

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-357-96>

УДК 631.363:636.22/28

РУТКЕВИЧ ВОЛОДИМИР

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6366-7772>e-mail: v_rut@ukr.net**СПІРІН АНАТОЛІЙ**

Відокремлений структурний підрозділ «Ладизинський фаховий коледж

Вінницького національного аграрного університету»

<https://orcid.org/0000-0002-4642-6205>e-mail: spirinanatoly16@gmail.com**ОСТАПЕНКО ОЛЕКСІЙ**

Вінницький національний аграрний університет

e-mail: Ostapenko@ukr.net

КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ ІННОВАЦІЙНОГО ВИРІЗНОГО МЕХАНІЗМУ ДЛЯ ВИВАНТАЖЕННЯ СИЛОСНОЇ МАСИ ІЗ ТРАНШЕЙНИХ СХОВИЩ

Розглянуто проблему підвищення ефективності вивантаження стеблових кормів із траншейних сховищ, що є одним із ключових етапів у технології заготівлі та зберігання кормів для тваринництва. Обґрунтовано доцільність застосування вирізного механізму для вивантаження силосу, конструктивною особливістю якого є використання гідравлічного привода. Зазначено особливу роль у функціонуванні гідравлічного привода вирізного механізму дросельного дільника потоку з компенсаційними штоками, який забезпечує синхронізацію роботи виконавчих органів, рівномірність розподілу робочої рідини та стабільність параметрів привода. Принцип дії дільника потоку ґрунтується на балансуванні витрат робочої рідини в паралельних гідролініях, що дозволяє автоматично вирівнювати навантаження між гідродвигунами та запобігати їх асинхронній роботі.

Викладено методику оцінки конкурентоспроможності розробленого механізму на основі безрозмірних і узагальнюючих показників I-го та II-го виду, які відображають рівень технічної досконалості та функціональної ефективності. За результатами розрахунків встановлено, що запропонована конструкція характеризується найвищими значеннями безрозмірних показників: 0,7464 (I вид) та 4,7235 (II вид), що підтверджує її перевагу над існуючими аналогами. Отриманий рейтинг, у якому досліджуваний механізм посідає перше місце, засвідчує його конкурентоспроможність і доцільність практичного застосування. Високий рівень продуктивності, надійності та якості операцій вивантаження силосної маси пояснюється оптимальним поєднанням конструктивних і технологічних рішень.

Зазначено перспективні напрями подальших досліджень: експериментальні випробування у виробничих умовах, вивчення впливу режимних параметрів гідропривода на якість роботи, оптимізацію вирізного механізму з урахуванням енергоспоживання та зносостійкості, розробку автоматизованої системи керування процесом і оцінку економічної ефективності впровадження.

Ключові слова: вирізний механізм, стебловий корм, робочий орган, гідронасос, гідромотор, гідропривод, дільник потоку.

RUTKEVYCH VOLODYMYR, OSTAPENKO ALEXEI

Vinnytsia National Agrarian University

SPIRIN ANATOLI

Separated structural unit «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia National Agrarian University»

COMPETITIVENESS OF AN INNOVATIVE CUTTING MECHANISM FOR UNLOADING SILAGE FROM TRENCH STORAGES

The problem of increasing the efficiency of unloading stem fodder from trench storages, which is one of the key stages in the technology of procurement and storage of fodder for livestock farming, is considered. The feasibility of using a cutting mechanism for unloading silage, the design feature of which is the use of a hydraulic drive, is substantiated. The special role in the functioning of the hydraulic drive of the cutting mechanism of the throttle flow divider with a compensation rod is noted, which ensures synchronization of the work of the executive bodies, uniform distribution of the working fluid and stability of the drive parameters. The principle of operation of the flow divider is based on balancing the flow of the working fluid in parallel hydraulic lines, which allows you to automatically equalize the load between the hydraulic motors and prevent their asynchronous operation.

The methodology for assessing the competitiveness of the developed mechanism is outlined on the basis of dimensionless and generalizing indicators of the 1st and 2nd types, which reflect the level of technical perfection and functional efficiency. According to the results of calculations, it was established that the proposed design is characterized by the highest values of dimensionless indicators: 0.7464 (type I) and 4.7235 (type II), which confirms its superiority over existing analogues. The obtained rating, in which the studied mechanism takes first place, testifies to its competitiveness and feasibility of practical application. The high level of productivity, reliability and quality of silage unloading operations is explained by the optimal combination of design and technological solutions.

Promising directions for further research are indicated: experimental tests in production conditions, studying the influence of the operating parameters of the hydraulic drive on the quality of work, optimization of the cutting mechanism taking into account energy consumption and wear resistance, development of an automated process control system and assessment of the economic efficiency of implementation.

Keywords: cutting mechanism, stem feed, working body, hydraulic pump, hydraulic motor, hydraulic drive, flow divider.

Стаття надійшла до редакції / Received 28.08.2025

Прийнята до друку / Accepted 17.09.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва підвищення ефективності використання кормових ресурсів є одним із ключових чинників забезпечення конкурентоспроможності тваринницьких підприємств [1, 2]. Силос залишається основним видом стеблових кормів у раціонах великої рогатої худоби, а отже, питання його заготівлі, зберігання та раціонального використання набуває особливої актуальності. Значні втрати поживних речовин у процесі вивантаження з траншейних сховищ пов'язані із недосконалістю застосовуваних механізмів, що не завжди забезпечують якісне відокремлення та подачу силосної маси.

