідини та подовжити термін служби гідравлічних систем. Впровадження запропонованих конструктивних змін допоможе знизити витрати на ремонт і обслуговування, що, в свою чергу, підвищить економічну ефективність експлуатації техніки.

Результати досліджень також мають практичну цінність для технічних сервісних центрів, які займаються обслуговуванням і ремонтом гідравлічних агрегатів. Розроблені методики діагностики зношення та рекомендації щодо конструктивного вдосконалення вузлів гідромашин допоможуть скоротити час і трудомісткість ремонтних робіт. Це сприятиме покращенню якості обслуговування, зниженню експлуатаційних витрат і мінімізації ризику відмов гідравлічного обладнання в процесі його використання.

Апробація результатів роботи. За матеріалами роботи опубліковано статтю у збірнику наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Відносні механічні втрати потужності в парі «поршень - втулка» прямо пропорційно залежать від таких параметрів як: робочий об'єм насоса, частота обертання валу, зазору в спряженні, а також довжини плунжера (та його частина, що постійно знаходиться в контакті з втулкою блоку) при поступово-зворотньому русі та технічного стану робочої рідини (в'язкість). До параметрів, які мають обернено-пропорційний вплив слід віднести діаметр поршня, так як з його збільшенням зменшується питомі навантаження в місцях контакту поршня з втулкою, що і обумовлює зменшення механічних втрат. Але при цьому необхідно врахувати, що геометричні розміри поршня, обумовлюються в цілому геометричними розмірами гідравлічної машини

2. Об'ємні втрати робочої рідини в гідромашині обумовлюють такі структурні параметри, як зазор в спряженні «поршень-втулка блоку», діаметр поршня та його робоча довжина, яка знаходиться постійно в втулці, а також конструктивно-функціональні параметри до яких слід віднести робочий об'єм гідронасоса, тиск робочої рідини в гідронасосі, в'язкість мастила та інші.

3. На основі закладених конструктивних положень та вихідних параметрів, математичний образ аксіально-поршневого гідронасоса можна відтворити, забезпечуючи можливість синтезу його оптимальних конструктивних параметрів реальної гідромащини, яка відповідає всім пред'явленим до неї техніко-економічним вимогам.

4. Рішення задачі синтезу оптимальних параметрів конструкції з врахуванням вимог уніфікації на прикладі мінімізації габаритних розмірів аксіально-поршневого гідронасоса, показують, що застосування запропонованих методик для проектування складових аксіально-поршневих гідронасосів дозволяє зменшити втрати потужності в насосах у порівнянні з досягнутим рівнем на 30...40% та габаритні розміри на 10 ... 15%.

5. У якості структурного параметра технічного стану деталей спряження «втулка блоку-плунжер» слід вважати середнє значення зазору оскільки

плунжер розташовується у втулці з перекосом і обумовлює нерівномірне зношування втулки.

6. Для одержання точної оцінки граничного значення зазору і частки витоків робочої рідини, яка обумовлюється зношуванням деталей спряження «втулка блоку-плунжер» необхідно провести експериментальне дослідження взаємозв'язку між зазором і витоками робочої рідини, а також визначити динаміку зазору.

7. Аналіз сил, що діють на п'яту і плунжер, а також технічного стану кільцевої опори п'яти плунжера, показав, що ріст її зношування порушує аксіальну жорсткість гідростатичного підшипника і супроводжується непаралельністю між поверхнями тертя, що призводить до зміни умов роботи з'єднання, переходом від рідинного тертя через граничне до сухого і завершується аварійною відмовою через виривши а п'яти із заклинення плунжера.

8. Зменшення кількості аварійних відмов, обумовлених заклинюванням плунжера в втулці блока, можливе за рахунок конструктивних змін втулки блока, що дозволить зменшити дію сил в зоні контакту плунжера зі втулкою при його перекосі за рахунок гасіння вібраційних навантажень та поглинання ударних.

9. Розроблення методик проведення мікрометражу деталей качаючого вузла аксіально-поршневої гідромадини, забезпечує якісне проведення їх технічного стану і зменшує трудомісткість дефектувальних робіт, що являється актуальним для спеціалізованих підрозділів з технічного сервісу гідравлічних агрегатів.

10. Розроблена конструкція стенду для проведення лабораторних досліджень аксіально-поршневих агрегатів гідравлічних трансмісій дозволяє забезпечити необхідні режими випробування згідно технічних вимог на обкатку та випробовування.

