

ISSN 2414-3820

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет

**КОНСТРУЮВАННЯ, ВИРОБНИЦТВО
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
МАШИН**

Загальнодержавний міжвідомчий
науково-технічний збірник

Випуск 52

Кропивницький • 2022

ISSN 2414-3820

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
Central Ukrainian National Technical University

**DESIGN, PRODUCTION
AND EXPLOITATION
OF AGRICULTURAL MACHINES**

National Interagency Scientific
and Technical Collection of Works

Issue 52

Kropyvnytskyi • 2022

УДК 631.3.001.1 (082)

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2022. Вип. 52. 196 с.

В збірнику викладені питання конструювання, розрахунку, удосконалення, створення і дослідження нових робочих органів сільськогосподарських машин, засобів механізації, електрифікації та автоматизації сільськогосподарського виробництва. Наведені результати досліджень в галузі технологій виробництва і експлуатації машин та забезпечення їх надійності і довговічності. Викладені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень і дослідно-конструкторських розробок в сільськогосподарській і інших галузях машинобудування. Збірник розрахований на наукових та інженерно-технічних працівників науково-дослідних установ, ВНЗ, конструкторських організацій та промислових підприємств.

Рекомендовано до друку Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету, протокол від 26 грудня 2022 року № 4.

Редакційна колегія:

Черновол М.І., д.т.н., проф. – головний редактор;
Сало В.М., д.т.н., проф. – заст. головного редактора;
Лещенко С.М., к.т.н., доц. – відповідальний секретар;
Алієв Е.Б., д.т.н., ст. докл.;
Алфьоров О.І., д.т.н., доц.;
Аулін В.В., д.т.н., проф.;
Васильковська К.В., к.т.н., доц.;
Васильковський О.М., к.т.н., проф.
Дідух В.Ф., д.т.н., проф.;
Кірчук Р.В., к.т.н., проф.;
Кириченко А.М., д.т.н., проф.;
Коваленко О.В., д.т.н., доц.;
Кропівний В.М., к.т.н., проф.;
Мацуї А.М., д.т.н., проф.;

Мелешко Є.В., д.т.н., проф.;
Мороз М.М., д.т.н., проф.;
Надикто В.Т., д.т.н., проф.;
Осадчий С.І., д.т.н., проф.;
Петренко Д.І., к.т.н., доц.;
Сайчук О.В., д.т.н., проф.;
Степаненко С.В., д.т.н., с.н.с.;
Харченко С.О., д.т.н., доц.;
Шепеленко І.В., д.т.н., проф.;
Anas M. Al-Oraiqat, D.Sc. (Королівство Саудівська Аравія);
Iurie Melnic, Ph.D., Associate Professor (Молдова);
Juozas Padgurskas, Dr., Professor;
Pošta Jozef, Ph.D., Professor (Чехія);
Predrag Dašić, Hon.D.Sc. (Сербія);
Andrii Yatskul, Ph.D., Associate Professor (Франція).

Адреса редакційної колегії: 25030, м. Кропивницький, проспект Університетський, 8,
Центральноукраїнський національний технічний університет, тел.: +380 (522) 390-581, +380 (522) 390-472, +380 (522) 55-10-49.

Офіційний сайт: <http://zborniksgm.kntu.kr.ua>

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації. Редакція може публікувати статті в порядку обговорення, не поділяючи точки зору автора.

Заснований у 1971 р.

Включений до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних наук (бюлетень ВАК №5 від 2010р., накази Міністерства освіти і науки України від 21 грудня 2015 року №1328, від 07 листопада 2018 року №1218, від 02 липня 2020 року № 886).

Категорія «Б»

Збірник наукових праць зберігається в загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова» Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського та представлений у міжнародних наукометричних базах даних *Index Copernicus*, *Word Cat*, *CrossRef*, *Open Ukrainian Citation Index*, *ResearchBib*, *Google Scholar*

Реєстраційне свідоцтво: серія KB №23511 - 13351 ПР від 13.07.2018 р.
2414-3820 (Print) 2664-9136 (e) DOI: 10.32515/2414-3820

АГРОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 633.521

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.3-11>**А.С. Лімонт**, доц., канд. техн. наук*Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна**e-mail: andrespartak@ukr.net***З.А. Лімонт***Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна*

Маса коріння рослин і прогнозування продуктивності льону-довгунця та якості волокна

Мета статті полягала в дослідженні продуктивності льону-довгунця та якості волокна і кількості елементарних волокон на поперечному зрізі стебла залежно від маси коріння рослин. В якості продуктивності льону-довгунця визначені густина стеблостою перед збиранням, а також урожайність насіння і волокна. До показників якості волокна віднесені номер довгого волокна, міцність волокна, гнучкість, метричний номер і розрахункова добротність пряжі. Оцінена кількість елементарних волокон в луб'яному пучку та всього волокон на поперечному зрізі стебла.

На підставі кореляційно-регресійного аналізу з використанням експериментальних даних Л.Д. Фоменка з'ясовано, що зміна густоти стеблостою, урожайності насіння і волокна, номера довгого волокна, міцності і гнучкості волокна, його метричного номера і розрахункової добротності пряжі, маси рослин на початку цвітіння і перед збиранням, кількості елементарних волокон в луб'яному пучку і всього волокон на поперечному зрізі стебла, а також висоти рослин залежно від маси коріння описується рівняннями прямолінійної регресії з додатними кутовими коефіцієнтами. Зміна діаметра стебел залежно від маси коріння рослин описується рівнянням прямої з від'ємним кутовим коефіцієнтом.

льон-довгунець, рослина, коріння, маса, урожайність, волокно, якість

Постановка проблеми. Однією з причин занепаду льонарства в Україні вважають [1] зниження конкурентоспроможності виробництва льону-довгунця. Конкурентоспроможність галузі значною мірою крім собівартості льонопродукції зумовлена урожайністю льону-довгунця. Проте в проблемі оцінювання продуктивності льону-довгунця і якості волокна поки що залишилися ще низка нез'ясованих питань. Про деякі з таких питань і піде мова в пропонованому повідомленні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В статті [2] висвітлено вплив розораності сільськогосподарських угідь, площі ріллі і посівів льону-довгунця, концентрації його посівів, технічної забезпеченості підприємств (тракторо- і машинозабезпеченості) та їх кадрової забезпеченості (забезпеченості механізаторами і інженерними працівниками з експлуатації та ремонту машинно-тракторного парку) на урожайність льону-довгунця. Вплив норми висіву льону-довгунця на його урожайність досліджено в праці [3], а тривалості сівби культури на урожайність льонопродукції – у статті [4]. Урожайність льону-довгунця і масова характеристика надземної частини рослин залежно від густоти їх стояння перед збиранням досліджена в праці [5]. Зміна урожайності насіння і волокна льону-довгунця залежно від середньодобової температури ґрунту в день сівби знайшла відображення в праці [6]. В узагальненні [7] наведена інформація про кількість елементарних волокон на поперечному зрізі стебла льону-довгунця, з якими пов'язують вихід і якість волокна. Узагальнено і з'ясовано

вплив складових волокнистої частини стебла на урожайність насіння і волокна льону-довгунця.

Родючість ґрунтів, а, отже, урожайність сільськогосподарських культур пов'язують з масою коріння рослин. За інформацією Н.Г. Городнього та його співавторів [8] основна маса коріння льону-довгунця розміщується в шарі ґрунту глибиною до 20 см, а за повідомленням Л.П. Книгницької [9] коріння цієї культури розміщується на глибині 8–10 см. За інформацією різних дослідників розвиток кореневої системи льону-довгунця залежить від способів основного обробітку ґрунту. Дослідженням прийомів і знарядь для основного обробітку займалися Л.Д. Фоменко [10], Н.Г. Городній із співавторами [8], Л.П. Книгницька [9] та ін. науковці. За даними [8] у ранній жовтій стиглості маса повітряно-сухого коріння за оранки плугом з передплужником становила 1341 кг/га, а за дискового лущення – 1193 кг/га. При цьому відношення маси коріння до маси надземної частини рослин становило відповідно 25,1 і 28,4%.

За [8] залежно від способу основного обробітку ґрунту коріння льону-довгунця у відношенні до надземної частини рослини у фазі «ялинка» становило 53,2...58,5%, у фазі бутонізації – 29,9...33,6%, а в ранній жовтій стиглості – 25,1...28,4%. Коефіцієнт продуктивності коріння льону-довгунця, що являє відношення маси надземної частини рослин до маси підземної, і тій же послідовності приймав значення відповідно 1,9...1,7 та 3,3...3,0 і 4,0...3,5.

В досліджах [9] найвищу урожайність льону-довгунця одержано за дискування ґрунту з глибоким розпушуванням дна борозни, за якого відбувається змішування орного шару з підорним. За оранки на 20–25 см урожайність льону-довгунця була нижчою.

За умовами дослідів Л.Д. Фоменка [10] найбільша маса повітряно-сухого коріння льону-довгунця в орному шарі (0–20 см), що становила 583 кг/га, одержана за зяблевої оранки на глибину 20–22 см з розпушуванням дна борозни на 5–7 см ґрунтопоглиблювачами. За звичайної зяблевої оранки на 20–22 см маса коріння становила 547 кг/га, а за поверхневого обробітку дисковими луцильниками – 462 кг/га.

Б.В. Борисюк і С.В. Журавель [11], які поряд з іншими вивчали оранку на глибину 18–20 см, обробіток ґрунту плоскорізом КПП-250 та важкою дисковою бороною БДТ-3, вказують, що вирощування льону-довгунця «потребує дискового обробітку ґрунту».

В праці [12] досліджені маса надземної і підземної частини урожаю вівса і гороху та люцерни і еспарцета, вирощуваних на рекультивованих землях. З'ясовано, що продуктивність сільськогосподарських культур залежно від коефіцієнта продуктивності коріння.

І.Х. Узбек і Т.І. Галаген [12] стосовно рекультивованих земель вказують, що коріння рослин виконує три основні функції, а саме: 1) біологічну, оскільки є джерелом енергії і живлення мікроорганізмів; 2) хімічну, оскільки після розкладання перетворюється в основне і незамінне джерело поживних речовин для наступних поколінь рослин; 3) фізичну, оскільки підвищує ступінь водоміцності структурних агрегатів, знижує щільність складання (компонування) та підвищує загальну шпаруватість і шпаруватість аерації товщі едафотопів.

Постановка завдання. Мета дослідження полягала в подальшому вивченні продуктивності льону-довгунця та якості волокна і кількості елементарних волокон на поперечному зрізі стебла культури залежно від маси коріння рослин шляхом узагальнення експериментальних даних Л.Д. Фоменка. *Завдання дослідження:* 1) за результатами досліджень різних прийомів основного обробітку ґрунту з урахуванням

маси коріння льону-довгунця з квадратного метра орного шару льонища і густоти стеблостою перед збиранням визначити масу коріння рослини; 2) опрацювати чотирнадцять двомірних варіаційних рядків, в яких факторіальною ознакою визначено масу коріння рослини льону-довгунця, а в якості результативних прийняті густота стеблостою перед збиранням, урожайність насіння і волокна льону-довгунця, номер довгого волокна, міцність і гнучкість волокна, його метричний номер і розрахункова добротність пряжі, маса рослин льону-довгунця перед цвітінням і на початку збирання, кількість елементарних волокон в одному луб'яному пучку і всього елементарних волокон з урахуванням кількості луб'яних пучків на поперечному зрізі стебла та його висота і діаметр; 3) здійснити кореляційний аналіз опрацьованих варіаційних рядків та визначитися з характером зміни результативних ознак залежно від факторіальної; 4) відшукати рівняння регресії, що кількісно оцінюють зміну результативних ознак залежно від факторіальної; 5) побудувати кореляційні поля «факторіальна – результативні ознаки» та лінії регресії результативних ознак на факторіальну; 6) проаналізувати знайдені рівняння регресії і побудовані графіки зміни результативних ознак залежно від факторіальної та з'ясувати частку впливу факторіальної ознаки на відповідні результативні ознаки.

Об'єкт і методика дослідження. Об'єкт дослідження – технологічний процес виробництва льону-довгунця з пізнанням і оцінюванням зміни показників продуктивності культури (густоти стеблостою перед збиранням та урожайності насіння і волокна), якості волокна за показниками органолептичної оцінки (номер довгого волокна) та інструментальної (міцність і гнучкість волокна, його метричний номер та розрахункова добротність пряжі), маси повітряно-сухих рослин льону-довгунця на початку цвітіння і перед збиранням, складових волокнистої частини стебла – волокнистих або інакше луб'яних пучків, в кожному з яких може бути певна кількість первинних елементарних волокнинок (волоконець, волокон) та морфологічних ознак стебла (висоти і діаметра) залежно від маси коріння рослин льону-довгунця.

Масу $m_{кр}$ (мг) повітряно-сухого коріння льону-довгунця у фазі цвітіння в розрахунку на одну рослину визначали за формулою:

$$m_{кр} = 1000 m_{км} / G_{ст}, \quad (1)$$

де $m_{км}$ – маса (г) повітряно-сухого коріння льону-довгунця з одного квадратного метра орного шару (0–20 см) льонища у фазі цвітіння рослин, г/м²;

$G_{ст}$ – густота стеблостою льону-довгунця перед збиранням за кількістю стебел (шт.) в розрахунку на 1 кв. м льонища, шт./м².

Вихідні дані для розрахунку $m_{кр}$, тобто $m_{км}$ і $G_{ст}$ та значення урожайності насіння $U_{лн}$ (ц/га) і урожайності волокна $U_{лв}$ (ц/га), номера довгого волокна $N_{лв}$, міцності $M_{цв}$ (даН) і гнучкості $G_{нв}$ (мм) волокна, його метричного номера $M_{нв}$ і розрахункової добротності пряжі $P_{дп}$ (км), маси повітряно-сухих рослин льону-довгунця на початку цвітіння $m_{рц}$ (мг) і перед збиранням $m_{рз}$ (мг), кількості елементарних волокон $m_{вп}$ (шт.) в одному луб'яному пучку і всього волокон $n_{вв}$ (шт.) з урахуванням кількості луб'яних пучків на поперечному зрізі стебла та його висоти h_c і діаметра d_c вибирали з відповідних таблиць, в яких наведені результати експериментальних досліджень з вивчення різних прийомів основного обробітку ґрунту під льон-довгунець [10]. Л.Д. Фоменко [10] в умовах Волинської державної сільськогосподарської дослідної станції за просапного попередника (картопля) під льон-довгунець сорту Томський 5 вивчав ефективність вісьми способів основного обробітку ґрунту, якими були: 1) зяблева оранка звичайна на 20–22 см; 2) зяблева оранка звичайна на 20–22 см з весняним

переорюванням; 3) зяблева безполицева оранка на 20–22 см; 4) зяблева оранка на 25–27 см; 5) веснооранка на 20–22 см; 6) поверхневий обробіток лемішними луцильниками на 10–12 см; 7) поверхневий обробіток дисковими луцильниками на 8–10 см; 8) зяблева оранка на 20–22 см з розпушуванням дна борозни на 5–7 см ґрунтопоглиблювачами. Найбільші густота стеблостою ($G_{ст} = 2265$ шт./м²) і маса коріння ($m_{км} = 583$ г/м²) одержані за зяблевої оранки на 20–22 см з розпушуванням дна борозни на 5–7 см ґрунтопоглиблювачами. За такими ж показниками на другому місці виявилася зяблева оранка на 20–22 см. За поверхневого обробітку дисковими луцильниками $G_{ст} = 2003$ шт./м² і $m_{км} = 482$ г/м².

Отже, у всіх досліджуваних варіантах розмір статистичної вибірки становив вісім пар факторіальної і результативної ознак. Обробка опрацьованих і зібраних статистичних даних здійснена з використанням кореляційно-регресійного аналізу.

Виклад основного матеріалу. В табл. 1 наведені результати кореляційно-регресійного аналізу показників продуктивності льону-довгунця та якості волокна як результативних ознак і маси коріння рослин льону-довгунця як факторіальної ознаки.

За опрацьованими даними маса коріння змінювалася від 205 до 257 мг в розрахунку на одну рослину за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 238 і 17,3 мг та коефіцієнта варіації 7,3%. В досліджуваних 12-ти парних кореляційних зв'язках коефіцієнт кореляції мав додатні значення від 0,373 до 0,680 за кореляційних відношень результативних ознак на факторіальну, що мали значення в межах 0,365–0,677. Додатні коефіцієнти кореляції свідчать, що із збільшенням факторіальної ознаки всі досліджувані результативні ознаки зростають. Першопочатково для з'ясування характеру зв'язків порівнювали чисельні значення коефіцієнтів кореляції і кореляційних відношень. В одних з досліджуваних зв'язків значення коефіцієнтів кореляції перевищували значення кореляційних відношень, в інших – дещо і незначно більшими були кореляційні відношення. З урахуванням цього висловили припущення про лінійний характер зміни результативних ознак залежно від факторіальної. Для остаточного з'ясування форми зв'язку здійснили вирівнювання експериментальних значень результативних ознак рівняннями прямих і криволінійних функцій – степеневими, логарифмічними та експоненціальними. Для цього були використані стандартні комп'ютерні програми. Міру наближення відповідних апроксимуючих залежностей до експериментальних даних або що те ж вірогідність апроксимації експериментальних значень результативних ознак відповідною функцією оцінювали за значенням R^2 -коефіцієнта. В якості прогностичних вибирали функцію, яка забезпечувала максимальне значення R^2 -коефіцієнта. У всіх досліджуваних зв'язках такою функцією виявилися рівняння прямої лінійної регресії результативних ознак на факторіальну з додатними кутовими коефіцієнтами (табл. 1). Залежно від досліджуваного зв'язку R^2 -коефіцієнта мали значення в межах 0,139–0,462. За значеннями кутових коефіцієнтів опрацьованих рівнянь регресії збільшення маси коріння рослин льону-довгунця на 10 кг супроводжується зростанням густоти стеблостою майже на 22 шт./м², урожайності насіння і волокна відповідно майже на 0,2 і 0,4 ц/га, номера довгого волокна на 0,18, міцності і гнучкості волокна відповідно на 0,44 даН і майже на 3 мм, метричного номера волокна і розрахункової добротності пряжі відповідно майже на 10 одиниць і 0,26 км. За такого ж збільшення маса коріння, маса рослин на початку цвітіння і перед збиранням зростає відповідно майже на 5 і 12 кг, а кількість елементарних волокон в луб'яному пучку і на поперечному зрізі стебла зростає відповідно майже на 1 і 10 шт.

Таблиця 1 – Результати кореляційно-регресійного аналізу оцінних показників продуктивності льону-довгунця та якості волокна і маси коріння рослин $m_{кр}$ (мг) як факторіальної ознаки

Показник продуктивності льону-довгунця та якості волокна (результативна ознака)	Коефіцієнт кореляції r	Кореляційне відношення η	Рівняння прямої регресії результативної ознаки по факторіальній	R^2 -коефіцієнт	Коефіцієнт детермінації k_d
Густота стеблостою $G_{ст}$, шт./м ²	0,373	0,365	$G_{ст} = 1544,36 + 2,15 m_{кр}$	0,139	0,133
Урожайність насіння $U_{лн}$, ц/га	0,680	0,677	$U_{лн} = 0,82 + 0,019 m_{кр}$	0,462	0,458
Урожайність волокна $U_{лв}$, ц/га	0,544	0,553	$U_{лв} = 4,87 + 0,036 m_{кр}$	0,296	0,306
Номер довгого волокна $N_{дв}$	0,413	0,409	$N_{дв} = 10,86 + 0,018 m_{кр}$	0,171	0,167
Міцність волокна $M_{нв}$, даН	0,544	0,549	$M_{нв} = 12,33 + 0,044 m_{кр}$	0,296	0,301
Гнучкість волокна $G_{нв}$, мм	0,484	0,485	$G_{нв} = 49,30 + 0,270 m_{кр}$	0,234	0,235
Метричний номер волокна $M_{нв}$	0,496	0,495	$M_{нв} = 222,53 + 0,899 m_{кр}$	0,246	0,245
Розрахункова добротність пряжі $P_{дп}$, км	0,567	0,571	$P_{дп} = 10,95 + 0,026 m_{кр}$	0,321	0,346
Маса рослин на початку цвітіння $m_{рц}$, мг	0,615	0,613	$m_{рц} = 180,61 + 0,45 m_{кр}$	0,378	0,376
Маса рослин перед збиранням $m_{рз}$, мг	0,513	0,498	$m_{рз} = 302,84 + 1,18 m_{кр}$	0,263	0,248
Кількість елементарних волокон в луб'яному пучку $n_{вп}$, шт.	0,422	0,423	$n_{вп} = 9,71 + 0,0316 m_{кр}$	0,178	0,179
Всього елементарних волокон на поперечному зрізі стебла $n_{вв}$, шт.	0,378	0,369	$n_{вв} = 371,97 + 0,868 m_{кр}$	0,143	0,136

Джерело: розроблено авторами

Коефіцієнти детермінації досліджуваних 12-ти парних кореляційних зв'язків між результативними ознаками, що визначають і характеризують продуктивність льону-довгунця та якість волокна, і масою коріння рослин льону-довгунця як факторіальною ознакою мають значення в межах 0,133–0,458. При цьому зв'язки густоти стеблостою, всього елементарних волокон на поперечному зрізі стебла, номера довгого волокна та кількості елементарних волокон в луб'яному пучку і факторіальної ознаки оцінювалися коефіцієнтами детермінації, що мали значення від 0,133 до 0,179. Зв'язки гнучкості волокна, його метричного номера, маси рослин перед збиранням, міцності волокна та його урожайності і факторіальної ознаки визначали коефіцієнти детермінації, що мали значення від 0,235 до 0,306. Зв'язки розрахункової добротності пряжі, маси рослин на початку цвітіння та урожайності насіння з масою коріння рослин льону-довгунця характеризували коефіцієнти детермінації, що мали значення від 0,346 до 0,458. За обрахованими коефіцієнтами детермінації варіація досліджуваних показників продуктивності льону-довгунця та якості волокна серед сукупного впливу різних факторів на 13–46% причинно зумовлена варіацією маси коріння рослин льону-довгунця.

Графічне подання з'ясованих залежностей наведено на рис. 1 і рис. 2. На рисунках наведені кореляційні поля відповідних результативних і факторіальної ознак та модельні лінії прямої регресії результативних ознак на факторіальну, що побудовані за рівняннями, які представлені в табл. 1.

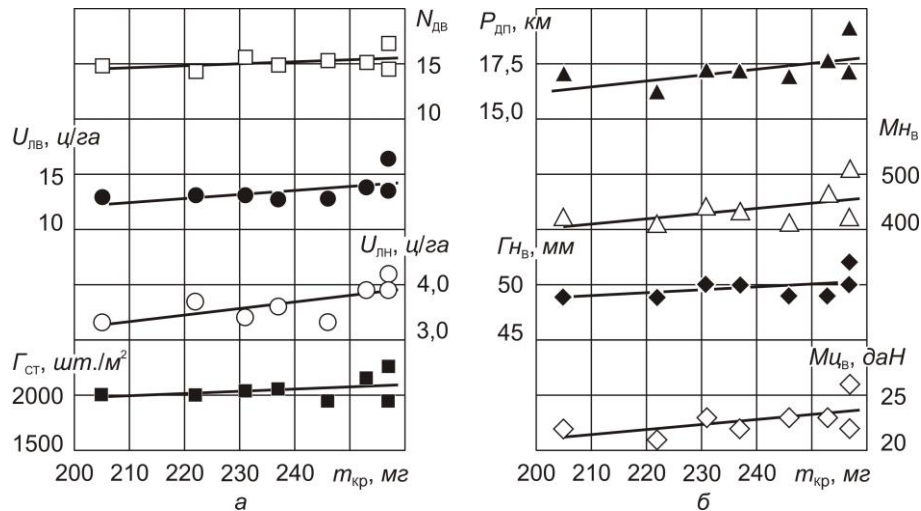


Рисунок 1 – Вплив маси $m_{кр}$ повітряно-сухого коріння рослин льону-довгунця на: а) густоту стеблостою $G_{ст}$ перед збиранням, урожайність насіння $U_{лн}$ і волокна $U_{лв}$, номер $N_{лв}$ доброго волокна та б) міцність M_n і гнучкість G_n волокна, його метричний номер M_n і розрахункову добротність пряжі $P_{дп}$

Джерело: розроблено авторами

В дослідженні густота стеблостою змінювалася від 1965 до 2265 шт./м², урожайність насіння – від 3,3 до 4,2 ц/га, урожайність волокна – від 12,0 до 16,3 ц/га, номер довгого волокна – від 14,3 до 16,9, міцність і гнучкість волокна – відповідно від 21 до 26 даН і від 49 до 52 мм, а метричний номер і розрахункова добротність пряжі – відповідно від 408 до 509 і від 16,1 до 19,1 км.

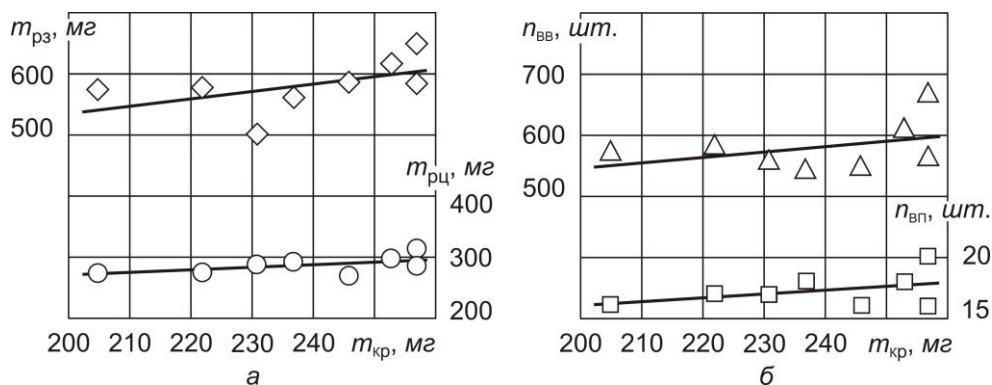


Рисунок 2 – Зміна (а) маси повітряно-сухої рослини льону-довгунця на початку цвітіння $m_{рц}$ і перед збиранням $m_{рз}$ та (б) кількості елементарних волокон $n_{вп}$ в луб'яному пучку і всього елементарних волокон $n_{вв}$ з урахуванням кількості цих пучків на поперечному зрізі стебла залежно від маси $m_{кр}$ повітряно-сухого коріння рослин льону-довгунця

Джерело: розроблено авторами

Залежно від маси коріння маса рослин на початку цвітіння $m_{рц}$ і перед збиранням $m_{рз}$ змінювалася відповідно від 272 до 314 мг і від 504 до 652 мг, а кількість елементарних волокон в луб'яному пучку $n_{вп}$ і всього на поперечному зрізі стебла $n_{вв}$ відповідно від 16 до 20 і від 542 до 670 шт.

Із назви культури «льон-довгунець» випливає, що рослини мають бути «довгі». Проте переважно вживають термін не «довжина» стебла, а «висота». Висота стебел має бути в межах 70–100 см і бажано не вище 80 см [13]. Нижня межа висоти не повинна бути менше 50 см, оскільки з подальшим зменшенням висоти ускладнюється обробка

трести на льонотіпальних машинах, що супроводжується збільшенням відходу волокна в куделю і клоччя. Вважають, що найкращою товщиною стебел льону-довгунця є товщина в межах 1,0–1,5 мм. Із збільшенням діаметра стебел понад 1,5 мм значно знижується вміст і якість волокна в стеблі. Стебла, що тонші 1 мм, бувають надто короткі, що ускладнює механізовану переробку. Найбільш бажана висота стебел від 70 см і вище за діаметра 1–2 мм. З'ясовано, що висота та діаметр стебел залежать від густоти стеблостою і залежно від цього фактора описуються рівняннями спадних гіпербол. При цьому інтенсивність зменшення висоти і діаметра стебел значно уповільнюється з підвищенням густоти стеблостою понад 2000 шт./м².

Дослідженнями визначено, що залежно від маси коріння $m_{кр}$ (мг) рослин льону-довгунця висота стебел h_c (мм) описується рівнянням прямолінійної регресії і додатним кутовим коефіцієнтом вигляду:

$$h_c = 636,7 + 0,52 m_{кр} \quad (2)$$

при $r = 0,411$; $\eta = 0,409$; $R^2 = 0,169$; $\lambda_{пв} = 0,025$; $S_y = 20,0$ мм і $k_d = 0,167$,

де $\lambda_{пв}$ – показник оцінювання вирівнювання експериментальних значень h_c рівнянням (2), який визначали як відношення основної помилки вирівнювання до середнього значення результативної ознаки;

S_y – помилка рівняння (2) прямолінійної регресії h_c по $m_{кр}$, яку розраховували за значенням середнього квадратичного відхилення результативної ознаки, тобто висоти стебла (22 мм) та коефіцієнтом кореляції між h_c і $m_{кр}$.

Вирівнювання експериментальних значень результативної ознаки вважають задовільним, якщо відношення основної помилки вирівнювання до середнього значення результативної ознаки менше 0,1. В досліджуваному випадку ця умова витримується, оскільки показник оцінювання вирівнювання дорівнює 0,025.

За значенням кутового коефіцієнта рівняння (2), що дорівнює 0,52, висота стебел, за її зміни в межах від 790 до 870 мм, із збільшенням маси коріння рослин на 10 мг зростає дещо більше, ніж на 5 мм.

Помилка рівняння (2) дорівнює 20 мм, що значно менша середнього арифметичного значення розподілу висоти рослин, яке становить 821 мм.

Зміна діаметра стебел d_c (мм) залежно від маси коріння $m_{кр}$ (мг) рослин описується рівнянням прямолінійної регресії з від'ємним кутовим коефіцієнтом, тобто із підвищенням маси коріння діаметр стебел прямолінійно зменшується. Опрацьоване рівняння зміни d_c залежно від $m_{кр}$ має вигляд:

$$d_c = 2,11 - 0,00322 m_{кр} \quad (3)$$

при $r = 0,652$; $\eta = 0,655$; $R^2 = 0,425$; $\lambda_{пв} = 0,046$; $S_y = 0,070$ і $k_d = 0,428$.

Досліджуваний розподіл діаметра стебел мав розмах варіювання від 1,2 до 1,5 мм за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 1,3 і 0,093 мм та коефіцієнта варіації 7,1%. За зміни діаметра стебел у вказаних межах збільшення маси коріння рослин льону-довгунця на 10 мг за рівнянням (3) супроводжується зменшенням діаметра стебел на 0,03 мм.

Коефіцієнти детермінації, що характеризують рівняння (2) і (3) дорівнюють відповідно 0,167 і 0,429. За цими значеннями коефіцієнтів детермінації маса коріння рослин льону-довгунця на 17 і 43% визначає варіювання відповідно висоти і діаметра стебел. Решта в тій же послідовності 83 і 57% із загальної варіабільності висоти і діаметра стебел є наслідком впливу випадкових факторів, тобто таких, що не враховані в цьому дослідженні.

Висновки. З'ясована маса коріння рослин льону-довгунця. Густота стеблостою льону-довгунця перед збиранням, урожайність насіння і волокна, номер довгого волокна, міцність та гнучкість волокна і метричний номер, розрахункова добротність пряжі, маса рослин льону-довгунця на початку цвітіння і перед збиранням, кількість елементарних волокон в луб'яному пучку та всього цих волокон на поперечному зрізі стебла, висота стебел льону-довгунця залежно від маси коріння рослин описується рівняннями прямих з додатними кутовими коефіцієнтами. діаметр стебел льону-довгунця залежно від маси коріння рослин прямолінійно зменшується.

Напрямок подальших розвідок на нашу думку варто спрямувати на з'ясування елементів архітектоники рослин льону-довгунця.

Список літератури

1. Малиновський А.С. Стан та шляхи відродження льонарства. *Вісник аграрної науки*. 2006. № 9. С. 73–76.
2. Лімонт А. Прогнозування розмірів льонарських аграрних формувань і урожайності льону-довгунця. *Техніка і технології АПК*. 2016. № 9 (84). С. 27–31.
3. Лімонт А.С. Дослідження норм висіву як складової технологічного регламенту механізованого вирощування льону-довгунця. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2008. Вип. 92. С. 125–133.
4. Лімонт А.С. Технологічна ефективність оптимальної тривалості сівби льону-довгунця. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст.* 2009. Вип. 18. С. 222–229.
5. Лімонт А. Техніко-технологічні основи передзбиральної густоти стеблостою льону-довгунця і готування рошенцевої льонотрести. *Техніка і технології АПК*. 2015. № 9 (72). С. 25–30.
6. Лімонт А.С., Лімонт З.А. Агротехнологічна ефективність строків сівби льону-довгунця та виробництво рошенцевої льонотрести. *Інженерія природокористування: наук. журн.* 2021. № 3 (21). С. 52–65.
7. Смаглій О.Ф., Лімонт А.С. Прогнозування продуктивності льону-довгунця з урахуванням елементарних волокон на поперечному зрізі стебла. *Вісник ДВНЗ «Державний агроекологічний університет»*. 2007. № 2 (20). С. 36–47.
8. Городний Н.Г., Устименко А.С., Шевчук А.Я., Гаврилов Г.Г. Формирование корневой системы льна-долгунца при различных способах обработки почвы. *Повышение урожайности и качества льна*. 1969. Т. 19. С. 49–52.
9. Кнігніцька Л.П. Продуктивність льону-довгунця за різних способів обробітку ґрунту і удобрення в умовах Прикарпаття. *Актуальні питання розвитку галузей льонарства та коноплярства: матеріали наук.-практ. конф. молодих вчених (м. Глухів, 7 грудня 2005 р.)*. Суми: Ноте bene, 2007. С. 39–42.
10. Фоменко Л.Д. Вирівняний льон. Київ: Урожай, 1967. 128 с.
11. Борисюк Б.В., Журавель С.В. Продуктивність агроценозів за адаптивно-ландшафтного землеробства в Поліссі України. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2010. № 2. С. 43–47.
12. Узбек И.Х., Галаган Т.И. Продуктивность корневых систем растений на рекультивированных землях. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2007. № 2. С. 7–12.
13. Limont A.S. Morphological indices of fiber flax stalks and machines for its harvesting. *European Applied Sciences. Europäische Fachhoch – schule*. 2015. No 1. P. 79–84.

References

1. Malynovskyi, A.S. (2006). Stan ta shliakhy vidrodzhennia lonarstva [The state and ways of revival of flax industry]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Herald of Agrarian Science*, 9, 73–76 [in Ukrainian].
2. Limont, A. (2016). Prohnozuvannia rozmiriv lonarskykh ahrarnykh formuvan i urozhainosti lonu-dovhuntsia [Forecasting the size of flax agrarian formations and yield of long-legged flax]. *Tekhnika i tekhnolohii APK – Equipment and Technologies of the AIC*, 9 (84), 27–31 [in Ukrainian].
3. Limont, A.S. (2008). Doslidzhennia norm vysivu yak skladovoi tekhnolohichnoho rehlementu mekhanizovanoho vyroshchuvannia lonu-dovhuntsia [Study of sowing norms as a component of the technological regulation of the mechanized cultivation of long-leaved flax]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva – Mechanization and electrification of agriculture*, Issue 92, 125–133 [in Ukrainian].
4. Limont, A.S. (2009). Tekhnolohichna efektyvnist optimalnoi tryvalosti sivby lonu-dovhuntsia

- [Technological efficiency of the optimal duration of sowing long-leaved flax]. *Silskohospodarski mashyny: zb. nauk. st.* – Agricultural Machines: Collection of sci. articles, *Issue 18*, 222–229 [in Ukrainian].
5. Limont, A. (2015). Tekhniko-tekhnologichni osnovy peredzbyralnoi hustoty steblostoiu lonu-dovhuntsia i hotuvannia roshentsevoi lonotresty [Technical and technological basics of the pre-harvest density of stalked flax and the preparation of Roshentse flax]. *Tekhnika i tekhnologii APK – Equipment and Technologies of the AIC*, 9 (72), 25–30 [in Ukrainian].
 6. Limont, A.S. & Limont, Z.A. (2021). Ahrotekhnologichna efektyvnist strokiv sivby lonu-dovhuntsia ta vyrobnytstvo roshentsevoi lonotresty [Agro-technological efficiency of sowing dates of long-leaved flax and production of Roshentse flaxseed]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia: nauk. zhurn. – Engineering of nature management: sci. journal*, 3 (21), 52–65 [in Ukrainian].
 7. Smahlii, O.F. & Limont, A.S. (2007). Prohnozuvannia produktyvnosti lonu-dovhuntsia z urakhuvanniam elementarnykh volokon na poperechnomu zrizi stebła [Forecasting the productivity of long-stemmed flax taking into account the elementary fibers on the cross-section of the stem]. *Visnyk DVNZ «Derzhavnyi ahroekologichnyi universytet» – Bulletin of State Agroecological University "State Agroecological University"*, 2 (20), 36–47 [in Ukrainian].
 8. Gorodniy, N.G., Ustimenko, A.S., Shevchuk, A.Ya. & Gavrilo, G.G. (1969). Formirovanie kornevoy sistemy l'na-dolguntsa pri razlichnykh sposobakh obrabotki pochvy [Formation of the root system of long-leaved flax with various methods of soil treatment]. *Povyshenie urozhaynosti i kachestva l'na – . Increasing yield and quality of flax, Voi. 19*, 49–52 [in Russian].
 9. Knihnitska, L.P. (2007). Produktyvnist lonu-dovhuntsia za riznykh sposobiv obrobitku gruntu i udobrennia v umovakh Prykarpattia [Productivity of long-leaved flax under different methods of soil cultivation and fertilization in the conditions of the Carpathian region]. *Current issues of the development of the flax and hemp industries: Nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh (m. Hlukhiv, 7 hrudnia 2005 r.) – Science and Practice Conf. Young Scientists (pp. 39–42). Sumy: Note bene* [in Ukrainian].
 10. Fomenko, L.D. (1967). *Vyrivniani lon [Aligned linen]*. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].
 11. Borysiuk, B.V. & Zhuravel, S.V. (2010). Produktyvnist ahrotsenoziv za adaptivno-landshaftnoho zemlerobstva v Polissi Ukrainy [Productivity of agrocenoses under adaptive-landscape agriculture in Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu – Bulletin of the Dnipropetrovsk State Agrarian University*, 2, 43–47 [in Ukrainian].
 12. Uzbek, I.Kh. & Galagan, T.I. (2007). Produktivnost' kornevykh sistem rasteniy na rekul'tivirovannykh zemlyakh [Productivity of root systems of plants on reclaimed lands]. *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu – Bulletin of the Dnipropetrovsk State Agrarian University*, 2, 7–12 [in Russian].
 13. Limont, A.S. (2015). Morphological indices of fiber flax stalks and machines for its harvesting. *European Applied Sciences. Europäische Fachhoch – schule, No 1*, P. 79–84 [in English].