Традиційні вирізні механізми, які широко використовуються у сільськогосподарських підприємствах, часто характеризуються підвищеною енергоємністю, недостатньою продуктивністю та швидким зношуванням робочих органів. Це зумовлює необхідність пошуку та впровадження інноваційних технічних рішень, що дозволяють підвищити ефективність вивантаження силосу, знизити витрати енергії та мінімізувати втрати кормів.

Розробка інноваційного вирізного механізму спрямована на вдосконалення технологічного процесу вивантаження силосної маси із траншейних сховищ та адаптацію обладнання до сучасних вимог аграрного виробництва. Одним із важливих аспектів оцінки такого обладнання є визначення його конкурентоспроможності, що передбачає аналіз техніко-економічних показників, надійності, ергономічності та екологічності у порівнянні з існуючими аналогами [3, 4].

Таким чином, дослідження конкурентоспроможності інноваційного вирізного механізму дозволить обґрунтувати доцільність його впровадження у виробництво, визначити його переваги відносно традиційних рішень та сприятиме підвищенню ефективності тваринницьких господарств.

Аналіз досліджень та публікацій

Одним із ключових показників якості стеблових кормів у тваринництві є максимальне збереження у їх складі поживних речовин, вітамінів та біологічно активних сполук. Якість силосу та сінажу значною мірою залежить не лише від технології їх заготівлі, а й від умов зберігання та способів подальшого вивантаження безпосередньо у процесі згодовування тваринам. На цьому етапі надзвичайно важливо мінімізувати механічне пошкодження кормового масиву та запобігти доступу повітря, адже саме проникування кисню активізує процеси вторинної ферментації та окислення [1].

Сучасні універсальні фронтальні та грейферні навантажувачі (ПГ-0.2А, ПЕ-0.8Б, ПЗА-Ф-1.0А, ПЕ-1 «Карпатець», ПФ-0.5, ПКУ-0.8) хоча й характеризуються високою продуктивністю, маневреністю та надійністю, однак не відповідають зоотехнічним вимогам до вивантажувачів консервованих кормів. Як зазначають дослідники [1, 5], після роботи таких механізмів поверхня силосного масиву виявляється розрихленою, що призводить до інтенсивного доступу повітря у корм і, як наслідок, до суттєвих втрат поживних речовин. Відомо, що внаслідок окислення харчова цінність корму може зменшуватися: поживність – на 8–13 %, вміст сухої речовини – до 30 %, каротину – на 40–60 %, перетравного протеїну – на 6–8 %, при цьому концентрація аміаку зростає у 2,5–3 рази [5, 6]. Це свідчить про обмежену ефективність універсальних навантажувачів у процесі виймання стеблових кормів та зумовлює потребу у спеціалізованих технічних засобах.

У тваринницькій галузі зарубіжних країн широке поширення отримав блочно-порційний спосіб вивантаження стеблових кормів [1, 5]. Такий підхід дозволяє значно підвищити якість кормів на етапі згодовування, оскільки забезпечується збереження цілісності кормового масиву по горизонтальних і вертикальних площинах. У результаті мінімізуються втрати, пов'язані з вторинною ферментацією, та досягається найвища збережність поживних речовин. Саме тому розвиток обладнання для реалізації блочно-порційного способу вважається одним із найперспективніших напрямів удосконалення технічних засобів для кормовиробництва. Особливістю таких машин є високий рівень гідрофікації, зокрема використання гідравлічних приводів для механізму відокремлення блок-порції від кормового моноліту та для переміщення П-подібної рамки по висоті блоку [5-8]. Керування цими процесами у більшості випадків здійснюється механізатором автономно для кожного приводу [9]. Подібні технічні рішення реалізовані провідними європейськими компаніями – Triolet, BvL, Stoll, Strautmann та іншими виробниками, що спеціалізуються на порційному вивантаженні стеблових кормів [5].

Удосконаленню технічного рівня обладнання сприяє застосування автоматизованих гідравлічних систем управління робочими органами, які дозволяють підтримувати стабільне навантаження на різальні елементи незалежно від умов роботи. Згідно з даними [5, 6], сумарна потужність приводів різального механізму та механізму подачі, необхідна для відокремлення блок-порції корму від масиву, не перевищує 5 кВт. Для порівняння, аналогічні механізми у сучасних серійних машинах, у тому числі від провідних світових виробників, потребують 20 кВт і більше.

Причиною такої диспропорції є використання неавтоматизованих приводів, які не здатні адаптуватися до змінних умов роботи різального механізму – наявності міжвузлів кукурудзи, домішок каміння чи інших сторонніх предметів. Внаслідок цього виробники змушені значно завищувати потужність приводів, що збільшує енергоємність машин та знижує їх економічну ефективність. У свою чергу, застосування інноваційних рішень на основі автоматизованих приводів дає можливість не лише зменшити енерговитрати, а й підвищити конкурентоспроможність обладнання за рахунок оптимізації

технологічного процесу та збереження високої якості корму.

