

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-357-94>

УДК 631.363:621.86.068:62-82

РУТКЕВИЧ ВОЛОДИМИР

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6366-7772>

e-mail: v_rut@ukr.net

ШАРГОРОДСЬКИЙ СЕРГІЙ

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2125-773X>

e-mail: sergey20@vsnau.vin.ua

ОСТАПЕНКО ОЛЕКСІЙ

Вінницький національний аграрний університет

e-mail: Ostapenko@ukr.net

РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ РЕСУРСНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОСЕЛЬНОГО ДІЛЬНИКА ПОТОКУ З КОМПЕНСАЦІЙНИМИ ШТОКАМИ

Здійснено комплексний аналіз умов роботи сучасних гідравлічних приводів, визначено їхні переваги, недоліки та актуальні напрями удосконалення. Особливу увагу приділено питанням підвищення надійності, довговічності та адаптивності гідроприводу до змін технологічних навантажень на робочих органах сільськогосподарських машин.

Запропоновано конструкцію експериментального стенда, призначеного для ресурсних випробувань дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками, розробленого для вирізного механізму вивантаження силосу із траншейних сховищ. Проведені попередні дослідження виявили окремі конструктивні недоліки дросельного дільника потоку при напруженні близько $2 \cdot 10^4$ циклів. На основі аналізу умов роботи було внесено зміни в конструктивне виконання елемента гідравлічного привода, після чого повторні випробування засвідчили значне підвищення його надійності та стабільності роботи – напруження перевищило $6,6 \cdot 10^5$ циклів навантаження.

Результати досліджень підтвердили доцільність використання розробленого дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками у складі гідравлічних систем вирізних механізмів, що забезпечує підвищення їх експлуатаційної довговічності та зниження ризику відмов у процесі роботи. Визначено перспективні напрями подальших досліджень, які полягають у комплексній оптимізації конструктивних параметрів, впровадженні адаптивних систем керування та дослідженні впливу реальних навантажувальних режимів на ресурс гідравлічних елементів.

Ключові слова: вирізний механізм, силос, гідропривод, насос, дросельний дільник потоку, розподільник, надійність, експериментальний стенд, ресурс, напруження.

RUTKEVYCH VOLODYMYR, SHARGORODSKIY SERHIY, OSTAPENKO ALEXEI

Vinnitsia National Agrarian University

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL STAND FOR RESOURCE RESEARCH OF A FLOW DIVIDER WITH COMPENSATION RODS

A comprehensive analysis of the operating conditions of modern hydraulic drives was carried out, their advantages, disadvantages and current areas of improvement were identified. Particular attention was paid to the issues of increasing the reliability, durability and adaptability of the hydraulic drive to changes in technological loads on the working bodies of agricultural machines.

The design of an experimental stand was proposed, intended for resource tests of a throttling flow divider with a compensation rod, developed for a cut-out mechanism for unloading silage from trench storages. Previous studies revealed some design flaws in the throttling flow divider when operating for about $2 \cdot 10^4$ cycles. Based on the analysis of operating conditions, changes were made to the design of the hydraulic drive element, after which repeated tests showed a significant increase in its reliability and stability of operation – the operating life exceeded $6.6 \cdot 10^5$ load cycles. The basis of hydraulic drives is hydraulic devices of the spool and throttle type, they remain the main components of a modern hydraulic drive, capable of increasing the energy, dynamic, cost characteristics and increasing the reliability and durability of this drive.

The results of the research confirmed the feasibility of using the developed throttle flow divider with a compensation rod as part of the hydraulic systems of cutting mechanisms, which ensures an increase in their operational durability and a reduction in the risk of failures during operation. Promising directions for further research were identified, which consist in the comprehensive optimization of design parameters, the implementation of adaptive control systems and the study of the influence of real load modes on the resource of hydraulic elements.

Keywords: cutting mechanism, silo, hydraulic drive, pump, throttle flow divider, distributor, reliability, experimental stand, resource, operating life.