Anatoliy Limont, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Zhytomyr Agrrotechnical Colledge, Zhytomyr, Ukraine

Zlata Limont, student

Dnipro National University named after Oles Honchar, the city of Dnipro, Ukraine

Plant Root Mass and Prediction of Long Flax Productivity and Fiber Quality

The purpose of the article was to study the productivity of flax and the quality of the fiber and the number of elementary fibers in the cross section of the stem depending on the mass of the roots of plants. The density of stalks before harvesting, as well as the yield of seeds and fibers were determined as the productivity of long flax. The fiber quality indicators include the number of long fiber, fiber strength, flexibility, metric number and the calculated quality factor of the yarn. The number of elementary fibers in the bast bundle and the total fiber in the cross section of the stem is estimated.

Based on correlation-regression analysis using experimental data, L.D. Fomenko determined that the change in stem density, seed and fiber yield, long fiber number, its strength and flexibility, metric number and calculated quality of yarn, plant weight at the beginning of flowering and before harvest, the number of elementary fibers in the bast bundle and all fibers in the cross section stem, as well as the height of the plants depending on the mass of the roots is described by the equations of rectilinear regression with positive angular coefficients.

The change in the diameter of the stems depending on the mass of the roots of the plants is written off by the equation of the line with a negative angular coefficient.

long flax, plant, roots, mass, yield, fiber, quality

Одержано (Received) 18.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 04.10.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.331.024.2

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.12-24>

Д.Ю. Артеменко, доц., канд. техн. наук, В.А. Онопа, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: artemenkodyu@kntu.kr.ua

Дослідження і обґрунтування конструкції пружинного загортача просапної сівалки

В статті наведені результати пошукових теоретичних досліджень конструктивних і технологічних параметрів пружинного загортача просапної сівалки. Аналіз існуючих конструкцій загортачів і технологічного процесу який вони виконують показав, що на сьогоднішній день вимоги до загортання насіння спочатку вологими шарами ґрунту, а потім більш сухими, сучасними загортачами не виконуються. В більшості посівних секцій загортачі розміщують після прикочуючих котків і вони виконують функцію по мульчуванню і плануванню поверхні борозни перемішуючи шари ґрунту різних горизонтів. Встановлено, що більш раціональним буде технологічний процес загортання насіння загортачами які спочатку укривають його нижніми вологими шарами ґрунту, а потім мульчованим більш сухим шаром, при цьому загортачі необхідно встановлювати після сошника для можливості укривати насіння одразу після потрапляння в борозну. Теоретично встановлено, що при роботі розробленого загортача найбільший вплив на тяговий опір здійснюють глибина ходу загортача та швидкість руху, а найменше нахил робочої поверхні. Отримана теоретична залежність яка зв'язує конструктивні і технологічні параметри пружинного загортача і їх вплив на основну характеристику його роботи – тяговий опір.

сприятливі умови проростання, конструкція загортача, загортання насіння, комбінований пружинний загортач

Постановка проблеми. На сьогоднішній день конструкції посівних секцій просапних сівалок набули завершеного вигляду. Посівна секція виконує ряд технологічних операцій які направлені на забезпечення утворення необхідних умов для розміщення і проростання насіння. Оскільки більшість просапних сівалок це конструктивно складна система то діяльності над удосконаленням її елементів провідні виробники сільськогосподарських машин приділяють значну увагу. Відомо [1-3], що неякісно виконана технологічна операція посіву насіння може зменшити врожайність культури до 10-15% навіть при сприятливих погодних умовах. Тому підвищення якості виконання, технологічних операцій елементами секції робочих органів, є головним завданням при вирішенні багатьох задач, які пов'язані із підвищенням врожайності просапних культур.

Найважливішим етапом вирощування просапних культур є посів насіння. Технологічний процес посіву повинен забезпечувати найбільш сприятливі умови для проростання насіння і подальшого розвитку рослин. Правильно сформовані умови для насіння дають можливість прискорити появу рослин на денній поверхні і, як наслідок, збільшити потенційну врожайність. Загортання висіяного насіння в конструкціях секцій робочих органів може бути реалізовано декількома засобами: наявністю загортальних елементів в конструкції сошника з подальшим прикочуванням, встановленням загортачів після сошника з подальшим прикочуванням, прикочуванням V-подібними котками або котками з шиною атмосферного тиску спеціального профілю, прикочування з подальшим загортанням загортачами. Дослідження проведені в [4-6]

показали, що найбільший вплив на швидкість проростання насіння здійснює укриття його нижніми вологими шарами ґрунту і утворення над насінням шару дрібногрудкуватого ґрунту рівномірної структури для можливості більш вільного просування рослини на денну поверхню. Також дослідження показали, що найбільш оптимальним буде загортання насіння одразу після потрапляння на дно борозни. Із цього можна зробити висновок, що якщо виконувати загортання насіння загортачами то їх раціонально встановлювати одразу після сошника, а їх конструкція повинна забезпечувати розділення руху шарів ґрунту в зоні розміщення насіння.

Сьогодні загортання насіння приділяється незначна увага з боку виробників сівалок тому ця важлива операція виконується разом з прикочуванням, або за допомогою загортальних систем у вигляді пластинчастих та трубчастих загортачів, ланцюгових шлейфів, що в свою чергу веде до змішування верхніх (сухих) і нижніх (вологих) шарів ґрунту. Перемішування різних шарів ґрунту в умовах недостатньої вологи може значно впливати на швидкість проростання насіння.

В зв'язку з цим проблема удосконалення конструкції загортачів просапної сівалки та технології загортання насіння, яка направлена на покращення умов проростання насіння та забезпечення формування необхідних умов для його стрімкого росту є актуальною.

Аналіз основних досліджень і публікацій. На сьогоднішній день в сучасних конструкціях просапних сівалок остаточно закріпилось, що загортачі на секції робочих органів встановлюються одразу після сошника або вже після прикочуючого котка. В залежності від місця розташування загортачі виконують визначену функцію робочого процесу посіву насіння. Так, загортачі встановлені одразу після сошника [7-10] виконують функцію загортання борозни з висіяним насінням і формування над ним шару ґрунту, який потім підлягає ущільненню прикочуючим котком секції робочих органів забезпечуючи при цьому умови для стрімкого росту насіння (рис. 1).

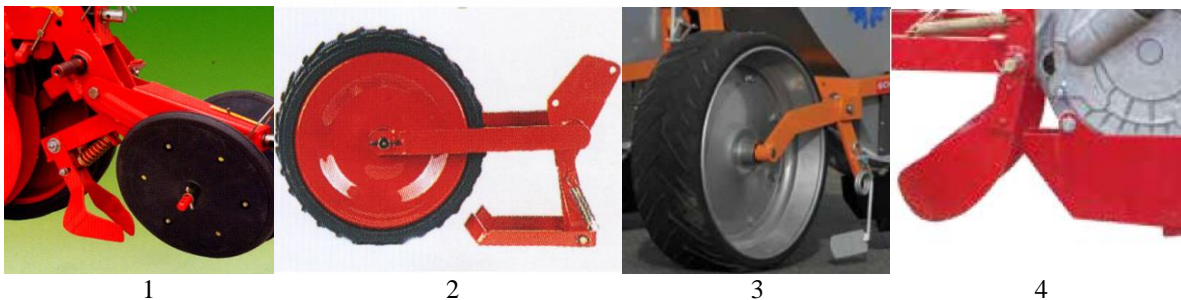


Рисунок 1 – Конструкції загортачів які розміщуються після сошника секції робочих органів:

1 – Gaspardo; 2 – Kuhn; 3 – Schmotzer; 4 - Elvorti

Джерело: розроблено авторами з використанням [1-4]

Конструктивними особливостями таких загортачів є те, що вони виконані пластинчастими (рис. 1, 1,2) пружинно пластинчастими (рис. 1, 3) або ложкового типу (рис. 1, 4) і працюють шляхом знаття шару ґрунту в горизонтальній площині з поверхні рядка і направляють його шляхом зсуву в бік борозни закриваючи її.

Загортачі які встановлені після прикочуючого котка секції робочих органів [9,11,12,13] в основному призначені для мульчування поверхні рядка та її вирівнювання з метою зменшення втрат вологи і забезпечення необхідних умов проростання насіння (рис. 2).

Конструктивними особливостями таких загортачів є те, що вони виконані в основному пластинчастими (рис. 2, 1,3,4,7,8) або пружинними (рис. 2, 2,5,6) з прутка і робочою поверхнею в вертикальній або горизонтальній площині.

Велике різноманіття загортачів означає, що увага дослідників направлена в значній мірі і на процеси загортання насіння, і на удосконалення їх конструкцій. Так в роботах [14,15], були проведені дослідження які показали, що пріоритетним напрямом удосконалення загортальних елементів секції робочих органів є поетапне розділення процесу загортання насіння спочатку вологими, а потім укривання борозни верхніми більш сухими шарами ґрунту. Автори наголошують, що потрібен подальший розвиток конструкцій загортачів та пропонують підходи до подальшого удосконалення загортачів, які на думку авторів можуть покращити процес загортання насіння.

Так, Мюррей Ж.Р. в своїй роботі [16], відмічає, що пружинні загортачі які встановлюють на секціях робочих органів просапних сівалок в основному впливають на процес загортання насіння, шляхом вирівнювання глибини його розміщення, знищення дрібних бур'янів, мульчування та вирівнювання поверхні рядка. Такі загортачі виконуються пальцевого типу і встановлюються в кінці секції робочих органів, на його думку такі загортачі покращують продуктивність сівалки в цілому.

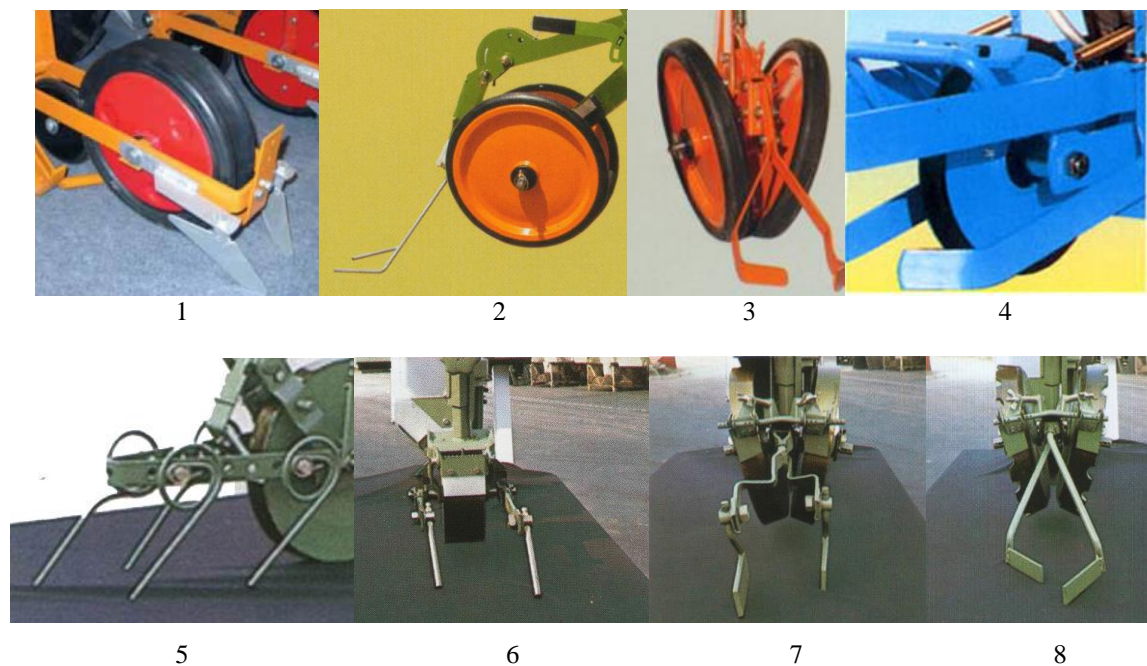


Рисунок 2 – Конструкції загортачів які розміщуються після прикочуючого котка секції робочих органів:

1 – Schmotzer; 2,3 – Amazon; 3 – Monosem; 5-8 - Nodet gougis

Джерело: розроблено авторами з використанням [3, 5- 7]

Зубко В.М. [17], проводячи досліди по технологічній ефективності начіпної сівалки для посіву кукурудзи, вводить в конструкцію сошникової групи одразу після сошника ложкові загортачі. Після проведення експериментів робиться висновок, що такий склад сошникової групи більш якісно формує умови для проростання насіння.

Драйер Х. в [18] розглядаючи сошникову групу сівалки робить висновок, що після сошника необхідно встановлювати загортачі рамкові котки і пружинні загортачі. Рамкові котки повинні спочатку зміщувати ґрунт в зоні розміщення насіння і за рахунок їх обертання і куту встановлення направляти шар ґрунту з обох боків борозни до її центру і загортати висіяне насіння. Пружинний загортач пальцевого типу виконує лише функцію планування поверхні рядка після загортання. Відмічається, що

притискування насіння за рахунок незначного бокового тиску рамкових котків дає позитивний ефект для формування умов стрімкого проростання посівного матеріалу.

В роботі [19], автори досліджуючи конструкцію комбінованого пружинного загортача та його пластинчасту частину, наголошують, що розподіл операцій при загортанні насіння загортачами повинен бути послідовним. Рекомендується спочатку зрушувати на насіння нижні шари вологого ґрунту, а потім прикривати борозну мульчованими шарами верхнього горизонту. Для цього ними запропонована удосконалена конструкція пружинного загортача та виконані його теоретичні дослідження.

Проведений аналіз конструкцій і досліджень роботи загортачів сівалок показав, що існує чітко сформований принцип загортання висіяного насіння який виконується різними типами загортачів шляхом переміщення в борозну змішаних шарів ґрунту різних горизонтів, що є їх основним недоліком. Конструкція загортачів пружинного типу є найбільш придатною для подальших досліджень. Основними перевагами таких загортачів є: легкість налаштування, простота конструкції та за рахунок їх пружній дії на ґрунт відбувається не тільки самоочищення від налипання вологого ґрунту, а і від рослинних решток.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка удосконаленої конструкції пружинного загортача та теоретичне дослідження основних технологічних характеристик які впливають на якість його роботи.

Виклад основного матеріалу. Оскільки основним недоліком існуючих загортачів є перемішування шарів ґрунту при їх роботі то нами була розроблена удосконалена конструкція загортача. Загортач, виконаний пружинним і має декілька складових частин, в верхній частині має пружину кручення і стрижень, в нижній частині якого розміщена робоча поверхня у вигляді дворівневої прямокутної тригранної похилої призми, причому, верхній рівень робочої поверхні в два рази довший ніж нижній, а кут установки робочої поверхні менший кута тертя ґрунту по сталі (рис. 3).

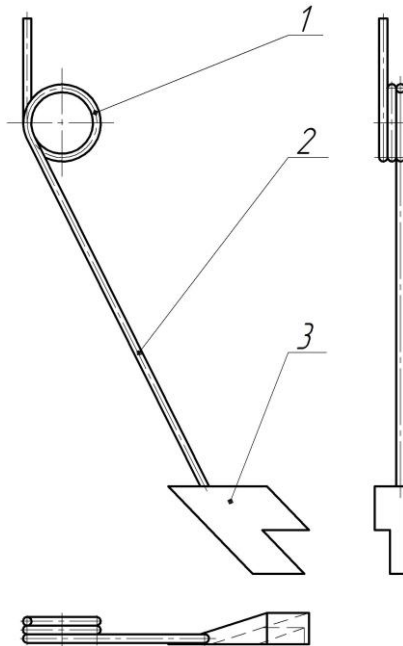


Рисунок 3 – Удосконалений пружинний загортач:

1 – пружина кручення; 2 – стрижень; 3 – дворівнева робоча поверхня

Джерело: розроблено авторами

Пружинний загортач працює наступним чином. Під час руху сівалки дворівнева робоча поверхня 3 загортача своєю нижньою частиною зміщує нижні вологі шари ґрунту в бік насіння затискаючи його між ними, після чого ґрунт який переміщується верхньою частиною робочої поверхні накриває закриту борозну. Черговість зрушення спочатку вологих шарів ґрунту потім сухих забезпечується різною довжиною рівнів робочої поверхні 3 загортача. За рахунок дворівневої конструкції робочої поверхні 3 загортача відбувається бокове зміщення шару ґрунту і утворюється ефект мульчування.

За рахунок встановлення елементів загортача під кутом в вертикальній площині та за рахунок дії пружини кручення 1 і стрижня 2 відбувається його самоочищення від рослинних решток і зменшення налипання ґрунту.

Ефективність роботи загортача забезпечується такими факторами: за рахунок збільшеної довжини верхньої робочої поверхні загортача сухий ґрунт верхнього шару накриває борозну яка вже закрита нижніми вологими шарами ґрунту; за рахунок бічної дії загортача на шар ґрунту та роботі пружини утворюється ефект мульчування; при підвищенні засміченості ґрунту рослинними рештками конструкція пружинного загортача сприяє його самоочищенню.

З метою обґрунтування основних технологічних характеристик загортача нами були визначені основні параметри, які впливають на якість процесу загортання борозни до них можна віднести такі величини: жорсткість пружини, довжину стрижня пружини, кута установки робочої частини та тягового опору.

Для визначення жорсткості пружини, довжини стрижня пружини та кута установки робочої частини загортача можна використати розрахунок стійкості руху пружинного сошника який наведений в роботі [20]. В результаті досліджень авторами отримана система рівнянь (1), перше рівняння представляє умову граничного аперіодичного руху, друге – рівняння сошника при сталому русі. Отримані рівняння в нашому випадку мають вигляд:

$$\begin{cases} c = \frac{R_0^2 \cdot r^4}{4V^2 \cdot l \cdot I} + \left(\frac{R_0 r}{l} \cos(\alpha_c + \beta) - G \cdot \sin \alpha_c \right) \cos \varphi_0 + \left(G \cdot \cos \alpha_c + \frac{R_0 r}{l} \sin(\alpha_c + \beta) \right) \sin \varphi_0; \\ c \varphi_0 = \left(\frac{R_0 r}{l} \sin(\alpha_c + \beta) - G \cdot \cos \alpha_c \right) \cos \varphi_0 + \left(G \cdot \sin \alpha_c + \frac{R_0 r}{l} \cos(\alpha_c + \beta) \right) \sin \varphi_0. \end{cases} \quad (1)$$

Система рівнянь (1) дає можливість визначити жорсткість пружини загортача, кут відхилення повідка φ_0 при досягненні системою динамічної рівноваги для визначених значень довжини повідка l , ваги загортача m , кутів β і α_c та при відомому опорі ґрунту $R_0 = f(V; h)$.

Для створення рівноваги між мінімізацією часу руху загортача за межами допустимих агрономічними границь відхилень глибини ходу і мінімальної металоємності деталей конструкції пружинного загортача необхідно знайти сумарну реакцію R_{Σ} від сил, які діють на нього в точці кріплення до секції робочих органів. Ця реакція визначається величиною тягового опору загортача P_T, H , на який безпосередньо впливають: швидкість руху загортача $V, \text{км/год}$, глибина ходу в ґрунті $h, \text{м}$, нахил загортача в повздовжньо-вертикальній площині, який характеризується кутом нахилу $\gamma, \text{град}$, дотично до робочої поверхні загортача.

Для визначення тягового опору загортача розглянемо сили які діють в поздовжньо-вертикальній площині $P_{ТВ}$ і поздовжньо-горизонтальній площині $P_{ТГ}$. Рівнодіюча цих сил визначається залежністю:

$$P_T = P_{ТВ} + P_{ТГ}. \quad (2)$$

При поступовому русі на загортач діють сили: G, H – вага загортача, яка включає в себе зусилля F_{np} від пружини кручення, тягове зусилля P_T , опір ґрунту R_0 (рис. 4). Оскільки загортач просапної сівалки працює в добре підготовленому і однорідному по складу ґрунту вказані зусилля можна рахувати, як одну рівнодіючу розміщену в площині симетрії загортача [21].

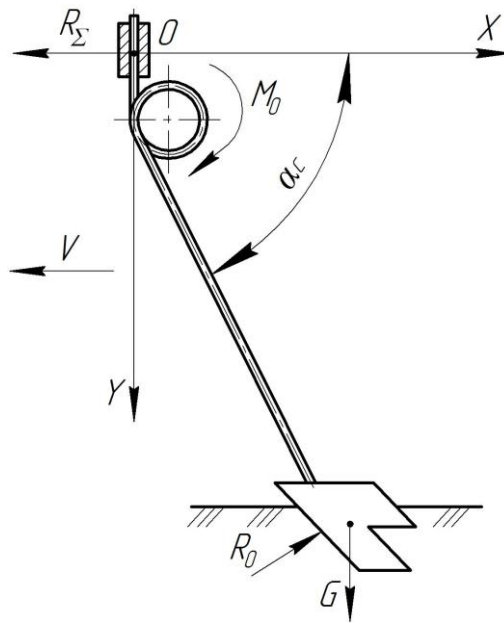


Рисунок 4 – Схема сил яка діє на загортач в процесі роботи

Джерело: розроблено авторами з використанням [20]

При поступовому переміщенні загортача в ґрунті на нього діють сили в поздовжньо-вертикальній і поздовжньо-горизонтальній площині $P_{ТВ}$, $P_{ТГ}$.

В поздовжньо-вертикальній площині діють наступні сили (рис. 5): $G = mg$ – зусилля ваги загортача, F_{np} – зусилля від дії пружини кручення, $P_{ТВ}$ – складова тягового зусилля, R_0 – опір ґрунту, який має складові N – нормальна сила і F_{mp} – дотичну, які при роботі з однорідним середовищем можна звести до однієї рівнодіючої в поздовжньо-вертикальній площині [22].

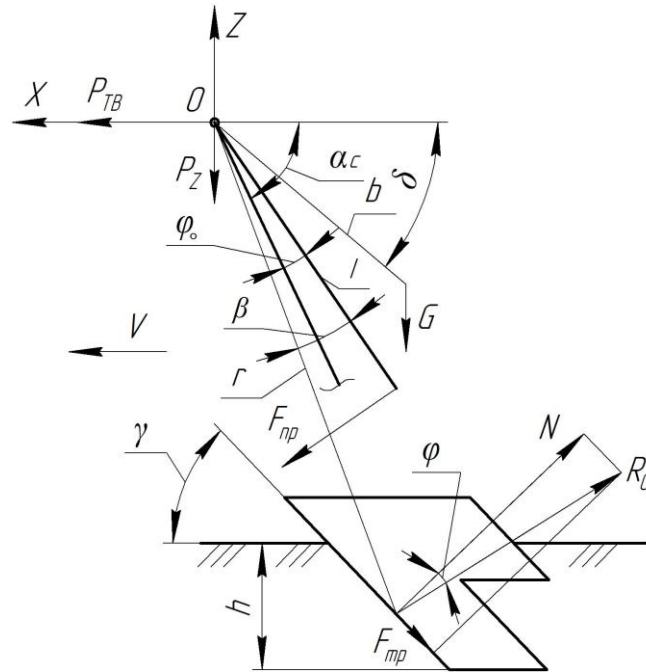


Рисунок 5 – Схема сил, які діють під час роботи загортача в поздовжньо-вертикальній площині
Джерело: розроблено авторами

Знайдемо значення складової тягового опору P_{TB} , в проекціях на вісь OX при

$$F_{np} = c \cdot \varphi_0; N = R_0 \cdot h \cdot a; F_{mp} = N \cdot f.$$

$$P_{TB} = c \cdot \varphi_0 \cdot \sin(\alpha_c - \varphi_0) + R_0 a h \cdot (\sin(\gamma - \varphi_0) + f \cdot \cos(\gamma - \varphi_0)), \quad (3)$$

де R_0 – опір ґрунту, H / m^2 ;

α_c – кут нахилу стрижня загортача, град;

c – жорсткість пружини кручення, $H / рад$;

a – товщина загортача, м;

f – коефіцієнт тертя ґрунту.

В поздовжньо-горизонтальній площині (рис. 6) на загортач діють: R_{p3} – реакція ґрунту в робочій зоні загортача; $F_{дт}$ – сила динамічного тиску, яка виникає в результаті інерції ґрунту при його русі по робочій поверхні загортача; $N_{рп}$ – зусилля з боку ґрунту на бічну грань робочої поверхні загортача; $R_{рТ}$ – результуюча нормального тиску і сил тертя на робочій поверхні кина.

Були прийняті наступні припущення: сила R_{p3} паралельна осі X ; сила $F_{дт}$ – має напрямок протилежний абсолютній швидкості V руху часток ґрунту, які відкидаються робочою поверхнею загортача та утворюють кут $\Delta/2$ з вісю Y ; реакція $R_{рТ}$ відхилена від нормалі до робочої поверхні на кут тертя φ .

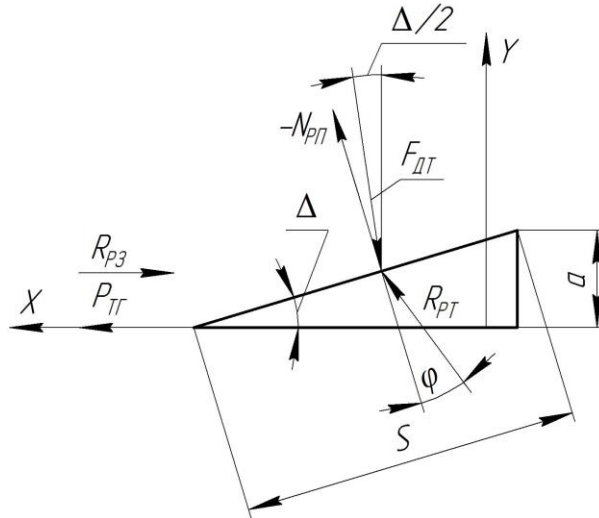


Рисунок 6 – Схема сил, які діють під час роботи загортача в поздовжьо-горизонтальній площині
Джерело: розроблено авторами

Запишемо проекції цих сил на осі координат:

$$\Sigma X = -R_{P3} - F_{ДГ} \cdot \sin \frac{\Delta}{2} + R_{PT} \cdot \sin(\Delta + \varphi) - N_{PII} \cdot \sin \Delta = 0, \quad (4)$$

$$\Sigma Y = R_{PT} \cdot \cos(\Delta + \varphi) - N_{PII} \cdot \cos \Delta - F_{ДГ} \cdot \cos \frac{\Delta}{2} = 0. \quad (5)$$

Вірішуючи рівняння (5) відносно R_{PT} отримуємо:

$$R_{PT} = \frac{N_{PII} \cdot \cos \Delta}{\cos(\Delta + \varphi)} + \frac{F_{ДГ} \cdot \cos \frac{\Delta}{2}}{\cos(\Delta + \varphi)}. \quad (6)$$

Проекції сили R_{PT} на осі координат:

$$\begin{cases} R_{PTX} = P_{ПГ} = F_{ДГ} \cdot \cos \frac{\Delta}{2} \cdot \operatorname{tg}(\Delta + \varphi) + N_{PII} \cdot \cos \Delta \cdot \operatorname{tg}(\Delta + \varphi); \\ R_{PTY} = N_{PII} \cdot \cos \Delta + F_{ДГ} \cdot \cos \frac{\Delta}{2}. \end{cases} \quad (7)$$

Боковий тиск ґрунту на робочу поверхню загортача N_{PII} дорівнює:

$$N_{PII} = \frac{a \cdot h \cdot S \cdot \rho_{об}}{4 \cdot \operatorname{tg} \psi}, \quad (8)$$

де a, S – ширина і довжина робочої поверхні загортача, м;

$\rho_{об}$ – об'ємна вага ґрунту, $H / м^3$;

ψ – кут руху часток ґрунту, град [23].

Величина динамічного тиску $F_{ДГ}$ ґрунту на бічну поверхню загортача визначається:

$$F_{ДГ} = -\bar{j} \cdot m_{Г}, \quad (9)$$

де \bar{j} – середнє прискорення, яке передається ґрунту робочою поверхнею, $м / с^2$;

$m_{Г}$ – маса ґрунту яка зсувається робочою поверхнею загортача, кг.

Робоча поверхня загортача надає кожній точці шару ґрунту швидкість, яка змінюється від 0 до V_a , тому середня величина прискорення яке надається часткам ґрунту робочою поверхнею, складає:

$$\bar{j} = \frac{V_a - V_0}{t_2 - t_1} = \frac{V_a}{t_2 - t_1}, \quad (10)$$

де t_1, t_2 – час, який витрачає частка ґрунту, що рухається зі швидкістю V_r по поверхні загортача на подолання шляху S .

Оскільки $\frac{t_1 - t_2}{\left(\frac{S}{V_r}\right)}$, $V_r \approx V_0$ та у відповідності з рівнянням $V_a = 2V \cdot \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)$ яке

наведене в [20], прискорення ґрунту визначається як:

$$\bar{j} = 2 \frac{V_0^2}{l} \cdot \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right). \quad (11)$$

Маса ґрунту яка зсувається робочою поверхнею загортача знаходиться згідно рівняння:

$$m_r = \frac{a \cdot h \cdot S \cdot \rho_{об}}{g}. \quad (12)$$

Після підстановки в рівняння (9) отримаємо:

$$F_{дт} = \frac{2 \cdot a \cdot h \cdot \rho_{об}}{g} \cdot V_0^2 \cdot \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right). \quad (13)$$

Тоді рівняння (7) для визначення $P_{тт}$ приймає вигляд:

$$P_{тт} = \frac{a \cdot h \cdot S \cdot \rho_{об}}{2 \cdot tg\psi} \cdot \cos\Delta \cdot tg(\Delta + \varphi) + \frac{2 \cdot a \cdot h \cdot \rho_{об}}{g} \cdot V_0^2 \cdot \sin\Delta \cdot tg(\Delta + \varphi). \quad (14)$$

Перший член правої частини цього рівняння характеризує зусилля, яке необхідне для подолання статичного тиску ґрунту на робочу поверхню загортача, обумовлене силою $N_{рт}$. Другий член це зусилля яке необхідне для подолання сил інерції $F_{дт}$ ґрунту, що переміщується.

Для визначення тягового опору пружинного загортача і реакції R_Σ в місці кріплення загортача до секції просапної сівалки була складена система із трьох рівнянь в які входять: рівняння моментів сил відносно точки O та рівняння суми проєкцій сил на осі OX і OZ :

$$\left\{ \begin{aligned} & c \cdot l \cdot \varphi_0 + Gb \cdot \cos(\delta - \varphi_0) - R_0 \cdot a \cdot h \cdot r \cdot [\cos(\alpha_c - \varphi_0 + \beta - \gamma) + f \sin(\gamma - \alpha_c + \varphi_0 - \beta)] - \\ & - \left[\frac{a \cdot h \cdot S \cdot \rho_{об}}{2 \cdot tg\psi} \cdot \cos\Delta \cdot tg(\Delta + \varphi) + \frac{2 \cdot a \cdot h \cdot \rho_{об}}{g} \cdot V_0^2 \cdot \sin\Delta \cdot tg(\Delta + \varphi) \right] \times \\ & \times r \cdot \cos(\alpha_c - \gamma - \varphi_0 + \beta) = 0; \\ & P_x = R_0 \cdot a \cdot h \cdot [\sin(\gamma - \varphi_0) + f \cos(\gamma - \varphi_0)] + \frac{a \cdot h \cdot S \cdot \rho_{об}}{2 \cdot tg\psi} \cdot \cos\Delta \cdot tg(\Delta + \varphi) + \\ & + \frac{2 \cdot a \cdot h \cdot \rho_{об}}{g} \cdot V_0^2 \cdot \sin\Delta \cdot tg(\Delta + \varphi); \\ & P_z = G + R_0 \cdot a \cdot h \cdot [f \cdot \sin(\gamma - \varphi_0) - \cos(\gamma - \varphi_0)], \end{aligned} \right. \quad (15)$$

де δ, b – координати центра мас системи.

Визначивши із першого рівняння системи (15) зміну φ_0 можна розрахувати тяговий опір пружинного загортача P_T та вертикальну складову P_Z .

Результуюче навантаження в точці кріплення загортача дорівнює:

$$R_{\Sigma} = \sqrt{P_T^2 + P_Z^2}. \quad (16)$$

Аналізуючи систему рівнянь (15) можна зробити висновок, що найбільше впливає на величину реакції в місці кріплення P_{Σ} глибина ходу загортача h та швидкість руху V загортача, а найменше нахил робочої поверхні загортача γ .

Таким чином проведене теоретичне дослідження показало, що отримана залежність (15) дає можливість теоретично визначити основні технологічні параметри розробленого пружинного загортача. Для встановлення раціональних значень параметрів які можуть впливати на якість виконання робочого процесу пружинним загортачем необхідне подальше проведення експериментальних досліджень за методикою повного факторного випробовування. Такі дослідження допоможуть встановити раціональні межі конструктивних параметрів робочої поверхні загортача, стрижня і пружини кручення. На основі цих результатів можна буде остаточно прийняти розміри конструктивних елементів пружинного загортача.

Висновки:

1. Аналіз існуючих конструкцій загортачів і технологічного процесу який вони виконують показав, що на сьогоднішній день вимоги до загортання насіння спочатку вологими шарами ґрунту, а потім більш сухими, сучасними загортачами не виконуються. В більшості посівних секцій загортачі розміщують після прикочуючих котків і вони виконують функцію по мульчуванню і плануванню поверхні борозни переміщуючи шари ґрунту різних горизонтів.

2. Встановлено, що більш раціональним буде технологічний процес загортання насіння загортачами які спочатку укривають його нижніми вологими шарами ґрунту, а потім мульчованим більш сухим шаром, при цьому загортачі необхідно встановлювати після сошника для можливості укривати насіння одразу після потрапляння в борозну.

3. Теоретично встановлено, що при роботі розробленого загортача найбільший вплив на тяговий опір здійснюють глибина ходу загортача та швидкість руху загортача, а найменше нахил робочої поверхні. Отримана залежність (15) яка зв'язує конструктивні і технологічні параметри пружинного загортача і їх вплив на основну характеристику його роботи – тяговий опір.