Мета дослідження – полягає у науковому обґрунтуванні конкурентоспроможності інноваційного вирізного механізму для вивантаження силосної маси із траншейних сховищ, в якому застосовано гідрофіковані приводи з реалізацією принципу адаптації виконавчих гідродвигунів до зміни технологічного навантаження в процесі роботи. Досягнення поставленої мети передбачає оцінку техніко-економічних та зоотехнічних переваг даного технічного рішення, визначення його енергоефективності, надійності та здатності забезпечувати високу якість корму у процесі експлуатації порівняно з існуючими аналогами.

Виклад основного матеріалу

З огляду на актуальність створення високотехнологічного та енергоефективного обладнання для тваринництва, на кафедрі «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету проводяться науково-дослідні роботи, спрямовані на розробку інноваційних технічних засобів для кормовиробництва. Одним із пріоритетних напрямів є створення вирізного механізму з гідравлічним приводом робочих органів, призначеного для агрегування з фронтальними навантажувачами з метою підвищення ефективності процесу вивантаження силосної маси із траншейних сховищ. Слід підкреслити, що вказані дослідження виконуються у рамках пошукової науково-дослідної тематики внутрішньоуніверситетського фінансування кафедри, відповідно до теми «Підвищення ефективності роботи гідравлічних приводів сільськогосподарських машин та обладнання із застосуванням сучасних методів діагностування» (№ державної реєстрації 0122U002109). Реалізація даного напрямку досліджень має на меті удосконалення конструкційних рішень та підвищення технічного рівня обладнання за рахунок використання сучасних принципів управління гідравлічними системами, що забезпечують адаптацію виконавчих гідродвигунів до зміни технологічного навантаження на робочому органі в процесі роботи та зменшення енергоємності технологічного процесу.

Запропонована конструктивно-технологічна схема вирізного механізму, адаптована для використання на базі фронтального навантажувача, представлена на рисунку 1 [10, 11]. Вона відображає основні інженерні рішення, спрямовані на підвищення продуктивності, надійності та конкурентоспроможності обладнання, що, у свою чергу, створює підґрунтя для широкого впровадження такої техніки у виробничу практику сучасних тваринницьких господарств.

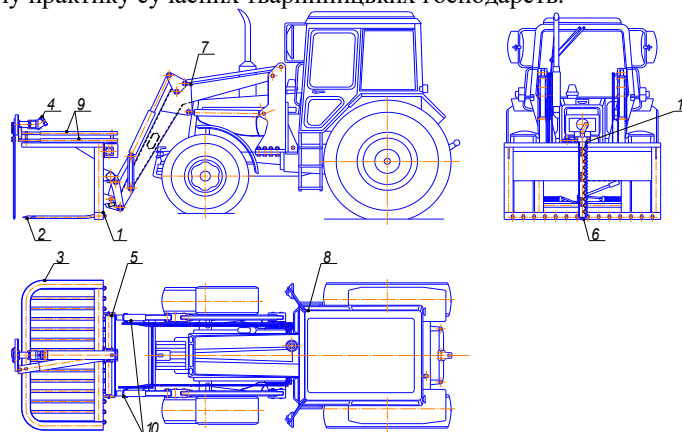


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема вирізного механізму для вивантаження стеблових кормів із траншейних сховищ на базі фронтального навантажувача: 1 – рама, 2 – вила, 3 – направляюча рама, 4 – гідродвигун, 5 – поворотний гідроциліндр, 6 – ніж, 7 – стріла навантажувача, 8 – трактор МТЗ-80, 9 – телескопічний важіль, 10 – гідроциліндри, 11 – приводний механізм

Вирізний механізм для вивантаження силосу із траншейних сховищ являє собою навісне обладнання, що розміщується на стрілі 7 фронтального навантажувача на базі трактора МТЗ-82. Вирізний механізм складається з вертикальної рами 1, яка являє собою зварну конструкцію та складається з двох вертикальних стійок з кронштейнами кріплення до стріли навантажувача, верхнього і нижнього горизонтальних брусів. На нижньому брусі горизонтально кріпляться вила 2. Для запобігання осипання стеблових корму під час вивантаження рама має ґрати. Над вилочним захватом 2 знаходиться направляюча рама 3, що з'єднана з верхнім брусом рами 1 та з метою забезпечення жорсткості посилена розкосами. Відокремлення блок-порції від кормового моноліту здійснюється рухомим ножом 6, що рухається по направляючій рамі 3 та містить механізм приводу та подачі.

Механізм приводу (кривошипно-шатунний) забезпечує зворотно-поступальний рух рухомого ножа 6 і містить каретку, гідродвигун 4, направляючі, шатун та кривошип. Кривошип зафіксований на валу гідродвигуна, який приводить у рух ніж 6. Каретка оснащена двома кронштейнами. Привод виконавчих гідродвигунів різачка-вивантажувача здійснюється від вільного каналу гідросистеми трактора.

Механізм подачі призначений для пересування й орієнтації рухомого ножа 6 паралельно траєкторії переміщення. Він містить телескопічний важіль 9 з опорним роликом, що встановлено в направляючій рамі вирізного механізму і приводиться в рух від поворотного гідроциліндра 5. Ролик

розташований в направляючій рамці і може перекочуватись по ній. Телескопічний важіль 9 орієнтує ніж в площині, паралельній траєкторії переміщення ножа в будь-якій її точці.