Стаття надійшла до редакції / Received 19.08.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.09.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Одним із ключових елементів технологічних машин і агрегатів є силовий привод, від якого значною мірою залежать експлуатаційні властивості всієї гідромеханічної системи. У сучасному машинобудуванні найбільшого поширення набув гідравлічний привод, оскільки він забезпечує високу енергоємність, компактність, плавність регулювання швидкостей та зусиль, а також можливість

реалізації складних робочих циклів. Саме функціональні та експлуатаційні характеристики гідропривода визначають ефективність роботи технологічних машин в цілому, що зумовлює підвищену увагу до його дослідження та вдосконалення [1, 2].

Розробка та впровадження нових зразків технологічного обладнання вимагають урахування відносно значущості двох груп показників: споживчих властивостей (продуктивність, якість технологічного процесу, надійність) та технічного рівня (довговічність, ресурс, ремонтпридатність, адаптивність до змінних режимів роботи) [2, 3]. В умовах інтенсифікації виробництва та зростання вимог до продуктивності агропромислового комплексу (АПК) роль привода стає визначальною, адже саме він забезпечує синхронність та узгодженість переміщень робочих органів, розширює діапазон регулювання технологічних параметрів і сприяє підвищенню гнучкості виробничих процесів.

З огляду на високі робочі тиски у гідравлічних системах, значні зусилля та швидкості переміщення робочих органів технологічних машин АПК, першочергового значення набувають питання надійності, довговічності та ресурсу гідравлічних елементів [4, 5]. Це вимагає вдосконалення теоретичних підходів і практичних методик оцінювання їх працездатності та пошуку конструктивних рішень, спрямованих на підвищення експлуатаційної стабільності.

У цьому контексті особливої актуальності набуває завдання ресурсного дослідження дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками, який відіграє важливу роль у стабілізації витрати робочої рідини, регулюванні швидкостей і забезпеченні функціональної стійкості гідросистеми вирізного механізму для вивантаження силосу із траншейних сховищ. Вирішення проблеми підвищення ресурсу даного елемента є своєчасним і необхідним для забезпечення безвідмовної роботи вирізних механізмів вивантаження стеблових кормів із траншейних сховищ.

Мета роботи полягає у підвищенні надійності та довговічності роботи розробленого дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками шляхом його ресурсного випробування на спеціалізованому експериментальному стенді, що дозволить обґрунтувати доцільність конструктивних рішень і визначити подальші напрями удосконалення.

Аналіз досліджень та публікацій

Сучасні технологічні машини та агрегати здебільшого компонуються з уніфікованих вузлів і модулів, що істотно впливає на ступінь відповідності їх конструктивних і функціональних параметрів оптимальним схемам обладнання. При цьому різноманітність компоновок приводів для вирішення одних і тих самих технологічних завдань часто пояснюється усталеними традиціями проєктування і не завжди має достатнє технічне обґрунтування [4, 5]. Практика машинобудування свідчить, що кінематичні схеми привода в багатьох випадках можуть бути суттєво спрощені за умови цілеспрямованого аналізу й оптимізації ще на етапі проєктування [3].

Гідравлічні приводи є невід'ємною складовою технологічних машин та агрегатів, оскільки поєднують у собі електричний і механічний компоненти, утворюючи складну інтегровану систему керування рухом. У більшості сучасних досліджень увага зосереджується саме на гідроприводах, основу яких становлять гідравлічні апарати золотникового та дросельного типу. Вони забезпечують високі показники точності, швидкодії та енергоємності, що робить їх незамінними в умовах значних навантажень і високих технологічних вимог.

Однак технологічні машини, особливо в агропромисловому комплексі (АПК), працюють у складних експлуатаційних умовах: під дією змінних навантажень, за підвищених температур, у запиленому середовищі та при використанні робочої рідини низької якості. Сукупність цих факторів призводить до істотного зниження надійності й довговічності гідравлічних приводів. Виникає необхідність створення так званих *інтелектуальних приводів*, здатних адаптуватися до зміни режимів роботи та технологічних навантажень.