Список літератури

1. Ковтун Ю.И. Исследование и разработка агротехнических основ создания и совершенствования свекловичных сеялок точного посева. Дис. ...канд. с.-х. наук: 05.538. Харьков, 1970. 174 с.
2. Глуховский В.С. Разработка научных основ технологии выращивания сахарной свеклы без затрат ручного труда на формировании густоты насаждения: Автореф. дис...д-ра сельхоз. наук: 06.01.14, 05.20.01 / ВНИС. К., 1982. 42 с.
3. Гончарук Г.С. Якісна сівба цукрових буряків запорука високого врожаю. *Цукрові буряки*. 2001. №2. С. 8 – 9.
4. Артеменко Д.Ю., Магопєць О.С., Соломашенко П.М. Дослідження і розробка удосконаленої конструкції сошника просапної сівалки. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* - Кіровоград: КНТУ, 2010. Вип. 40, ч.1. С. 136-142. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/1795/1/26.pdf> (дата звернення: XX.XX.2022)

5. Артеменко Д.Ю. Математична модель роботи удосконалених щік сошника просапної сівалки. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація* : зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. 2012. Вип. 25, ч. 1. С. 41 – 45.
6. Загортаючі робочі органи для прямої сівби зернових культур : монографія / В.М. Сало, О.Р. Лузан, П.Г. Лузан, Ю.В. Мачок; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Кіровоград. нац. техн. ун-т. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2012. 164 с. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5473> (дата звернення: 05.09.2022)
7. Prospect of the Gaspardo Company. 2017. SP Range. Pneumatic precision seed drills. Italy. URL: <https://www.maschio.com/assets/Uploads/Leaflet-SP-RANGE-17-2017-09-W00230043R-EN.pdf> (дата звернення: 05.09.2022)
8. Prospect of the Kuhn Company. 2015. Planter 3. Precision seed drills. Kuhn farm machinery (UK). URL: <http://www.kuhn.co.uk/uk/range/seeding/pneumatic-precision-seed-drills/planter-3-m-single-bar.html> (дата звернення: 05.09.2022)
9. Precision Seeding. Maschinenfabrik SCHMOTZER GmbH. URL: <http://www.schmotzer.de>
10. Product Catalog Elvorti - Chervona zirka. 2016. Technology in harmony with the nature. Кропивницький/Ukraine. URL: https://www.elvorti.com/content/pdf/2016/KATALOG_2016_EN_SITE.pdf (дата звернення: 07.09.2022)
11. Seed drill. "Contour". Prospect of the company "Amazon". Germany, 2012. 8 p.
12. Prospect of the Ribouleau Company. 2018. The precision Planter specialist. MECA V4. Ribouleau MONOSEM – FRANCE. URL: <https://www.monosem.com/Range/Planter-range/MECA-V4> (дата звернення: 08.09.2022)
13. Сівалка "Pneumasem II". Проспект фірми "Nodet gougis". Франція, 2008. 6 с.
14. Платонов И.М. Оценка сеялок точного высева. *Тракторы и сельхозмашины*. 1975. №7. С. 20 – 23.
15. Басин В.С. Семязаделяющие рабочие органы и подвески сошников зарубежных свекловичных сеялок. *Тракторы и сельхозмашины*. 1977. № 1. С. 43 – 46.
16. Murray J.R., Tullberg J.N. and Basnet B.B. 2006. Planters and their components: types, attributes, functional requirements, classification and description. ACIAR Monograph No. 121. ISBN 186320 4628.
17. Зубко В.М., Мельник В.І., Проценко А.М., Комісар Е.О. Техніко-технологічна ефективність начіпної сівалки для посіву кукурудзи. *Біоресурси і природокористування*. Том 10, №5-6, 2018, С. 229 – 234. <https://doi.org/10.31548/bio2018.05.029>
18. Драйер Х. Детальное рассмотрение сошника сеялки Primera DMC. Amazone Primera DMC. AMAZONEN-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. 2010, 2с. URL: <http://www.amazone.de> (дата звернення: 11.09.2022)
19. Артеменко Д.Ю., Магопечь О.С. Теоретичне дослідження основного технологічного параметру удосконаленої конструкції пружинного загортача просапної сівалки. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*: науково-теоретичний фаховий журнал / В.С. Шебанін (гол. ред.) та ін. 2011. Вип. 4 (61), Т.1. С. 244 – 250.
20. Дёмшин С.Л., Черемисинов Д.А. Обоснование оптимальных параметров сошниковой группы комбинированного агрегата для обработки почвы и посева. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2012. №4 (29). С. 67-71.
21. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропивний В.М.. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування, Кн. 1: Машини для рільництва . К.: Урожай, 2001. 384 с.
22. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 1, ч. 2. Машини для сівби та садіння. Харків: Око, 2002. 452 с.
23. Сысолин П.В., Погорельый Л.В. Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование. К.: Феникс, 2005. 264 с.

Referencis

1. Kovtun, Y.I. (1970). Yssledovanye i razrabotka ahrotekhnicheskikh osnov sozdaniya i sovershenstvovaniya sveklovychnykh seialok tochnoho vyseva. [Research and development of agrotechnical bases for the creation and improvement of beet seed drills for precision seeding]. *Candidate's thesis*. Kharkov [in Russian].
2. Glukhovskiy, V.S. (1982). Razrabotka nauchnykh osnov tehnologii vyiraschivaniya saharной sveklyi bez zatrat ruchnogo truda na formirovaniy gustoty nasazhdeniya. [Development of the scientific basis of the technology of sugar beet cultivation without the cost of manual labor on the formation density plantation]. *Extended abstract of doctor's thesis*. Kiev [in Russian].

3. Honcharuk, H.S. (2001). Yakisna sivba tsukrovih buryakiv zaporuka visokogo vrozhayu. [High-quality sowing of sugar beets is the key to a high yield]. *Tsukrovi buryaki - Sugar beets*, 2, 8 – 9 [in Ukrainian].
4. Artemenko, D., Mahopets, O. & Solomashenko, P. (2010). Research and working out of an advanced design steel seeders. *Construction, production and operation of agricultural machinery: nationwide intern. scientific-technical Sat. KNTU*, 40, part 1. 136-142. Kirovograd/Ukraine. Retrieved from <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/1795/1/26.pdf> [in Ukrainian].
5. Artemenko, D.Yu. (2012). Matematichna model roboti udoskonalenih schlik soshnika prosapnoyi sivalki. [Mathematical model of the improved coulter cheeks of a row drill]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohrads'koho nats. tekhn. un-tu – Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation: coll. of science avenue of Kirovohrad National Technical University, Issue 25, Part 1*, 41 - 45 [in Ukrainian].
6. Salo, V.M., Luzan, O.R., Luzan, P.G. & Machok, Yu.V. (2012). Zagortayuchi robochi organi dlya pryamoyi sivbi zernovih kultur. [Wrapping working bodies for direct sowing of grain crops] . Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine, Kirovohrad. national technical Univ. Kirovohrad: SPD FD Lysenko V.F., 64. Retrieved from <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5473> [in Ukrainian].
7. Prospect of the Gaspardo Company. (2017). SP Range. Pneumatic precision seed drills. Italy. Retrieved from <https://www.maschio.com/assets/Uploads/Leaflet-SP-RANGE-17-2017-09-W00230043R-EN.pdf>
8. Prospect of the Kuhn Company. (2015). Planter 3. Precision seed drills. Kuhn farm machinery (UK). Retrieved from <http://www.kuhn.co.uk/uk/range/seeding/pneumatic-precision-seed-drills/planter-3-m-single-bar.html> [in English].
9. Precision Seeding. Maschinenfabrik SCHMOTZER GmbH. *schmotzer.de*. Retrieved from <http://www.schmotzer.de> [in English].
10. Product Catalog Elvorti - Chervona zirka. (2016). Technology in harmony with the nature. Kropyvnytskyi/Ukraine. *elvorti.com*. Retrieved from https://www.elvorti.com/content/pdf/2016/KATALOG_2016_EN_SITE.pdf
11. Seed drill. “Contour”. (2012). Prospect of the company “Amazon”. Germany [in English].
12. Prospect of the Ribouleau Company. (2018). The precision Planter specialist. MECA V4. Ribouleau MONOSEM – FRANCE. Retrieved from <https://www.monosem.com/Range/Planter-range/MECA-V4>
13. Seed drill. “Pneumasem II”. (2008). Prospect of the company “Nodet gougis”. France.
14. Platonov I.M. (1975). Otsenka seyalk tochnogo vyseva. [Evaluation of precision seed drills]. *Traktory i selhozmashiny – Tractors and agricultural machines*, 7, 20 – 23 [in Russian].
15. Basin V.S. (1977). Semyazadelyivayushchie rabochie organyi i podveski soshnikov zarubezhnykh sveklovichnykh seyalk. [Seed-making working organs and coulter suspensions of foreign beet seeders]. *Traktory i selhozmashiny – Tractors and agricultural machines*, 1, 43 – 46 [in Russian].
16. Murray J.R., Tullberg J.N. and Basnet B.B. 2006. Planters and their components: types, attributes, functional requirements, classification and description. ACIAR Monograph No. 121. ISBN 186320 4628.
17. Zubko, V.M., Melnyk, V.I., Protsenko, A.M. & Komisar, E.O. (2018). Tehniko-tehnologichna efektyvnist nachipnoyi sivalki dlya posiv kukurudzi. [Technical and technological efficiency of the trailed seeder for sowing corn]. *Bioresursi i prirodokoristuvannya - Bioresources and nature management. Vol. 10, 5-6*, 229 – 234 . <https://doi.org/10.31548/bio2018.05.029> [in Ukrainian].
18. Dryer, H. (2010). Detalnoe rassmotrenie soshnika seyalki Primera DMC. [Detailed view of the seeder coulter Primera DMC]. Amazone Primera DMC. AMAZONEN-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. Retrieved from <http://www.amazone.de> [in Russian].
19. Artemenko, D.Yu. & Magopets, O.S. (2011). Teoretichne doslidzhennya osnovnogo tehnologichnogo parametru udoskonalenoyi konstruktsiyi pruzhinnogo zagortacha prosapnoyi sivalki. [Theoretical study of the main technological parameter of the improved design of the spring wrapper of the row drill]. *Visnik agrarnoyi nauki Prichornomor'ya: naukovo-teoretichnyy fahoviy zhurnal – Herald of Agrarian Science of the Black Sea Region: Scientific and Theoretical Journal* . V.S. Shebanin (Ed.) , Part. 4 (61), Vol.1, 244 – 250 [in Ukrainian].
20. Demshin, S.L. & Cheremisinov, D.A. (2012). Obosnovanie optimalnykh parametrov soshnikovoy gruppyi kombinirovannogo agregata dlya obrabotki pochvy i poseva. [Justification of the optimal parameters coulter group of the combined unit for tillage and sowing]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka - Agricultural science of the Euro-North-East*, 4 (29), 67-71 [in Russian].
21. Sysolin, P.V., Salo, V.M. & Nettle, V.M. (2001). Silskogospodarski mashini: teoretichni osnovi, konstruktsiya, proektuvannya, Kn. 1: Mashini dlya rilnitstva [Agricultural machines: theoretical foundations, construction, design, Book. 1: Machines for agriculture] . Kyiv: Urozhaj [in Ukrainian].

22. Zaika, P.M. (2002). *Teoriya silskogospodarskikh mashin. Mashini dlya sivbi ta sadinnya* [Theory of agricultural machines. Machines for sowing and planting], *Vol. 1, part 2*. Kharkiv: Oko, 452 [in Ukrainian].
23. Sysolin, P.V. & Pogorely, L.V. (2005). *Pochvoobrabatyivayushchie i posevnyie mashiny: istoriya, mashinostroenie, konstruirovaniye*. [Soil-cultivating and sowing machines: history, mechanical engineering, design]. Kiev: Feniks [in Russian].

Dmytro Artemenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Onopa**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Research and Substantiation of the Design Spring Wrapper of the Precision Seed Drill

The article presents the results of exploratory theoretical studies of the constructive and technological parameters spring wrapper of the precision seed drill. The analysis of the existing designs of wrappers and the technological process they perform showed that today the requirements for wrapping seeds first with wet layers of soil and then with drier, modern wrappers are not met. In most sowing sections, wrappers are placed after the rolling rollers and they perform the function of mulching and planning the surface of the furrow by mixing soil layers of different horizons. It was established that the technological process of wrapping the seeds with wrappers, which are first covered with the lower moist layers of the soil, and then with a drier mulch layer, will be more rational, while the wrappers must be installed after the coulter, which is able to cover the seeds immediately after entering the furrow.

Since the main disadvantage of the existing wrappers is the mixing of soil layers during their operation, an improved design of the wrapper was developed. The wrapper, which is made of a spring and has several component parts, has a torsion spring and a rod in the upper part, in the lower part of which there is a working surface in the form of a two-level rectangular trihedral inclined prism, moreover, the upper level of the working surface is twice as long as the lower one, and the installation angle of the working surface is smaller than the angle of friction of the soil on the steel. The efficiency of the wrapper is ensured by the following factors: due to the increased length of the upper working surface of the wrapper, the dry soil of the upper layer covers the furrow, which is already covered by the lower moist layers of the soil; due to the lateral action of the wrapper on the soil layer and the operation of the spring, a mulching effect is created; when the soil is more clogged with plant remains, the design of the spring wrapper contributes to its self-cleaning.

The process of interaction of the working surface wrapper with the soil and the influence of its design on the technological characteristics of the technological process are theoretically considered. The main technological characteristic of the wrapper is its tensile strength. It was established that during the operation of the developed wrapper, the greatest influence on the traction resistance is exerted by the depth of the movement wrapper and the speed of movement wrapper, and the least by the inclination of the working surface. The obtained theoretical dependence connects the design and technological parameters of the spring wrapper and their influence on the main characteristic of its operation - traction resistance.

favorable germination conditions, wrapper design, seed wrapping, combined spring wrapper

Одержано (Received) 28.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 10.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.333:631:172

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.25-31>**А.С. Лімонт**, доц., канд. техн. наук*Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна**e-mail: andrespartak@ukr.net***З.А. Лімонт**, студентка*Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна*

Маса і габаритні розміри кузовних машин для внесення твердих органічних добрив

Мета дослідження полягала в поліпшенні ефективності технологічного процесу внесення твердих органічних добрив кузовними розкидачами та їх проектування шляхом пізнання статистичних зв'язків між масою машин як результативною ознакою і їхніми габаритними довжиною, шириною та висотою як факторіальними ознаками. Досліджено і зворотний статистичний зв'язок, за якого габаритні довжина, ширина і висота машин визначені як результативні ознаки, а маса машин прийнята за факторіальну ознаку.

Дослідження показали, що зміну маси машин залежно від їхніх габаритних довжини і висоти та довжини і висоти машин залежно від їх маси успішніше всього подати рівняннями прямих з додатними кутовими коефіцієнтами. За розрахунками зміну маси машин залежно від габаритної ширини та габаритної ширини машин від їх маси доцільно описати відповідно рівняннями прискорено зростаючої експоненти і сповільнено зростаючої степеневі функції. Отримані в результаті дослідження залежності можуть бути використані при проектуванні кузовних машин для внесення твердих органічних добрив та організації їх використання в реальних умовах удобрення ґрунту в механізованих технологічних процесах вирощування сільськогосподарських культур.

кузовні розкидачі твердих органічних добрив, маса, габаритні розміри, взаємозв'язок маси і габаритних розмірів

Постановка проблеми. В технології вирощування сільськогосподарських культур однією з найбільш впливових на їх урожайність і якість продукції є операція з внесення твердих органічних добрив (ТОД). Різні культури не однаково реагують на внесені органічні добрива. Особливе місце серед сільськогосподарських культур тут займає льон-довгунець. Порівняно з іншими культурами дози внесення гною під льон-довгунець значно менші. Досвід вирощування цієї культури і наукові дослідження, що виконані в попередні роки в різних зонах льоносіяння українськими і зарубіжними науковцями свідчить, що для уникнення нерівномірності і вилягання стеблостою та зниження якості волокна безпосередньо під льон-довгунець ТОД тваринного походження не вносять. За матеріалами В.В. Лихочвора і В.Ф. Петриченка [1], В.Г. Дідори із співавторами (2008), Л.Д. Фоменка (1967), а також інших дослідників такі добрива вносять під попередники, що підвищує врожай не тільки озимих, трав і льону-довгунця, але і наступних культур в сівозміні. Проте за інформацією В.М. Клочкова (1952) і його співавторів добре розкладений гній з дозою внесення в межах 10–15 т/га можна вносити безпосередньо під льон-довгунець, що його сіють після м'яких попередників або по слабко розвинених конюшинищах. Якість удобрення ґрунту за нерівномірністю розподілу добрив зумовлена ефективністю використовуваних засобів механізації, серед яких найбільш поширені валкоутворювач-розкидач РУН-15МБ та кузовні машини, що забезпечують більш якісний розподіл добрив.

Деякі з параметрів кузовних машин для внесення ТОД визначають можливість їх агрегування з відповідними енергетичними засобами, забезпечують виконання експлуатаційних розрахунків з комплектування машинно-тракторних агрегатів (МТА), організацію роботи МТА в загинці та їх переїзди до удобрюваного поля і від однієї загинки до іншої, рух на поворотних смугах та уможливають навантажувальне забезпечення кузовних машин в місцях зберігання ТОД і вибір навантажувача за його навантажувальною висотою. В з'ясуванні таких параметрів кузовних машин для внесення ТОД полягає актуальність проблеми їх проектування і використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При проектуванні кузовних машин для внесення ТОД варто керуватися усталеними співвідношеннями і пропорціями між окремими параметрами кузовних машин для внесення ТОД. Проте в дослідженнях щодо конструювання і розрахунку машин та обладнання для виробництва і внесення органічних добрив [2] такої інформації не виявлено. Раціональну ширину внесення ТОД кузовними машинами з'ясовували О.Я. Переходько і В.Я. Ярощук [3], а І.П. Вітрух і С.Г. Білик [4] на засадах системного проектування оптимізували робочу ширину захвату і швидкість руху агрегату для внесення органічних добрив.

Заміна в кузовних машинах для внесення ТОД горизонтальних розкидальних барабанів (барабанів з горизонтальною віссю обертання) на вертикально розташовані розкидальні барабани відповідно з вертикальною віссю обертання сприяла значному поліпшенню нерівномірності внесення добрив. Вертикальне розташування розкидальних барабанів покращує рівномірність розподілу ТОД по поверхні удобрюваного поля як за робочою шириною внесення, так і за напрямком руху МТА [5]. Проте вертикальне розташування розкидальних барабанів зумовлює збільшення габаритної висоти кузовних машин.

Одним із резервів рівномірного розподілу добрив по поверхні удобрюваного поля є забезпечення стійкості поступальної швидкості кузовних машин, яка залежить і від маси МТА і зокрема власне кузовних машин. Від маси кузовних машин для внесення ТОД залежать і енергозатрати цих машин, що формують енергомісткість МТА у складі з відповідними кузовними машинами. Енергетичну оцінку комплексів машин при внесенні ТОД здійснили В.І. Мельник і О.А. Романашенко [4]. Досліджені витрати енергії (МДж/т) на транспортування і внесення ТОД МТА у складі з кузовними машинами МТО-7 та РТД-5 і РТД-9. Найменш енергоємним виявилось використання МТА у складі з кузовною машиною МТО-7. П.М. Заїка [7] розглядав опір гною розриванню і міцність при стисканні, що впливають на енергоємність розподілу добрив по поверхні удобрюваного поля.

З наведених огляду і аналізу останніх досліджень з проектування і використання кузовних машин для внесення ТОД видно, що в опублікованих працях не розглядали взаємозв'язки окремих параметрів кузовних машин, які були б корисні і могли бути використані при розрахунках і проектуванні нових моделей кузовних машин для внесення ТОД.

Постановка завдання. Отже, метою роботи є пізнання якісного зв'язку і з'ясування можливих кількісних залежностей та зміни маси $m_{од}$ (т) кузовних машин для внесення ТОД залежно від габаритних довжини $l_{од}$ (мм), ширини $b_{од}$ (мм) і висоти $h_{од}$ (мм) машин та з'ясування зворотного зв'язку між $l_{од}$ (мм), $b_{од}$ (мм) і $h_{од}$ (мм) з одного боку та масою $m_{од}$ (т) машин з іншого.

Об'єкт та методика дослідження. Об'єктом дослідження були кузовні машини для внесення ТОД виробництва підприємствами, що розташовані на території колишнього Радянського Союзу (ВАТ «Ковельсьільмаш», «Білоцерківсьільмаш», «Бобруйксельмаш», «Лідаагропромаш», «Могилевсьільмаш» та ін.). Вихідні дані для

дослідження вибирали з технічних характеристик відповідних машин, що наведені в [8], відповідних Каталогах та рекламній інформації виробників кузовних машин для внесення ТОД. Розмір статистичної вибірки при вивченні маси і габаритних розмірів кузовних машин становив 21 марку цих машин. З'ясування якісно-кількісних парних зв'язків між досліджуваними параметрами кузовних машин здійснено на засадах кореляційно-регресійного аналізу та з використанням стандартних комп'ютерних програм. В першому випадку результативною ознакою визначено масу $m_{од}$ (т) кузовних машин, а в якості факторіальних ознак прийняті габаритні довжина $l_{од}$ (мм), ширина $b_{од}$ (мм) та висота $h_{од}$ (мм) цих машин. В другому випадку $l_{од}$ (мм), $b_{од}$ (мм) і $h_{од}$ (мм) були визначені в якості результативних ознак, а за факторіальну ознаку прийнято $m_{од}$ (т).

З використання джерел [9, 10] визначали коефіцієнти кореляції r між результативними і факторіальними ознаками, кореляційні відношення η результативних ознак на факторіальні та R^2 -коефіцієнти, що визначають вірогідність апроксимації зміни експериментальних значень відповідної результативної ознаки залежно від прийнятої факторіальної передбачуваною прогностичною функцією. Визначали рівняння регресії, що описує прогностичну функцію. Крім того, розраховували помилки S_y опрацьованих рівнянь регресії. При цьому використовували визначені середні квадратичні відхилення результативних ознак та значення коефіцієнтів кореляції чи кореляційних відношень відповідних парних зв'язків «результативна – факторіальна ознаки».

Розраховували коефіцієнти детермінації k_d , що визначають ступінь впливу досліджуваної факторіальної ознаки на відповідні результативні. При цьому в якості показника ступеня впливу використали відношення факторіальної суми квадратів відхилень, що є результатом впливу досліджуваного фактора на результативну ознаку, до загальної суми квадратів відхилень, які включають факторіальні суму квадратів і суму квадратів відхилень, зумовлених впливом випадкових факторів [7].

Виклад основного матеріалу. Основні статистичні показники емпіричних розподілів маси кузовних машин та їх габаритних розмірів наведені в попередній публікації, а результати кореляційно-регресійного аналізу досліджуваних результативних і факторіальних ознак – в табл. 1.

Порівняння визначених коефіцієнтів кореляції і кореляційних відношень, що якісно оцінюють зміну прийнятих на різних етапах цього дослідження результативних ознак залежно від факторіальних дозволяє першопочатково визначитися із формою відповідних зв'язків. Так, зміна $m_{од}$ залежно від $l_{од}$ і $h_{од}$ та $l_{од}$ і $h_{од}$ залежно від $m_{од}$ має описуватися лінійними, що зростають, залежностями. Зміна $m_{од}$ залежно від $b_{од}$ і $b_{од}$ залежно від $m_{од}$ має описуватися криволінійними, що також зростають, функціями.

Зміна експериментальних значень маси $m_{од}$ кузовних машин залежно від їхньої габаритної довжини $l_{од}$ за значенням R^2 -коефіцієнта з вірогідністю 0,668 апроксимована рівнянням прямолінійної регресії з додатним кутовим коефіцієнтом, від габаритної ширини $b_{од}$ машин з вірогідністю 0,537 рівнянням прискорено зростаючої експоненти і від габаритної висоти $h_{од}$ машин з вірогідністю 0,793 – апроксимована рівнянням прямолінійної регресії з додатним кутовим коефіцієнтом. Залежно від маси $m_{од}$ кузовних машин зміна експериментальних значень їхніх габаритних довжини $l_{од}$ і висоти $h_{од}$ з вірогідністю відповідно 0,692 і 0,633 апроксимована рівняннями прямолінійної регресії з додатними кутовими коефіцієнтами, а експериментальних значень габаритної ширини $b_{од}$ машин з вірогідністю 0,371 апроксимована рівнянням сповільнено зростаючої степеневі функції. Знайдені параметри відповідних апроксимуючих залежностей.

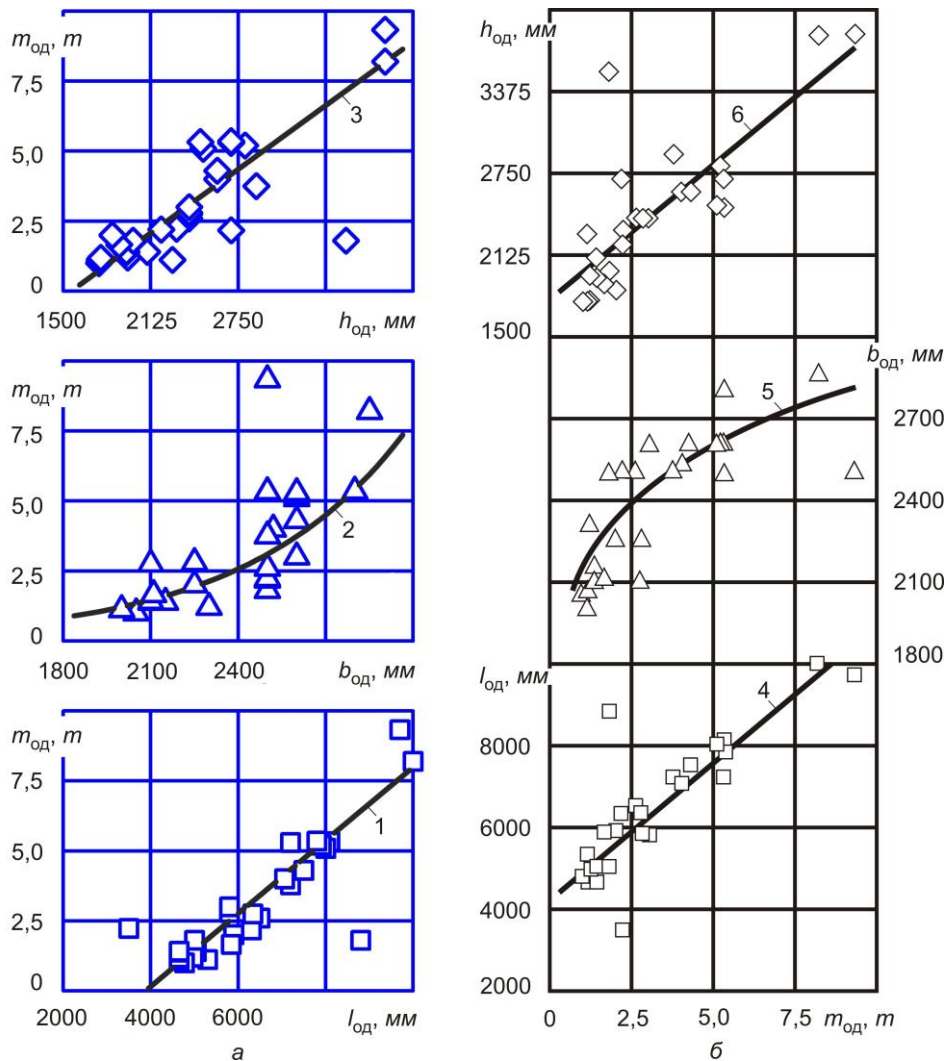
Таблиця 1 – Результати кореляційно-регресійного аналізу маси $m_{од}$ (т) кузовних машин для внесення твердих органічних добрив і габаритних довжини $l_{од}$ (мм), ширини $b_{од}$ (мм) та висоти $h_{од}$ (мм) цих машин, прогностична функція і рівняння регресії та R^2 -коефіцієнт, помилка S_y рівняння регресії і коефіцієнт детермінації k_d

Результативна – факторіальна ознака	Коефіцієнт кореляції	Кореляційне відношення	Прогностична функція (чисельник) і рівняння регресії (знаменник)	R^2 -коефіцієнт	Помилка S_y рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації k_d
Маса кузовної машини $m_{од}$ (т) – габаритна довжина $l_{од}$ (мм)	0,817	0,778	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $m_{од} = 0,0010457 l_{од} - 2,457$	0,667	1,21	0,605
Маса кузовної машини $m_{од}$ (т) – габаритна ширина $b_{од}$ (мм)	0,474	0,733	Прискорено зростаюча експонента $m_{од} = 0,02373 \exp(0,00186 b_{од})$	0,537	1,42	0,537
Маса кузовної машини $m_{од}$ (т) – габаритна висота $h_{од}$ (мм)	0,890	0,866	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $m_{од} = 0,003646 h_{од} - 5,670$	0,792	0,95	0,750
Габаритна довжина машини $l_{од}$ (мм) – маса машини $m_{од}$ (т)	0,817	0,807	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $l_{од} = 664,297 m_{од} + 4213,615$	0,667	918,5	0,631
Габаритна ширина машини $b_{од}$ (мм) – маса машини $m_{од}$ (т)	0,474	0,609	Сповільнено зростаюча степенева $b_{од} = 2141,289 m_{од}^{0,121}$	0,371	203,8	0,371
Габаритна висота машини $h_{од}$ (мм) – маса машини $m_{од}$ (т)	0,890	0,792	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $h_{од} = 205,741 m_{од} + 1786,571$	0,792	315,8	0,627

Джерело: розроблено авторами

Якщо зміну $m_{од}$ залежно від $b_{од}$ і $b_{од}$ залежно від $m_{од}$ подати рівняннями прямих з додатними кутовими коефіцієнтами (R^2 -коефіцієнти дорівнюють відповідно 0,403 і 0,225), то за значеннями кутових коефіцієнтів можна висловити наступне. Щодо залежності $m_{од}=f(b_{од})$ – при збільшенні $b_{од}$ на 1 м за її зміни від 1850 до 3500 мм маса кузовної машини зростає на 5,45 т. Дослідження зміни $b_{од}$ залежно від $m_{од}$ за кутовим коефіцієнтом рівняння прямолінійної регресії свідчить, що підвищення маси кузовної машини на 1 т при зміні $m_{од}$ від 1 до 9,33 т супроводжується збільшенням $b_{од}$ на 71,1 мм. При цьому вільний член рівняння прямолінійної регресії $b_{од}$ на $m_{од}$ дорівнював 2196,3 мм.

Кореляційні поля досліджуваних результативних і факторіальних ознак та модельні лінії регресії, що побудовані за рівняннями, які наведені в табл. 1, показані на рис. 1.



$m_{од}$ – маса кузовних машин (КМ) для внесення твердих органічних добрив (ТОД); $l_{од}$, $b_{од}$, $h_{од}$ – габаритні відповідно довжина, ширина і висота КМ для внесення ТОД

Рисунок 1 – Кореляційні поля досліджуваних параметрів і модельні лінії регресії маси $m_{од}$ (а) машин для внесення твердих органічних добрив на їх габаритні довжину $l_{од}$ (1), ширину $b_{од}$ (2) і висоту $h_{од}$ (3) та навпаки (б) довжини $l_{од}$ (4), ширини $b_{од}$ (5) і висоти $h_{од}$ (6) машин на їх масу $m_{од}$

Джерело: розроблено авторами

Помилки рівнянь регресії, в яких результативною ознакою була маса кузовних машин, коливалися в межах 0,95–1,42 т, що значно менші середнього арифметичного значення емпіричного розподілу маси $m_{од}$, яке дорівнювало 3,17 т. Помилка рівняння регресії $l_{од}$ на $m_{од}$ дорівнювали 918,5 мм, рівняння регресії $b_{од}$ на $m_{од}$ і $h_{од}$ на $m_{од}$ відповідно 203,8 мм і 315,8 мм за середніх арифметичних значень емпіричних розподілів $l_{од}$, $b_{од}$ і $h_{од}$ відповідно 6136 мм та 2371 і 2342 мм. Як видно помилки цих трьох рівнянь регресії значно менші середніх арифметичних значень відповідних емпіричних розподілів габаритних розмірів кузовних машин.

За значеннями коефіцієнтів детермінації габаритні довжина, ширина і висота кузовних машин відповідно на 60%, 54 і 75% визначають варіювання маси цих машин. Решта у тій же послідовності 40%, 46 і 25% загальної варіабельності маси машин є наслідком впливу випадкових факторів, тобто факторів, що не враховані в дослідженні і зумовлюють мінливість маси кузовних машин [9].

Щодо маси кузовних машин як факторіальної ознаки в дослідженні і впливу на

габаритні дожину, ширину і висоту цих машин то за значеннями коефіцієнтів детермінації і з сукупного впливу різних факторів маса машин причинно зумовлює варіювання їх габаритних довжини, ширини і висоти відповідно на 63%, 37 і 63%. Решту варіації габаритних розмірів кузовних машин, що становить 37 % та 63 і 37% визначає вплив інших випадкових факторів, які не розглядали в цьому дослідженні.

Висновки. Виявлені закономірності і з'ясована кількісна зміна маси кузовних машин для внесення ТОД залежно від їх габаритних розмірів та габаритних розмірів машин від їх маси можуть бути використані при проектуванні цих машин та організації їх використання в реальних умовах удобрення ґрунту в механізованих технологічних процесах вирощування сільськогосподарських культур.

Перспективи подальших розвідок на нашу думку мають бути спрямовані на пошук і з'ясування якісно-кількісних зв'язків між об'ємом кузова машин для внесення твердих органічних добрив і габаритними розмірами розглядуваних машин.

Список літератури

1. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів: НВФ «Українські технології», 2006. 730 с.
2. Машины и оборудование для производства и внесения органических удобрений: конструирование и расчет / Линник Н.К. и др.; под ред. Л.В. Погорелого. Киев: Техника, 1992. 103 с.
3. Переходько О.Я., Ярошук В.А. Обґрунтування раціональної ширини внесення твердих органічних добрив кузовними розкидачами. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 1992. Вип. 75. С. 70–74.
4. Вітрух І.П., Білик С.Г. Деякі системні аспекти оптимізації параметрів транспортно-технологічних машин для внесення органічних та органо-мінеральних добрив. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб.* 2013. Вип. 43. Ч. 1. С. 231–240.
5. Лебедев В. Підвищення рівномірності внесення органічних добрив. *Техніка АПК*. 2004. № 10–11. С. 40–41.
6. Мельник В.І., Романашенко О.А. Енергетична оцінка комплексів машин при внесенні добрив. *Інженерія природокористування: наук. журн. / засн.: Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка*. Харків, 2016. № 1 (5). С. 118–121.
7. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин: машини для приготування і внесення добрив. Харків: Око, 2002. Т. 1. Ч. 3. 352 с.
8. Клименко М. Система машин для внесення твердих та рідких органічних добрив. *Техніка АПК*. 2006. № 8. С. 21–23.
9. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Адаменко Т.І. Агрометеорологічні прогнози: підручник. Одеса: ТЕС, 2017. 508с.
10. Методи кореляційно-регресійного аналізу. Парний регресійно-кореляційний аналіз. URL: <https://studfile.net/preview/5596419/>

References

1. Lykhochvor, V.V. & Petrychenko, V.F. (2006). Roslynyntstvo. Suchasni intensyvni tekhnolohii vyroshchuvannya osnovnykh polovykh kultur. Lviv: NVF «Ukrainski tekhnolohii» [in Ukrainian].
2. Linnik N.K. et al. (1992). *Mashiny i oborudovanie dlya proizvodstva i vneseniya organicheskikh udobreniy: konstruirovaniye i raschet* [Machinery and equipment for the production and application of organic fertilizers: design and calculation]. L.V. Pogorelogo (Eds.). Kiev: Tekhnika [in Russian].
3. Perekhodko, O.Ya. & Yaroshchuk, V.A. (1992). Obgruntuvannya ratsionalnoi shyriny vnesennia tverdikh orhanichnykh dobroyv kuzovnymy rozkydachamy [Justification of the rational width of application of solid organic fertilizers by body spreaders]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia sil'skohospodarstva – Mechanization and electrification of agriculture, Issue 75, 70–74* [in Ukrainian].
4. Vitruk, I.P. & Bilyk, S.H. (2013). Deiaki systemni aspekty optymizatsii parametriv transportno-tekhnolohichnykh mashyn dlia vnesennia orhanichnykh ta orhano-mineralnykh dobroyv [Some system aspects of optimizing the parameters of transport and technological machines for applying organic and organo-mineral fertilizers]. *Konstruiuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil'skohospodars'kyx mashyn –*

- Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 43, part 1, 231–240* [in Ukrainian].
5. Lebediev, V. (2004). Pidvyshchennia rivnomirnosti vnesennia orhanichnykh dobryv [Increasing the uniformity of application of organic fertilizers]. *Tekhnika APK –Machinery of the AIC, 10–11*, 40–41 [in Ukrainian].
 6. Melnyk V.I., Romanashenko O.A. (2016). Enerhetychna otsinka kompleksiv mashyn pry vnesenni dobryv [Increasing the uniformity of application of organic fertilizers]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia: nauk. zhurn – Engineering of nature management: science. journal, 1 (5)*, 118–121 [in Ukrainian].
 7. Zaika, P.M. (2002). *Teoriia silskohospodarskykh mashyn: mashyny dlia pryhotuvannia i vnesennia dobryv* [Theory of agricultural machines: machines for preparing and applying fertilizers]. Vol. 1, part 3. 352 [in Ukrainian].
 8. Klymenko, M. (2006). Systema mashyn dlia vnesennia tverdykh ta ridkykh orhanichnykh dobryv [A system of machines for applying solid and liquid organic fertilizers]. *Tekhnika APK –Machinery of the AIC, 8*, 21–23 [in Ukrainian].
 9. Pol'ovyj, A.M., Bozhko, L.Yu. & Adamenko, T.I. (2017). *Ahrometeorologichni prohnozy* [Agrometeorological forecasts]. Odesa: TES [in Ukrainian].
 10. *Metody koreliatsijno-rehresijnoho analizu. Parnyj rehresijno-koreliatsijnyj analiz* [Methods of correlation and regression analysis. Paired regression-correlation analysis]. Retrieved from <https://studfile.net/preview/5596419/> [in Ukrainian].