Таким чином, конструктивна схема вирізного механізму дозволяє поєднати функції відокремлення та утримання блок-порції корму, забезпечуючи при цьому високу жорсткість, надійність та точність роботи різального механізму. Використання гідравлічного приводу для робочих органів сприяє підвищенню енергоефективності та стабільності процесу різання за рахунок можливості регулювання зусиль та адаптації до неоднорідності кормового масиву.

З метою підвищення продуктивності та надійності функціонування вирізного механізму, призначеного для відокремлення блок-порції стеблових кормів від моноліту, розроблено удосконалену схему гідравлічного приводу. Принципово нове конструктивне рішення, представлене на рис. 2, забезпечує більш раціональне використання енергії гідросистеми, підвищує стабільність роботи виконавчих органів та сприяє зниженню енергоємності технологічного процесу.

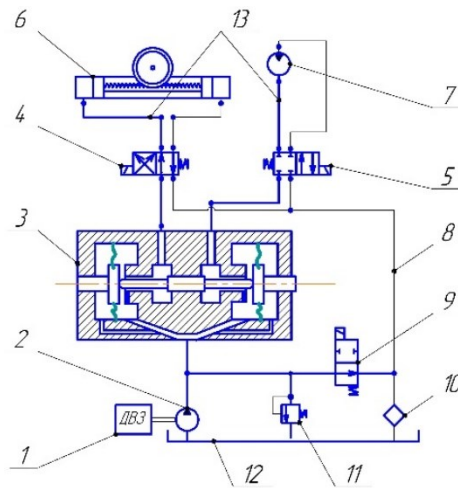


Рис. 2. Гідравлічний привод вирізного механізму для вивантаження стеблових кормів із траншейних сховищ:
1 – двигун внутрішнього згорання (ДВЗ), 2 – гідронасос, 3 – дросельний дільник потоку з компенсаторними штоками,
4, 5, 9 – гідралічні розподільники, 6 – поворотний гідроциліндр, 7 – гідродвигун, 8 – гідролінія зливу,
10 – фільтр, 11 – запобіжний клапан, 12 – гідробак, 13 – напірні гідролінії

Особливу роль у функціонуванні гідравлічного приводу вирізного механізму відіграє дросельний дільник потоку з компенсаторними штоками, який забезпечує синхронізацію роботи виконавчих органів, рівномірність розподілу робочої рідини та стабільність параметрів приводу [11]. Його принцип дії ґрунтується на балансуванні витрат робочої рідини в паралельних гідролініях, що дозволяє автоматично вирівнювати навантаження між гідродвигунами та запобігати їх асинхронній роботі.

Конструктивна особливість полягає у використанні рухомих штоків змінного перерізу, який компенсує вплив перепадів тиску на мембранні елементи, завдяки чому зберігається сталість регулювання, підвищуються динамічні характеристики та забезпечується висока точність розподілу потоку. У такій схемі можливе застосування як плоских, так і гофрованих мембран, що дозволяє варіювати їх жорсткість у широких межах, включно з нульовою, і тим самим адаптувати пристрій під різні режими роботи.

Головними перевагами дросельного дільника потоку з компенсаторними штоками є:

- забезпечення симетричного та стабільного розподілу робочої рідини незалежно від зміни навантаження в гідролініях;

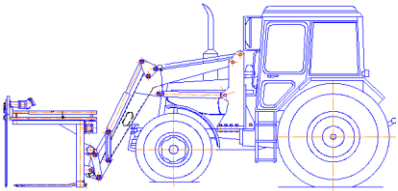
- можливість роботи як у режимі поділу, так і в режимі сумування потоків;
- підвищена динамічна стійкість завдяки компенсації дії перепадів тиску;
- розширена функціональна адаптивність до змін умов експлуатації;
- підвищена довговічність та ресурс.

Таким чином, застосування дросельного дільника потоку з компенсаторними штоками у складі гідроприводів сільськогосподарських машин забезпечує їх енергоефективність, надійність та технологічну гнучкість, що робить його перспективним для впровадження у високотехнологічних аграрних комплексах.

Сучасний ринок сільськогосподарської техніки характеризується наявністю широкого спектру різноманітних машин як вітчизняних так і закордонних. Вибір споживачем тієї або іншої машини залежить від критерію оцінки її ефективності. Такими критеріями можуть бути продуктивність, питомі енерговитрати на привод, маса машини та багато інших. Кожний окремо взятий критерій не може дати однозначну відповідь про переваги та недоліки машини, тобто визначити її конкурентоспроможність серед інших машин, які призначені для виконання аналогічних процесів. Зробити одночасний висновок про конкурентоспроможність машини можна тільки в тому випадку, якщо скористатись узагальнюючим показником, який враховує окремі показники та ступінь їх впливу на нього.

Таблиця 1

Вирізні механізми стеблового корму

№ п/п	Фірма, модель	Об'єм блока, м ³	Розмір блока: ширина/ довжина/ висота, мм	Маса, кг	Потужність, кВт
1	A.TOM, ківш з фрезею 	1.4	1.85/0.85/0.85	380	25
2	STOLL, грейферний ківш 	1.15	2.20	590	65
3	BvL van Lengerich, відокремлювач «калігаторного» типу V-LOAD Shear Top 	1.10	1.58/0.85/0.82	580	60
4	Fella-Werke GmbH, силосорізка модель SD 160 	0.8	1.5/0.80/0.65	510	25
5	BvL van Lengerich, модель V-LOAD Cutter 	1.65	1.85/0.8/1.1	550	35
6	Розроблений 	1.15	1.8/0.80/0.80	425	5

Існує методика визначення конкурентоспроможності технологій вирощування сільськогосподарських культур за комплексним коефіцієнтом конкурентоспроможності, який враховує енергетичні, екологічні, економічні показники порівняльних технологій [12]. Були спроби аналогічним чином порівняти деякі машини для тваринництва [13-15].