Аналіз літературних джерел засвідчив, що значна частина досліджень у сфері гідроприводів присвячена загальним питанням розрахунку їх елементів і методикам визначення параметрів на основі золотникових гідравлічних апаратів. При цьому особливу увагу приділено динаміці гідроприводів і врахуванню піддатливості трубопроводів у жорстких гідравлічних системах. Вагомий внесок у розвиток теорії та практики дослідження гідроприводів зробили такі вчені, як Т.М. Башта, Є.М. Хаймович, В.М. Прокоф'єв, В.П. Бочаров, М.І. Іванов, М.С. Гаминін, Л.П. Середа, О.П. Губарєв, Н.Р. Веселовська, І.А. Немировський, Г.Й. Зайончковський, Л.К. Поліщук, П.М. Андренко, З.Л. Фінкельштейн, В.Б. Струтинський та інші [4, 6-9].

Низка авторів пропонує враховувати жорсткість металевих трубопроводів і робочих порожнин гідроциліндрів під час розрахунків гідравлічних передач. Проте відсутність єдиного визначення поняття «жорсткість» обмежує достовірність таких підходів: у більшості випадків береться до уваги лише модуль пружності рідини, тоді як жорсткість системи в цілому визначається комплексом взаємодіючих факторів.

До силового привода технологічних машин ставляться підвищені вимоги щодо швидкодії, точності та надійності. Його робота тісно пов'язана з особливостями технологічного процесу, режимами навантаження та способом управління. Порівняно з іншими видами приводів, гідравлічний привод має переваги за показниками передавання потужності, металомісткістю та компактністю. Так, він забезпечує у два рази більшу можливість передавання потужності на одиницю маси і майже утричі

– на одиницю об'єму порівняно з електроприводами [1, 10]. Це робить його особливо ефективним у випадках, де потрібні високі швидкодії і точність у поєднанні з великими навантаженнями.

Разом з тим, гідроприводи мають і низку недоліків, серед яких – підвищені вимоги до якості робочої рідини, необхідність регулярного технічного обслуговування та чутливість до впливу зовнішніх факторів. Саме тому рівень надійності та довговічності є визначальними критеріями оцінювання ефективності гідроприводів.

Слід зазначити, що провідні світові компанії, зокрема *Rexroth*, продовжують активно розвивати напрям гідроприводів. Завдяки впровадженню сучасних алгоритмів керування вони успішно конкурують з електроприводами навіть у діапазоні потужностей 3–7 кВт [10]. Це свідчить про перспективність гідравлічних систем як бази для створення інтелектуальних і адаптивних приводів нового покоління.

У цьому контексті розробка та експериментальне дослідження дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками гідравлічного привода вирізного механізму для вивантаження силосу із траншейних сховищ набувають особливої актуальності. Саме вдосконалення даного елемента дозволить підвищити рівень надійності, довговічності й ефективності роботи гідравлічних систем сучасних сільськогосподарських машин, забезпечивши їх стабільне функціонування у важких експлуатаційних умовах.

Виклад основного матеріалу

Одним із ключових елементів гідравлічного привода вирізного механізму для вивантаження силосу із траншейних сховищ є дросельний дільник потоку з компенсаційними штоками [11, 12]. Саме цей елемент відіграє визначальну роль у забезпеченні стабільності та надійності функціонування гідравлічного привода, а отже, і всього вивантажувального комплексу в цілому. Від його конструктивних особливостей, якості виготовлення та працездатності залежить узгодженість рухів робочих органів, рівномірність подачі робочої рідини та ресурс всієї гідросистеми.

На рис. 1 наведено конструктивну схему дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками, принцип роботи якого полягає у наступному.

Робоча рідина через входні канали 4, 6 і входні опори 3, 7 надходить у камери керування 2, 8 та через вихідні змінні опори типу плоский клапан 14 і 11 – у вихідні отвори 13 і 12 і далі по трубопроводах в синхронізовані гідродвигуни.