Anatoliy Limont, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Zhytomyr Agrotechnical Colledge, Zhytomyr, Ukraine

Zlata Limont, student

Dnipro National University named after Oles Honchar, the city of Dnipro, Ukraine

The Mass and Clearance Dimensions of Body Machines for Applying Solid Organic Fertilizers

The research is aimed at improving the efficiency of the technological process of applying solid organic fertilizers by body spreaders, as well as at their design through determining statistical links between the mass of mass of machines as the resultative character and their length, width and height clearance as their factorial characters. The research also covers the reverse statistical link according to which the length, width and height clearance of machines are determined as the resultative characters, and the mass of machines is taken as a factorial character.

The objects of the study were body machines for the introduction of solid organic production by enterprises located in the former Soviet Union and modern Ukraine. The data related to the mass of machines and their clearance dimensions have been chosen from the corresponding catalogues of farm machinery and advertising information of plants producing machines for applying solid organic fertilizers. The processing of the data collected is made on the basis of the mathematical statistics, as well as with the use of standard computer programs.

The correlation coefficients in the investigated pair statistical links have taken positive values ranging from 0.474 to 0.890 under the correlation links of the resultative characters for factorial ones which fluctuated from 0.609 to 0.866. The increase in the factorial characters is accompanied by the resultative characters investigated. In order to specify and reveal the character of the relations between the investigated parameters of body machines used for applying solid organic fertilizers we have accomplished the adjustment of experimental values of the resultative characters depending on factorial equations of straight lines with positive angular coefficients and curvilinear relations – graded with logarithmic, exponential and indicial ones and with hyperbolas with the determination of R^2 -coefficient for every approximation functions. The research testifies that change in the mass of machines depending on their length and height clearance and length and height of machines depending on their mass will be better presented by the equations of straight lines with positive angular coefficients. According to calculations the change in the mass of machines depending on its width clearance and the width clearance depending on its mass appears most expedient when presented by the corresponding equations of the accelerated increasing exponent and gradually increasing inter-stage function. The dependences obtained as a result of the research conducted can be used for designing body machines for spreading solid organic fertilizers, as well as for using them in the technological processes of growing farm crops.

body spreaders of solid organic fertilizers, mass, clearance, dimensions, interrelation of mass and clearance dimensions

Одержано (Received) 11.04.2022

Прорецензовано (Reviewed) 04.05.2022
Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.439.21

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.32-40>

В.А. Онопа, доц., канд. техн. наук, **Д.Ю. Артеменко**, доц., канд. техн. наук
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна*
e-mail: pc_kntu@ukr.net

Результати експериментальних досліджень пневматичного збирання шкідників сільськогосподарських культур

В статті наведені результати експериментальних досліджень пневматичного збирання шкідників сільськогосподарських культур. На сьогоднішній день комахи-шкідники є однією з головних проблем у сільському господарстві. Шкідники щороку спричиняють від 20 до 40 відсотків втрат світового виробництва сільськогосподарських культур, основним методом боротьби з якими є пестицидна обробка. Безперервне використання пестицидів призводить до потенційних людських захворювань, забруднення рослин і ґрунту, тому велика увага приділена методам екологічної боротьби. Пневматичне збирання шкідників є основним і максимально ефективним засобом боротьби. А розробка нових конструкцій і пристроїв для його виконання є актуальною задачею. В роботі запропонована конструкція пневмодезинсектора для пневматичного збирання шкідників сільськогосподарських культур та досліджена ефективність його роботи. Експериментальні дослідження запропонованого пневмодезинсектора показали, що в середньому за триразовий збір ефективність становила: на озимій пшениці - 74,0%, на люцерні – 60%, на картоплі 68,3%, на баклажанах – 78,5%, на помідорах – 79,3%, на перці солодкому – 91,0%. Кількість рослин, уражених вірусами, зменшилася у 1,2 рази порівняно з контролем без пневмодезинсекції. Витрати застосування хімічного захисту перевищували витрати на пневмодезинсекцію в 4,7 рази.

шкідники сільськогосподарських культур, пневматичне збирання шкідників, пристрій для збирання, пневмодезинсектор, екологічний захист рослин

Постановка проблеми. На сьогоднішній день комахи-шкідники є однією з головних проблем у сільському господарстві. Продовольча та сільськогосподарська організація (FAO) повідомила, що ці шкідники щороку спричиняють від 20 до 40 відсотків втрат світового виробництва сільськогосподарських культур [1]. Нашестя шкідників обходиться світовій економіці приблизно в 220 мільярдів доларів США, а інвазивні комахи – близько 70 мільярдів доларів США щорічно [1]. Тому у сільському господарстві використовується широкий спектр пестицидів для підвищення врожайності, якості та продовження терміну зберігання сільськогосподарських культур. Проте використання пестицидів з кожним днем збільшується через постійне зростання населення та швидку урбанізацію. Постійне використання цих пестицидів призвело до забруднення навколишнього середовища, посівів, а також спричинило потенційний ризик для здоров'я людини. Безперервне використання пестицидів призводить до потенційних людських захворювань високого ризику, таких як рак, екстремальні респіраторні та генетичні захворювання та, зрештою, смерть плода [2]. Отже, у сільському господарстві вкрай необхідні передові технічні рішення для раннього виявлення шкідників рослин, запобігання небажаному споживанню пестицидів та екологічних засобів боротьби з більшістю їх різновидів.

Екологізація захисту рослин не викликає сумніву і одним із напрямків отримання екологічно чистої продукції є застосування машин для пневматичного збору комах-шкідників. У світовій практиці такі роботи ведуться давно. Однак необхідне подальше вдосконалення агрегатів та режимів їх роботи.

Відомо, що основною причиною зниження продуктивності пшениці є злакові мухи, а цикадки, клопи, крім прямої шкоди, ще й переносять вірусні захворювання. Основною причиною низьких урожаїв насіння люцерни є висока чисельність та різноманітність фітофагів на цій культурі (до 200 видів). При потенційній біологічній урожайності 14-18 ц/га насіння люцерни, фактична насіннева продуктивність через вплив шкідників за умови хімічного захисту, сягає 1-3 ц/га. Тобто хімічна боротьба із шкідливою ентомофауною на цих культурах є необхідною умовою збільшення врожаю. Застосування пестицидів, навіть найменш токсичних, призводить до забруднення продукції і навколишнього середовища залишками препаратів та їх метаболітами, часто більш токсичними, ніж самі хімічні засоби.

У зв'язку з цим застосування пневмодезинсекторів на полях зазначених культур є актуальним і дозволить отримувати високоякісну продукцію, у тому числі для дієтичного дитячого харчування, а також знизить пестицидне навантаження на навколишнє середовище.

Аналіз основних досліджень і публікацій. На сьогоднішній день у світі все більше заходів направлено на підвищення виробництва екологічно чистої, здорової сільськогосподарської продукції без використання хімічних засобів. Основним методом боротьби зі шкідниками для таких запитів споживачів науковці вважають безпосередній їх збір засобами механізації (механічний і пневматичний) і подальшим знищенням [3,4,5].

Так, Вінсент С. [6] проводячи дослід з дезинсекції, в лабораторних умовах, з личинками і дорослими особами померклого рослинного клопа відмічає, що пневматичний метод збору таких шкідників вже при першому проході дає позитивний ефект і досягає 65%, а при повторних проходах якість збору може сягати 85%. Причому якість збирання личинок вища ніж дорослих комах, але якщо дорослих осіб здвинути з місця то якість збирання покращується на 20%. Тому на думку автора необхідно в конструкціях збиральних пристроїв передбачати елементи струшування, щоб підхвачувати шкідника на шляху польоту з рослини до поверхні ґрунту.

В роботі [7] автори відзначають, що для пневматичного збору шкідників необхідний всебічний розгляд такого технологічного процесу. Була запропонована пневматична машина на базі колісного трактора яка давала змогу боротись із померклим рослинним клопом та колорадським жуком на посадках полуничних культур і картоплі. Після проведення експериментальних досліджень, було з'ясовано, що такий метод боротьби дає змогу знищувати шкідників на різних стадіях росту, а також, що його можна використати на інших сільськогосподарських культурах.

Гуцол Т. в [8], наголошує, що використання пневматичних систем для боротьби із шкідниками дає багато позитивних ефектів це не тільки маловартісний вид обробки, а і забезпечення екологічного вирощування сільськогосподарських культур, турбота про здоров'я механізаторів, шляхом зменшення на них пестицидного навантаження та зменшений вплив хімікатів на саме ґрунтове середовище. В роботі пропонується пневматична установка для збору шкідників пасльонових культур та обґрунтовані основні технологічні параметри її робочої частини. Робиться висновок про доцільність використання купольних конструкцій робочих елементів таких машин.

Обґрунтовуючи конструкцію пневмодезинсектора для збирання шкідників пасльонових культур в [9], автори пропонують конструкцію пневмодезинсектора, що

містить робочу камеру із щілинами по всій внутрішній поверхні і яка виконана підковоподібною, а за рахунок повітряних потоків з обох боків дає можливість якісно виконати процес збору шкідників. В результаті проведеного аналізу роботи пристрою було визначено, що пневматичний спосіб збору шкідників є перспективним і може забезпечити високі результати збирання шкідників.

В роботі [10] виконане теоретичне обґрунтування зони дії пневматичного пристрою для збирання шкідників пасльонових культур. Проведено аналіз роботи найпоширеніших пристроїв для збирання шкідників і з'ясовано, що жодна конструкція в повному обсязі не може задовольнити вимоги по мінімальному травмуванню рослин та максимальній кількості зібраних шкідників. Розроблена та запропонована нова конструкція пристрою для збирання шкідників, що дає можливість якісно виконати процес збирання шкідників пасльонових культур та уникнути пошкодження оброблюваної рослини.

Обґрунтовуючи підхід до розробки конструкції машини для збирання шкідників в [11], проведена розробка і аналіз класифікації методів боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур на основі чого робиться висновок, що на сучасному етапі при розробці методів і засобів захисту сільськогосподарських рослин від комах шкідників перевагу треба віддавати – фізико-механічному пневматичному методу.

Проведений аналіз конструкцій і досліджень пневматичних машин для збирання шкідників сільськогосподарських культур дозволив прийти до висновку, що останнім часом для збирання шкідників найбільш часто використовуються машини з пневматичною системою збирання, як такі, що найменше пошкоджують рослину. Найбільшого поширення із-за своєї ефективності набувають пневматичні машини всмоктуючого типу. Використання машин такого типу дозволить отримувати екологічно чисті продукти харчування, без використання хімічних засобів боротьби.

Постановка завдання. Метою роботи є проведення експериментальних досліджень пневматичного збирання шкідників сільськогосподарських культур та оцінка якості роботи запропонованого пневмодезинсектора.

Виклад основного матеріалу. Для можливості виконання вимог по екологічному вирощуванню сільськогосподарських культур нами був розроблений пристрій для пневматичного збирання шкідників (рис. 1).

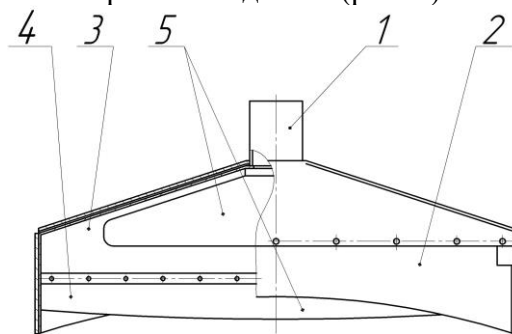


Рисунок 1 – Пристрій для пневматичного збирання шкідників:

1 – патрубок; 2 – корпус; 3 – перегородка; 4 – мембрана; 5 – забірні камери

Джерело: розроблено авторами

Технологічна схема роботи пристрою для збирання шкідників в складі агрегату для пневмодезинсекції наведений на рис. 2. Принцип роботи пневмодезинсектора полягає у наступному. Трактор з навішеним на нього агрегатом рухається по міжряддю зі швидкістю руху 5-10 км/год. При цьому пристрій для збирання охоплює рядок з обох

сторін (по боках і зверху). Мембрана пристрою сприяє збиранню шкідників і покращує їх потрапляння в зону всмоктування. Розріджений повітряний потік створений вентилятором, через забірні камери пристрою всмоктує шкідників. Зібрані шкідники разом з дрібними частками (листя, травою і т.п.) приходять у вентилятор і подаються до циклону. В циклоні відбувається сепарація – відділення шкідників від домішок. Шкідники як більш важка фракція поступово опускаються до випускного отвору циклона і по повітропроводу потрапляють до газоструменевого компресора. А дрібні частки, як більш легка фракція викидаються повітряним потоком на поле. Газоструменевий компресор, що встановлений на вихлопній трубі трактора, подає шкідника до газової камери. В газовій камері, під дією високих температур, що утворюються вихлопними газами, шкідник знищується – спалюється. Спалені шкідники разом з вихлопними газами викидаються в повітря.

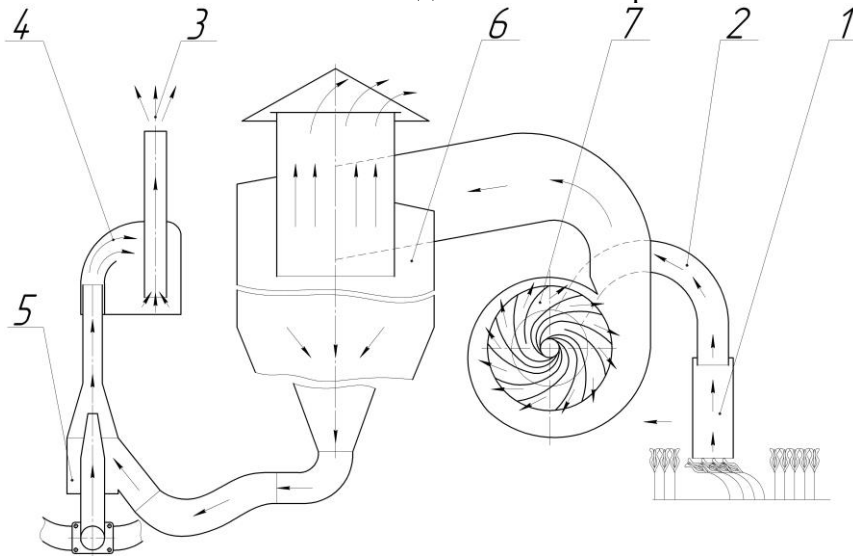


Рисунок 2 – Технологічна схема пневмодезинсектора:

- 1- пристрій для збирання; 2-пневморукав; 3-викидання знищених шкідників вихлопними газами;
4-газова камера; 5-газоструменевий компресор; 6-циклон; 7-вентилятор

Джерело: розроблено авторами

Експериментальні дослідження проводились на полях АФ «Промінь» с. Аджамка Кропивницького району Кіровоградської області в 2019-2021 роках. Експериментальна установка мала ширину захвату 4 м. Швидкість руху агрегату на сільськогосподарських посівах під час випробувань становила 5 та 10 км/год. Протягом вегетаційного періоду проводили по три випробування на кожній культурі. Шкідливих комах враховували перед дезінсекцією, одразу після неї та через добу після проведення прийому. Кількість шкідників та їх личинок враховували шляхом огляду 10 рослин на 10 майданчиках у трьох повторностях. Решту комах враховували косінням ентомологічним сачком по 100 помахів на кожній повторності. Розмір ділянки – 0,35 га.

Експериментальні випробування пневмодезинсектора проводилися на посівах: озимої пшениці, люцерни, картоплі та баклажанів. Вивчення біологічної ефективності роботи пневмодезинсектора проводилося відповідно до методики Трибеля Б.М. [9]. Польовий дослід по вивченню технічної ефективності пневмодезинсектора на посівах вищезазначених культур включав три дослідних та два контрольних варіанти один із яких приймався за еталон, що передбачається вимогами для подібних польових досліджень у рослинництві [12]. Отримані результати випробувань обробляли методами варіаційної статистики [13].

Розроблений пневмодезинсектор (рис. 3) призначений для збирання шкідників з листя сільськогосподарських та лікарських культур. Пневмодезинсектор – навісна пневматична машина, агрегується з трактором 1 типу ЮМЗ 6. Агрегат складається з вентилятора 2, який приводиться в рух від ВВП трактора 3, створює надлишковий тиск в пневматичному пристрої для збирання 4. Форма пристрою дозволяє збирати шкідників не лише зверху куща, а й з його боків. Пневматичний пристрій для збирання з'єднаний з вентилятором за допомогою повітропроводу 5. В якості повітропроводу використовується гофрована труба. Це не допускає перегину повітропроводу і як наслідок запобігає перепаду тиску у пристрої. Циклон 6 відділяє шкідників від різних легких часточок (сухого листа, бур'яну, трави) і викидає ці часточки на поле. Газоструменевий компресор 7 транспортує шкідників до газової камери 8, де за допомогою вихлопних газів двигуна шкідники знищуються і викидаються на поле. Установка опирається на опорне колесо 9 яке також забезпечує рівномірність руху пневматичного пристрою для збирання шкідників.

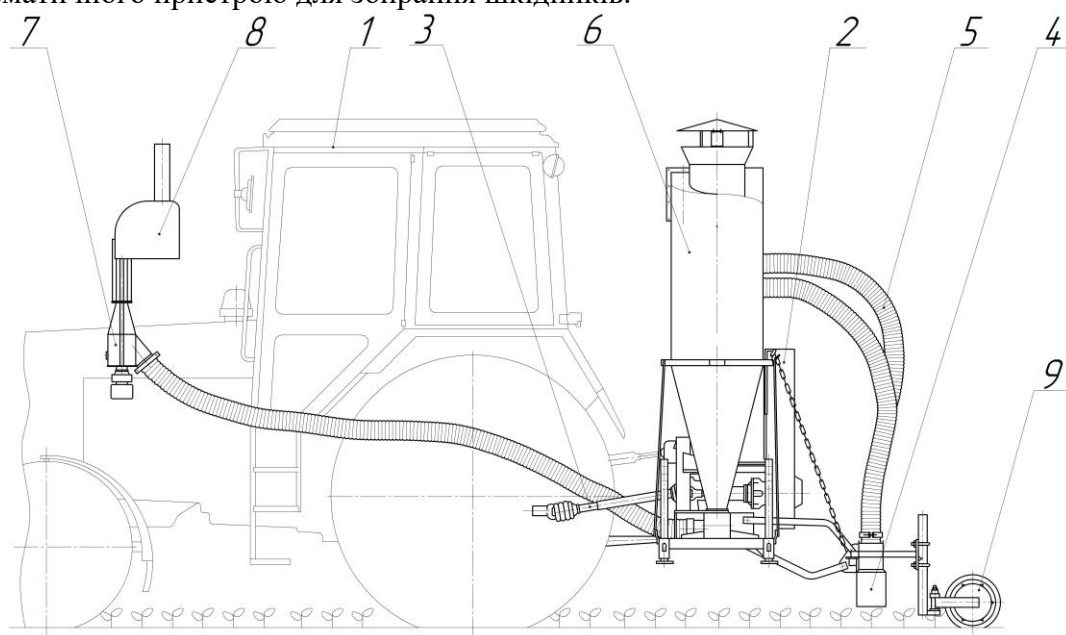


Рисунок 3 – Схема експериментальної установки для пневматичного збирання шкідників:
 1 – трактор; 2 – вентилятор; 3 – ВВП трактора; 4 – пристрій для збирання; 5 – повітропровід; 6 – циклон;
 7 – газоструменевий компресор; 8 – газова камера; 9 – опорне колесо
 Джерело: розроблено авторами

Пневмодезинсекцію проводили на озимій пшениці у таких варіантах:

- 1) збирання по краях поля (30 м шириною) в період початку кушіння, повного, і через 10 днів після нього на швидкості 5 км/год;
- 2) збір у ті самі терміни на швидкості 10 км/год.

На люцерні збір комах проводили у двох варіантах чотири рази: у періоді початку та повної бутонізації, цвітіння та наливу бобів по всьому полю на швидкості 5 км/год; в ті ж терміни на швидкості 10 км/год. Як контроль брали ділянки без пневмодезинсекції і після обприскування інсектицидами.

На картоплі пневмодезинсекцію проводили у таких випадках:

- 1) збір при швидкості 5 км/годину в період масового заселення імаго колорадського жука; з появою личинок I-II віку; під час масового наростання чисельності личинок I, II, III, IV віку;
- 2) збирання при швидкості 5 км/год при появі личинок I, II, III віку;

3) збирання при швидкості 10 км/год у період появи личинок I, II, III віку.

На баклажанах збір проводили у двох варіантах швидкості (5 км/год та 10 км/год) за схемою першого варіанту картоплі.

Пневмодезинсектор випробовували також на помідорах та перці.

Для порівняння врожайності картоплі прийняли ділянку, обприскану інсектицидом цимбушем, 10 відсотків к.е. - 0,4 л/га та шерпою, 25% к.е. - 0,15 л/га. Усю розсаду баклажанів, помідорів, перцю перед висадкою в ґрунт обробляли інсектицидами.

При роботі пневмодезинсектора трактор рухався міжряддями картоплі та овочевих. Збір проводили з п'яти рядків. Довжина рядків – 500 м.

З метою підбору ширини отвору для всмоктування комах проведено дослідження ваги та розмірів за віковими фазами колорадського жука. Встановлено, що маса та розмір шкідника залежали від віку, фази розвитку та статі. Довжина тіла імаго була в межах 7 – 12 мм, ширина – 4,5 – 10 мм. Середня вага комах, що перезимували – 11,4 - 16 мг. Личинки першого віку мали середню довжину 2,4 мм, другого – 2,5 – 4,5, третього – 4,4 – 9,0, четвертого – 9 – 16 мм.

Виходячи з цього, ширина отвору забірної камери, що всмоктує, для дрібних комах встановлювалася 5 мм, за наявності імаго колорадського жука - 10 мм.

Зазвичай непомічені комахи розміщувалися на верхньому та середньому ярусах рослин незалежно від виду та культури. Після проведення пневмодезинсекції комахи, що залишилися, розміщувалися в нижньому ярусі і на ґрунті. Однак через добу вони знову переміщалися до середнього та верхнього ярусів.

На озимій пшениці восени серед злакових мух переважали: шведська опоміза пшенична зеленоока. На контролі без пневмодезинсекції їх чисельність становила в середньому відповідно 6,6 екз/м², 19,3 та 8,8, а після збору на швидкості 5 км/год – 1,3; 6; 1; 1,2 та на наступну добу - 3,2; 8; 4,4 екз/м²; на швидкості 10 км/год їх було ще менше: 0,6; 2,9; 0,3 відразу після збору та 1,7; 3,8; 2,2 екз/м² через добу після нього. При весняному огляді кількість пошкоджених злаковими мухами стебел становила на контролі без пневмодезинсекції 7,8 стебел/м², у варіанті зі швидкістю руху агрегату 5 км/год - 3,4 і зі швидкістю 10 км/год 3,0 стебел/м². Розрахунки показують, що застосування пневмодезинсектора знижує втрати врожаю від злакових мух у середньому на 62,3% при швидкості агрегату 5 км/год та 74,0% при швидкості 10 км/год.

На люцерні максимальна чисельність шкідників була під час цвітіння, коли застосування пестицидів взагалі не рекомендується. Масовими під час досліджень були: попелиця горохова, клопи-сліпняки, клопи щитники, гусениці совок та п'ядениць, фітономус, тихіус жовтий, товстонижка люцернова, цикадки. Однак у період цвітіння також високою була чисельність корисних комах – ентомофагів та диких бджіл. Зниження їх чисельності при пневмодезинсекції сягало 50-60%. Серед інших шкідників переважали: скосар люцерновий, саранчові, бульбчочкові довгоносики, апіони, опомізи.

При аналізі результатів пневмодезинсекції ефективнішим виявилось застосування агрегату на швидкості 10 км/год і щільною шириною 10 мм. Середня технічна ефективність у період досліджень становила на швидкості 10 км/год – 85%. Урожайність насіння люцерни на ділянці, де проводилася пневмодезинсекція, становила 2,7 ц/га, на ділянці обробленій інсектицидами (3 рази) – 2,1 ц/га. Витрати застосування хімічного захисту перевищували витрати на пневмодезинсекцію в 4,7 рази.

Чисельність імаго колорадського жука в період масового заселення на картоплі сягала 7,0 екз./кущ. Кількість кладок яєць на кущ картоплі також була однаковою. Чисельність личинок I-II віку значно коливалася через різні погодні умови.

Пневмодезинсектором краще збирати личинки II-III віку як більш рухливі проти IV віку. Вони знаходяться в основному на дорзальній стороні та по краях листя верхніх

ярусів, на відміну від личинок I віку. Личинки IV віку легко обсіпаються на землю і через деякий час піднімаються на рослини.

Пневмодезинсекція імаго колорадського жука була менш ефективною, особливо на картоплі. На баклажанах і помідорах цей прийом діяв непрямим шляхом і дозволив знизити кількість яєць на 12-46% відсотків. Проведення трьох зборів шкідників та його личинок на баклажанах забезпечило ефективність 76,5-90,0%. При цьому чисельність імаго шкідника в середньому не перевищувала 2-4, а личинок – 8-14 прим./кущ.

Зниження чисельності личинок II-III віку на картоплі досягало в середньому 86,2-94,4% відразу після пневмодезинсекції та 79,5-87,8% через добу. Ефективність пневмодезинсекції личинок II-III віку (найбільш шкідливих) у середньому за дослідження становила 86,8%.

Чисельність цикадок - переносників інфекції вірусних хвороб на картоплі, помідорах, перці до пневмодезинсекції складала в середньому 54-96 екз. м². У середньому за триразовий збір ефективність становила на картоплі 68,3%, на баклажанах – 78,5%, на помідорах – 79,3%, на перці солодкому – 91,0%. Кількість рослин, уражених вірусами, зменшилася у 1,2 рази порівняно з контролем без пневмодезинсекції.

Урожайність картоплі з варіантів, де застосовувалася пневмодезинсекція, складала 186 ц/га стандартних бульб, на ділянках із застосуванням інсектицидів - 182 ц/га.

Таким чином на підставі отриманих даних в умовах виробничих посівів озимої пшениці, люцерни, баклажанів та картоплі застосування пневмодезинсектора – ефективний прийом.

Висновки:

1. Аналіз доступної літератури і досліджень показав, що шкідники сільськогосподарських культур щороку спричиняють значних втрат світового виробництва сільськогосподарських культур, а основним методом боротьби з ними є пестицидна обробка. Безперервне використання яких призводить до потенційних людських захворювань, забруднення рослин і ґрунту, тому велика увага приділена методам екологічної боротьби. Встановлено, що пневматичне збирання шкідників є основним і максимально ефективним засобом боротьби. А розробка нових конструкцій і пристроїв для його виконання є актуальною задачею. З цією метою нами розроблений пневмодезинсектор для пневматичного збирання шкідників сільськогосподарських культур та досліджена ефективність його роботи.

2. Експериментальні дослідження запропонованого пневмодезинсектора показали, що в середньому за триразовий збір ефективність становила: на озимій пшениці - 74,0%, на люцерні – 60%, на картоплі 68,3%, на баклажанах – 78,5%, на помідорах – 79,3%, на перці солодкому – 91,0%. Кількість рослин, уражених вірусами, зменшилася у 1,2 рази порівняно з контролем без пневмодезинсекції. Витрати застосування хімічного захисту перевищували витрати на пневмодезинсекцію в 4,7 рази.

3. Основним недоліком пневмодезинсекції є необхідність проведення 2-3 зборів шкідників. Слід врахувати, що комахи, які залишилися після пневмодезинсекції, продовжують ушкоджувати рослини та розмножуватися.

Список літератури

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) . (2020). New standards to curb the global spread of plant pests and diseases. URL: <http://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/> (Last accessed: 03.09.2022)
2. S.T. Narendaran, S.N. Meyyanathan, B. Babu. Review of pesticide residue analysis in fruits and vegetables. Pre-treatment, extraction and detection techniques. Food Res. Int., 133 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109141>

3. Vincent C., Chagnon R. (2000). Vacuuming tarnished plant bug on strawberry: a bench study of operational parameters versus insect behavior. *Entomol. Exp. Applic.* 97:347–354. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2000.00749.x>
4. Vincent C. and G. Boiteau. Pneumatic control of agricultural insect pests. *Physical Control Methods in Plant Protection/La Lutte Physique en hytoprotection*, eds. C. Vincent, B. Panneton and F. Fleurat-Lessard, New York: Springer-Verlag, 2001. P. 270–281.
5. Khelifi, M., Laguë C., Lacasse B. Pneumatic control of insects in plant protection. *Physical control methods in plant protection*. C. Vincent, B. Panneton et F. Fleurat-Lessard, eds. Springer-Verlag Berlin /INRA, Paris, 2001. P. 261–269.
6. Mohammadali Haddad Derafshi. Design and Construction of a Pneumatic-thermal Machine for Controlling Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata*) . *Journal of Applied Sciences*. 2006. Vol. 6. N 4. P. 919–925.
7. Charles Vincent & Gilles Boiteau. Pneumatic Control of Agricultural Insect Pests. *Physical Control Methods in Plant Protection*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001, pp 270–281. DOI: 10.1007/978-3-662-04584-8_19
8. Taras Gucol, Ivan Bendera, Janusz Nowak. Grounding the parameters of the pneumatic device for pests collecting. *ТЕКА Ком. Mot. Energ. Roln.* OL PAN, 2007, 7A, 35–40. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.485.3574&rep=rep1&type=pdf> (Last accessed: 03.09.2022)
9. Онопа В.А., Артеменко Д.Ю., Ліва Є.Г. Розробка та обґрунтування конструкції пневмодезинсектора для збирання шкідників пасльонових культур. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: матеріали X Міжн. наук.-практ. конф.*. Кіровоград: КНТУ, 2015. С. 22-23. URL: <http://www.kntu.kr.ua/doc/zbirnyki/teachers/2015/6.pdf#page=23> (дата звернення: 06.09.2022)
10. В.А. Онопа, Д.Ю. Артеменко, Р.В. Бакал. Теоретичне обґрунтування зони дії пристрою для збирання шкідників пасльонових культур. *Scientific Journal «ScienceRise» №10(51)*. 2018 . С. 19-23. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN%20=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/text_2018_10_6.pdf (дата звернення: 06.09.2022)
11. В. Онопа. Перспективні методи боротьби з шкідниками картоплі (пасльонових культур). *НАУКА–ВИРОБНИЦТВО*. Кропивницький: ЦНТУ, 2021. С. 4-6. URL: <http://www.kntu.kr.ua/doc/zbirnyki/teachers/2021/3.pdf#page=4> (дата звернення: 10.09.2022)
12. Методики випробування і застосування пестицидів. / С.О. Трибель та ін.; за ред. проф. С.О. Трибеля. К.: Світ, 2001. 448с.
13. Підручник дослідника: навч. посіб. / Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. Х.: Мачулін, 2016. 204 с.

Referencis

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). New standards to curb the global spread of plant pests and diseases. www.fao.org. Retrieved from <http://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/> [in English].
2. Narendran, S.T., Meyyanathan, S.N. & Babu, B. (2020). Review of pesticide residue analysis in fruits and vegetables. Pre-treatment, extraction and detection techniques. *Food Res. Int.*, 133. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109141> [in English].
3. Vincent, C. & Chagnon, R. (2000). Vacuuming tarnished plant bug on strawberry: a bench study of operational parameters versus insect behavior. *Entomol. Exp. Applic.* 97:347–354. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2000.00749.x> [in English].
4. Vincent, C. & Boiteau, G. (2001). Pneumatic control of agricultural insect pests. *Physical Control Methods in Plant Protection/La Lutte Physique en hytoprotection*, eds. C. Vincent, B. Panneton and F. Fleurat-Lessard, New York: Springer-Verlag, 270–281 [in English].
5. Khelifi, M., Laguë, C. & Lacasse, B. (2001). Pneumatic control of insects in plant protection. *Physical control methods in plant protection*. C. Vincent, B. Panneton et F. Fleurat-Lessard, eds. Springer-Verlag Berlin /INRA, Paris, 261–269 [in German].
6. Mohammadali Haddad Derafshi. (2006). Design and Construction of a Pneumatic-thermal Machine for Controlling Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata*) . *Journal of Applied Sciences*. Vol. 6, N 4, 919–925 [in English].
7. Charles Vincent & Gilles Boiteau. Pneumatic Control of Agricultural Insect Pests. *Physical Control Methods in Plant Protection*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001, pp 270–281. DOI: 10.1007/978-3-662-04584-8_19 [in English].

8. Taras Gucol, Ivan Bendera, Janusz Nowak. Grounding the parameters of the pneumatic device for pests collecting. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.* – OL PAN, 2007, 7A, 35–40. Retrieved from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.485.3574&rep=rep1&type=pdf> [in English].
9. Onopa, V.A., Artemenko, D.Yu. & Liva, E.G. (2015). Rozrobka ta obgruntuvannya konstruktsiyi pnevmodezinsektora dlya zbirannya shkidnikiv paslonovih kultur. [Development and substantiation of the construction of a pneumodisinsektor for collecting pests of nightshade crops]. *Problems of design, production and operation of agricultural machinery: X Mizhnarodnoa naukovo-praktichna konferentsia.* (Kirovohrad) – X International Scientific and Practical Conference (pp. 22-23). Kirovohrad: KNTU. Retrieved from <http://www.kntu.kr.ua/doc/zbirnyki/teachers/2015/6.pdf#page=23> [in Ukrainian].
10. Onopa V.A., Artemenko D.Yu., Bakal R.V. (2018). Teoretichne obgruntuvannya zoni diyi pristroyu dlya zbirannya shkidnikiv paslonovih kultur. [Theoretical substantiation of the area operation of the device for collecting pests of nightshade crops]. *Scientific Journal «ScienceRise» №10(51)*, 19-23. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/text_2018_10_6.pdf [in Ukrainian].
11. Onopa, V. (2021). Perspektivni metodi borotbi z shkidnikami kartopli (paslonovih kultur). [Promising methods of pest control potatoes (solanaceous crops)]. *SCIENCE-PRODUCTION - Kropyvnytskyi: National Technical University*, 4-6. Retrieved from <http://www.kntu.kr.ua/doc/zbirnyki/teachers/2021/3.pdf#page=4> [in Ukrainian].
12. Trybel, S.O., Sigaryova, D.D., Sekun, M.P., Ivanchenko O.O. et al. (2001). *Metodiki viprobuvannya i zastosuvannya pestitsidiv* [Test methods and application of pesticides]. S.O. Tribela (Ed.). Kyiv: Svit [in Ukrainian].
13. Vasylykovskiy, O.M., Leshchenko, S.M., Vasylykovska, K.V. & Petrenko, D.I. (2016). *Pidruchnyk doslidnyka.* [Researcher's textbook]. Kharkiv: Machulin [in Ukrainian].

Volodymyr Onopa, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Artemenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Results of Experimental Studies Pneumatic Harvesting of Pests Agricultural Crops

The article presents the results of experimental research on the pneumatic collection of pests of agricultural crops. Today, insect pests are one of the main problems in agriculture. Pests cause 20 to 40 percent of global crop losses every year, and pesticide treatment is the main method of control. The continuous use of pesticides leads to potential human diseases, plant and soil pollution, so much attention is paid to ecological control methods. Pneumatic collection of pests is the main and most effective means of control. And the development of new designs and devices for its implementation is an urgent task.

The analysis of the constructions and researches of pneumatic machines for harvesting pests of agricultural crops allowed us to come to the conclusion that recently, machines with a pneumatic harvesting system are most often used for harvesting pests, as those that damage the plant the least. Due to their efficiency, pneumatic machines of the suction type are becoming the most popular. The use of machines of this type will make it possible to obtain ecologically clean food products without the use of chemical means of control. In the work, the design of the pneumodisinsektor and the device for the pneumatic collection of pests of agricultural crops is proposed and the efficiency of its operation is investigated.