Вказана методика більш прийнятна для порівняння технологій вирощування сільськогосподарських культур, тому що показники, які використовуються для визначення комплексного коефіцієнта конкурентоспроможності, більш характерні саме для технологій (наприклад, коефіцієнт енергетичної ефективності технологій). Крім того, дана методика дає змогу порівняння двох об'єктів. У випадку, якщо проводиться порівняння між собою більшої кількості об'єктів, застосування даної методики дещо ускладнюється.

Методика оцінки технологій і машин на конкурентоспроможність має бути об'єктивною і повною, щоб на її основі можна було зробити нові рішення і прогнози для подальшого розвитку аграрного виробництва. Тому для порівняння окремих вирізних механізмів для вивантаження силосу із траншейних сховищ доцільно застосувати узагальнюючі показники оцінки I і II видів [16-17].

Саме така методика використана для визначення конкурентоспроможності вирізного механізму для вивантаження силосу із траншейних сховищ з п'ятьма відрізними механізмами для силосу іноземного виробництва (таблиця 1).

Вибір споживачем тієї чи іншої машини залежить від критеріїв оцінки її на ефективність. При виборі вирізних механізмів для стеблових кормів такими критеріями виступають: продуктивність, енергоємність привода, втрата поживних речовин, маса.

При цьому кожен окремо взятий показник не може дати одночасної відповіді про переваги і недоліки машини, для цього необхідно визначити її конкурентоздатність серед інших машин-аналогів.

Зробити одночасний висновок про конкурентоздатність можна в тому випадку, якщо скористатись узагальнюючим показником, який враховує окремі характеристики машини та їх ступінь впливу на нього [16].

Для порівняння окремих машин можна використовувати узагальнюючі показники двох видів. Вони визначаються як середнє геометричне від окремих оціночних показників, але при визначенні одного з них враховують ступені вагомості окремих характеристик.

Для проведення розрахунків по визначенню конкурентоспроможності розробленого вирізного механізму стеблових кормів користувались техніко-експлуатаційними показниками існуючих навантажувачів і розроблювального. При цьому критерієм оцінки служили безрозмірні і узагальнюючі показники I-II-го видів [16].

Розрахункові дані окремих безрозмірних та узагальнюючих показників I-II-го виду були отримані автоматично за допомогою спеціальної програми на базі електронних таблиць Microsoft Excel за вихідними даними, наведеними в таблиці 2.

Таблиця 2

Техніко-експлуатаційні показники машин

№ п/п	Фірма, модель	Техніко-експлуатаційні показники машин			
		Продуктивність, т/год	Енергоємність привода, кВт	Втрати поживних речовин, %	Маса, кг
1	A.TOM, ківш з фрезой	15	25	3,5	380
2	STOLL, грейферний ківш	17	65	6	590
3	BvL van Lengerich, відокремлювач «алігаторного» типу V-LOAD Shear Top	30	60	2	580
4	Fella-Werke GmbH, силосорізка модель SD 160	26	25	1	510
5	BvL van Lengerich, модель V-LOAD Cutter	30	35	1	550
6	Розроблений	30	5	1	425

Отримання ступенів вагомості показників для всіх вирізних механізмів стеблових кормів визначаємо методом граничних і номінальних значень за формулою [16].

$$a_i = \frac{1 - q_i}{\sum_{i=1}^n (1 - q_i)}, \quad (1)$$

де q_i – доля покращення i -го показника в майбутньому,

$$q_i = \frac{P_{i\text{сп}}}{P_{i\text{н}}}, \quad (2)$$

$$q_i = \frac{P_{i\text{н}}}{P_{i\text{сп}}}, \quad (3)$$

де $P_{i\text{сп}}$ – прогнозоване значення показника за i -м критерієм;

$P_{i\text{н}}$ – номінальне значення показника за i -м критерієм.

Результати розрахунку ступенів вагомості за формулою зведено в таблицю 3. Узагальнюючу оцінку визначаємо як середнє арифметичне значень a_i для окремого показника,

$$a_{\text{сеп } i} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}. \quad (4)$$

Результати розрахунку за формулою 4 зведено в останній рядок таблиці 3.

Таблиця 3

Значення ступенів вагомості показників

№ п/ п	Марка машини	Техніко-експлуатаційні показники машин				Сума $a_{сеп}$
		Продуктивність	Енергоємність привода	Втрати поживних речовин	Маса	
1	A.TOM, ківш з фрезою	0,2482	0,3972	0,3546	0,0000	
2	STOLL, грейферний ківш	0,1702	0,3626	0,3274	0,1398	
3	BvL van Lengerich, відокремлювач «алігаторного» типу V-LOAD Shear Top	0,0000	0,520	0,2838	0,1958	
4	Fella-Werke GmbH, силосорізка модель SD 160	0,1122	0,6733	0,0000	0,2145	
5	BvL van Lengerich, модель V-LOAD Cutter	0,0000	0,7350	0,0000	0,2650	
6	Розроблений	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	
	Середнє значення ступеня вагомості для i -тої групи машин $a_{сеп}$	0,0884	0,4481	0,1610	0,3025	1,0000

При визначенні вагомості показників завжди повинно виконуватись співвідношення

$$\sum_{i=1}^n a_{сеп} = 1. \quad (5)$$

Дані розрахунки показують, що співвідношення (5) виконуються.