Якщо навантаження у гілках однакові, то витрати через входні опори 3 і 7 однакові, а отже, однакові втрати тиску на них.

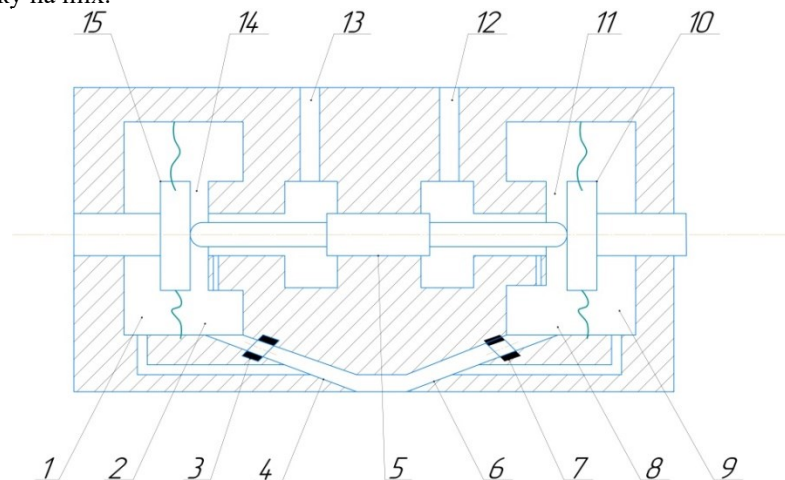


Рис.1. Загальний вигляд дросельного дільника потоку (мембранного типу) з компенсаційними штоками

У цьому випадку тиск в камерах керування 2 і 8 відрізняються на одну і ту ж величину від тисків у відповідних допоміжних камерах 1 і 9. Ефективні площі мембранних елементів 15 та 10 однакові, а це означає, що й зусилля від перепаду тисків на них, що передаються рухомим штоком змінного перерізу 5 також однакові. А оскільки ці зусилля спрямовані у протилежні сторони, то мембранні елементи залишаються нерухомими, а втрати тиску на регульованих опорах 14 та 11 рівними.

Якщо в одному з гідродвигунів, приєднаному, наприклад, до вихідного отвору 12, навантаження збільшиться, то витрата робочої рідини цієї гідролінії, а отже, і через вхідний опір 7 зменшиться, зменшиться і перепад тиску в цьому опорі. В результаті сила дії перепаду тиску на мембранний елемент 10 стане менше, ніж на мембранний елемент 15, що призведе до переміщення штоків 5 разом з мембранними елементами 10 і 15 у бік закриття змінного опору 14. Його гідравлічний опір збільшиться, і витрати в гідролініях вирівняються.

Введення в конструкцію рухомих штоків змінного перерізу 5 дозволяє компенсувати вплив на мембранні елементи регульованого перепаду тиску, що значно покращує механічні показники дросельного дільника потоку. Наявність штоків змінного перерізу дозволяє забезпечити постійний об'єм регулювання дільника, що підвищує його динамічні якості.

Крім того, в даній конструкції мембранні елементи завжди відчувають на собі перепади тиску одного напрямку, що дозволяє використовувати мембранні елементи як плоскі, так і гофровані. Це в свою чергу уможливорює варіювати жорсткістю мембранних елементів у широкому діапазоні, включаючи нульову.

Таким чином, у запропонованій конструкції дільника є можливість регулювання співвідношення витрат у гідролініях залежно від зміни умов роботи, чого не дозволяє робити жоден інший дільник потоку. А той факт, що при регулюванні порівнюються не тиски у гідролініях, а втрати тиску на вхідних опорах, дозволяє використовувати його як з метою розподілу, так і з метою суматорів потоків, тобто в якості роздільників-суматорів потоку.

З метою підвищення експлуатаційної надійності та довговічності було проведено ресурсні випробування дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками [13, 14]. Дослідний зразок дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками (рис. 2) було розроблено та виготовлено на кафедрі машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, адаптивності та технологічності конструкцій.