Experimental studies of the proposed pneumodisinsektor showed that, on average, for three harvests, the effectiveness was: on winter wheat - 74.0%, on alfalfa - 60%, on potatoes - 68.3%, on eggplant - 78.5%, on tomatoes - 79, 3%, sweet pepper – 91.0%. The number of plants affected by viruses decreased by 1.2 times compared to the control without pneumodisinfection. The costs of applying chemical protection exceeded the costs of pneumodisinfection by 4.7 times. On the basis of the obtained data, in the conditions of production crops of winter wheat, alfalfa, eggplant and potatoes, the use of a pneumodisinsektor is an effective method.

pests of agricultural crops, pneumatic collection of pests, device for collection, pneumodisinsektor, environmental protection of plants

Одержано (Received) 06.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 18.10.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.331

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.41-47>

В.А. Дейкун, доц., канд. техн. наук, **Д.Г. Жук**, асп., **Ю.В. Мачок**, доц., канд. техн. наук
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна*
e-mail: viktor.deikyn@gmail.com

Огляд способів внесення та ефективності застосування мінеральних добрив

У статті приводиться аналіз впливу різних способів внесення гранульованих мінеральних добрив на підвищення врожайності сільськогосподарських культур, існуючих способів їх внесення. Приводяться переваги та недоліки вказаних способів, також розглянуто способи заробки добрив у ґрунт. Акцентовано увагу на локальному внесенні добрив, суміщеному з поверхневим обробітком ґрунту, та технічний засіб для його здійснення.

ґрунт, поверхневий, мінеральні добрива, локально, родючість, ефективність

Постановка проблеми. Необхідні для вегетації рослин умови створюються завдяки застосуванню правильних сівозмін, своєчасному та якісному обробітку ґрунту, а також раціональному вибору способу доз та строків внесення добрив.

Урожайність сільськогосподарських культур залежить від ефективної родючості ґрунтів і є результатом дії ряду факторів: тепла, світла, вологи, поживних речовин та деяких інших.

Одною із найбільш важливих складових, що впливають на підвищення врожайності сільськогосподарських культур є своєчасне та правильне з точки зору агротехніки внесення основної дози добрив та підживлення культурних рослин мінеральними добривами в процесі їх вегетації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Спостереження показують, що ефективність сприйняття кореневою системою рослин добрив, внесених різними способами, суттєво відрізняється. Причиною є те, що при різних способах внесення гранульованих мінеральних добрив у ґрунт їх розташування та концентрація відносно кореневої системи культурних рослин має різний вигляд.

Способи внесення мінеральних добрив [5] за найбільш характерними ознаками можна умовно розділити на дві групи (рис. 1).

Найбільш широкого застосування набуло внесення добрив методом поверхневого розсіювання з подальшою заробкою різноманітними ґрунтообробними знаряддями. Даний метод є досить високопродуктивним, що позитивно впливає на економічну ефективність польових робіт.

Негативною стороною методу поверхневого розсіювання є значна нерівномірність розподілення матеріалу по площі поля, яка може сягати 25-30%. Аналіз літературних джерел [3, 7, 10] показує, що при подальшій заробці гранул добрив ґрунтообробними знаряддями розсіяних поверхнево, вони нерівномірно переміщуються з ґрунтом (за законом випадкового розподілення), і значна їх частина не переміщується до місця призначення. Крім того, частина добрив вивітрюється або вимивається опадами, і є втраченими як поживна речовина.

Як видно з досліджень ВІУА при заробці добрив орними агрегатами від 17,5 до 48,1% їх розташовуються в горизонті 0-5 см, від 38 до 78% – у шарі 0-10 см, а при заробці добрив у ґрунт за допомогою робочих органів дискових борін чи культиваторів – від 50 до 90% знаходяться у шарі 2-3 см.



Рисунок 1 – Класифікація способів внесення гранульованих мінеральних добрив

Джерело: розроблено авторами

Постановка завдання. Метою роботи є проведення аналізу існуючих способів внесення мінеральних добрив, вивчення недоліків та переваг кожного з них, визначення оптимального способу внесення та вибір конструкції робочого органу для його виконання.

Виклад основного матеріалу. У зонах землеробства з низьким рівнем вологості, якими є Центральні та Південні області України, глибина стійкої вологості знаходиться в горизонті нижче 10 см, і значна частина добрив, внесених методом поверхневого розсіювання з подальшою заробкою є недосяжною для кореневої системи рослин. Це зумовлює нераціональне використання хімічних препаратів, призводить до зайвих енергетичних і фінансових витрат, а також завдає шкоди мікрофлорі ґрунту. Крім того, верхній шар ґрунту, який залишається розпушеним після заробки добрив ґрунтообробними знаряддями, піддається ерозійним процесам; при вивітрюванні та вимиванні цього шару добрива, що знаходяться в ньому, потрапляють до населених пунктів та водойм, завдаючи шкоду для довкілля.

Враховуючи дані попереднього аналізу робимо висновок, що метод поверхневого розсіювання мінеральних добрив з подальшою заробкою є мало перспективним. Його удосконалення пов'язане з вирішенням комплексу питань, що стосуються рівномірного розподілення хімікатів по площі поля та повної і якісної їх заробки з розміщенням в задані горизонти орного шару, що є на даний час достатньо складною теоретико-прикладною задачею.

Одним з напрямків підвищення родючості ґрунтів є внесення мінеральних добрив під час виконання різних технологічних операцій.

Так, у вітчизняній та світовій практиці широко використовується внесення хімічних препаратів одночасно з сівбою, коли ефективність їх використання значно вища, так як добрива концентруються в безпосередній близькості від кореневої системи

рослини і краще засвоюються нею.

Однак, недоліком внесення добрив при посіві є те, що вони розташовуються або збоку рядка або безпосередньо в рядку, що для насіння деяких культур є неприпустимим. У випадку, коли добрива концентруються збоку рядка основної культури, частина їх енергії живлення витрачається на підживлення бур'янів, а корені культурних рослин вимушені «тягнутися» до зони живлення, на що затрачається енергія росту, ще явище отримало назву «хемотропізм». Крім того, таким способом може бути внесена тільки стартова доза добрив, так як ні розміри бункерів, ні розміри висівних апаратів не дозволяють вносити великі дози, а також наявність великої кількості мінеральних добрив поблизу висіяного насіння може призвести до втрати його схожості.

Основну дозу також вносять при основному полицевому та безполицевому обробітку ґрунту, коли гранульовані добрива розміщуються безпосередньо під робочими органами знарядь.

Внесення добрив при основному обробітку ґрунту має ряд переваг, оскільки в цьому випадку суміщаються декілька операцій в одну – обробіток ґрунту, внесення добрив та заробка добрив, що суттєво знижує затрати на отримання врожаю, а також знижує негативний вплив дії агрегатів на ґрунт за рахунок зменшення кількості їх проходів по полю. При такому способі внесення добрива концентруються в певному горизонті ґрунту і не втрачаються під атмосферним впливом.

Локальне внесення є найбільш прийнятним з точки зору агротехніки вирощування сільськогосподарських культур та ефективності використання добрив, так як при такому способі не потрібна додаткова операція заробки туків у ґрунт, а також відсутні втрати добрив за рахунок вивітрювання та вимивання опадами [7, 9]. Локальний спосіб дозволяє більш продуктивно використовувати малі дози мінеральних добрив, що знижує загальні витрати та витрати часу на виконання операції підживлення рослин [12]. За даними досліджень В.Е. Булаєва [1], при внесенні локальним способом концентрація P_2O_5 в шарі ґрунту 5-7 см досягає 230-240 мг у 100 г ґрунту при нормі його внесення 50-100 кг/га. Для отримання такої ж концентрації фосфорної кислоти в ґрунті при внесенні шляхом поверхневого розсіювання потрібно внести 900 кг/га добрив.

Вітчизняний та закордонний досвід ґрунтознавців свідчить про високу ефективність застосування в землеробстві комбінованих безполицевих знарядь, які не лише дозволяють захистити ґрунт від ерозійних процесів, а також зменшують шкідливу дію сільськогосподарських агрегатів на ґрунт за рахунок зменшення числа їх проходів, знижують затрати праці та витрати паливно-мастильних матеріалів на отримання врожаю [9].

Безполицевий обробіток ґрунту є більш ефективним, коли його комбінують з локальним внесенням добрив за допомогою тукових сошників, комбінованих, або інших додаткових пристроїв, які монтуються на плоскорізах та культиваторах для суцільного обробітку ґрунту [4, 6, 8, 11].

Враховуючи значення поверхневого обробітку ґрунту, в тому числі такі фактори, як підвищення якісних показників функціонування робочих органів, зменшення ймовірності обволікання рослинними рештками стояка та розпушувальної лапи, зниження енергоємності процесу, підвищення довговічності роботи, для вирішення поставленої задачі запропонований комбінований дисковий робочий орган оригінальної конструкції [2].

Розпушувальна лапа виконана у вигляді нахиленого під гострим кутом вперед конусного диска, який може вільно обертатися навколо осі стояка, при цьому стояк

виконано пустотілим і поєднаним з простором під диском, даний простір може використовуватись для транспортування та розсіювання гранул мінеральних добрив чи іншого сипкого матеріалу по поверхні поля в підлаповому просторі. По зовнішньому контуру диска виконано трапецієвидні вирізи (рис. 2).

Комбінований дисковий робочий орган (рис. 2) складається з диска 1, який має конусоподібну форму, встановленої під гострим кутом до напрямку руху. Диск 1 прикріплений до стояка 2, який в свою чергу закріплений до кронштейна 3 на рамі знаряддя, при цьому він може обертатися завдяки підшипникам 4.

У просторі під диском в точці сходу гранул добрив з порожнини стояка встановлено розподільник 5, при попаданні на який гранули добрив відбиваються та рівномірно розподіляються по ширині захвату диска.

На диску (рис. 3) по зовнішньому контуру виконано вирізи, які виконано у формі трапецій з правими a радіальними та лівими b бічними сторонами. Зуби загострені по зовнішньому діаметру c , по лівим боковинам b та по впадинам d .

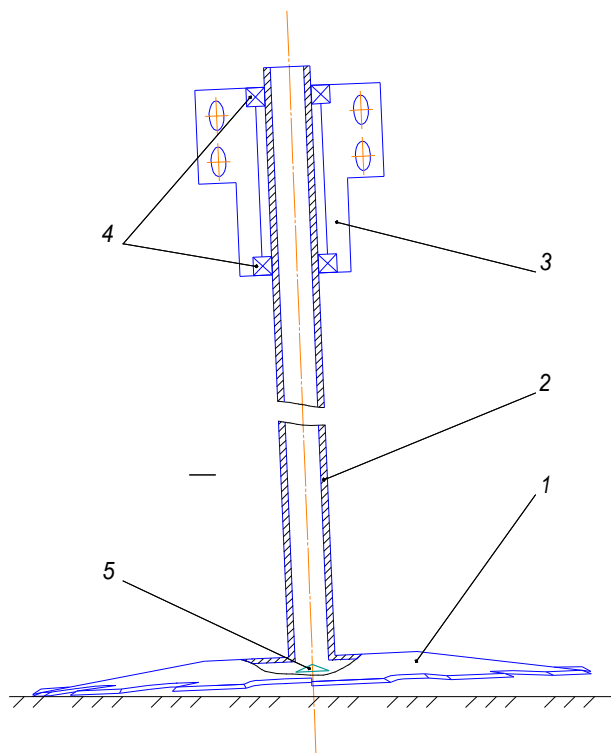


Рисунок – 2 Комбінований дисковий робочий орган:
1 – диск; 2 – стояк; 3 – кронштейн; 4 – підшипники;
5 – розподільник

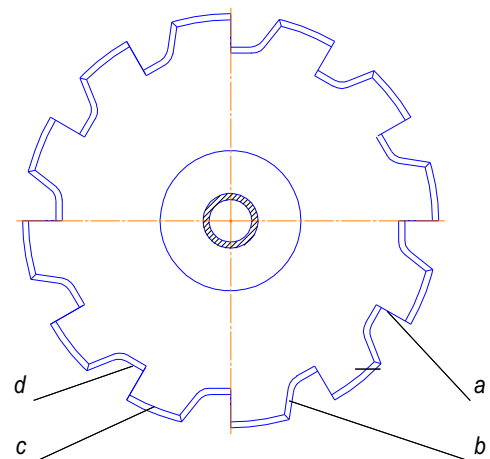


Рисунок – 3 Диск

Джерело: розроблено авторами

При переміщенні робочого дискового робочого органу диск сприймає опір ґрунту, при цьому його величина опору на ліву та праву частини є різною, що дозволяє диску вільно обертатися разом зі стояком у підшипникових вузлах. Напрямок обертання залежить від конфігурації та місця загострення вирізів на зовнішньому контурі диска, а саме: ліва частина лапи менше опирається тиску ґрунту через те, що передні ліві леза зубів загострені; і навпаки, права боковина зубів лапи незагострена, а самі зуби попарно відігнуті вверх і вниз

Рушійну силу обертання диска можна знайти за формулою:

$$P = k a b n, \quad (1)$$

де k – питомий опір ґрунту, що діє на робочий орган;

a – товщина диска;

b – ширина незагостреної частини зуба

n – кількість зубів, які приймають участь в роботі диска водночас.

При $k = 5 \text{ Н/см}^2$; $a = 0,3 \text{ см}$; $b = 1 \text{ см}$ та $n = 3$ знаходимо зусилля P_1 :

$$P_1 = 5 \times 0,3 \times 1 \times 3 = 4,5 \text{ Н}.$$

Зусилля P_2 з лівого боку диска, яке перешкоджає обертанню диска:

$$P_2 = 5 \times 0,03 \times 1 \times 3 = 0,45 \text{ Н}.$$

Тобто, загальне зусилля обертання диска:

$$P = P_1 - P_2 = 4,5 - 0,45 = 4,05 \text{ Н}.$$

Розраховане зусилля є достатнім для забезпечення плавного обертання диска навколо своєї осі. При такому обертанні диска зменшуються витрати енергії на рух його в ґрунті та на процес розпушення, покращується якість обробітку, а при потраплянні рослинних решток на вирізи диска вони при його обертанні легко видаляються з його поверхні. При цьому підвищується надійність та довговічність роботи дискового робочого органу через збільшення загальної суми довжин його леза.

Підвищення ефективності та частоти обертання дисків забезпечують нахилом його вперед відносно напрямку руху під деяким кутом, що зменшує дію ґрунту (і зусилля) на ліву частину диска і збільшує дію на праву частину диска.

Запропонована конструкція комбінованого дискового робочого органу в порівнянні з існуючими має такі переваги:

1. Завдяки вільному обертанні робочий орган забезпечує зниження енергоємності процесу рихлення.
2. Завдяки конструкції одночасно з обробітком ґрунту вносяться мінеральні добрива.
3. Значно зменшується можливість забивання робочих органів рослинними рештками.
4. Завдяки конусній формі диска підвищується експлуатаційна надійність.
5. Підвищується довговічність робочого органа завдяки збільшенню їх загальної довжини.

Мінеральні добрива, які вносяться такими знаряддями, розташовуються в ґрунті на чітко встановленій глибині, поживні речовини, які при цьому утворюються, є більш доступними для кореневої системи рослин і споживаються більш ефективно. Це особливо цінно для зон із недостатньою кількістю вологи, якими є Центральні та Південні області України.

Висновки. Виходячи з вказаного вище, можна зробити висновок, що більш перспективним способом підвищення родючості ґрунтів і урожайності сільськогосподарських культур є локальне внесення гранульованих мінеральних добрив, суміщене з поверхневим обробітком ґрунту. Очікується, що використання запропонованого комбінованого робочого органа дозволить зменшити час на виконання робіт за рахунок суміщення операцій розпушування ґрунту, внесення добрив і їх заробки, знизити витрати мінеральних добрив та загальні економічні витрати на отримання врожаїв.

Список літератури

1. Дейкун В.А., Сало В.М., Васильковський О.М. Аналіз способів внесення мінеральних добрив . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоградського держ. техн. ун-ту.* 2004. Вип. 14, 1. С. 47-51.
2. Иванов И. А., Конашенков А. А. Равномерность внесения удобрений и урожай. *Агрохимический вестник*, 1999. №7. С. 43-48.
3. Прохоров А.А. Исследование технологического процесса внесения минеральных удобрений при безотвальной обработке почвы. Автореф. дис. на соиск. научн. степени канд. техн. наук. Саратов. 1970.
4. Дука В. І. Рациональне використання добрив. Львів: Каменяр, 1967. 72 с.
5. А. В. Рудь, Ю. Ф. Павельчук, І. О. Мошенко Теоретичні дослідження процесу розподілу насіння зернових культур при підгрунтово-розкидному способі сівби . *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж.міжвід.наук.-техн. зб.* 2009. Вип. 39. С. 250-256.
6. Фатеев А. І., Скороход В. І., Ревенко О. В. Эффективность локального способа внесения минеральных удобрив на грунтах різного рівня родючості. *Агрохімія і ґрунтознавство.* 1992. Вип.54. С. 68-70.
7. Дейкун В. А. Обґрунтування параметрів робочого органа для внутрішньоґрунтового внесення мінеральних добрив: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.11 / Кіровоград, 2013.
8. Рабочий орган почвообрабатывающе-высевающего агрегата: пат. 2343 660 С1 RU; № 2007122151/12, опубл.: 20.01.2009, Бюл. №2.
9. Рабочий орган для локального внесения минеральных добрив чи посіву : пат 129713 МПК А01В 49/06. №u201804789; заявл. 02.05.2018; опубл. 12.11.2018. Бюл. №21.
10. Рудь А. В. Мошенко І. О., Павельчук Ю. Ф Рабочий орган сівалки для сівби зернових культур розкидним способом: короткий нарис до 60-річчя. Кам'янець-Подільський: ПДАУ, 2007. С.112.
11. А.с. 354790 СССР, МПК А01С7/20. Рабочий орган для внутривпочвенного высева семян и внесения удобрений / Сергеев И. Ф., Плехов Б. Г. №1066479; заявл. 3428446, 21.04.1982; опубл. 15.01.84. Бюл. №13.
12. Ґрунтообробний робочий орган: пат. 25169 Україна :МПК А01В 13/08 № u200703541; заявл. 30.03.2007; опубл. 25.07.2007, бюл. №11.

References

1. Dejgun, V.A., Salo, V.M. & Vasylykovskiy, O.M. (2004). Analiz sposobiv vnesennia mineral'nykh dobryv [Analysis of methods of application of mineral fertilizers]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomat yzatsiia: zb. nauk. prats' Kirovohrads'koho derzh. tekhn. un-tu.* – Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation: coll. of science works of the Kirovohrad state. technical university, Issue 14, 1, 47-51 [in Ukrainian].
2. Ivanov, I.A. & Konashenkov, A.A. (1999). Ravnornernost' vneseniia udobrenij i urozhaj [Fertilization uniformity and yield]. *Agrohimicheskij vestnik – Agrochemical Bulletin*, 7, 43-48 [in Russian].
3. Prohorov, A.A. (1970). Issledovanie tehnologicheskogo processa vneseniia mineral'nykh udobrenij pri bezotval'noj obrabotke pochvy [Study of the technological process of applying mineral fertilizers during non-moldboard tillage]. *Extended abstract of candidate's thesis.* Saratov [in Russian].
4. Duka, V.I. (1967). *Ratsional'ne vykorystannia dobryv [Rational vikoristannya dobriv]*. L'viv: Kameniar [in Ukrainian].
5. Rud', A.V., Pavel'chuk, Yu.F. & Moshenko, I.O. (2009). Teoretychni doslidzhennia protsesu rozpodilu nasinnia zernovykh kul'tur pry pidhruntovo-rozkydnomu sposobi sivby [Theoretical studies of the process of seed distribution of grain crops with the subsoil-spread method of sowing]. *Konstruivannja, vyrobnytstvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery*, Issue 39, 250-256 [in Ukrainian].
6. Fatiev, A.I., Skorokhod, V.I. & Revenko, O.V. (1992). Efektyvnist lokalnoho sposobu vnesennia mineral'nykh dobryv na hruntakh riznoho rivnia rodiuchosti [The effectiveness of the local method of applying mineral fertilizers on soils of different fertility levels]. *Ahrokhimiia i ґрунтознавство – Agrochemistry and soil science*, Issue 54, 68-70 [in Ukrainian].
7. Deykun, V.A. (2013). Zahal'nyy zbir parametriv robochoho orhanu dlya vnutrishn'oho pohlyblennja mineral'nykh dobryv [Justification of parameters of the working body for intrasoil application of mineral fertilizers] . *Candidate's thesis* . Kirovohrad [in Ukrainian].

8. Pat. 2343 660 C1 RU. Rabochyi orhan pochvoobrabatyvaiushche-vysevaiushcheho ahrehata [The working body of the tillage-seeding unit]. No. 2007122151/12, has been published January 20, 2009, Bul. No.2.
9. Pat 129713 MPK A01B 49/06. Robochyi orhan dlia lokalnoho vnesennia mineralnykh dobryv chy posivu [Working body for local application of mineral fertilizers or sowing]. No.u201804789; stated. May 02, 2018; has been published November 12, 2018. Bul. No.21. [in Ukrainian].
10. Rud, A.V., Moshenko, I.O. & Pavelchuk, Yu.F (2007). *Robochyi orhan sival'ky dlia sivby zernovykh kultur rozkydnym sposobom: korotkyi narys do 60-richchia* [The working body of the seeder for sowing grain crops by the spreading method: a short sketch for the 60th anniversary]. Kamianets-Podil'skyi: PDAU [in Ukrainian].
11. A.s. 354790 SSSR, MPK A01S7/20. Rabochyi orhan dlia vnutrypochvennoho vyseva semian y vnesenya udobrenyi [Working body for subsurface sowing of seeds and fertilization]. No.1066479; stated. 3428446, April 21, 1982; has been published January 15, 1984, Bul. No.13.
12. Pat. 25169 Ukraina : MPK A01B 13/08. Hruntoobrobnyi robochyi orhan [Tillage working body]. No.u200703541; stated. Mach 30, 2007; has been published July 25, 2007, Bul. No.11. [in Ukrainian].

Viktor Deikun, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Zhuk**, postgraduate, **Yurii Machok**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Overview of Application Methods and Application Efficiency Mineral Fertilizers

The article provides an analysis of the influence of factors that influence the increase in the yield of agricultural crops, the importance of using mineral fertilizers and their effect on plants is indicated. An analysis of the existing methods of applying mineral fertilizers was carried out. The methods of applying fertilizers to the soil are considered, the advantages and disadvantages of these methods are given. The results of the scientists' research on the placement of mineral fertilizers applied by the method of surface scattering in the soil horizons after their cultivation by tillage tools are presented. Attention is focused on the local method of applying fertilizers, combined with surface cultivation of the soil, with combined tools. The methods of placement of mineral fertilizers, introduced by the intrasoil method, relative to the root system of cultivated plants and their effect on plants are considered.

It was determined that the priority method of fertilizing is in-soil combined with surface tillage. An analysis of tillage tools that can be used for this operation is given. The design of the combined disk tool designed for this technological operation is presented. Design solutions that provide quality performance indicators of the proposed tool are indicated and attention is focused on its advantages over existing analogues.

It has been established that a more promising way of increasing soil fertility and crop yield is the local application of granular mineral fertilizers combined with surface tillage. It is expected that the use of the proposed combined working body will allow to reduce the time for the execution of works due to the combination of operations of loosening the soil, applying fertilizers and their earnings, reducing the costs of mineral fertilizers and the general economic costs of obtaining crops.

soil, surface, mineral fertilizers, locally, fertility, efficiency

Одержано (Received) 11.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 01.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.171

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.48-55>

Р.Б. Кудринський, ст. наук. співр., канд. техн. наук, **В.І. Днесь**, ст. дослідник, канд. техн. наук, **С.О. Крупич**

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України, Глеваха, Україна

e-mail: kudsl@ukr.net, dnes.viktor@ukr.net, sokrupych1@gmail.com

Методичний підхід до обґрунтування експлуатаційних показників машинно-тракторного агрегату за енергоощадних технологій

У статті розглядається математична модель визначення експлуатаційних показників машинно-тракторного агрегату, для визначення раціонального парку машин господарства, який забезпечує виконання робіт із мінімальними експлуатаційними затратами та в оптимальні агротехнічні строки.

Отримано структуру експлуатаційних витрат під час вирощування сільськогосподарських культур за різних технологій. Закономірності зміни експлуатаційних витрат на вирощуванні сільськогосподарських культур за технологій No-till і Strip-till.

Застосування даних закономірностей дає можливість ще на етапі планування отримати прогнозні значення ефективності використання машинно-тракторного парку господарства.

технічні засоби, планування механізованих робіт, комплектування машинно-тракторного парку

Постановка проблеми. Економіко-математична модель задачі обґрунтування оптимального складу МТП містить у собі функцію мети або критерій оптимізації й обмеження, що обумовлені умовами задачі. Можливі наступні обмеження: вимоги агротехніки до якості виконання операцій, які задаються умовами агротехніки виробництва відповідного виду продукції та приймаються сталими; календарні та агротехнічні терміни виконання робіт, які залежать від вирощуваної культури, стану поля, погодних умов і є змінними; вартість технічних засобів, яка зумовлює величину експлуатаційних затрат.

Під час вирішення завдань аграрного виробництва критерієм оптимізації звичайно приймають максимум або мінімум окремо виражених цільових функцій (функціоналів). Це може бути: максимальна продуктивність машинних агрегатів, мінімальна їх кількість, мінімальні витрати пального, мінімум балансової вартості машин, мінімум витрат на утримання та експлуатацію комплексів машин, мінімум обслуговуючого персоналу, мінімум робочих днів, максимум обсягу виробництва кінцевої продукції. Все ж таки найкраще вимогам господарського, системного та ситуативного підходів до вибору раціонального складу комплексів машин відповідають приведені витрати, тобто коли за оптимальний приймають варіант складу парку, для якого сума витрат на придбання, утримання в господарстві комплексу машин і виконання всіх робіт є найменшою.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Серед множини факторів, що впливають на стан складної динамічної системи, яку визначає поставлена задача, за твердженнями різних авторів [1–3], основну роль відіграють склад машинних агрегатів, які призначені для виконання тієї чи іншої технологічної операції, умови їх роботи, агротехнічні строки виконання операцій, обсяги робіт на кожній із них, а також площі

вирощування сільськогосподарських культур.

Першим кроком розрахунку експлуатаційних показників комплексів машин для виробництва продукції за різних систем землеробства є аналіз і уточнення, за необхідності, технологічних регламентів виробництва продукції рослинництва. Наступним кроком є розробка технологічних карт, за допомогою яких дано техніко-економічну оцінку технологічних процесів і комплексів машин.

До основних експлуатаційних показників машинно-тракторних агрегатів за твердженням автора [4] можна віднести: тяговий опір; середня експлуатаційна швидкість у виробничих умовах; радіус повороту; коефіцієнт робочих ходів; коефіцієнт технологічного обслуговування; коефіцієнт надійності технологічного процесу; коефіцієнт технічного обслуговування; коефіцієнт експлуатаційної надійності; коефіцієнт використання часу; продуктивність за 1 годину чистої роботи; продуктивність за 1 годину змінного часу; витрата пального на одиницю обробленої площі.

Постановка завдання. Сформулювати математичну модель визначення експлуатаційних показників машинно-тракторних агрегатів.

Виклад основного матеріалу. Одними з основних техніко-експлуатаційних показників машинно-тракторного парку (МТП) виступають показники для оцінювання рівня його використання – загальний рівень виконання плану тракторних робіт, середньорічний виробіток на трактор кожної марки, середньорічний, середньоденний та середньозмінний виробіток на трактор, коефіцієнт змінності, коефіцієнт використання річного фонду робочого часу тощо.

Математична модель визначення експлуатаційних показників МТА, яка базується на ДСТУ 4397:2005 «Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування» [5] враховує основні експлуатаційні показники роботи МТА, дає можливість ще на етапі планування роботи машинно-тракторних агрегатів отримати прогностичні значення ефективності використання машинно-тракторного парку господарства.

У загальному випадку математичну модель визначення експлуатаційних показників МТА на вирощуванні сільськогосподарських культур у загальному вигляді можна записати таким виразом:

$$E_n = f(Z_a, Z_{пмм}, Z_{оп}, Z_{рто}, Z_c, Z_k, Z_{зб}),$$

де Z_a – затрати на амортизаційні відрахування;

$Z_{пмм}$ – затрати на паливо мастильні матеріали;

$Z_{оп}$ – затрати на оплату праці;

$Z_{рто}$ – затрати на ремонт і технічне обслуговування;

Z_c – затрати на страхування;

Z_k – затрати на погашення кредитів

$Z_{зб}$ – затрати на зберігання.

Були враховані наступні основні фактори, які впливають на стан складної динамічної системи: склад машинних агрегатів, які призначені для виконання тієї чи іншої технологічної операції, умови їх роботи, агротехнічні строки виконання операцій, обсяги робіт на кожній із них, а також площі вирощування сільськогосподарських культур.

Затрати праці, коштів, енергії та ін. на виконання даної технологічної операції визначали опираючись на результати досліджень авторів [4, 8–10] наступним чином:

$$R_j^0 = \frac{r_{ij} \cdot \Theta_j}{W_{ij}}, \quad (1)$$

де R_j^0 – затрати на весь обсяг робіт на j -тій операції;

r_{ij} – годинні затрати при роботі i -того агрегату на j -тій операції, грн/год;

W_{ij} – годинна продуктивність i -того агрегату на j -тій операції, га (т);

Θ_j – обсяг робіт на j -тій операції, га (т).

Обсяг робіт при виконанні j -тої операції дорівнює:

$$\Theta_j = S_k \cdot k_j, \quad (2)$$

де S_k – площа вирощування даної сільськогосподарської культури, га;

k_j – коефіцієнт, який враховує обсяг робіт на одиниці площі.

Підставивши у формулу (1) замість Θ_j його значення із формули (2) одержали:

$$R_j^0 = \frac{r_{ij} \cdot S_k \cdot k_j}{W_{ij}}. \quad (3)$$

Встановивши, застосовуючи формулу (2), обсяг робіт Θ_j можна визначити годинні обсяги робіт (ϖ_j):

$$\varpi_j = \frac{S_k \cdot k_j}{T_j}, \quad (4)$$

де T_j – час, який відводиться на виконання j -тої операції.

Виходячи із агротехнічно-допустимого швидкісного режиму виконання j -тої технологічної операції, питомого опору ґрунту, фону поля, параметрів технічної характеристики енергетичного засобу дотична сила тяги останнього за можливостями двигуна дорівнює:

$$P_k = \frac{3,6N_H \cdot \eta_{MG}}{g_D}, \quad (5)$$

де P_k – дотична сила тяги, кН;

N_H – номінальна потужність двигуна, кВт;

η_{MG} – коефіцієнт корисної дії трансмісії;

g_D – допустима робоча швидкість агрегату, км/год.

Для збиральних агрегатів, які обмолочують або подрібнюють продукцію, максимально допустима робоча швидкість руху за умов оптимального завантаження машини за пропускною здатністю визначалася залежністю:

$$g_D = \frac{3,6 \cdot g_\phi}{B_p \cdot Q}, \quad (6)$$

де g_ϕ – пропускна здатність машини, кг/с;

B_p – робоча ширина захвату машини, м;

Q – урожайність продукції, т/га.

У зв'язку з тим, що рушійна сила обмежується силою зчеплення ведучих коліс енергозасобу з ґрунтом, її значення розраховувалось:

$$F_{\max} = G_{mp} \cdot g \cdot \mu \cdot \varphi, \quad (7)$$

де F_{\max} – максимальна сила зчеплення ведучих коліс енергозасобу з ґрунтом, кН;

G_{mp} – маса енергетичного засобу, т;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

μ – коефіцієнт зчеплення ведучих коліс енергозасобу з ґрунтом.

φ – коефіцієнт, який враховує розподіл маси енергетичного засобу на ведучий апарат.

Основні сили опору руху енергетичних засобів (P_c) визначалася:

$$P_c = G_{mp} \left(f \pm \frac{i}{100} \right), \quad (8)$$

де f – коефіцієнт опору перекошування;

i – нахил місцевості, %.

Для багатоопераційних агрегатів спочатку визначається можлива ширину захвату машинного агрегату:

$$B_m = \frac{P_{zak}}{\sum_{\xi=1} R_{\xi} B_{\xi}}. \quad (9)$$

де B_m – максимальна теоретична ширина захвату агрегату, м;

R_{ξ} – опір машини ξ -того типу, кН;

B_{ξ} – конструкційна ширина захвату машини ξ -того типу, м.

Робоча швидкість агрегату з урахуванням буксування рушіїв визначається з залежності:

$$\mathcal{G}_p = \mathcal{G}_d \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100} \right), \quad (10)$$

де \mathcal{G}_p – робоча швидкість агрегату, км/год;

δ – буксування рушіїв, %.

Продуктивність технологічних машинних агрегатів визначається за відомою формулою:

$$W_T = 0,36 \cdot B \cdot \beta \cdot \mathcal{G}_p \cdot \tau, \quad (11)$$

де W_T – продуктивність агрегату за годину зміни;

B – конструктивна ширина захвату агрегату, м;

β – коефіцієнт використання ширини захвату;

\mathcal{G}_p – робоча швидкість агрегату, м/с;

τ – коефіцієнт використання часу зміни;

ε – коефіцієнт використання вантажопідйомності навантажувально-розвантажувальних засобів;

W_n – технічна продуктивність навантажувально-розвантажувальних засобів, т/год.

Знаючи годинний обсяг робіт і продуктивність машинних агрегатів можна визначали необхідну цілочислову кількість машинних агрегатів для виконання кожної технологічної операції:

$$\chi_{ij} = \left\lceil \frac{\varpi_j}{W_{ij}} \right\rceil. \quad (12)$$

Оцінку роботи машинних агрегатів визначаємо за показниками приведених витрат, затрат робочого часу, витрат палива на гектар обробітку, тощо.

Техніко-економічну оцінку технологічних комплексів машин визначали через величину прямих експлуатаційних затрат на вирощування та збирання урожаю сільськогосподарських культур [5].

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю виконаної роботи розраховані на кожну технологічну операцію за відомими формулами.

Прямі експлуатаційні затрати на одиницю виконаної агрегатом роботи (3) визначали за формулою:

$$Z = Z_{on} + Z_{nm} + Z_a + Z_{pmo}, \quad (13)$$

де Z_{on} – оплата праці обслуговуючого агрегат персоналу, грн/га;

$Z_{лмм}$ - вартість витрачених паливно-мастильних матеріалів, грн/га;

Z_a - відрахування на амортизацію трактора і сільськогосподарських машин, які входять до складу агрегату, грн/га;

$Z_{пто}$ - відрахування на капітальний і поточний ремонт, та технічне обслуговування тракторів і машин, що входять до складу МТП, грн/га.

Приведені затрати (Π_3) на машинний агрегат визначали за формулою:

$$\Pi_3 = Z + eK, \quad (14)$$

де e – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($e = 0,15$);

K – величина питомих капітальних вкладень, грн/га:

Для розрахунку потреби в машинно-тракторному в зоні Степу було здійснено розподіл господарств на 7 груп за площею ріллі: до 50 га, 51-100 га, 101-500 га, 501-1000 га, 1001-2000 га, 2001-3000 га та більше 3001 га. Також було прийнято, що в господарстві застосовується інтенсивна технологія вирощування рілльничої продукції (No-Till чи Strip-Till), 4-пільна сівозміна з наступною структурою посівних площ сільськогосподарських культур: під зерновими – 55-60%; під технічними – 10-20; під чорним паром – 10-20%.

На підставі досліджень з використанням розробленого програмного забезпечення визначено мінімально необхідну кількість технічних засобів для комплектування машинно-тракторних аграрних для п'яти груп господарств степової зони, а саме 101-500 га, 501-1000 га, 1001-2000 га, 2001-3000 га та більше 3001 га.

У результаті техніко-економічної оцінки технологічних процесів і комплексів машин для виробництва продукції рослинництва за інтенсивною та органічною системами землеробства встановлено, що в структурі сукупних експлуатаційних затрат при вирощуванні сільськогосподарських культур за інтенсивною технологією (No-till, Strip-till) в структурі сукупних експлуатаційних затрат на вирощуванні сільськогосподарських культур 55...66% складають затрати на технологічні матеріали, а в системі органічного землеробства близько 75 % складають затрати на технічні засоби (рис. 1).

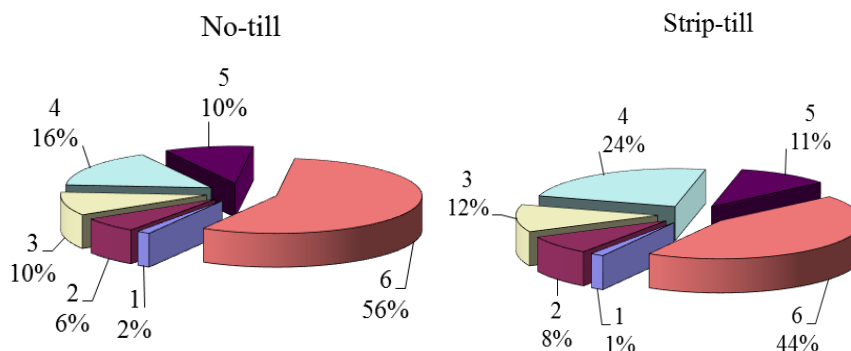


Рисунок 1 – Структура експлуатаційних витрат під час вирощування сільськогосподарських культур за різних технологій:

1 – оплата праці; 2 – ПММ; 3 – ремонт і ТО; 4 – амортизація; 5 – насіння та посадковий матеріал; 6 – добрива і ЗЗР

Джерело: розроблено авторами

Визначено експлуатаційні витрати на вирощуванні сільськогосподарських культур при однаковій номенклатурі МТП за різних технологій та посівної площі господарства.