Для визначення узагальнюючого показника i -го виду спочатку необхідно визначити масштабний лінійний коефіцієнт, який знаходиться за формулою

$$M_x = \frac{(x_{i\max} - x_{i\min})}{(x_B - x_A)}, \quad (6)$$

де $x_{i\max}$, $x_{i\min}$ – відповідно максимальне і мінімальне значення i -го показника.

Для знаходження масштабних значень шкали, в які переводимо кожне значення показника, користуємося формулами: для показників, збільшення яких покращує конкурентоспроможність вивантажувача (продуктивність, максимальна висота вивантаження),

$$x_i = x_A + \frac{x_{ic} - x_{i\min}}{M_x}; \quad (7)$$

для показників, збільшення яких погіршує конкурентоспроможність вивантажувача (втрати поживних речовин, маса),

$$x_i = x_B - \frac{x_{ic} - x_{i\min}}{M_x}, \quad (8)$$

де x_{ic} - статистичне значення i -го показника, яке беремо з початкової таблиці.

Знаходимо коефіцієнт переваги для кожного з вирізних механізмів стеблових кормів, які визначаються за формулою

$$d_i = \exp\left[-e^{-(x_i^4)}\right] \quad (9)$$

Узагальнюючий показник якості I-го виду визначається таким чином:

$$D^I = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n} \quad (10)$$

Максимальне значення узагальнюючого показника відповідає кращому варіанту вирізного механізму. В нашому випадку максимальне значення узагальнюючого показника I-го виду складає 0,7464 (таблиця 4) і відповідає дослідному зразку вирізного механізму.

При визначенні узагальнюючого показника II-го виду кожний окремий показник перетворюється в безрозмірну величину за наступними формулами [16]:

- для показників, збільшення яких покращує конкурентоспроможність вирізного механізму,

$$d_i = d_{i\max} + \frac{(d_{i\min} - d_{i\max})(x_i - x_{i\max})}{x_{i\min} - x_{i\max}} \quad (11)$$

- для показників, збільшення яких погіршує конкурентоспроможність вирізного

механізму,

$$d_i = d_{i\max} + \frac{(d_{i\min} - d_{i\max})(x_i - x_{i\min})}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (12)$$

де x_i – значення показників з початкової таблиці, $x_{\min}$, $x_{\max}$ – граничні значення i -го показника (беремо значення для кожного показника по стовпцю початкової таблиці), $d_{\min}$, $d_{\max}$ – безрозмірні оцінки показника. Узагальнюючі показники II-го виду визначаємо за формулою [16]

$$D^{II} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i^{a_i}} \quad (13)$$

Таблиця 4

Значення окремих безрозмірних та узагальнюючих показників I-го виду

№ п/п	Марка машини	Техніко-експлуатаційні показники машин				Узагал. показ- ники D	Рейтинг
		Продуктив- ність	Енергоємність привода	Втрати поживних речовин	Маса		
1	A.TOM, ківш з фрезою	0,6424	0,7287	0,6766	0,77 49	0,7039	2
2	STOLL, грейферний ківш	0,6518	0,4796	0,6125	0,54 97	0,5696	6
3	BvL van Lengerich, відокремлювач «алігаторного» типу V-LOAD Shear Top	0,7083	0,5162	0,7111	0,56 29	0,6185	5
4	Fella-Werke GmbH, силосорізка модель SD 160	0,6917	0,7287	0,7325	0,64 90	0,6997	3
5	BvL van Lengerich, модель V-LOAD Cutter	0,7083	0,6766	0,7325	0,60 13	0,6778	4
6	Розроблений	0,7083	0,8125	0,7325	0,73 63	0,7464	1

Результати розрахунків наведено в таблиці 5.
Найкращий узагальнюючий показник D= 4,7235.

Таблиця 5

Значення окремих безрозмірних та узагальнюючих показників I I-го виду

№ п/п	Марка машини	Техніко-експлуатаційні показники машин				Узагал. показ- ники D	Рейтинг
		Продуктив- ність, т/год	Енергоємність привода	Втрати поживних речовин, %	Маса, кг		
1	A.TOM, ківш з фрезою	1,0000	3,6667	3,0000	5,0000	3,4761	2
2	STOLL, грейферний ківш	1,5333	1,0000	1,0000	1,0000	1,0385	6
3	BvL van Lengerich, відокремлювач «алігаторного» типу V- LOAD Shear Top	5,0000	1,3333	4,2000	1,1905	1,7419	5
4	Fella-Werke GmbH, силосорізка модель SD 160	3,9333	3,6667	5,0000	2,5238	3,4640	3
5	BvL van Lengerich, модель V-LOAD Cutter	5,0000	3,0000	5,0000	1,7619	2,9009	4
6	Розроблений	5,0000	5,0000	5,0000	4,1429	4,7235	1

Висновки

На основі проведених розрахунків та аналізу узагальнюючих показників встановлено, що розроблений вирізний механізм для вивантаження стеблових кормів характеризується найвищими значеннями безрозмірних показників I-го (0,7464) та II-го (4,7235) виду, що свідчить про його технічну досконалість і функціональну ефективність. Отриманий рейтинг, у якому дана модель посідає перше місце, підтверджує її конкурентоспроможність порівняно з існуючими аналогами. Це пояснюється

оптимальним поєднанням конструктивних і технологічних рішень, які забезпечують підвищену продуктивність, надійність та якість виконання операції вивантаження силосної маси. Таким чином, розроблений механізм можна розглядати як перспективний напрям у вдосконаленні машинно-технологічних комплексів для кормовиробництва.