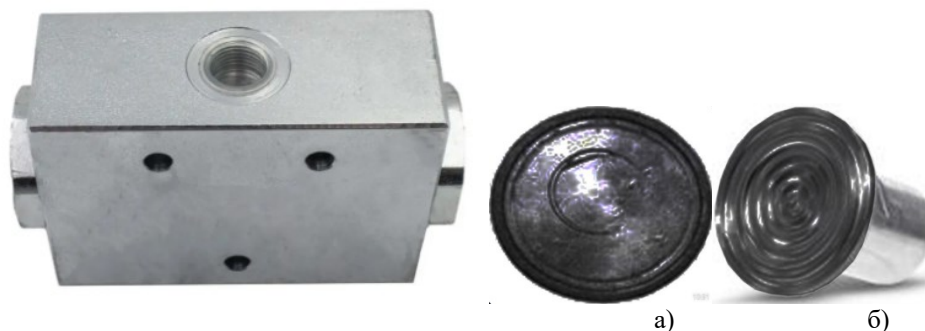


Рис. 2. Дослідний зразок дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками: а) мембранний елемент початкової конструкції, б) мембранний елемент удосконалений

Випробування мали на меті оцінити роботу дросельного дільника в умовах, наближених до реальних експлуатаційних навантажень, визначити його ресурс, характер зношування та стабільність функціонування протягом тривалого часу. Окрему увагу було приділено виявленню можливих конструктивних недоліків та слабких місць, що впливають на працездатність вузла у процесі циклічного навантаження.

Отримані результати дозволили сформувати базу даних для подальшої оптимізації конструкції, а також підтвердили перспективність використання дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками у складі гідроприводів вирізних механізмів сільськогосподарських машин.

Випробування проводилися на спеціально спроектованому стенді, принципова гідравлічна схема якого наведена на рис. 3.

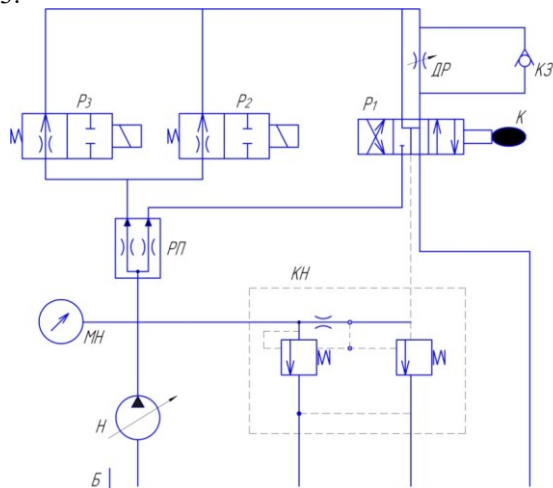


Рис. 3. Принципова гідравлічна схема експериментального стенду для ресурсних випробувань дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками вирізного механізму для стеблових кормів

У комплект експериментального стенду входить (рис. 3) випробуваний дросельний дільник потоків з компенсаційним штоком $PП$, гідророзподільник P_1 з механічним керуванням від кулачкового механізму K , напірний гідроклапан – KH ; розподільники з електромагнітним керуванням – P_2 і P_3 ; випробувальний стенд КИ-4815 (непоказаний), який забезпечує привід насоса – H , стабілізацію температури робочої рідини, визначення витрати рідини в зливний магістралі при робочому циклі і її очищення. В експериментальному стенді відповідний рівень тиску забезпечується дросельним

навантаженням за допомогою дроселя DP і розподільників з електромагнітним управлінням P_2 і P_3 . Час робочих циклів і їх структура задаються частотою обертання кулачка механізму K і його профілем. Рівень вхідного тиску періодично контролювався манометром MH .