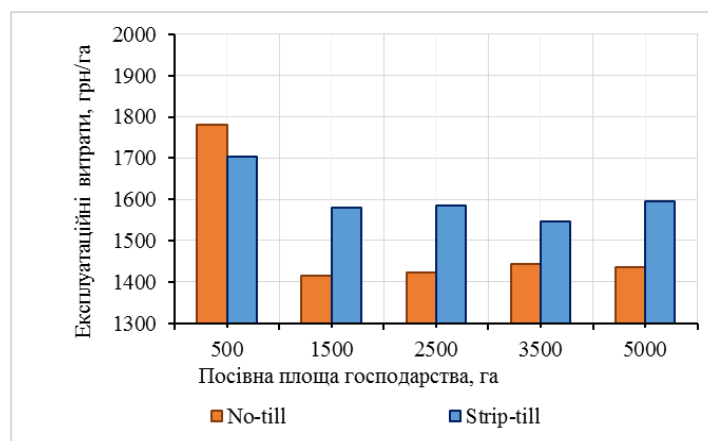


Рисунок 2 – Залежність експлуатаційних витрат на вирощування сільськогосподарських культур за однакової номенклатури МТП від посівної площі господарства

Джерело: розроблено авторами

Для різних видів робіт параметри технічних засобів які входять до складу технологічних комплексів машин узгоджують за шириною захвату, продуктивністю та коефіцієнтом завантаження, що дозволяє підвищити ефективність їх використання. За таких умов параметри допоміжних машин узгоджують з параметрами машин для виконання головної технологічної операції.

Висновки. 1. Вибір технічних засобів необхідно здійснювати з урахуванням вимог агротехніки вирощування сільськогосподарських культур, зональних ґрунтово-кліматичних умов та стану полів. Для забезпечення виконання робіт з мінімальними експлуатаційними затратами комплектувати машинно-тракторний парк необхідно технічними засобами, які забезпечують якісне виконання робіт в оптимальні агротехнічні строки.

2. Встановлено, що в структурі сукупних експлуатаційних затрат на вирощування сільськогосподарських культур за інтенсивною технологією близько 55...66% складають затрати на технологічні матеріали, які використовуються під час вирощування сільськогосподарських культур.

3. Розроблена математична модель із визначення експлуатаційних показників роботи МТА дає можливість ще на етапі планування отримати прогностні значення ефективності використання машинно-тракторного парку господарства.

Список літератури

1. Губко В. Р., Диденко Н. К., Финн Э. А. Использование системы машин в растениеводстве. Киев : Урожай, 1977. 320 с.
2. Ільченко В. Ю., Карасьов П. І., Лімонт А. С. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві. Київ : Урожай, 1993. 288 с.
3. Сидорчук О. В., Сенчук С. Р. Інженерний менеджмент: системо-техніка виробництва: навчальний посібник. Львів : ЛДАУ, 2006. 127 с.
4. Адамчук В.В., Сидорчук О.В., Мироненко В.Г. Системно-проектні підстави управління парком машин сільськогосподарських товаровиробників. *Вісник аграрної науки*. 2014. №11. С.33–40.
5. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 16 с.
6. Грицишин М. І. Методологічні основи комплектування МТП аграрних підприємств в умовах обмеженого ресурсного забезпечення. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. зб. ННЦ «ІМЕСГ»*. 2014. Вип. 99, т. 2. С. 392–400.
7. Кудринський Р. Б., Грицишин М. І. Обґрунтування ефективних технологічних комплексів машин для виробництва продукції рослинництва в сільськогосподарських підприємствах. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. зб. ННЦ «ІМЕСГ»*. 2015. Вип. № 1 (100). С. 250–259.

8. Шлапак М.А. Розвиток асоціаційних форм використання сільськогосподарської техніки: дис. ... д-ра с.-г. наук : 08.00.04 / Житомир. нац. агрокол. ун-т. Житомир, 2018. 224с.
9. Мельник І. І., Гречкосій В. Д., Марченко В. В. Оптимізація комплексів машин і структури машинно-тракторного парку та планування технічного сервісу. Київ : Видавничий центр НАУ, 2001. С. 5–47.
10. Діденко М. К. Експлуатація машинно-тракторного парку. Київ : Вища школа, 1983. 147 с.
11. Сидорчук О.В., Днесь В.І., Скібчик В.І. Аналіз методів дослідження та моделей подій у проєктах на різних етапах планування збирання ранніх зернових. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: наук. журнал.* 2011. №7. С.141–144.

References

1. Gubko, V.R., Didenko, N.K. & Finn, E.A. (1977). *Ispolzovaniye sistemy mashin v rasteniyevodstve* [Use of machine system in crop production]. Kiyev : Urozhay [in Russian]
2. Ilchenko, V.Yu., Karasov, P.I. & Limont, A.S. (1993). *Ekspluatatsiya mashynno-traktornoho parku v ahrarnomu vyrobnytstvi* [Operation of the machine and tractor fleet in agricultural production]. Kyiv : Urozhay, 288 s. [in Ukrainian]
3. Sydorhuk, O.V. & Senchuk, S.R. (2006). *Inzhenernyy menedzhment: systemo-tehnika vyrobnytstva: navchalnyy posibnyk* [Engineering management: system engineering of production: study guide]. Lviv : LDAU, [in Ukrainian]
4. Adamchuk, V.V., Sydorhuk, O.V. & Myronenko, V.H. (2014). Systemno-proektni pidstavy upravlinnya parkom mashyn silskohospodarskykh tovarovyrobnykiv [System and project bases of managing the fleet of machines of agricultural producers]. *Visnyk ahrarnoyi nauky – Herald of Agrarian Science*, 11, 33–40. [in Ukrainian]
5. Silskohospodarska tekhnika. Metody ekonomichnoho otsynuyannya tekhniki na etapi vyprobuvannya [Agricultural machinery. Methods of economic evaluation of equipment at the test stage]. (2005). DSTU 4397:2005. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian]
6. Hrytsyshyn, M.I. (2014). Metodolohichni osnovy komplektuvannya MTP ahrarnykh pidpryyemstv v umovakh obmezhenoho resursnoho zabezpechennya [Methodological bases of MTP equipment of agrarian enterprises in conditions of limited resource provision]. *Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya silskoho hospodarstva zahal'nodержavnnyy zbirnyk NNTS «IMESH» – Mechanization and Electrification of Agriculture, national collection of the NSC "IMESG"*, Issue 99, Vol. 2, 392–400 [in Ukrainian].
7. Kudrynetskyi, R.B., Hrytsyshyn, M.I. (2015). Obruntuvannya efektyvnykh tekhnolohichnykh kompleksiv mashyn dlya vyrobnytstva produktsiyi roslynnytstva v silskohospodarskykh pidpryyemstvakh [Justification of effective technological complexes of machines for the production of plant products in agricultural enterprises]. *Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya silskoho hospodarstva zahal'nodержavnnyy zbirnyk NNTS «IMESH» – Mechanization and electrification of agriculture: general government. coll. NSC "IMESG"*, Issue 1 (100), 250–259 [in Ukrainian].
8. Shlapak, M.A. (2018). Rozvytok asotsiatsiynnykh form vykorystannia sil'skohospodars'koi tekhniki [Development of associational forms of agricultural machinery use]. *Doctor's thesis.* Zhytomyr [in Ukrainian].
9. Melnyk, I.I., Hrechkosiy, V.D. & Marchenko, V.V. (2001). *Optymizatsiya kompleksiv mashyn i struktury mashynno-traktornoho parku ta planuvannya tekhnichnoho servisu* [Optimization of machine complexes and the structure of the machine-tractor park and planning of technical service.]. Kyiv : Vydavnychy tsestr NAU [in Ukrainian]
10. Didenko, M.K. (1983). *Ekspluatatsiya mashynno-traktornoho parku* [Operation of the machine and tractor fleet]. Kyiv : Vyshcha shkola [in Ukrainian]
11. Sydorhuk, O.V., Dnes, V.I. & Skibchik, V.I. (2011). Analiz metodiv doslidzhennya ta modeley podiy u proektakh na riznykh etapakh planuvannya zbyrannya rannikh zernovykh [Analysis of research methods and event patterns in projects at different stages of early grain harvesting planning]. *Komp'yuterno-intehrovani tekhnolohiyi: osvita, nauka, vyrobnytstvo Naukovyy zhurnal – Computer-integrated technologies: education, science, production: scientific journal*, 7, 141–144 [in Ukrainian].

Rostyslav Kudrynetskyi, sen. resear. sci., PhD tech. sci., **Viktor Dnes**, PhD tech. sci., sen. resear., **Stepan Krupych**

Institute of Mechanics and Automatics of Agroindustrial Production of the National academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Glevakha, Ukraine

A Methodical Approach to Substantiating the Performance Indicators of the Machine-Tractor Unit Using Energy-saving Technologies

The article considers a mathematical model for determining the operational indicators of a machine-tractor unit, for determining a rational fleet of farm machines that ensures the performance of work with minimal operating costs and in optimal agrotechnical terms.

The structure of operating costs during the cultivation of agricultural crops using different technologies was obtained. Patterns of changes in operational costs for growing crops using No-till and Strip-till technologies.

The application of these regularities makes it possible to obtain predictive values of the efficiency of the use of the farm's machine-tractor park even at the planning stage.

The choice of technical means must be carried out taking into account the requirements of agricultural techniques for growing agricultural crops, zonal soil and climatic conditions and the condition of the fields. To ensure the performance of works with minimal operating costs, it is necessary to equip the machine and tractor park with technical means that ensure high-quality performance of works in optimal agrotechnical terms. It was established that in the structure of the total operational costs for growing agricultural crops using intensive technology, about 55...66% are the costs of technological materials used during the cultivation of agricultural crops. The developed mathematical model for determining the performance indicators of the MTA makes it possible to obtain predictive values of the efficiency of the use of the farm's machine-tractor fleet even at the planning stage.

technical means, planning of mechanized works, equipment of the machine and tractor park

Одержано (Received) 19.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 02.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.632.3

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.55-65>

Б. І. Котов, проф., д-р техн. наук

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна

С. П. Степаненко, ст. наук. співр., д-р техн. наук

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва, смт Глеваха, Україна

e-mail: stepanenko_s@ukr.net

Р. А. Калініченко, доц., канд. техн. наук

ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут», м. Ніжин, Україна

Теоретичне дослідження поділу насінневого матеріалу за густиною зернівок конічною вібропневмоцентрифугою

В статті розглядаються дослідження поділу насінневого матеріалу за густиною зернівок конічною вібропневмоцентрифугою з врахуванням розподілу швидкості повітря в поперечному перетині аспіраційного каналу, для визначення раціональної форми та параметрів робочих органів конічної вібропневмоцентрифуги, а також технологічних показників роботи машини: подачі, витрат, ефективності поділу насінневого матеріалу на фракції. Науковими дослідженнями сформульовано вдосконалені математичні моделі переміщення зернівки у вібропневмоцентрифужному шарі конічної вібровідцентрованої центрифуги, які враховують зміну дії відцентрової сили в залежності від координати зернівки за висотою конуса, що дозволяють з різним ступенем точності визначити параметри руху. Обґрунтовано, що при використанні конічної опорної поверхні вібровідцентрованої центрифуги товщина перемішуючого шару зерна збільшується в напрямку руху і можна теоретичними розрахунками визначити раціональні геометричні та кінематичні параметри ротора, які забезпечують якісний поділ насінневого матеріалу за густиною.

Отримані системи нелінійних диференційних рівнянь із початковими умовами розв'язано в програмному середовищі MathCad у вигляді траєкторій руху зернівки в повітряному потоці, що дозволяє розраховувати та встановити тенденції їх траєкторій руху, які різняться коефіцієнтами парусності та визначити раціональні значення параметрів конічної вібропневмоцентрифуги.

насінневий матеріал, густина, зернівка, конічна вібропневмоцентрифуга, потік повітря, процес поділу

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку сільськогосподарського машинобудування, одним із резервів підвищення якості або ефективності технічних засобів для підготовки насінневого матеріалу до висіву є використання існуючої елементної бази промислових вібровідцентрових зерносеparatorів із вдосконаленими віброротаційними робочими органами, які здатні замінити пневмосортувальні столи.

Ефективність процесу поділу насінневого матеріалу за густиною зернівок [1, 4-6, 15-22] на циліндричних безпровальних решетах визначається переважно двома факторами: інтенсивністю переміщення «важких» частинок (зернівок) у радіальному напрямку під дією відцентрової сили та швидкістю переміщення шару матеріалу вздовж твірної циліндра в напрямку вивантаження під дією сил тяжіння та інерції коливального руху решета. При збільшенні частоти коливань інтенсифікується розпушування шару і «важкі» зернівки швидше досягають поверхні решета [2, 13-15, 17] тобто процес сегрегації інтенсифікується [1, 10, 20-22]. Але при цьому збільшується швидкість переміщення шару насінневого матеріалу до вивантаження і певна кількість «важких» зернівок виноситься у збірник «легкої» фракції в наслідок чого ефективність поділу знижується [1, 2, 4, 6, 8]. Збільшення кутової швидкості обертання ротора призводить до зависання шару матеріалу на решеті.

Часткового зменшення швидкості переміщення шару матеріалу з одночасною інтенсифікацією розпушення шару можна досягти використанням безпровального решета у формі усіченого конуса з меншим нижнім діаметром [17].

Для оцінки ефективності використання конічної віброцентрифуги для поділу компонентів зернового матеріалу необхідно провести теоретичний аналіз.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз функціонування зерносеparatorуючих машин, що використовують пневмовіброзрідження зернових матеріалів проведений у фундаментальних роботах [1, 2] та приводить до висновку, що можливості подальшого вдосконалення пневмосортувальних столів практично вичерпано і подальше збільшення продуктивності процесів поділу насінневого матеріалу пов'язано з використанням машин вібровідцентрової дії. При цьому в роботах [3, 4, 5] доведено доцільність використання в якості робочих органів циліндричних віброрешіт. В подальших дослідженнях [5, 6, 7] виявлено недоліки циліндричних решіт і обґрунтовано доцільність використання каскадних конічних решіт, ефективність яких теоретично та експериментально обґрунтована в роботі [5]. Математичні моделі, які описують процеси вібровідцентрової сепарації наведено в роботах [7-9] але вони обмежуються розглядом процесів переміщення зернівки по конічній поверхні, яка обертається навколо вертикальної вісі і здійснює коливання у вертикальній площині, крім того внутрішньо шарові процеси не розглянуто. Слід зауважити, що при математичному описі не враховується зміна радіальної координати за висотою конуса. Переміщення зернівки у вібровідцентровому зрідженому шарі розглянуто теоретично в роботах [4, 10, 11]. Але зміна радіальної координати руху зернівки за висотою конуса, як в середині шара так і по її поверхні в математичному описі не враховано.

Таким чином є необхідність уточнити модельні уявлення про процеси поділу насінневого матеріалу при використанні конічних обертально-вібраційних поверхонь.

Постановка завдання. Уточнити фізико-механічний перебіг процесу і математичні моделі для розрахунку процесів переміщення зернівки в шарі і по поверхні в конічній вібровідцентровій центрифугі.

Виклад основного матеріалу. Технологія сортування насіння за густиною, як найважливішим показником якості, передбачає попереднє очищення і сортування за розміром на решетах і трієрах та остаточний поділ в конічній вібровідцентровій центрифугі.

В загальному вигляді процес вібропневматичної сепарації насіннєвих матеріалів на поверхні конічної центрифуги можна розглядати або уявити, як перебіг розшарування насіння у рухомому псевдозрідженому шарі, тобто перерозподіл насіння за висотою (товщиною) шару під дією вібрацій, повітряного потоку та відцентрової сили. При цьому «легкі» насінини, які мають густину нижче середньої, «спливають» до відкритої поверхні, а «важкі» насінини занурюються вглиб насіннєвого шару до опорної поверхні ротора центрифуги. Ансамбль зернівок, які мають «середню» за об'ємом шару густину називають середовищем або постіллю. Параметри коливань і стану постілі вважаються постійними в часі. Розшарування коливного псевдозрідженого шару насіннєвого матеріалу та його переміщення вздовж опорної конічної поверхні відбуваються одночасно.

Інтенсивність переміщення зернівок у псевдозрідженому шарі спостерігається у зв'язку із розпушеністю шару насіннєвого матеріалу, тобто збільшується взаємне переміщення зернівок за товщиною шару. Швидкість переміщення шару по опорній поверхні залежить від частоти коливань конічної поверхні, яка в конічній вібровідцентровій центрифугі інтенсифікує розпушення шару насіннєвого матеріалу за рахунок часткових радіальних переміщень насіння за товщиною матеріалу.

Це пояснюється тим, що при переміщенні насінини матеріалу під дією сили інерції I та сили тяжіння G безпосередньо по опорній поверхні оберненого усіченого конуса рис. 1, зміщується не тільки вздовж вертикальної вісі конуса, але й ще на певні відстані в бік вісі та від неї.

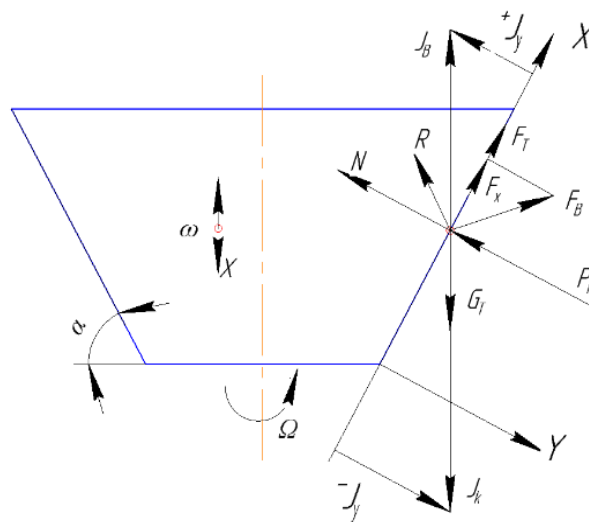


Рисунок 1 – Схема дії сил на зернівку, яка переміщається по поверхні конічної вібровідцентровій центрифуги

Джерело: розроблено авторами з використанням [1, 4, 9, 17]

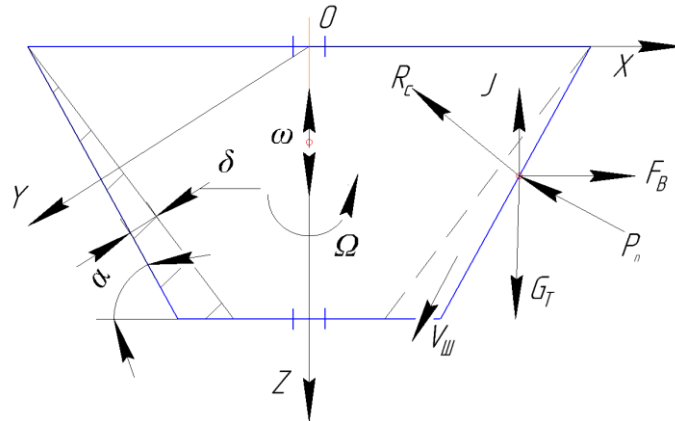


Рисунок 2 – Схема сил, що діють на зернівку у вібропневмозрідженому шарі в полі відцентрових і гравітаційних сил

Джерело: розроблено авторами з використанням [1, 4, 9, 17]

При такому переміщенні зернівки їй чинить опір додаткова складова відцентрової сили інерції F_B спрямованої вздовж поверхні в результаті чого швидкість зернівки V_r стає меншою за середню швидкість шару насінневого матеріалу. Крім того на зернівку діють складові сили інерції $I_{x,y}$ переносного руху конуса при його русі «вверх – вниз» у вертикальній площині.

Для визначення параметрів внутрішньо шарового руху зернівки з урахуванням наведеної вище фізичної моделі процесу [4, 10, 11, 17, 20-22] доцільно використовувати детерміновану математичну модель вібраційного сепарування сипких матеріалів, яка при використанні додаткового повітряного потоку (спрямованого нормально до опорної коливної поверхні) та відцентрової сили (від обертального руху) може бути записана у вигляді диференціального рівняння:

$$m_1 \cdot \bar{v} = m_0 \cdot (\Delta - 1) \cdot (\mathbf{g} - \bar{u}) + \bar{R}(\mathbf{v}) + m_0 \cdot (\Delta - 1) \cdot \bar{F}_B + \bar{F}_P(V_P) \quad (1)$$

де \bar{v} – швидкість зернівки відносно середовища;

\bar{u} – абсолютна швидкість середовища в точці співпадаючій з центром тяжіння зернівки (швидкість переносного руху);

m_1 – маса зернівки;

m_0 – маса середовища в об'ємі зернівки; $\Delta = \frac{m_1}{m_0} = \frac{\rho_1}{\rho_0}$;

ρ_1, ρ_0 – густина зернівки і середовища відповідно;

\mathbf{g} – прискорення сили тяжіння;

$\bar{R}(\mathbf{v})$ – сила з якою середовище діє на зернівку (сила опору середовища);

\bar{F}_B – відцентрова сила;

\bar{F}_P – сила тиску повітряного потоку.

Рух шару насінневого матеріалу по поверхні конуса, який обертається навколо вертикальної вісі та здійснює гармонічні поступальні коливання вздовж вертикальної вісі симетрії, які узагальнено законом - $A \cdot \sin(\omega \cdot t)$, де A – амплітуда коливань; ω – частота коливань поверхні конуса; моделюється переміщенням матеріальної частки по поверхні конуса, параметри якого описуються диференціальним рівнянням у векторній формі відповідно до рис. 1.

$$m_1 \cdot \bar{v} = \bar{G} + \bar{F}_T + \bar{I} + \bar{R}(\mathbf{v}) + \bar{F}_B + \bar{F}_P(V_P) + \bar{N} \quad (2)$$

де \bar{F}_T – сила тертя;

\bar{N} – нормальна реакція поверхні.

Основною особливістю конічної вібровідцентрової центрифуги чим вона відрізняється від циліндричної робочої поверхні є зміна (зменшення) площі опорної поверхні в напрямку руху (вивантаження) матеріалу та зменшення радіуса поверхні.

Ці особливості в попередніх дослідженнях не враховувались, але вони суттєво впливають на процес поділу так, як зумовлюють збільшення товщини шару δ насінневого матеріалу на поверхні конусної частини в напрямку його руху.

Визначимо сили, що діють на насінину при її переміщенні у вібропневмозрідженому шарі:

$$\text{Сила ваги } \bar{G} = m_1 \cdot g ;$$

$$\text{Виштовхуюча сила } \bar{G}_a = m_0 \cdot g ;$$

$$\text{Відцентрова сила у зрідженому шарі } \bar{F}_B = (m_1 - m_0) \cdot r(z) \cdot \Omega^2 ;$$

$$\text{Сила інерції у віброзрідженому шарі } \bar{I} = (m_1 - m_0) \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t) ;$$

$$\text{Сила опору середовища } R_c = \bar{R}(v) ;$$

Сила тиску повітряного потоку $\bar{F}_P(V_P) = k_0 \cdot V_P^2$; V_P – швидкість повітря; k_0 – коефіцієнт опору.

Проектуючи рівняння (2) на осі прямокутних координат OXYZ та враховуючи те, що радіальне переміщення зернівки залежить від висоти конуса:

$r(z) = R_0 - z \cdot \tan \theta$, де R_0 – більший радіус усіченого конуса, θ – кут розкриття конуса; отримаємо систему диференціальних рівнянь в координатній формі:

$$\dot{x}^2 + \dot{y}^2 \tag{3}$$

де $m_2 = m_1 - m_0$; R_c – в даному випадку сила опору в напрямку зворотному переміщенню подібна силі в'язкого тертя [4]; $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$; $\dot{y} = \frac{dy}{dt}$; $\dot{z} = \frac{dz}{dt}$; $\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$; $\ddot{y} = \frac{d^2y}{dt^2}$; $\ddot{z} = \frac{d^2z}{dt^2}$.

Враховуючи силу опору середовища R_c , як силу в'язкого тертя []:

$$R_c = k_c \cdot \bar{V} \tag{4}$$

Тоді систему рівнянь (3) можна привести до системи лінійних диференціальних рівнянь в наступному вигляді:

$$\begin{cases} m_1 \cdot \ddot{x} = m_2 \cdot [R_0 - z \cdot \tan \theta] \cdot \Omega^2 - k_{cx} \cdot \dot{x} + 2 \cdot m_2 \cdot \Omega \cdot \dot{y} - k_0 \cdot V_P^2; \\ m_1 \cdot \ddot{y} = m_2 \cdot [R_0 - z \cdot \tan \theta] \cdot \Omega^2 - k_{cy} \cdot \dot{y} - 2 \cdot m_2 \cdot \Omega \cdot \dot{x} - k_0 \cdot V_P^2; \\ m_1 \cdot \ddot{z} = m_2 \cdot g - k_{cz} \cdot \dot{z} - m_2 \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t); \end{cases} \tag{5}$$

За початкових умов: $t = 0; z = 0; x = x_0 = R_0 - \delta; y = y_0 = R_0 - \delta;$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dy}{dt} = \frac{dz}{dt} = 0 ; \delta - \text{товщина шару насіння.}$$

На рис. 3 наведено зміну параметрів процесу переміщення зернівки у вібропневмозрідженому кільцевому конічному шарі насінневого матеріалу в часі (в полі відцентрових сил).

Якщо, наприклад, знехтувати дією сили Коріоліса за її незначним скалярним значенням [9] то система рівнянь (5) спрощується і процес переміщення зернівки в шарі можна описати системою двох диференціальних рівнянь, які мають аналітичний розв'язок:

$$\begin{cases} A_1 \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + B_1 \cdot \frac{dx}{dt} - C_1 \cdot z = D_1; \\ A_2 \cdot \frac{d^2z}{dt^2} + B_2 \cdot \frac{dz}{dt} = D_2 - P_1 \cdot \sin(\omega \cdot t) \end{cases} \quad (6)$$

де $A_1 = m_1$; $A_2 = m_2$; $B_1 = k_{cx}$; $B_2 = k_{cz}$; $D_1 = m_2 \cdot R_0 \cdot \Omega^2 - k_0 \cdot V_p^2$; $D_2 = m_2 \cdot g$; $P_1 = m_2 \cdot A \cdot \omega^2$; $C_1 = \tan \theta$.

$$k_{cx,y} = 0,6 \cdot \pi \cdot [0,5 \cdot d_e]^3 \cdot f_1 \cdot \rho_n \cdot (1 - \varepsilon)^2 \cdot g \cdot (1 + 0,12 \cdot f_1) \cdot k_u \quad (7)$$

де d_e – еквівалентний діаметр зернівки; f_1 – коефіцієнт внутрішнього тертя; ρ_n – насипна щільність шару насіння; ε – порозність (шпаруватість) шару; k_u – коефіцієнт ущільнення шару насіння.

Оскільки в процесі переміщення псевдозрідженого шару вздовж коливної конічної поверхні відбувається зменшення її площі із одночасним зменшенням дії відцентрової сили $F_B = m_2 \cdot R_0 \cdot \Omega^2$, то товщина шару насіннєвого матеріалу буде збільшуватись в напрямку її руху (в напрямку вивантаження).

Товщина шару дисперсного матеріалу визначається на основі рівняння нерозривності:

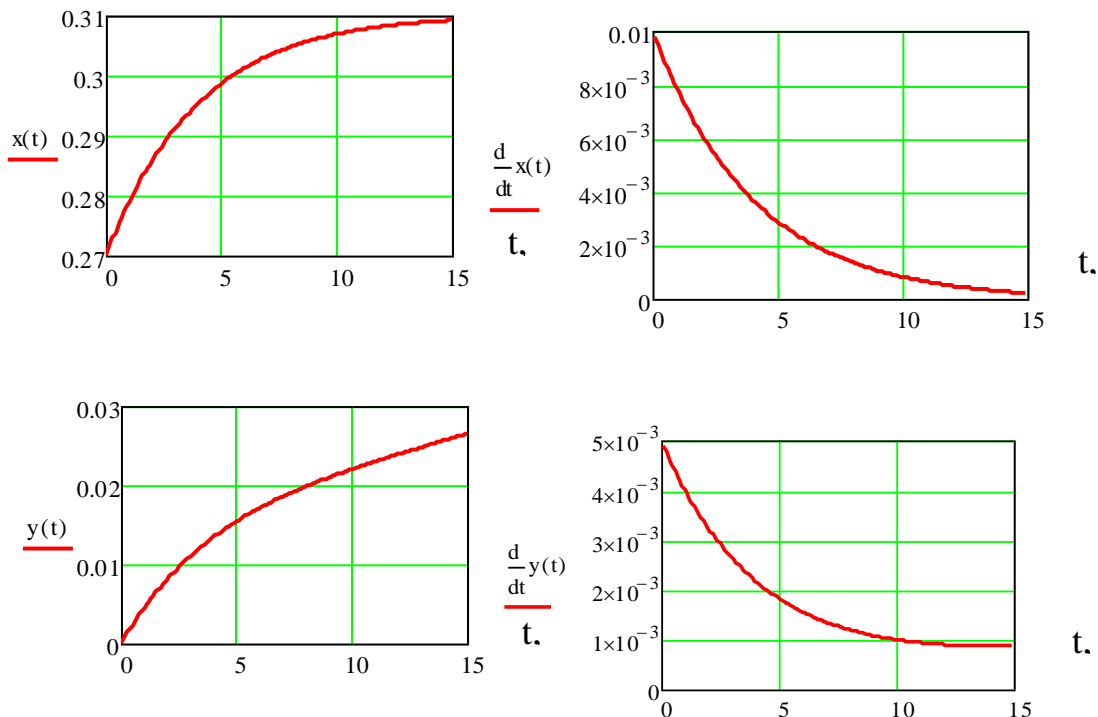
$$Q = F_p \cdot V_s = 2 \cdot \pi \cdot r(z) \cdot \delta \cdot \rho_n \cdot V_s. \quad (8)$$

Звідки товщина шару визначиться залежністю:

$$\delta = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r(z) \cdot \rho_n \cdot V_s} \quad (9)$$

де F_p – площа перетину насіннєвого шару; V_s – швидкість руху шару матеріалу; $r(z)$ – поточне значення радіуса ротора.

Для визначення швидкості переміщення шару матеріалу по обертовій коливній поверхні, згідно рівняння (5), використано традиційний підхід [9-11] представлення рухомого шару насіння, плоскою частинкою масою m , як показано на рис. 3.



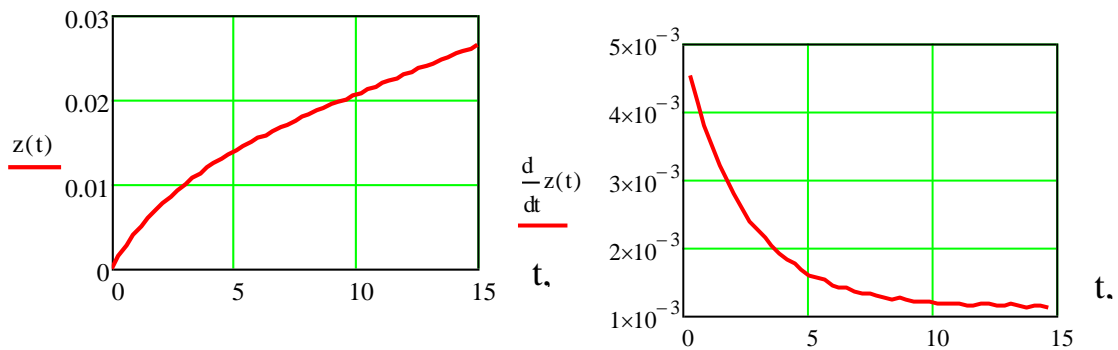


Рисунок 3 – Траєкторії переміщення шару та швидкості переміщення шару матеріалу по обертовій конічній поверхні

Джерело: розроблено авторами

Проектуючи рівняння (2) на прямокутні вісі рухомої системи координат рис. 2 і розкриваючи значення діючих на зернівку сил, диференціальні рівняння можна записати в такому вигляді:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} = m \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\alpha) - m \cdot g \cdot \sin(\alpha) + f \cdot N + m \cdot r(z) \cdot \Omega^2 \cdot \cos(\alpha) + k_0 \cdot V_p^2; \\ m \cdot \ddot{y} = m \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\alpha) - m \cdot g \cdot \cos(\alpha) + N - m \cdot r(z) \cdot \Omega^2 \cdot \sin(\alpha) - k_0 \cdot V_p^2; \end{cases} \quad (10)$$

Умови безвідривного руху зернівки по поверхні ($x \neq 0; y = 0; N > 0$):

$$\frac{A \cdot \omega^2 \cdot \cos(\alpha)}{g \cdot \cos(\alpha) + r(z) \cdot \Omega^2 \cdot \sin(\alpha)} < 1 \quad (11)$$

Для регулярного безвідривного руху зернівки із миттєвими зупинками в кожному напрямку (вверх-вниз) в роботі [9] отримані розрахункові співвідношення, які дозволяють визначити середню швидкість переміщення зернівки за один період коливань $T = \omega^{-1}$.

$$\begin{aligned} V_{cp} &= \frac{S_+ + S_-}{2 \cdot \pi} \omega; \\ S_- &= 2 \cdot A \cdot \frac{\cos(90 - \alpha + \varphi)}{\cos \varphi} \left(1 + \frac{\pi - \varepsilon}{\tan \varepsilon}\right) \sqrt{(\sin \varepsilon)^2 - (\varepsilon \cdot z_+)^2}; \\ S_+ &= 2 \cdot A \cdot \frac{\cos(90 - \alpha + \varphi)}{\cos \varphi} \left(1 + \frac{\pi}{\tan \varepsilon}\right) \sqrt{(\sin \varepsilon)^2 - (\varepsilon \cdot z_+)^2}; \\ \varepsilon &= \pi \frac{v}{v - 1}; \quad v = \frac{z_-}{z_+}; \quad z_{\pm} = \frac{g}{A \cdot \omega^2} \left[1 - \frac{r(z) \cdot \Omega^2}{g} \cos t(\alpha \pm \varphi)\right] \end{aligned} \quad (12)$$

$$\varphi = \tan^{-1} f - \text{кут тертя}; \quad r(z) = r(h) = R_0(1 - h \cdot \tan \theta).$$

За формулами (12) визначено середню швидкість руху зернівки по поверхні конуса з кутом розкриття θ для різних значень $r(h)$, де h - координата за висотою конуса і результати розрахунків представлено графіком залежностей

$$V_{cp} = f_1\left(k_{\pi} = \frac{r(h) \cdot \Omega^2}{g}\right) \quad \text{та} \quad V_{cp} = f_2(r(h)), \quad \text{як наведено на рис. 4.}$$

А за рівнянням (9) визначена залежність зміни товщини шару за висотою опорної конічної поверхні (рис. 5).

Збільшення товщини шару в місці вивантаження розширеного матеріалу має певні переваги, так як більш «високий» шар зернового матеріалу в якому зернівки різної густини розподілені за висотою, легше розділити механічно ножевими [2] або тунельними [1] подільниками.