Перспективи подальших досліджень полягають у:

- проведенні експериментальних випробувань у виробничих умовах для підтвердження розрахункових показників ефективності та надійності;
- вивченні впливу режимних параметрів роботи гідропривода на якість відокремлення та транспортування блок-порцій корму;
- оптимізації конструктивних параметрів р вирізного механізму з урахуванням енергоспоживання, зношуваності та динамічних навантажень;
- розробці системи автоматизованого керування процесом вивантаження з використанням сучасних сенсорних технологій і методів діагностики;
- оцінці економічної ефективності впровадження запропонованої конструкції у тваринницькі підприємства різних масштабів.

Узагальнюючи, можна зробити висновок, що запропонований вирізний механізм не лише забезпечує високий технічний рівень виконання технологічних операцій, а й відкриває широкі можливості для подальшого розвитку інноваційних рішень у галузі кормозаготівельної техніки.

Література

1. Калетнік Г.М. Основи перспективних технологій виробництва продукції тваринництва / Г.М. Калетнік, М.Ф. Кулик, В.Ф. Петриченко та ін. – Вінниця: «Енозіс», 2007. – 584 с.
2. Петриченко В. Ф. Концепція розвитку кормовиробництва в Україні на період до 2025 року. Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН / В.Ф. Петриченко, О.В. Корнійчук, А.О. Бабич, В.Д. Бугайов, М.Ф. Кулик, С.І. Колісник, В.С. Задорожний, С.Ф. Антонів, Ю.А. Векленко, В.П. Жуков, С. Я. Кобак, К.П. Ковтун, І.С. Воронєцька, О.М. Рибаченко, О.К. Стасюк, Л.П. Чорнолата. – Вінниця, 2014. – 12 с.
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. 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: 01.08.2025).
5. Руткевич В.С. Інноваційні засоби для вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ / В.С. Руткевич, В.П. Кушнір, О.О. Остапчук // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2022. – № 1 (305). С. 261–269. DOI: 10.31891/2307-5732-2022-305-1-260-268.
6. Shargorodskiy S. Investigation of drive power of the mechanism for separation of stem feed from feed monolith / S. Shargorodskiy, V. Rutkevych // Slovak international scientific journal. – 2021. – № 54. С. 10–20.
7. Veselovska N.R. Simulation modeling of the adaptive system for hydraulic drives of a stalk forage separator / N.R. Veselovska, V.S. Rutkevych, S.A., Shargorodsky, V.M. Yaropud, I.M. Kupchuk // Journal of Engineering Sciences (Ukraine). – 2025. – Vol. 12(1). P. F8-F17. DOI: 10.21272/jes.2025.12(1).f2
8. Kuzmenko V. F. Modeling of an adaptive hydraulic drive system for the cutting mechanism of a stem feed loader / V. F. Kuzmenko, N. R. Veselovska, V. S. Rutkevych, S. A. Shargorodskiy, O. V. Kholodiuk // Journal of Engineering Sciences (Ukraine). – 2025. – Vol. 12(2), P. F1–F11. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(2\).f1](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(2).f1)
9. 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.
10. 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
11. 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
12. Вітрух І., Семерак В., Махмудов І., Марціяш О. Комплексна оцінка техніки і технологій для рослинництва // Вісник Львівського НАУ «Агроінженерні дослідження». – Львів, 2018. № 12 (2). – С. 90-98.
13. Антощенко В.М. Методика визначення енерговитрат машино-тракторного агрегату / В.М. Антощенко, Р.В. Антощенко // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського НТУСГ ім. П. Василенка. – Харків, 2018. Вип. 75., Т. 1. – С. 264–269.
14. Гевко Р.Б., Гарькавий А.Д., Гладич Б.Б., Павх І.І., Павелчак О.Б. Оцінка ринкової вартості та

конкурентоспроможності машин і технологій. – Тернопіль: ТДПУ, 2014. – 199 с.

15. Беспалов Р.І. Оцінка конкурентоспроможності обладнання для подрібнення стеблових кормів / Р.І. Беспалов // Вісник аграрної науки. – 2014. – №7. – С. 50-52.

16. Гарькавий А.Д. Конкурентоспроможність технологій і машин: навчальний посібник / А.Д. Гарькавий, В.Ф. Петриченко, А.В. Спірін. – Вінниця: ВДАУ, 2006. – 74 с.

17. Холодюк О.В. Оцінка конкурентоспроможності підбирача валків з бітерно-ножовим подрібнювальним апаратом / О.В. Холодюк, А.В. Спірін, І.М. Ковальова // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2019. – № 2 (105). С. 31–42.