11. Результати дослідження характеру і виду зношення кільцевої опори показали, що переважним видом зношення кільцевої опори п'яти плунжера є

гідро абразивне зношення, яке обумовлює виникненню рисок і каналів, які приводять до втрат робочої рідини і порушенню плоскостності між поверхнями тертя і прискореному зношенню опори, процес переходу до повного зношення п'яти і її вириву проходить на завершній стадії швидко і обумовлюється висотою кільцевої опори, котру можна застосувати як структурний параметр.

12. Розходження розрахункового значення втрат робочої рідини з врахуванням середнього зазору, над фактичним не дозволяє застосувати розглянутий вираз в аналітичних дослідженнях для визначення взаємозв'язку між середнім значенням зазору в спряженні і втратами робочої рідини для різних значень зазору, які залежать від наробітку гідромашини.

13. Експериментально отримані результати показують, що при зазорі в спряженні «втулка блоку-плунжер» - $\delta = 60 \text{ мкм}$ втрати робочої рідини досягають $87 \text{ см}^3/\text{с}$ (при $(P_n = 21,0 \text{ МПа})$), що суттєво не буде впливати на об'ємний ККД гідроприводу, так як насос підживлення в змозі їх компенсувати.

14. Втрати робочої рідини, обумовлені зношенням деталей спряження «втулка блоку-плунжер» в діапазоні робочих спрацювань $24 \dots 25 \text{ мкм}$ (які найбільш частіше виникають в умовах експлуатації) не обмежують роботоздатність плунжерної пари, а лише доповнюють сумарні об'ємні втрати, що дає основу для введення розширених ремонтних допусків на зазор в спряженні «втулка блоку -плунжер».

15. Зношення кільцевої опори п'яти плунжера по висоті в більшій мірі впливає на механічні втрати, про що свідчить температурний режим роботи пари тертя, який знаходиться в межах від $T_{\text{п.ш}} = 40 \dots 45^\circ \text{C}$ для не зношеної кільцевої опори і більше $T_{\text{н.ш}} = 100^\circ \text{C}$ для зношеної опори з завальцьованими отворами статичного підпору при номінальному режимі роботи аксіально-поршневого гідромотора.

16. Тривала експлуатація п'яти плунжера зі зношеною кільцевою опорою приводить до аварійної відмови гідроагрегату та гідроприводу в

цілому із-за викиду п'яти із заробки плунжера, який важко спрогнозувати, що потребує жорсткого контролю технічного стану п'яти плунжера.

17. Розгляд питань з охорони праці при дослідженні надійності аксіально-поршневих гідромашин дав можливість ідентифікувати шкідливі і небезпечні виробничі фактори, які виникають в процесі роботи, і розробити заходи для їх усунення, до яких слід віднести розрахунок повітрообміну в приміщенні лабораторії, результати якого показали, що фактична концентрація шкідливих речовин в повітрі за час дослідження не буде перевищувати гранично допустиму концентрацію ($g_{\phi} = 0,754 \text{ г/м}^3 > g_{\text{гдк}} = 1,5 \text{ г/м}^3$), що дозволяє обмежитися в приміщенні природним повітрообміном.

18. Проведені розрахунки техніко-економічної ефективності показують, що при впровадженні конструктивних змін в процесі ремонту аксіально-поршневих гідромашин збільшується річна програма ремонту на 70 агрегатів, рівень рентабельності складе 13,4%, річний економічний ефект становить 105896 грн, а термін окупності матеріальних затрат 1,9 року, що вказує на доцільність проведених досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія». / Ю.І. Панцир та інші / За ред. В.І. Дуганця. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ», 2023. 51 с.
2. Ремонт машин та обладнання : підручник / В.І. Дирда та ін. Дніпропетровськ : Журфонд, 2015. 292с.
3. Гідравліка: Навчально-методичний комплекс. Навчально-методичний посібник. / В.І. Дуганець та ін. За ред. В.І. Дуганця, І.М. Бендери, В.А. Дідура. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В. 2013. 566 с.
4. Гідропривід сільськогосподарської техніки : підручник / О.М. Погорілець та ін. Київ : Вища освіта, 2004. 368 с.
5. Мархель І.І. Деталі машин : навч. посіб. Київ : Алерта, 2017. 368 с.
6. Бороzeneць Г.М., Павлов В.М., Семак І.В. Деталі машин : навч. посіб. Київ : Кондор, 2021. 220 с.
7. Бойко А.А. Гідравліка та гідропривід : навч. посіб. Львів : РВВ НЛТУ України, 2010. 307 с.
8. Analyzing hydraulic systems / ed. by Parker Hannifin Corporation. Power and Controls Group. Cleveland, Ohio : Parker Hannifin Corp., 2006. 203 p.
9. Gupta R. S. P., Gupta R. S. Hydrology & Hydraulic Systems. Waveland Press, 2005. 739 p.
10. Вантух З.З., Дмитрів В.Т., Дмитрів І.В. Об'ємні гідроприводи. Будова й особливості функціонування : навч. посіб. Київ : Кондор, 2020. 184 с.
11. Аврунін Г.А., Кириченко І.Г., Мороз І.І. Основи об'ємного гідропривода і гідропневмоавтоматики : навч. посіб. Харків : ХНАДУ, 2009. 423 с.
12. Крутіков Г.А., Стрижак М.Г. Системи гідроприводів : навч. посіб. Харків : НТУ "ХПІ", 2015. 218 с.