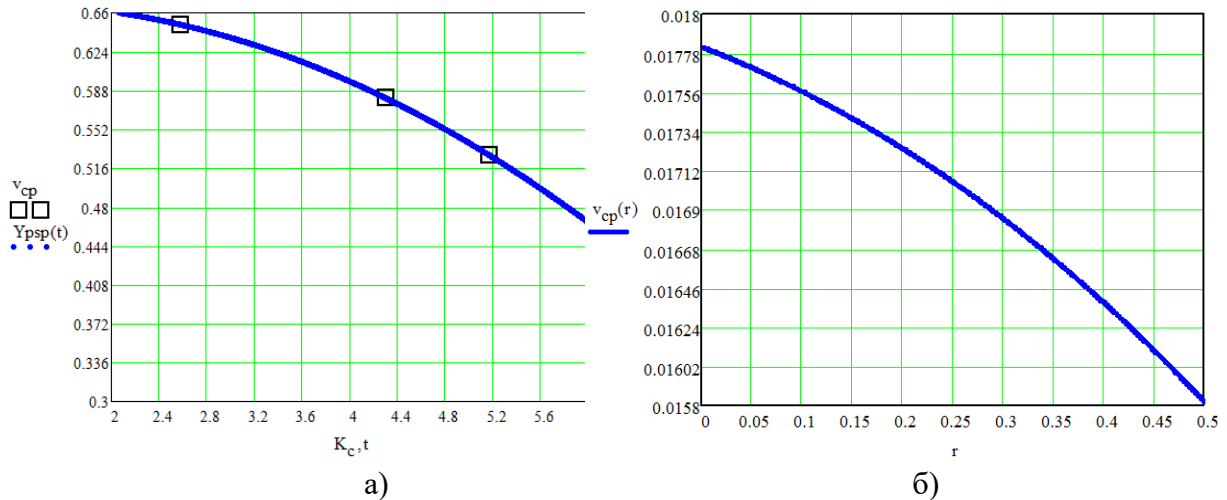


Рисунок 4 – Залежність швидкості переміщення шару зерна від коефіцієнта відцентровості

$V_{cp}(k_u)$ (а) та радіуса поверхні $V_{cp}(r(h))$ (б)

Джерело: розроблено авторами з використанням [1, 9]

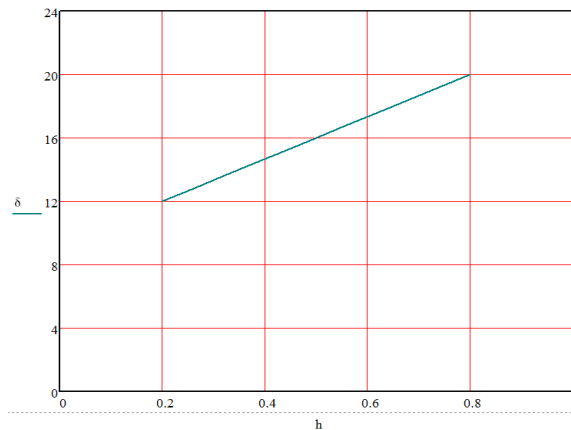


Рисунок 5 – Зміна товщини шару зерна при переміщенні на конічній поверхні вібровідцентрової центрифуги

Джерело: розроблено авторами з використанням [1, 9]

Поставлена задача досліджень була вирішена за рахунок визначення часу розшарування, тобто часу коли важка зернівка досягне поверхні конуса і щоб переміщення шару зерна до вивантаження не було меншим за час розшарування.

Висновки. Сформульовано вдосконалені математичні моделі переміщення зернівки у вібропневмозрідженому шарі конічної вібровідцентрової центрифуги, які враховують зміну дії відцентрової сили в залежності від координати зернівки за висотою конуса, які дозволяють з різним ступенем точності визначити параметри руху.

Показано, що при використанні конічної опорної поверхні вібровідцентрової центрифуги товщина перемішуючого шару зерна збільшується в напрямку руху і можна теоретичними розрахунками визначити раціональні геометричні та кінематичні параметри ротора, які забезпечують якісний поділ матеріалу за густиною.

Список літератури

1. Тищенко Л. Н. Интенсификация сепарирования зерна. Харьков : Основа, 2004. 224 с.
2. Дринча В. М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. Воронеж : Издательство НПО «МОДЭК», 2006. 384 с.

3. Гончаров Е.С. О рациональной форме поверхности виброцентробежных решет . *Механизация и электрификация с-х*. 1962. №5. С.53-55.
4. Бредихин В.В. Обоснование параметров процесса вибропневматического разделения семенных смесей по плотности семян: дис. ... канд.техн.наук. Харьков, 2003. 246 с.
5. Малюта С.И. Обоснование технологического процесса и параметров семеноочистительной пневмоцентрифуги: автореф. дис. канд. техн. наук. Глеваха, 1989. 21 с.
6. Гончаров Е. С. Ступенчатое решето для виброцентробежных сепараторов . *Механизация и электрификация с-х*. 1984. Вып. 59. С.33-36.
7. Гончаров Е.С., Малюта С.И. Механико-математическая модель движения частиц семенной смеси по поверхности ротора пневмовибрационного сепаратора . *Механизация и электрификация с-х*. 1986. Вып. 64. С. 24-29.
8. Адамчук В.В., Прилуцкий А.Н. Теоретичні дослідження безрешітної пневмовібровідцентробіжної сепарації насінневих сумішей . *Механізація та електрифікація с-г*. 2017. Вип. 5(104). С. 17-27.
9. Заїка П.М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах. К. : УСХА, 1998. 625 с.
10. Котов Б.І., Степаненко С.П., Пастушенко М.Г. Дослідження шляхів підвищення ефективності віброрешітних сепараторів зерна і насіння. *Вінницький державний аграрний університет, Зб. наук. праць. «Вібрації в техніці та технологіях»*. 2004. Вип. 3(35). С.61-63
11. Котов Б.І., Швидя В.О., Степаненко С.П., Пастушенко М.Г. Моделирование вібраційної динаміки переміщення дисперсійного матеріалу на конічній поверхні решета зерносепаратора . *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2013. Вип. 43, ч. I. С. 77-83.
12. Котов Б.І., Деревенько І.А., Степаненко С.П., Попадюк І.С. Теоретичні аспекти сепарації зернових матеріалів на ступінчасто-конічному решеті вібровідцентрових машин . *Вібрації в техніці та технологіях: зб. наук. праць*. 2016. Вип. 3(83). С.175-180.
13. Котов Б.І. Ідентифікація параметрів сипкого середовища у віброзрідженому шарі за експериментальними даними . *Збірник наукових праць Національного аграрного університету*. 2002. Т. XV. С. 161-163.
14. Богатирьов Д. В. Обґрунтування параметрів пневмоімпульсної машини для сепарації насіння за густиною : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Кіровоград, 2005 176 с.
15. Stepanenko, S.; Kotov, B.; Kuzmych, A.; Shvydia, V.; Kalinichenko, R.; Kharchenko, S.; Shchur, T.; Kocira, S.; Kwa'sniewski, D.; Dziki, D. (2022). To the Theory of Grain Motion in an Uneven Air Flow in a Vertical Pneumatic Separation Channel with an Annular Cross Section. *Processes* 2022, 10, 1929. <https://doi.org/10.3390/pr10101929>
16. Stepanenko, S.P., Kotov B. I., Spirin A.V., Kucheruk V.Yu. (2022). Scientific foundations of the movement of components of grain material with an artificially formed distribution of air velocity. *Вестник Карагандинского университета. Серия «Физика»*. № 1(105)/2022. P. 43-57. DOI 10.31489/2022PH1/43-57
17. Adamchuk V., Bulgakov V., Gadzalo I., Ivanovs S., Stepanenko S., Holovach I., Ihnatiev Y. (2021) . Theoretical Study of Vibrocentrifugal Separation of Grain Mixtures on a Sieveless Seed-cleaning Machine *Journal of Latvia university of life sciences and technologies. Rural sustainability research*. 46(341), 2021. P. 116-124. DOI:10.2478/plua-2021-0023
18. Степаненко С.П., Котов Б.І., Калініченко Р.А. (2021) Дослідження руху частинок зернового матеріалу у вертикальному каналі за умов дії пульсацій повітряного потоку . *Сільськогосподарські машини*. 2021. Вип. 47. С. 25-37. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.619>
19. Степаненко С.П., Котов Б.І. (2021) Математичне моделювання процесу фракціонування зернового матеріалу у пневмогравітаційному сепараторі. *Вісник Львівського національного аграрного університету «Агроінженерні дослідження»*. 2021. Вип. 25 (2021). С.12-20. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2021.25.012>
20. Kharchenko, S.; Borshch, Y.; Kovalyshyn, S.; Piven, M.; Abduev, M.; Miernik, A.; Popardowski, E.; Kielbasa, P. Modeling of Aerodynamic Separation of Preliminarily Stratified Grain Mixture in Vertical Pneumatic Separation Duct. *Appl. Sci.* 2021, 11, 4383. <https://doi.org/10.3390/app11104383>
21. Bredykhin, V., Pak, A., Gurskyi, P., Denisenko, S., Bredykhina, K. (2021). Improving the mechanical-mathematical model of pneumatic vibration centrifugal fractionation of grain materials based on their density. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (112)), 54–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236938>
22. Rogovskii, I.; Titova, L.; Omelyanov, O. (2021) Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. *Eng. Rural Devel.* 2021, 20, 1761–1767. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF386>

References

1. Tishchenko, L.N. (2004). *Intensification of grain separation [Intensifikacija separirovanija zerna]*. Kharkiv: Osнова, 2004 [in Russian].
2. Drincha, V.M. (2006). *Issledovanie separacii semjan i razrabotka mashinnyh tehnologij ih podgotovki [Research of seed separation and development of machine technologies for their preparation]*. Voronezh : Izdatel'stvo NPO «MODJeK» [in Russian].
3. Goncharov, E.S. (1962). O racional'noj forme poverhnosti vibrocentrovezhnyh reshet . [On the rational shape of the surface of vibrocentrifugal sieves]. *Mehanizacija i jelektrifikacija s-h – Mechanization and electrification of agriculture*, 5, 53-55 [in Russian].
4. Bredihin, V.V. (2003). Obosnovanie parametrov processa vibropnevmaticheskogo razdelenija semennyh smesej po plotnosti semjan [Substantiation of the parameters of the process of vibropneumatic separation of seed mixtures by seed density]. *Doctor's thesis*. Kharkiv [in Russian].
5. Maljuta, S.I. (1989). Obosnovanie tehnologicheskogo processa i parametrov semenoochistitel'noj pnevmocentrifugi [Substantiation of the technological process and parameters of the seed-cleaning pneumocentrifuge]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Glevaha [in Russian].
6. Goncharov, E.S. (1984). Stupenchastoe resheto dlja vibrocentrovezhnyh separatorov [Stepped sieve for vibrocentrifugal separators]. *Mehanizacija i jelektrifikacija s-h – Mechanization and electrification of agriculture, Issue 59*, 33-36 [in Russian].
7. Goncharov, E.S. & Maljuta, S.I. (1986). Mehaniko-matematicheskaja model' dvizhenija chastic semennoj smesi po poverhnosti rotora pnevmovibracionnogo separatora . [Mechanical and mathematical model of the movement of particles of the seed mixture on the surface of the rotor of a pneumovibrational separator] . *Mehanizacija i jelektrifikacija s.-h – Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya s.-kh*, Issue. 64, 24-29 [in Russian].
8. Adamchuk, V.V. & Pryluts'kyj, A.N. (2017). Teoretychni doslidzhennia bezreshitnoi pnevmovibrovidtsentobizhnoi separatsii nasinnievkykh sumishej [Theoretical studies of sieveless pneumovibrocentrifugal separation of seed mixtures]. *Mekhanizatsiia ta elektrifikatsiia s-h. – Mechanization and electrification of rural areas. Issue 5(104)*, 17-27 [in Ukrainian].
9. Zaika, P.M. (1998). *Vibracionnoe peremeshhenie tverdych i sypuchih tel v sel'skohozhajstvennyh mashinah [Vibratory movement of solid and loose bodies in agricultural machines]*. Kiev. USHA [in Russian].
10. Kotov, B.I., Stepanenko, S.P. & Pastushenko, M.G. (2004). Doslidzhennia shliakhiv pidvyschennia efektyvnosti vibroreshitnykh separatoriv zerna i nasinnia [Research on ways to improve the efficiency of vibrating sieve separators for grain and seeds] . *Vinnits'kyj derzhavnyj ahrarnyj universytet, zb. nauk. prats'. «Vybratsyy v tekhnolohiyakh» – Coll. of science works "Choices in engineering and technology". Issue 3(35)*, 61-63 [in Ukrainian].
11. Kotov, B.I., Shvydyda, V.O., Stepanenko, S.P. & Pastushenko, M.G. (2013). Modeliuvannia vibratsijnoi dynamiky peremischennia dyspersijnogo materialu na konichnij poverkhni resheta zernoseparatora [Modeling of the vibrational dynamics of the movement of dispersion material on the conical surface of the sieve of the grain separator]. *Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil'skohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 43. part I*, 77-83 [in Ukrainian].
12. Kotov, B.I., Dereven'ko, I.A., Stepanenko, S.P., Popadyuk, I.S. (2016). Teoretychni aspekty separatsii zernovykh materialiv na stupinchasto-konichnomu resheti vibrovidtsentrovnykh mashyn [Theoretical aspects of the separation of grain materials on the step-conical sieve of vibro-centrifugal machines]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh: zb. nauk. prats'. – Vinnytsia National Agrarian University. Coll. of science works "Vibrations in engineering and technology". Vol. 3(83)*, 175-180 [in Ukrainian].
13. Kotov, B.I. (2002). Identyfikatsiia parametrov sypkoho seredovyscha u vibrozridzhenomu shari za eksperymental'nyimi danymi [Identification of the parameters of the fluid medium in the vibro-liquefied layer based on experimental data]. *Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noho ahrarnoho universytetu – Collection of scientific papers of the National Agrarian University, Vol. XV*, 161-163 [in Ukrainian].
14. Bohatyrov, D.V. (2005). Obgruntuvannia parametrov pnevmoiimpul'snoi mashyny dlja separatsii nasinnia za hustynoiu [Justification of the parameters of the pneumatic pulse machine for separating seeds by density]. *Candidate's thesis*. Kirovohrad [in Ukrainian].
15. Stepanenko, S.; Kotov, B.; Kuzmych, A.; Shvydia, V.; Kalinichenko, R.; Kharchenko, S.; Shchur, T.; Kocira, S.; Kwaśniewski, D.; Dziki, D. (2022). To the Theory of Grain Motion in an Uneven Air Flow in a Vertical Pneumatic Separation Channel with an Annular Cross Section. *Processes 2022, 10*, 1929. <https://doi.org/10.3390/pr10101929> [in English].
16. Stepanenko, S.P., Kotov, B. I., Spirin, A.V. & Kucheruk, V.Yu. (2022). Scientific foundations of the movement of components of grain material with an artificially formed distribution of air velocity. *Vestnik*

- Karagandinskogo universiteta. –Serija «Fizika» Bulletin of Karaganda University. Series "Physics", 1(105)/2022, p. 43-57. DOI 10.31489/2022PH1/43-57 [in English].*
17. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Gadzalo, I., Ivanovs, S., Stepanenko, S., Holovach, I. & Ihnatiev, Y. (2021). Theoretical Study of Vibrocentrifugal Separation of Grain Mixtures on a Sieveless Seed-cleaning Machine *Journal of Latvia University of Life Sciences and Technologies. Rural sustainability research.* 46(341), p. 116-124. DOI:10.2478/plua-2021-0023 [in English].
 18. Stepanenko, S.P., Kotov, B.I. & Kalinichenko, R.A. (2021). Doslidzhennia rukhu chastynok zernovoho materialu u vertykal'nomu kanali za umov dii pul'satsij povitrianoho potoku [Study of the movement of grain material particles in a vertical channel under the conditions of air flow pulsations]. *Sil'skohospodars'ki mashyny – Agricultural machinery. Issue 47, 25-37.* <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.619> [in Ukrainian].
 19. Stepanenko, S.P. & Kotov, B.I. (2021). Matematychni modeliuvannia protsesu fraktsionuvannia zernovoho materialu u pnevmohravitatsijnomu separatori [Mathematical modeling of the fractionation process of grain material in a pneumogravity separator]. *Visnyk L'vivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu «Ahroinzhenerni doslidzhennia» – Bulletin of the Lviv National Agrarian University "Agroengineering Research", Issue 25 (2021), 12-20.* <https://doi.org/10.31734/agroengineering2021.25.012> [in Ukrainian].
 20. Kharchenko, S.; Borshch, Y.; Kovalyshyn, S.; Piven, M.; Abduev, M.; Miernik, A.; Popardowski, E.; Kielbasa, P. (2021). Modeling of Aerodynamic Separation of Preliminarily Stratified Grain Mixture in Vertical Pneumatic Separation Duct. *Appl. Sci.* 11, 4383. <https://doi.org/10.3390/app11104383> [in English].
 21. Bredykhin, V., Pak, A., Gurskyi, P., Denisenko, S. & Bredykhina, K. (2021). Improving the mechanical-mathematical model of pneumatic vibration centrifugal fractionation of grain materials based on their density. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (112)), 54–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236938> [in English].
 22. Rogovskii, I., Titova, L. & Omelyanov, O. (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain, *Eng. Rural Devel.* 20, 1761–1767. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF386> [in English].

Borys Kotov, Prof., DSc.

Podillia State University, Kamianets-Podilskyi, Ukraine

Serhiy Stepanenko, Prof., DSc.

Institute of Mechanics and Automatics of Agroindustrial Production, Glevakha, Ukraine

Roman Kalinichenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Separated Subdivision NULESU (Nizhyn Agrotechnical Institute), Nizhyn, Ukraine

Theoretical Study of the Separation of Seed Material According to the Density of Grains by a Conical Vibro-pneumocentrifuge

The article examines the study of the separation of seed material by grain density by a conical vibro-pneumocentrifuge, taking into account the distribution of air velocity in the cross section of the aspiration channel, to determine the rational form and parameters of the working bodies of the conical vibro-pneumocentrifuge, as well as technological indicators of the machine: supply, consumption, efficiency of seed separation into fractions.

Scientific research has formulated improved mathematical models of grain movement in the vibro-pneumofluidized layer of a conical vibrocentrifuge centrifuge, which take into account the change in the action of the centrifugal force depending on the grain coordinate along the height of the cone, allowing to determine the movement parameters with varying degrees of accuracy.

It is substantiated that when using a conical support surface of a vibrocentrifugal centrifuge, the thickness of the mixing layer of grain increases in the direction of movement, and it is possible to determine by theoretical calculations the rational geometric and kinematic parameters of the rotor, which ensure a qualitative separation of the seed material by density.

The obtained systems of nonlinear differential equations with initial conditions are solved in the MathCad software environment in the form of grain movement trajectories in the air flow, which allows to calculate and establish the trends of their movement trajectories, which differ by windage coefficients, and to determine the rational values of the parameters of the conical vibropneumocentrifuge.

seed material, density, grain, conical vibro-pneumocentrifuge, air flow, separation process

Одержано (Received) 25.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 02.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.363.2

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.66-72>

Р.В. Кісільов, доц., канд. техн. наук, **П.Г. Лузан**, доц., канд. техн. наук, **Д.В. Богатирьов**, доц., канд. техн. наук, **О.В. Нестеренко**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: ruslan_vik@ukr.net

Дослідження процесу сумішоутворення лопатевим змішувачем для ВРХ

У статті за рахунок проведеного аналізу різних існуючих конструкцій запропоновано використання новітньої схеми лопатевого змішувача кормів. Теоретичними та експериментальними дослідженнями було отримано основні конструктивні і кінематичні параметри робочих органів, що в подальшому дозволило визначити їх вплив на неоднорідність кормової суміші, тобто якісного показника, що характеризує процес підготовки кормів для згодовування. Отримані залежності досить ефективно характеризують роботу лопатевого змішувача та приготування повнораціонної збалансованої суміші для ВРХ.

змішувач кормів, кормова суміш, добовий раціон, зоотехнічні вимоги, тваринництво, неоднорідність кормосуміші

Постановка проблеми. Скотарство в нашій країні поступово стає провідною і важливою галуззю тваринництва, так як забезпечує виробництво коров'ячого молока близько 90% та до 70% м'яса яловичини. Протягом останніх років в європейських країнах та Україні прийняті підвищені вимоги щодо якості виробництва молока і яловичини та продуктів їх переробки. Такі вимоги прискорюють впровадження новітніх інтенсивних технологій підготовки кормів до згодовування і приготування збалансованих повноцінних кормових сумішей з використанням збагачувальних компонентів, необхідних якісних вітамінів, ферментів, біостимуляторів та інших лікувально-профілактичних препаратів, а також сучасної техніки нового покоління та комплексної механізації і автоматизації процесів їх приготування [1, 2, 3].

Процеси обробки і підготовки кормів до згодовування та приготування багатокомпонентних повнораціонних кормових сумішей здійснюється у механізованих кормоцехах, де встановлені потоково-технологічні лінії. Згідно нормативам такі лінії обладнуються спеціальними технічними засобами і машинами. В загальному процесі виробництва продукції скотарства визначальну роль відіграють корми, і відповідно, змішування кормів є обов'язковим і найважливішим процесом при приготуванні повнораціонних сумішей для ВРХ.

Узагальнений аналіз традиційних машин та технічних засобів для приготування кормових сумішей для великої рогатої худоби показав, що існуючі змішувачі не повною мірою забезпечують якісні показники стосовно приготування вологих кормових сумішей і мають певний перелік деяких недоліків. А саме – конструкції мобільних змішувачів перевищують нормативи за питомою металомісткістю в 1,5...2 рази, при цьому витрати енергії на привід робочих органів у 3...4 рази. Такі суттєві недоліки роботи традиційних змішувачів обмежують їх застосування на фермах ВРХ, а використання у поточкових лініях малоефективне. Це є головним питанням щодо ефективності функціонування і технічного рівня змішувачів стосовно приготування вологих кормосумішей і є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі вчені Кукта Г.М., Гейфман В.П., Завражнов А.І., Кулаковський І.В., Мельніков С.В., Мянд А.Е., Макаров Ю.П., Сироватка В.І. та інші займалися дослідженням процесу сумішоутворення. Їхні висновки підкреслювали складність такого процесу, особливо це стосується фізико-механічної сторони [4, 5, 6].

Постановка завдання. Метою проведення експериментальних досліджень передбачалося вивчення закономірностей впливу геометричних та кінематичних параметрів на якість приготування кормових сумішей.

Виклад основного матеріалу. Вирішення поставленої проблеми удосконалення і інтенсифікації технології приготування збалансованої вологої кормової суміші для ВРХ базується на системному підході до детального теоретичного обґрунтування ефективних функціональних та конструктивно-технологічних схем машин в цілому, узгодженні параметрів роботи їх окремих робочих органів та взаємозв'язку комплексу процесів в механізованих потокових лініях приготування кормів і збалансованих кормових сумішей. З позиції такого системного підходу технологічний процес змішування різних компонентів суміші можна представити у вигляді детермінованої моделі функціонування змішувача кормів періодичної дії на всіх стадіях його роботи: від завантаження компонентів до отримання та вивантаження готової кормової суміші (рис. 1).

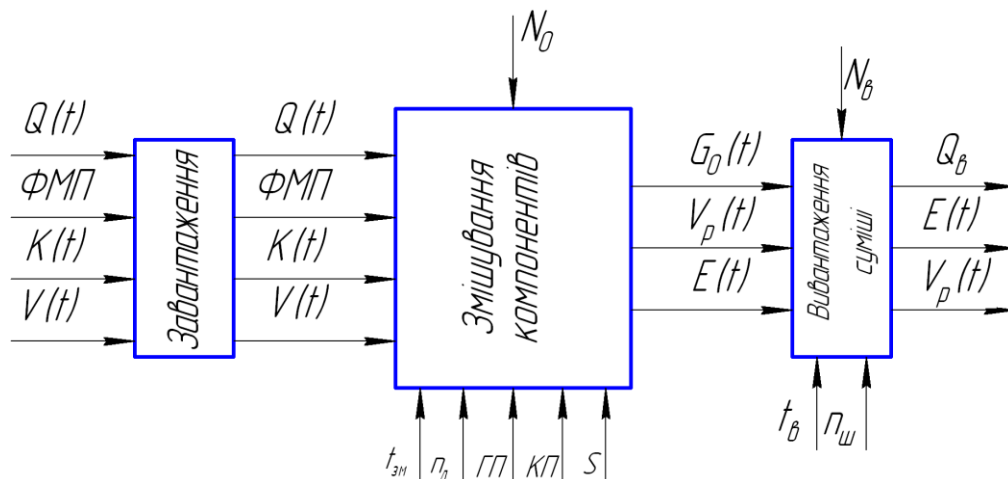


Рисунок 1 – Розрахункова модель функціонування змішувача

Джерело: розроблено авторами

Найбільш вагома дія на процес і якість приготування кормових сумішей, а також витрати енергії припадають безпосередньо на процес змішування кормів у змішувачі. На його проходження впливають: співвідношення питомої подачі та фізико-механічні показники компонентів, стан сировини, нерівномірність дозування компонентів кормової суміші, геометричні та кінематичні параметри мішалки, а також час змішування або тривалість процесу. На підставі проведеного теоретичного аналізу та попередніх пошукових експериментальних досліджень визначено найбільш впливові фактори на процес змішування та приготування кормів: кінематичні параметри: частота обертання вала мішалки – n ; геометричні параметри: ширина лопаті – e ; висота – h ; кут її нахилу до осі вала – α ; крок розміщення лопатей – S та тривалість змішування кормів – t .

Для дослідження впливу основних факторів на цільову функцію, обґрунтування раціональних значень параметрів змішувача та відповідної їх оцінки у процесі сумішоутворення розроблено конструкцію лопатевого змішувача (рис. 2).

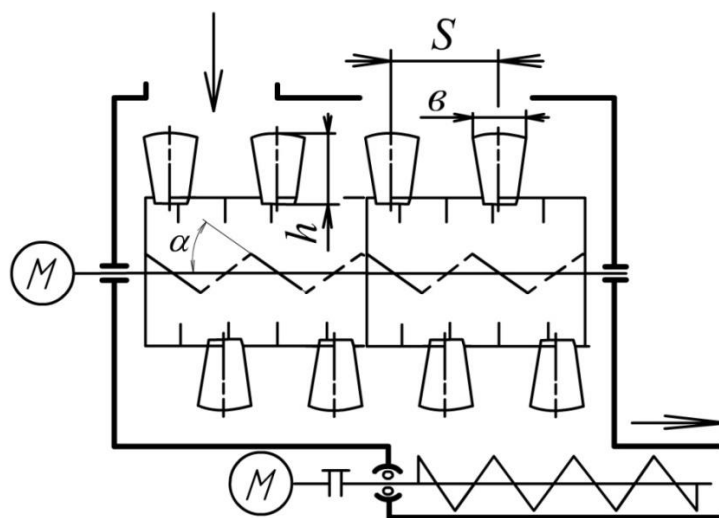


Рисунок 2 – Технологічна схема лопатевого змішувача

Джерело: розроблено авторами

Запропонований змішувач складається з корпусу із завантажувальною горловиною та вивантажувальним шнеком. Плоскі лопаті з відповідним кроком жорстко встановлені на опорах уздовж змішувача, які знизу обладнані радіальними пальцями для розпушування моноліту суміші в корпусі змішувача. Лопаті встановлені з правим і лівим кутом нахилу їхньої робочої поверхні до осі валу.

Оцінку роботи змішувача здійснювали перевіркою якості виконання процесу змішування і витратами потужності на привід мішалки N . Ступінь змішування кормів контролювали аналізом відібраних проб [7, 8, 9].

Якість кормів визначали коефіцієнтом неоднорідності V_n за стандартною методикою [10] шляхом розподілу контрольного компонента по завершенню процесу в 10 пробах, відібраних пробовідбірником, за формулою:

$$V_n = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

де S – середньоквадратичне відхилення контрольного компонента за наслідками досвіду;

\bar{x} – середньоарифметичне значення контрольного компонента всіх проб.

Дослідження проводилися за одночасної зміни чотирьох чинників $V_n = f(v, \alpha, n, t)$ у межах параметричних обмежень при постійних конструктивно-технологічних параметрах.

За допомогою програми STATISTICA 6.0 планували експериментальні дослідження та отримали графічні залежності впливу вагомих факторів на якісні та енергетичні показники процесу сумішоутворення, і відповідно, встановити раціональні значення (рис. 3-6).

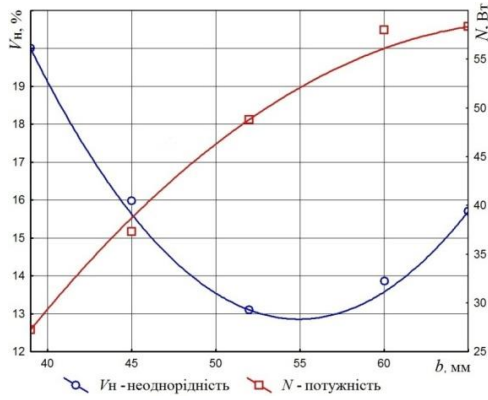


Рисунок 3 – Вплив ширини лопаті на ефект змішування кормів та потужність приводу вала
Джерело: розроблено авторами

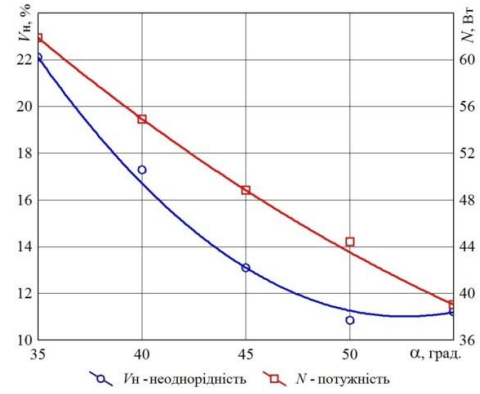


Рисунок 4 – Вплив кута нахилу лопаті на ефект змішування та потужність приводу вала
Джерело: розроблено авторами

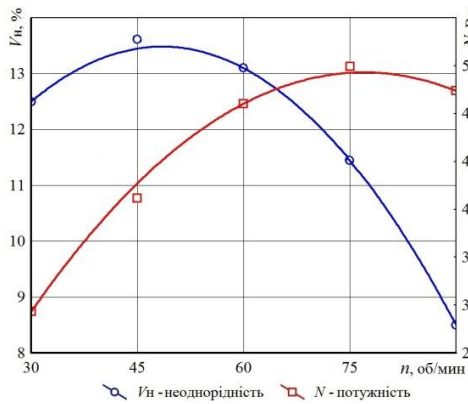


Рисунок 5 – Вплив частоти обертання вала на ефект змішування та потужність приводу вала
Джерело: розроблено авторами

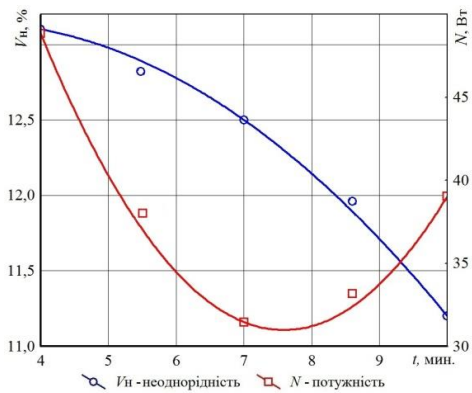


Рисунок 6 – Вплив тривалості часу змішування на ефект змішування та потужність приводу вала
Джерело: розроблено авторами

Для аналізу впливу кожного окремого фактору нами були використані експериментальні графіки розсіювання з гістограмами (рис. 7), які дозволили графічно визначити раціональні значення кожного чинника і отримати реальні значення ефекту змішування кормів та витрат енергії на привод вала мішалки.

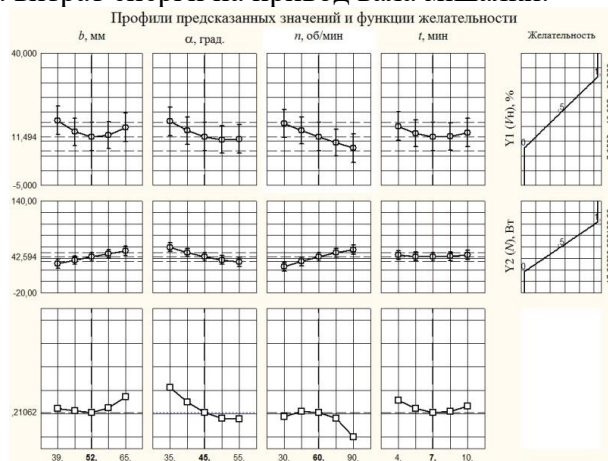


Рисунок 7 – Графіки розсіювання з гістограмами, що характеризують вплив факторів на якісні показники змішування кормів

Джерело: розроблено авторами

Висновки. Проведені дослідження дозволили встановити, що раціональна величина ширини лопаті становить 45 мм, кут її нахилу – 50°, частота обертання валу мішалки не повинна перевищувати 90 об/хв. при тривалості процесу 6...8 хв. За такими параметрами запропонована конструкція змішувача забезпечує однорідність суміші на рівні 92%, при цьому базовий показник однорідності для ВРХ складає 86% [11, 12]. Тому подальше використання такої конструкції лопатевого змішувача є доцільним та ефективним.

Список літератури

1. Ревенко І.І., Хмельовський В.С., Заболотько О.О. Машини і обладнання для тваринництва: Електронний підручник . Київ, ДУ «Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти», 2019. URL: <http://godak.if.ua/mot/index.htm> (дата звернення: 01.10.2022).
2. Лазаревич А. П. Однотипові кормосуміші для молочної худоби. *Тваринництво України*. 2007. № 4. С. 33-35.
3. Adgidzi, D, A. Mu'azu, S. T. Olorunsogo and E.L. Shiawoya (2006). Design considerations of mixer-pelleting machine for processing animal feeds. 7th annual engineering conference, School of Engineering and Engineering Technology, FUT Minna. 28-30 June 2006. URL: [http://www.insikapub.com/Vol-01/No-03/IJBAS\(1\)\(3\).pdf](http://www.insikapub.com/Vol-01/No-03/IJBAS(1)(3).pdf) (дата звернення: 01.10.2022).
4. Хмельовський В.С. Оцінка рівномірності змішування кормів. *Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції*, Київ НУБІП України. 2017. С. 77–78. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/_obuhovski_chitannya_2017.pdf#page=77 (дата звернення: 04.10.2022).
5. Ібатуллін І.І., Мельник Ю.Ф., Отченашко В.В. Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин: навч. посіб.; під ред. академіка НААН України І.І. Ібатулліна. К.: 2015. 422с. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u104/%D0%9F%D0%A0%D0%90%D0%9A%D0%A2%D0%98%D0%9A%D0%A3%D0%9C%20%D0%B7%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%B2%D0%BB%D1%96%20%D1%81.%D0%B3.%20%D1%82%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BD%20%D0%86%D0%B1%D0%B0%D1%82%D1%83%D0%BB%D0%BB%D1%96%D0%BD%20%D1%82%D0%B0%20%D1%96%D0%BD_1_%D0%9C%D0%9E%D0%9D%2B%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%B0.pdf (дата звернення: 06.10.2022).
6. Ревенко І., Ревенко Ю. Качество приготовления и эффективность использования концентрированных и комбинированных кормов. *MOTROL*. Lublin-Rzeszow. 2013. Вип. 3. С. 356–361. URL: <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-5bafa802-c1cc-4705-acd3-e3af4d984d88/c/356-361.pdf> (дата звернення: 06.10.2022).
7. Науменко О.А., Бойко І.Г., Грідасов В.І., Дзюба А.І. Проектування технологій і технічних засобів для тваринництва. За ред. Скорика О.П., Полупанова В.М. Харків, ХНТУСГ, 2009. 429 с. URL: <http://dSPACE.khntusg.com.ua/bitstream/123456789/1249/1/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D0%B9%20%D1%96%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%B7%D0%B0%D1%81%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%B2%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D1%82%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%B0.%20%282009%29.pdf> (дата звернення: 10.10.2022).
8. Шевченко І.А., Павліченко В. М., Лиходід В. В., Забудченко В. М. Аналіз конструкцій технічних засобів для виробництва вологих високозасвоєваних кормів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.*, 2013. Вип. 43. С. 179–185. URL: <http://dSPACE.kntu.kr.ua/jsui/handle/123456789/2701> (дата звернення: 10.10.2022).
9. Ревенко І.І., Брагінець М.В., Ребенко В.І. Машини та обладнання для тваринництва. Київ: Кондор. 2009. 730 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/2085032/> (дата звернення: 10.10.2022).
10. Шацький В.В., Мілько Д.А., Болтянський Б.В., Коломієць С.М., Семенцов В.І. Якість змішування компонентів раціону – основа підвищення продуктивності тварин. *Збірник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 1, т. 3. С. 43–50. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdata/pdf/t3/11SVVIAP.pdf> (дата звернення: 12.10.2022).
11. Шацький В.В. Математическое моделирование динамичности плотности и качества кормовой смеси для животных. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2012. Вип.2. Т.2. С. 3–19. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi->

- bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOW
NLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vkhdтусg_2014_144_32.pdf (дата звернення: 13.10.2022).
12. Шабельник Б.П. Теорія та розрахунок машин для тваринництва : монографія. Харків: ХДТУСГ, 2002, 216 с.