При проведенні ресурсних випробувань експериментальний стенд при продуктивності насоса 12 л/хв забезпечує наступний цикл навантаження:

- тиск $(1 \pm 0,5)$ МПа протягом 0,25 секунд;
- тиск (14 ± 5) МПа протягом 1,25 секунд;
- тиск $(1 \pm 0,5)$ МПа протягом 0,35 секунд;
- тиск (16 ± 5) МПа протягом 0,85 секунд.

Таким чином, повний робочий цикл ресурсних випробувань, що забезпечується експериментальним стендом, становить 2,7 секунди.

Дослідження включали в себе визначальні випробування надійності дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками (ресурсні випробування) в поєднанні з контрольними випробуваннями якості його роботи.

При випробуваннях в експериментальному стенді використовується робоча рідина – масло індустріальне М-10В (густина 905 кг/м^3 , кінематична в'язкість при температурі 100°C – $11 \pm 0,5 \text{ мм}^2/\text{с}$ по ГОСТ 8581-78). Чистота робочої рідини не грубіше 15 класу. Номінальна тонкість фільтрації – 25 мкм.

В результаті досліджень встановлено.

У першому конструктивному виконанні (рис. 2 а) дросельний дільник потоку з компенсаційними штоками вирізного механізму стеблового корму відпрацював не більше $2 \cdot 10^4$ циклів, при цьому виявлено певні недоліки у конструкції дросельного дільника потоку.

Однак після внесення необхідних змін до конструкції (рис. 2 б) дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками вирізного механізму стеблового корму PP і проведенні повторних випробувань дросельного дільника потоку напруцював в цілому більше $6,6 \cdot 10^5$ циклів навантаження. При цьому якість його функціонування залишалася стабільною і в межах норми. Випробування були припинені у зв'язку з виконанням розробленим дросельним дільником потоку з компенсаційним штоком поставленого завдання.

Висновки

Незважаючи на складні умови експлуатації сучасної сільськогосподарської техніки (важкі умови роботи, часті зміни технологічного навантаження на робочих органах, низька якість робочої рідини, підвищена запиленість та коливання температурного режиму) гідравлічний привод є основним надійним її елементом. Основу гідравлічних приводів складають гідравлічні апарати золотникового та дросельного типу, вони залишаються основними складовими сучасного гідравлічного привода, що здатні підвищити енергетичні, динамічні, вартісні характеристики та підняти надійність і довговічності даного привода. В результаті проведення експериментального ресурсного дослідження дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками вирізного механізму стеблового корму на розробленому стенді було встановлено, що надійність дросельного дільника потоку достатня для забезпечення роботи гідравлічного привода протягом тривалого терміну служби (напруцювання на відмову складає більше $6,6 \cdot 10^5$ циклів).

З урахуванням отриманих результатів перспективними напрямками подальших досліджень є:

- удосконалення конструкції дросельних дільників потоку з метою зменшення енергетичних витрат та підвищення коефіцієнта корисної дії;
- оптимізація геометричних параметрів компенсаційних штоків для забезпечення стабільності розподілу робочої рідини за різних режимів роботи;
- дослідження впливу якості робочої рідини та рівня забрудненості на довговічність і надійність гідравлічних апаратів;
- розробка методів адаптивного керування дросельними дільниками потоку в умовах змінних технологічних навантажень;
- впровадження сенсорних систем моніторингу технічного стану гідравлічного привода з метою прогнозування відмов і запобігання аварійним ситуаціям;
- моделювання процесів у гідравлічних системах з урахуванням динамічних характеристик сільськогосподарських машин для підвищення ефективності їх експлуатації.

Література

1. Панченко А.І. Перспективи гідрофікації мобільної сільськогосподарської техніки / А.І. Панченко, О.Ю. Золотарьов, А.А. Волошина, Д.С. Тітов // Промислова гідравліка і пневматика. – 2003. – №1 – С. 71–74.
2. Шмат С. І. Тенденції сталого розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування в Україні і за рубежом [Електронний Ресурс] / С. І. Шмат, П. Г. Лузан, С. В. Колісник // КНТУ. – 2010. Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/4971> (дата звернення: 01.07.2025).
3. Ratushna N. Методичні підходи до створення нової сільськогосподарської техніки у відповідності з вимогами ринку наукоємної продукції / N. Ratushna, I. Mahmudov, A. Kokhno //

MOTROL. – 2007. – № 9А. С. 119–123.