13. Оливи. Моторні, турбінні, гідравлічні та трансмісійні: властивості та якість : підручник / С.В. Бойченко та ін. Київ: Центр учбової літератури, 2019. 323 с.
14. Гідропривод і гідроавтоматика сільськогосподарської техніки : посібник / Б. М. Гевко та ін. Тернопіль : Вид-во ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2015. 381 с.
15. Надійність та експлуатація гідромашин і гідроприводів : навч. посіб. / В. Ф. Герман та ін. Суми : Сум. держ. ун-т, 2016. 174 с.
16. Гідравліка і гідропривод : довід. для студентів спец. "Агроінженерія" / В. Г. Федоров та ін. за ред. д-ра техн. наук, проф. В. Г. Федорова. Умань : Сочінський М. М., 2017. 135 с.
17. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали : навч.-метод. комплекс : навч.-метод. посіб. / І. М. Бендера та ін. Кам'янець-Подільський : Сисин Я. І. : Абетка, 2016. 419 с.
18. Jelali M., Kroll A. Hydraulic Servo-systems. London : Springer London, 2003. 355 p.
19. Manring N. D., Fales R. C. Hydraulic Control Systems. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2019. 416 p.
20. Rasche W. H. The gear-wheel pump: A displacement-force analysis. Blacksburg, Va : Virginia Polytechnic Institute, 2005. 197 p.
21. Срібнюк С.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Київ : Центр учбової літератури, 2022. 328 с.
22. Кислий В. М. Організація наукових досліджень : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Суми : Унів. кн., 2011. 224 с.
23. Бориченко К. В., Гудзь А. О., Панфілов О. Є. Методологія та організація наукових досліджень : навч. - метод. посібник. Одеса : Фенікс, 2022.
24. Крушельницька О. В. Методологія і організація наукових досліджень : навч. посіб. для студ. ВНЗ. Київ : Кондор, 2009. 192 с.

25. Охорона праці в Україні. Нормативні документи. Київ : КНТ, вид-во, 2004. 438 с.
26. Москальова В. М. Основи охорони праці : підручник. Київ : Професіонал, 2005. 672 с.
27. Правила охорони праці під час технічного обслуговування та ремонту машин і обладнання сільськогосподарського виробництва. НПАОП 01.41-1.01-01. Київ: Індустрія, 2012. 140 с.
28. Ярошевська В. М. Безпека життєдіяльності : підруч. для студ. ВНЗ. Київ : Професіонал, 2004. 560 с.
29. НПАОП 0.00-1.07-94. Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском Київ: Держстандарт, 1994. 79 с.
30. НПАОП 0.00-4.12-05 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 року № 15 Київ: Центр учбової літератури 2005. 124 с.
31. . НПАОП 0.00-3.07-09 «Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам загальних професій різних галузей промисловості» Київ: Держгірпромнагляд України, 2008. 67 с.
32. НАПБ В.01.057-2006/200. Правила пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України. Київ: Держбуд України, 2006. 47 с.
33. НАПБ Б.03.001-2004 Типові норми належності вогнегасників Київ: Держстандарт, 2004. 49 с.
34. НАПБ Б.03.001-2004. Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників. Київ: МНС України, 2004. 47 с.
35. Іщук С.І., Гладкий О.В. Техніко-економічні основи промислового виробництва. Київ: Академія, 2011. 296 с.
36. Організація і методика економічного аналізу : навч. посіб. / Косова Т.Д. та ін. Київ: Центр учбової літератури, 2019. 528 с.