References

1. Kaletnik H.M. Osnovy perspektyvnykh tekhnologii vyrobnytstva produktsii tvarynystva / H.M. Kaletnik, M.F. Kulyk, V.F. Petrychenko ta in. – Vinnytsia: «Enosis», 2007. – 584 s.
2. Petrychenko V. F. Kontseptsia rozvytku kormovyrobnytstva v Ukraini na period do 2025 roku. Instytut kormiv ta silskoho hospodarstva Podillia NAAN / V.F. Petrychenko, O.V. Korniichuk, A.O. Babych, V.D. Buhaiov, M.F. Kulyk, S.I. Kolisnyk, V.S. Zadorozhnyi, S.F. Antoniv, Yu.A. Veklenko, V.P. Zhukov, S. Ya. Kobak, K.P. Kovtun, I.S. Voronetska, O.M. Rybachenko, O.K. Stasiuk, L.P. Chornolata. – Vinnytsia, 2014. – 12 s.
3. Ratushna N. Metodychni pidkhody do stvorennia novoi silskohospodarskoi tekhniki u vidpovidnosti z vymohamy rynku naukoemnoi produktsii / N. Ratushna, I. Mahmudov, A. Kokhno // MOTROL. – 2007. – № 9A. С. 119–123.
4. Shmat S. I. Tendentsii staloho rozvytku suchasnoho silskohospodarskoho mashynobuduvannia 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: 01.08.2025).
5. Rutkevych V.S. Innovatsiini zasoby dlia vyvantazhennia steblovykh kormiv z transheinykh skhovyshch / V.S. Rutkevych, V.P. Kushnir, O.O. Ostapchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: tekhnichni nauky. – 2022. – № 1 (305). С. 261–269. DOI: 10.31891/2307-5732-2022-305-1-260-268.
6. Shargorodskiy S. Investigation of drive power of the mechanism for separation of stem feed from feed monolith / S. Shargorodskiy, V. Rutkevych // Slovak international scientific journal. – 2021. – № 54. S. 10–20.
7. Veselovska N.R. Simulation modeling of the adaptive system for hydraulic drives of a stalk forage separator / N.R. Veselovska, V.S. Rutkevych, S.A., Shargorodsky, V.M. Yaropud, I.M. Kupchuk // Journal of Engineering Sciences (Ukraine). – 2025. – Vol. 12(1). P. F8-F17. DOI: 10.21272/jes.2025.12(1).f2
8. Kuzmenko V. F. Modeling of an adaptive hydraulic drive system for the cutting mechanism of a stem feed loader / V. F. Kuzmenko, N. R. Veselovska, V. S. Rutkevych, S. A. Shargorodskiy, O. V. Kholodiuk // Journal of Engineering Sciences (Ukraine). – 2025. – Vol. 12(2), P. F1–F11. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(2\).f1](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(2).f1)
9. Finkelshtein Z.L. Eksploatatsiia, obsluhovuvannia ta nadiinist hidravlichnykh mashyn i hidropriyvodiv / Finkelshtein Z.L., Andrenko P.M., Dmytriienko O.V.; navch. posib. Kharkiv: Vydavnychiy tsentr. NTU «KhPI» – 2014. 308 s.
10. 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. Seriya: tekhnichni nauky. – 2024. – № 3 (338). С. 109–114. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-337-3-15
11. Rutkevych V. Doslidzhennia pryvoda vyriznoho mekhanizmu dlia vyvantazhennia sylosu iz transheinykh skhovyshch. / V. Rutkevych, S. Sharhorodskiy, O. Ostapenko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: tekhnichni nauky. – 2024. – № 5 (341). С. 399–404. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-341-5-58
12. Vitruk I., Semerak V., Makhmudov I., Martsiiash O. Kompleksna otsinka tekhniki i tekhnologii dlia roslynnytstva // Visnyk Lvivskoho NAU «Ahroinzheneriia doslidzhennia». – Lviv, 2018. № 12 (2). – С. 90-98.
13. Antoshchenkov V.M. Metodyka vyznachennia enerhovytrat mashyno-traktornoho ahrehatu / V.M. Antoshchenkov, R.V. Antoshchenkov // Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva: Visnyk Kharkivskoho NTUSH im. P. Vasylenka. – Kharkiv, 2018. Vyp. 75., T. 1. – С. 264–269.
14. Hevko R.B., Harkavyi A.D., Hladych B.B., Pavkh I.I., Pavelchak O.B. Otsinka rynkovoi vartosti ta konkurentospromozhnosti mashyn i tekhnologii. – Ternopil: TDPU, 2014. – 199 s.
15. Беспалов Р.І. Оtsinka konkurentospromozhnosti obladnannia dlia podribnennia steblovykh kormiv / R.I. Беспалов // Visnyk aharnoi nauky. – 2014. – №7. – С. 50-52.
16. Harkavyi A.D. Konkurentospromozhnist tekhnologii i mashyn: navchalnyi posibnyk / A.D. Harkavyi, V.F. Petrychenko, A.V. Spirin. – Vinnytsia: VDAU, 2006. – 74 s.
17. Kholodiuk O.V. Otsinka konkurentospromozhnosti pidbyracha valkv z biterno-nozhovym podribniuvальnym aпаратом / O.V. Kholodiuk, A.V. Spirin, I.M. Kovalova // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2019. – № 2 (105). С. 31–42.