4. Фінкельштейн З.Л. Експлуатація, обслуговування та надійність гідравлічних машин і гідроприводів / Фінкельштейн З.Л., Андренко П.М., Дмитрієнко О.В.; навч. посіб. Харків: Видавничий центр. НТУ «ХПІ»– 2014. 308 с.

5. Пастушенко С.І. Питання оптимізації технічних систем [Текст] // Збірник наукових праць НАУ “Механізація сільськогосподарського виробництва”. – Київ: Видавництво НАУ. – 2002. – Т.ХІ. – С. 266–271.

6. Поліщук Л.К. Вмонтовані гідравлічні приводи з гнучким тяговим органом, чутливі до зміни навантаження: монографія [текст] / Л. К. Поліщук, О. О. Адлер // Вінниця, ВНТУ, 2010 р. – 184 с.

7. Ivanov M.I. Research on the block-portion separator parameters influence on the adjustment range of operating elements speed / M.I. Ivanov, V.S. Rutkevych, O.M. Kolisnyk, I.O. Lisovoy // INMATEH - Agricultural Engineering. – 2019. – Vol. I, № 1 (57). P. 37 – 44.

8. Sereda L.P. Study of the mathematical model of hydraulic drives segment-finger mower unit./ L.P. Sereda, V.S. Rutkevych, M.V. Zinev // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2018. – № 1 (100). – С. 111–123.

9. Веселовська Н.Р. Експериментальне дослідження роботи гідростатичної трансмісії типу ГСТ-90/ Н.Р. Веселовська, С.А. Шаргородський, Є.В. Яшук // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2021. – № 1 (116). С. 58–64. DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-7

10. Чубик Р.В. Ідентифікація критеріїв для енергозберігаючого керування віброприводами адаптивних вібромашин [Текст] / Р.В. Чубик, І.Д. Зелінський // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2015. – Вип. 49. – С.107–111.

11. Руткевич В. Підвищення ефективності роботи навантажувача з гідравлічним приводом вирізного механізму для вивантаження силосу із траншейних сховищ / Руткевич В., Остапенко О., Залогін Р. // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2024. – № 3 (338). С. 109–114. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-337-3-15

12. Руткевич В. Дослідження привода вирізного механізму для вивантаження силосу із траншейних сховищ. / В. Руткевич, С. Шаргородський, О. Остапенко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2024. – № 5 (341). С. 399–404. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-341-5-58

13. Іванов М.І., Шаргородський С.А., Руткевич В.С. Експериментальний стенд для дослідження системи гідравлічних приводів блочно-порційного відокремлювача консервованого корму / М.І. Іванов, С.А. Шаргородський, В.С.Руткевич // Промислова гідравліка і пневматика. – 2016. – № 1 (51). С. 77–84.

14. Коваленко А.О. Основи наукових досліджень (планування експериментів) [Текст]: підручник /А.О Коваленко, А.С. Роговий, Д.О. Сьомін. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2011. – 216 с.

References

1. Panchenko A.I. Perspektyvy hidrofikatsii mobilnoi silskohospodarskoi tekhniki / A.I. Panchenko, O.Iu. Zolotarov, A.A. Voloshyna, D.S. Titov // Promyslova hidravlika i pnevmatyka. – 2003. – №1 – S. 71–74.

2. Shmat S. I. Tendentsii staloho rozvytku suchasnoho silskohospodarskoho mashynobuduvannya v Ukraini i za rubezhem [Elektronnyi Resurs] / S. I. Shmat, P. H. Luzan, S. V. Kolisnyk // KNTU. – 2010. Rezhym dostupu: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/4971> (data zvernennia: 01.07.2025).

3. Ratushna N. Metodychni pidkhody do stvorennia novoi silskohospodarskoi tekhniki u vidpovidnosti z vymohamy rynku naukoiemnoi produktsii / N. Ratushna, I. Mahmudov, A. Kokhno // MOTROL. – 2007. – № 9А. С. 119–123.

4. Finkelstein Z.L. Ekspluatatsiia, obsluhovuvannia ta nadiinist hidravlichnykh mashyn i hidropriyvodiv / Finkelshtein Z.L., Andrenko P.M., Dmytrienko O.V.; navch. posib. Kharkiv: Vydavnychiy tsentr. NTU «KhPI»– 2014. 308 s.

5. Pastushenko S.I. Pytannia optymizatsii tekhnichnykh system [Tekst] // Zbirnyk naukovykh prats NAU “Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva”. – Kyiv: Vydavnytstvo NAU. – 2002. – Т.ХІ. – S. 266–271.

6. Polishchuk L.K. Vmontovani hidravlichni pryvody z hnuchkym tiahovym orhanom, chutlyvi do zminy navantazhennia: monohrafiia [tekst] / L. K. Polishchuk, O. O. Adler // Vinnytsia, VNTU, 2010 r. – 184 s.

7. Ivanov M.I. Research on the block-portion separator parameters influence on the adjustment range of operating elements speed / M.I. Ivanov, V.S. Rutkevych, O.M. Kolisnyk, I.O. Lisovoy // INMATEH - Agricultural Engineering. – 2019. – Vol. I, № 1 (57). P. 37 – 44.

8. Sereda L.P. Study of the mathematical model of hydraulic drives segment-finger mower unit./ L.P. Sereda, V.S. Rutkevych, M.V. Zinev // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2018. – № 1 (100). – С. 111–123.

9. Veselovska N.R. Eksperymentalne doslidzhennia roboty hidrostatychnoi transmisii typu HST-90/ N.R.Veselovska, S.A. Sharhorodskiy, Ye.V. Yashchuk // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2021. – № 1 (116). С. 58–64. DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-7

10. Chubyk R.V. Identyfikatsiia kryteriiv dlia enerhozberihaiuchoho keruvannia vibropriyvodamy adaptivnykh vibromashyn [Tekst] / R.V. Chubyk, I.D. Zelinskiy // Avtomatyzatsiia vyrobnychkh protsesiv u mashynobuduvanni ta prylobuduvanni. – 2015. – Vyp. 49. – S.107–111.

11. Rutkevych V. Pidvyshchennia efektyvnosti roboty navantazhuvacha z hidravlichnym pryvodom vyriznoho mekhanizmu dlia vyvantazhennia sylosu iz transheinykh skhovyshch / Rutkevych V., Ostapenko O., Zalohin R. // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seria: tekhnichni nauky. – 2024. – № 3 (338). С. 109–114. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-337-3-15

12. Rutkevych V. Doslidzhennia pryvoda vyriznoho mekhanizmu dlia vyvantazhennia sylosu iz transheinykh skhovyshch. / V. Rutkevych, S. Sharhorodskiy, O. Ostapenko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seria: tekhnichni nauky. – 2024. – № 5 (341). С. 399–404. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-341-5-58

13. Ivanov M.I., Sharhorodskiy S.A., Rutkevych V.S. Eksperymentalnyi stend dlia doslidzhennia systemy hidravlichnykh pryvodyv blochno-portsinoho vidokremliuvacha konservovanoho kormu / M.I. Ivanov, S.A. Sharhorodskiy, V.S.Rutkevych // Promyslova hidravlika i pnevmatyka. – 2016. – № 1 (51). С. 77–84.

14. Kovalenko A.O. Osnovy naukovykh doslidzhen (planuvannia eksperimentiv) [Tekst]: pidruchnyk /A.O Kovalenko, A.S. Rohovy, D.O. Somin. – Luhansk: SNU im. V.Dalia, 2011. – 216 s.