References

1. Revenko, I.I., Khmel'ovs'kyj, V.S. & Zabolotko, O.O. (2019). *Mashyny i obladnannia dlia tvarynnytstva [Machines and equipment for animal husbandry]*. Kyiv, DU «Naukovo-metodychnyj tsentr vyschoij ta fahovoj osvity». Retrieved from <http://rodak.if.ua/mot/index.htm> [in Ukrainian].
2. Lazarevych, A.P. (2007). Odnotypovi kormosumishi dlia molochnoi khudoby [Preparation of feed mixtures by the combined blender]. *Tvarynnytstvo Ukrainy – Creation of Ukraine*, Issue 4, 33-35 [in Ukrainian].
3. Adgidzi, D, Mu'azu, A., Olorunsogo, S.T. & Shiawoya, E.L. (2006). *Design considerations of mixer-pelleting machine for processing animal feeds*. 7th annual engineering conference, School of Engineering and Engineering Technology, FUT Minna. 28-30 June 2006. Retrieved from [http://www.insikapub.com/Vol-01/No-03/IJBAS\(1\)\(3\).pdf](http://www.insikapub.com/Vol-01/No-03/IJBAS(1)(3).pdf) [in English].
4. Khmel'ovs'kyj, V.S. (2017). Otsinka rivnomirnosti zmishuvannia kormiv [Evaluation of uniformity of feed mixing]. XII International Scientific and Practical Conference, Kyiv NUBIP Ukrainy. (p.77–78). Retrieved from https://nubip.edu.ua/sites/default/files/_obuhovski_chitannya_2017.pdf#page=77 [in Ukrainian].
5. Ibatullin, I.I., Melnuk, U.F. & Otchenashko, V.V. (2015). *Praktykum z godivli silskogospodarskykh tvaryn [Workshop on feeding farm animals]*. I.I. Ibatullin (Ed.). Kyiv. Retrieved from https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u104/%D0%9F%D0%A0%D0%90%D0%9A%D0%A2%D0%98%D0%9A%D0%A3%D0%9C%20%D0%B7%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%B2%D0%BB%D1%96%20%D1%81.%D0%B3.%20%D1%82%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BD%20%D0%86%D0%B1%D0%B0%D1%82%D1%83%D0%BB%D0%BB%D1%96%D0%BD%20%D1%82%D0%B0%20%D1%96%D0%BD_1_%D0%9C%D0%9E%D0%9D%2B%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%B0.pdf [in Ukrainian].
6. Revenko, I. & Revenko, Ju. (2013). Kachestvo prigotovlenija i jeffektivnost' ispol'zovanija koncentrirovannyh i kombinirovannyh kormov [Quality of preparation and efficiency of use of concentrated and combined fodder]. *MOTROL*. Lublin-Rzeszow. Issue 3, 356–361. Retrieved from <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-5bafa802-c1cc-4705-acd3-e3af4d984d88/c/356-361.pdf> [in Russian].
7. Naumenko, O.A., Boyko, I.G., Gridasov, V.I. & Dzuba, A.I. (2009). *Proektuvannja tehnologij i tehnychnykh zasobiv dlya tvarynnytstva [Designing technologies and technical means for animal husbandry]*. Skoryka O.P., Polupanova V.M. (Ed.). Harkiv, HNTUSG. Retrieved from <http://dspace.khntusg.com.ua/bitstream/123456789/1249/1/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D0%B9%20%D1%96%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%B7%D0%B0%D1%81%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%B2%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D1%82%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%B0.%20%282009%29.pdf> [in Ukrainian].
8. Shevchenko, I.A., Pavlichenko, V.M., Lykhodid, V.V. & Zabudchenko, V.M. (2013). Analiz konstruksij tekhnichnykh zasobiv dlia vyrobnytstva volohykh vysokozasvoivanykh kormiv [Analysis of constructions of technical means for the production of wet highly digestible fodder]. *Konstrujuvannja, vyrobnytstvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery*, Issue 43, 179–185. Retrieved from <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/2701> [in Ukrainian].
9. Revenko, I.I., Brahinet's', M.V. & Rebenko, V.I. (2009). *Mashyny ta obladnannia dlia tvarynnytstva [Machinery and equipment for animal husbandry]*. Kondor: Kyiv. Retrieved from <http://www.twirpx.com/file/2085032/> [in Ukrainian].
10. Shats'kyj, V.V., Mil'ko, D.A., Boltians'kyj, B.V., Kolomiets', S.M. & Sementsov, V.I. (2013). Yakist' zmishuvannia komponentiv ratsionu – osnova pidvyschennja produktyvnosti tvaryn [The quality of mixing the components of the diet is the basis of increasing the productivity of animals]. *Zbirnyk Tavrijs'koho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu – Collection of the Tavri State Agro-Technological University*, Issue 1, Vol. 3. pp. 43–50. ». Retrieved from <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdata/pdf1t3/11SVVIAP.pdf> [in Ukrainian].

11. Shackij, V.V. (2012). Matematicheskoe modelirovanie dinamichnosti plotnosti i kachestva kormovoj smesi dlja zhivotnyh [Mathematical modeling of the dynamism of density and quality of fodder mixture for animals]. *Naukovij visnik Tavrijs'kogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universitetu – Scientific bulletin of Tavriya State Agro-Technological University, Vol.2. issue 2*, 3–19. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vkhdtusg_2014_144_32.pdf [in Russian].
12. Shabel'nyk, B.P. (2002). *Teoriia ta rozrakhunok mashyn dlia tvarynnystva [Theory and development of machines for creatures]*. Kharkiv: KhDTUSH [in Ukrainian].

Ruslan Kisilyov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Petro Luzan**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Bohatyrov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksander Nesterenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Study of the Mixing Process With a Paddle Mixer for Cattle

Dairy and meat cattle breeding of Ukraine is one of leading and most essential industries of stock-raising, that provides a production of more than 95% of cow milk and 50..60% of beef. In the world market demand is on high-quality milk, beef and products of their processing constantly grows and that is why has an important economic value for development of industry of cattle breeding in agricultural production of our country. In general process of production goods of cattle breeding a decisive role belongs to forage. They have subzero quality, in most cases, insufficient quantities are produced, and their share in cost price of milk and beef is more than half of costs.

In connection with transfer of animal husbandry to market farming conditions, a long-term national program has been developed, which provides for increasing the volume of milk and beef production, reducing cost of production, improving its quality, comprehensive intensification of cattle breeding by creating a strong fodder base, increasing its efficiency and productivity of grain and fodder cultures, application of new progressive feeding technologies, preparation of fodder for feeding, preparation of highly nutritious fodder mixtures and implementation of complex mechanization and automation of production processes on farms and complexes. Realization of technical and plant-breeding progress of high-performance production of milk and beef in industry requires near-term providing of animals in a sufficient amount high-quality biologically valuable forage that can be balanced in rations of cattle by organic, mineral and biologically-active nutritives and microelements and microaddings in accordance with pre-arranged productivity with maintenance of necessary for this purpose vital functions and physiology state of animal.

Generalized analysis of traditional machines and technical equipments for preparation of forage mixtures for a cattle showed that existent mixers not to a full degree provided quality indexes in relation to preparation of moist forage mixtures and have a certain list of some defects. Namely, the constructions of mobile mixers exceed norms in terms of specific metal density by 1,5..2 times, while the energy consumption for the drive of working bodies is 3..4 times. Such significant disadvantages of traditional mixers limit their use on cattle farms.

In the article, a systematic approach of systems is considered in relation to technological process of mixing of different components of mixture, that is presented as determined model of functioning of mixer of forage of batch-type at all stages of its operation: from loading components to receiving and unloading the finished feed mixture. On the basis of the conducted research, the technological scheme of the paddle mixer, which consists of a body with a loading neck and an unloading auger, is substantiated. Flat blades with a corresponding step are hardly installed on supports along a mixer, which are equipped by radial fingers for loosening of monolith of mixture in the corps of mixer. Blades are installed with right and angle of inclination their working surface to axis of shaft.

Purpose of experimental researches was envisage study of conformities to law of influence of geometrical and kinematics parameters on quality of preparation of forage mixtures. Such important factors were: frequency of rotation of billow of mixer; width of flat blade; an angle of its inclination to axis of the shaft and duration of forage mixing.

After realization of experimental researches at processing of received data we applied a mathematical application that allowed to build dependences and get rational values package. They are as follows: the rational width value of blade is 45 mm, angle of its inclination is 500, the frequency of rotation of agitator shaft should not exceed 90 rpm. with duration of process 6..8 min. According to these parameters, proposed design of mixer ensures homogeneity of mixture at level of 92%, while basic homogeneity index for cattle is 86%.

feed mixer, feed mixture, daily ration, zootechnical requirements, animal husbandry, homogeneity of feed mixture

Одержано (Received) 26.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 02.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.362

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.73-80>

О.М. Васильковський, проф., канд. техн. наук, **С.М. Лещенко**, доц., канд. техн. наук, **Д.І. Петренко**, доц., канд. техн. наук, **С.М. Мороз**, доц., канд. техн. наук, **О.В. Нестеренко**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: olexa74@ukr.net*

Попередні дослідження пасивного струнного решета

У статті викладені результати досліджень роботи моделі оригінального струнного решета. На основі аналізу наукових праць сформульовано гіпотезу щодо підвищення ефективності сепарації зерна і зниження енергетичних витрат шляхом використання струнних пасивних решіт з шнурів Дупеєта. Попередні дослідження моделі підсівного решета були проведені шляхом реалізації плану повного факторного експерименту. Встановлено працездатність і виявлені основні показники роботи оригінального решета. Виявлені недоліки конструкції і сформульовані завдання для подальших досліджень.

зерно, зернова суміш, зерноочисна машина, струнне пасивне решето, живий переріз, ефективність сепарації, питома продуктивність, кут нахилу

Постановка проблеми. Підвищення продуктивності та якості решітного очищення зернового вороху дозволяє запобігти його псуванню під час зберігання та отримати якісний продукт, що містить мінімальну кількість сторонніх домішок, з максимальною ефективністю. Ефективність роботи зерноочисних машин оцінюють багатьма показниками, серед яких виділяють показники технологічної ефективності – продуктивність машини, повноту розділення і чіткість сепарації, експлуатаційні – надійність, безвідмовність тощо. Саме на підвищення зазначених характеристик спрямовані основні зусилля науковців. Однак, серед важливих показників роботи зернових сепараторів ще є енергетичний, який може суттєво впливати на собівартість обробки продукції і, особливо, в умовах енергетичної кризи є достатньо вагомим мотиватором при виборі техніки її кінцевим споживачем.

Енергетика зерноочисних машин складається з кількох чинників: енерговитрати на виконання основних операцій – роботу аспірації, решітної частини тощо і додаткових операцій – завантаження зерна, його транспортування в межах зерноочисної машини і вивантаження розділених компонент. Мінімізація енерговитрат додаткових операцій є цілком зрозумілою і достатньо обґрунтовано реалізується в більшості сучасних машин. Зниженню енерговитрат на проведення основних операцій, зокрема, решітного очищення зерна при забезпеченні високих показників технологічної ефективності, на нашу думку, слід приділити увагу, оскільки це є актуальним питанням сьогодення і найближчого майбутнього.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що найвищих показників ефективності розділення зернових матеріалів досягають решітні сепаратори п'ятого покоління [1]. Вони оснащені активними або пасивними решетами з активаторами, розділення зернового матеріалу на яких здійснюється в полі дії суттєвих інерційних сил при показниках кінематичного режиму $K \gg 1$, причому, в деяких конструкціях значення показника $K > 300$ [2, 3]. Решітні сепаратори 1-4 поколінь мають нижчі показники ефективності розділення [4-13] але мають при цьому нижчу енергетику [14]. Найменші

показники питомих енерговитрат роботи мають сепаратори першого покоління – встановлені під великим кутом до горизонту нерухомі решета. Попри низьку енергетику вони мають, часто, недостатню ефективність розділення зернових сумішей, оскільки характеризуються рядом недоліків – слабкою активністю шарів на решеті, відсутністю пристроїв для очищення робочих отворів від забивань, а також малою площею живого перерізу [15-16].

Збільшення площі живого перерізу досягається використанням пруткових (рис. 1) решіт [17], які являють собою зварну або роз'ємну конструкцію, утворену сталевим дротом малого діаметру (2...4 мм). При цьому повздовжні елементи (дріт) має круглий профіль перерізу, що сприяє орієнтації зернового матеріалу вздовж отворів, прискорюючи процес сепарації, відсутні гострі краї отворів, що запобігає пошкодженню насіння, а поперечні перетинки отворів розміщені нижче повздовжніх, що не чинить суттєвого опору переміщенню часток вздовж решета.

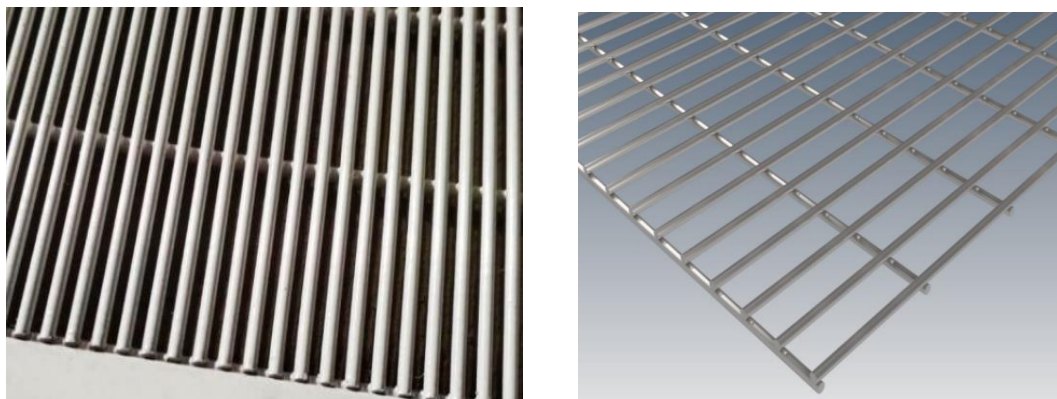


Рисунок 1 – Пруткові решета зернових сепараторів

Джерело: [17]

Збільшення живого перерізу решіт можливе шляхом подальшого зменшення діаметрів повздовжніх елементів і зменшення кількості або видалення з конструкції поперечних, однак це викликає складнощі технічного, технологічного та експлуатаційного характеру. Зокрема, втрачається жорсткість конструкції і решето може деформуватися під дією несуттєвих робочих навантажень.

Вирішення даної проблеми вдалося здійснити шляхом створення струнних решіт (рис. 2), оснащених поперечними перетинками або без них [11, 18]. Діаметри натягнутих сталевих повздовжніх перетинок (струн) становлять близько 1 мм, що суттєво збільшує живий переріз решіт, особливо, підсівних.

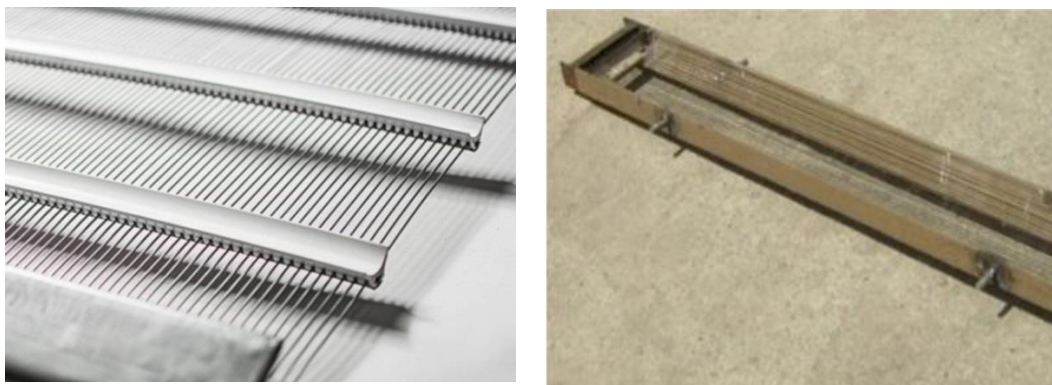


Рисунок 2 – Струнні решета зернових сепараторів

Джерело: [11, 18]

В роботі [19] наведені міркування щодо інтенсифікації решітного сепарування зернових сумішей шляхом застосування струнних решіт, що мають тільки повздовжні перетинки (струни). Отримані залежності (рис. 3) говорять про необхідність збільшення площі живого перерізу решета шляхом зменшення діаметрів повздовжніх перетинок, зокрема, за рахунок використання шнурів з надвисокомолекулярних поліетиленів Spectra/Dyneema, які характеризуються високою зносостійкістю і міцністю при «абсолютній» нерозтяжності.

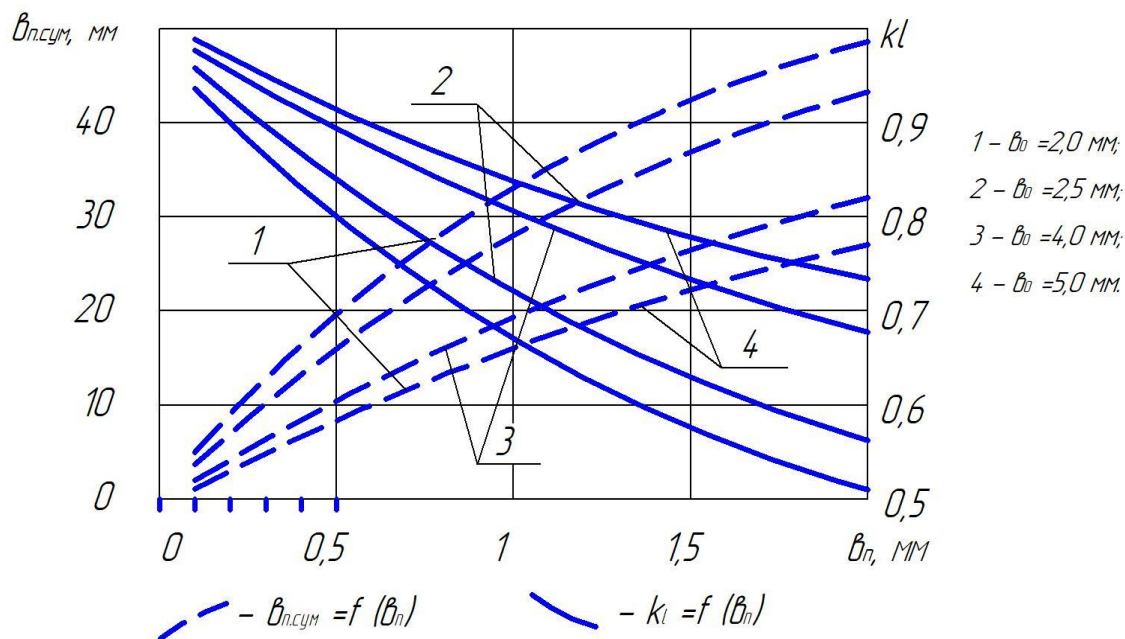


Рисунок 3 – Залежності сумарної ширини повздовжніх перетинок і коефіцієнта живого перерізу решіт шириною 100 мм від діаметрів повздовжніх перетинок для робочих поверхонь з різними розмірами отворів b_0

Джерело: розроблено авторами

При цьому експериментальної перевірки висловлена гіпотеза не проходила і реальних даних щодо ефективності роботи запропонованого струнного решета немає.

Постановка завдання. Актуальним завданням даного дослідження є оцінка працездатності і виявлення основних показників технологічної ефективності роботи нерухомого решета, оснащеного синтетичними струнами надмалого діаметру.

Виклад основного матеріалу. На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету було розроблено модель оригінального струнного решета і виготовлено лабораторну установку (рис. 4) для проведення експериментальних досліджень.

Модель струнного решета (рис. 5) має довжину – 100 мм, ширину – 50 мм, діаметр струн – 0,13 мм, матеріал струн – плетений шнур *Дунеета* зі статичним розривним зусиллям 8,6 кг, розмір отворів решета – 2,0 мм, зерновий матеріал – післякомбайновий ворох озимої пшениці урожаю 2022 року природньої засміченості.

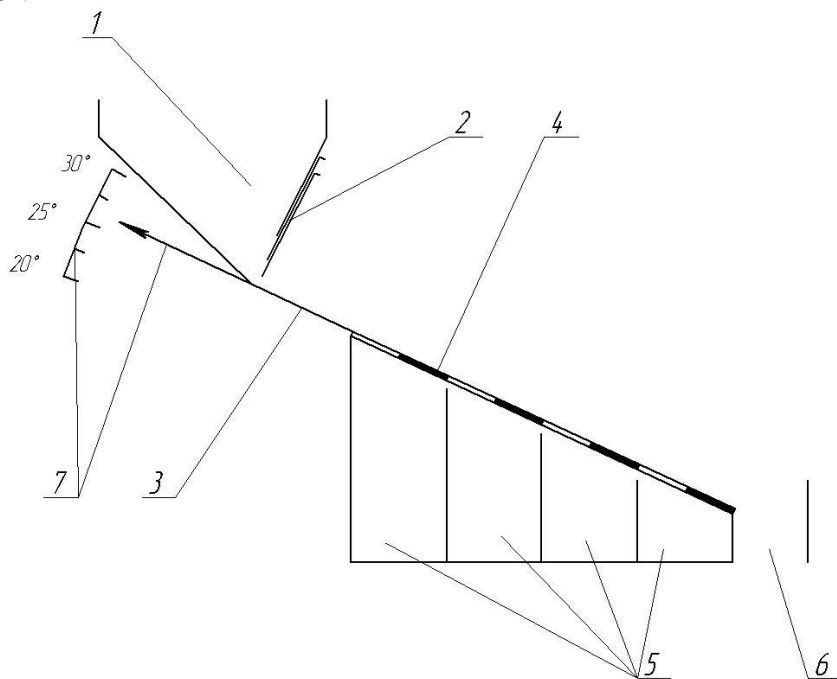
Надмалий діаметр струн збільшує живий переріз решітного полотна, що в нашому випадку, при робочій ширині отворів 2 мм і діаметрі струн 0,13 мм становить близько 97% від загальної ширини. При цьому розривне зусилля кожної струни сягає понад 8 кг і дозволяє створити потрібний натяг.

Першим етапом досліджень було проведення оцінки працездатності і виявлення основних показників технологічної ефективності роботи нерухомого решета, оснащеного синтетичними струнами надмалого діаметру.

Досліди було вирішено проводити у формі факторного експерименту, згідно методики [20].

Попередньо обрані діючі фактори: питома подача зерна пшениці x_1 , кут решета x_2 . Критерієм оцінки було прийнято масу підсіву.

Питома подачу варіювали в межах 80...160 кг/дм²·год; кут решета змінювали в межах 17...25°.



1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – напрямник; 4 – дослідне струнне решето; 5 – приймальник підсіву;
6 – приймальник очищеного зерна; 7 – регулятор кута нахилу решета

Рисунок 4 – Схема експериментальної установки

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 5 – Фрагмент моделі решета зі струнами з плетеного шнура *Duneeta*

Джерело: розроблено авторами

В результаті реалізації плану ПФЕ 2^2 нами було отримано рівняння регресії, яке дозволило виявити міру впливовості обраних факторів на процес сепарації

$$Y = 40 - 3,8 \cdot x_1 - 12,7 \cdot x_2 + 3,2 \cdot x_1 \cdot x_2.$$

Перевірка отриманої статистичної математичної моделі процесу за критерієм Фішера дозволила встановити адекватність її лінійної частини.

Перевірка коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Стюдента дозволила виявити суттєву впливовість кута нахилу x_2 струнного решета, при цьому питома подача є не впливовою у прийнятному діапазоні інтервалів варіювання.

Поверхня відгуку (рис. 6), побудована за отриманим рівнянням регресії дозволяє візуально оцінити вплив питомої подачі x_1 і кута нахилу решета x_2 на масу виділеного підсіву.

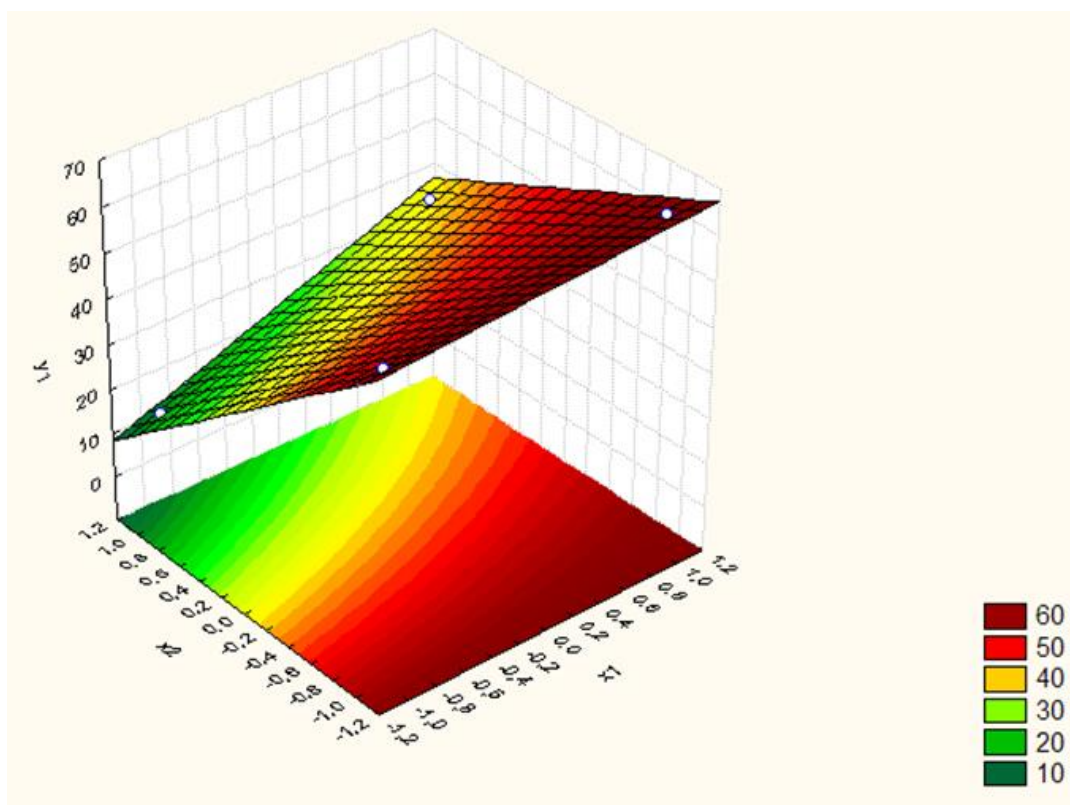


Рисунок 5 – Поверхня відгуку виділеної маси підсіву Y від питомої подачі x_1 і кута нахилу синтетичного струнного решета x_2

Джерело: розроблено авторами

Одержані під час проведення дослідів результати дозволяють підтвердити працездатність роботи сепаратора, оснащеного нерухомим решетом з синтетичними струнами надмалого діаметру. Отримані закономірності свідчать про дещо неklasичний загальний характер протікання процесу, що потребує дослідження. В ході дослідів виявлено негативні моменти: нагромадження зерна на решеті і нестійкість сепарації при мінімальному куті нахилу решета і мінімальній подачі при наявності у зерновій масі крупних сторонніх домішок. Крім того, малі розміри моделі не дозволяють в повній мірі розкрити потенційні можливості запропонованої конструкції.

Висновки. Попередні дослідження моделі пасивного решета, оснащеного синтетичними струнами дозволили зазначити наступне.

Фактор, що в ході попередніх дослідів виявився впливовим – кут нахилу при мінімальному значенні не в повній мірі забезпечує гарантовану працездатність, оскільки під час дослідів періодично спостерігалось забивання і нагромадження вороху на сепаруючій поверхні. Збільшення маси виділеного підсіву досягається при зменшенні кута пасивного решета 17° і збільшенні питомої подачі до $160 \text{ кг/дм}^2 \cdot \text{год}$. Зменшення подачі погіршує процес просіювання, особливо, при малому куті нахилу решета, однак, згідно перевірки за критерієм Стюдента, не суттєво. Отримана неklasична залежність може свідчити про недосконалість макету, вплив непередбачених факторів тощо і потребує проведення подальших досліджень.

Список літератури

1. Лузан П.Г., Васильковський О.М. Нові конструкції решіткових сепараторів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 1999. Вип. 27. С. 123-127.
2. Васильковский М.И. Повышение эффективности сепарации зерна на быстровращающемся цилиндрическом решете: автореф. дис... канд. техн. наук. Воронеж, 1987, 24с.
3. Васильковский О.М. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів відцентрового решітного сепаратора зерна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Кіровоград, 2001. 18 с.
4. Ермольев Ю.И. Применение гофрированных подсевных решет для очистки зерновых культур . *Тракторы и сельскохозяйственные машины.* 1984. №6. С. 17-18.
5. Комаристов В.Ю., Петренко М.М. Довідник з механізації післязбиральної обробки зерна. К.: Урожай, 1990. 194 с.
6. Завгородний А. И., Монтасер Х. Определение рациональной интенсивности колебаний рабочих органов вибросепаратора зерновых смесей. *Инженерия природокористування.* 2015. Вип. 1(3). С. 34-39.
7. Півень М. В. Обоснование процесса сепарирования зерновых смесей плоскими вибрационными решетами. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture.* Lublin. 2015. Vol.17. №7. С. 163-169.
8. Идентификация скорости прохождения частиц зерновой смеси через отверстия решет вибрационных зерновых сепараторов / Тищенко Л. Н. та ін. *Восточноевропейский журнал передовых технологий.* Вип. 2(7). 2016. С. 63-69.
9. Котов Б. И., Степаненко С. П., Пастушенко М. Г. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2003. Вип. 33. С.53-59.
10. Stanger E.A. Graing - cleaning machinery . *Milling feed and fertiliser.* 1977. Vol. 160. v 8. P. 11-15.
11. Минаев В.Н., Регге Х. Пути повышения производительности зерноочистительных машин . *Техника в сельском хозяйстве.* 1990. №1. С.16-17.
12. Иванов, Н.М. Сепарация зерна на конических решетках с профилированной поверхностью: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 1988. 171 с.
13. Сисолін П.В., Петренко М.М., Свірень М.О. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння: підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. "Машини та обладн. с.-г. вир-ва". Кн. 3. К. : Фенікс, 2007. 432 с.
14. Енергетичний аналіз роботи завантажувальних транспортерів зерноочисних машин загального призначення / С.М. Мороз, О. М. Васильковський, Г. Б. Філімоніхін О. В. Анісімов . *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2012. Вип. 42 (1). С. 106-116.
15. Зерноочистительное оборудование предварительной очистки. URL : <https://ventoprom.com.ua/zernoochistitelnoe-oborudovanie-predvaritelnoj-ochistki/> (дата звернення: 14.09.2022).
16. Авдеев Н.Е., Чернухин Ю.В. Технологические возможности многофракционного гравитационного сепаратора. *Известия ВУЗОВ. Пищевая технология.* 1998. Вип. 4. С. 77-79.
17. Решето Фадеева: пат. 37527: Україна: МПК В07В 1/46. № u200809604; заявл. 22.07.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22.
18. Мороз С.М., Васильковський М.І., Васильковський О.М. Обґрунтування діаметрів стержнів пруткового решета . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту.* 2004. Вип. 14. С. 72-78.

19. До створення концепції «ідеального» решета зернового сепаратора. / Васильковський О.М., Лещенко С.М., Мороз С.М., Нестеренко О.В. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2020. Вип. 50. С. 52-58.
20. Підручник дослідника: навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О. Васильковський, С. Лещенко, К. Васильковська, Д. Петренко. Харків: Мачулін, 2016. 204 с.

References

1. Luzan, P.G. & Vasilkovsky, O.M. (1999). Novi konstrukciyi reshitkovy`x separatoriv [Design, manufacture and operation of agricultural machinery]. *Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 27*, 123-127 [in Ukrainian].
2. Vasytkovskiy, M. I. (1987). Povyshenie effektivnosti separatsii zerna na bystrovrashchayuschemsya tsilindricheskom reshete [Improving the efficiency of grain separation on a rapidly rotating cylindrical sieve]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Voronezh [in Russian].
3. Vasytkovskiy, O.M. (2001). Rozrobka konstruktsii ta obgruntuvannia parametriv vidtsentrovoho reshitnoho separatora zerna [Development of design and substantiation of parameters of centrifugal sieve grain separator]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kirovohrad [in Ukrainian].
4. Ermolev, Yu.I. (1984). Primenenie gofrirovannykh podsevykh reshet dlya ochistki zernovykh kultur [The use of corrugated under-sowing sieves for cleaning grain crops]. *Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny – Tractors and agricultural machines*, 6, 17-18. [in Russian].
5. Komarystov, V.Iu. & Petrenko, M.M. (1990). *Dovidnyk z mekhanizatsii pisliazbyralnoi obrobky zerna [Handbook of mechanization of post-harvest processing of grain]*. Kiev: Urozhai [in Ukrainian].
6. Zavhorodnyi, A.Y. & Montaser, Kh. (2015). Opredelenye ratsionalnoi yntensyvnyosti kolebanyi rabochykh orhanov vybroseparatora zernovykh smesei [Determination of rational intensity of oscillations of working organs of vibroseparator of grain mixtures]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia – Nature management engineering, Vol. 1(3)*, 34-39 [in Russian].
7. Piven, M.V. (2015). Obosnovanye protsessa sepyrovanyia zernovykh smesei ploskymy vybratsyonnyimi reshetamy [Justification of the process of separation of grain mixtures with flat vibrating sieves]. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin, Vol.17 (7)*, 163-169 [in Russian].
8. Tyshchenko L. N. et al. (2016). Ydentyfikatsiya skorosty prokhozhdennia chastyts zernovoi smesy cherez otverstiya reshet vybratsyonnykh zernovykh separatorov [Identification of the rate of passage of particles of the grain mixture through the openings of sieves of vibration grain separators]. *Vostochnoevropskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiyi – Eastern European journal of advanced technologies, Vol. 2 (7)*, 63-69 [in Russian].
9. Kotov, B.I., Stepanenko, S.P. & Pastushenko, M.H. (2003). Tendentsii rozvytku konstruktsii mashyn ta obladnannia dlia ochyshchennia i sortuvannia zerno materialiv [Trends in the design of machinery and equipment for cleaning and sorting grain materials]. *Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 33*, 53-59 [in Ukrainian].
10. Stanger, E.A. (1977). Grain - cleaning machinery. *Milling feed and fertiliser, Vol. 160. v 8*, 11-15 [in English].
11. Minaev, V.N. & Regge, H. (1990). Puti povysheniya proizvoditelnosti zernoochistitelnykh mashyn [Ways to increase the productivity of grain cleaning machines]. *Tehnika v sel'skom hozyajstve – Technology in agriculture, 1*, 16-17 [in Russian].
12. Ivanov, N.M. (1988). Separaciya zerna na konicheskikh reshetah s profilirovannoj poverhnostyu [Separation of grain on conical sieves with a profiled surface]. *Candidate's thesis*. Novosibirsk [in Russian].
13. Sysolin, P.V., Petrenko, M.M. & Sviren, M.O. (2007). Silskohospodarski mashyny: teoretychni osnovy, konstruktsiia, proektuvannia. Mashyny ta obladnannia dlia pererobky zerna ta nasinnia [Agricultural machinery: theoretical foundations, construction, design. Machines and equipment for grain and seed processing]. Vol. 3. Kyiv: Feniks [in Ukrainian].
14. Moroz, S.M., Vasytkovskiy, O.M., Filimonikhin, H.B. & Anisimov, O. V. (2012). Enerhetychni analiz roboty zavantazhuvalnykh transporteriv zernoochysnykh mashyn zahalnoho pryznachennia. [Power analysis of the work of the loading conveyors of general cleaning machines]. *Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 42 (1)*, 106-116 [in Ukrainian].

15. Zernoochistitel'noe oborudovanie predvaritel'noj ochistki [Grain cleaning equipment for preliminary cleaning.]. *ventoprom.com.ua*. Retrieved from <https://ventoprom.com.ua/zernoochistitelnoe-oborudovanie-predvaritel'noj-ochistki/>.
16. Avdeev, N.E. & Chernukhyn, Yu.V. (1998) Tekhnologicheskiye vozmozhnosti mnohofraktsyonnoho hravytatsyonnoho separatora. [Technological Capabilities of the Multifraction Gravity Separator]. *Izvestiya VUZOV. Pyshchevaia tekhnolohyia – Izvestiya UZOV. Food technology, Issue 4*, 77-79 [in Russian].
17. Resheto Fadieieva [Fadeev sieve]: pat. 37527 Ukraina: MPK B07B 1/46. No u200809604; stated. July 22, 2008; has been published Novemder 25, 2008, Bul. No 22 [in Ukrainian].
18. Moroz, S.M., Vasytkovskiy, M.I. & Vasytkovskiy, O.M. (2004). Obgruntuvannia diametriv sterzhniv prtkovoho resheta [Determination of the diameters of the rods of the bar sieve]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohrads'koho nats. tekhn. un-tu – Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation: coll. of science avenue of KNTU, Issue 14*, 72–78 [in Ukrainian].
19. Vasytkovskiy, O.M., Leshchenko, S.M., Moroz, S.M. & Nesterenko, O.V. (2020). Do stvorennia kontseptsii «idealnoho» resheta zernovoho separatora [To the creation of the concept of the "ideal" grain separator sieve]. *Konstruiuvannja, vyrobnytstvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 50*, 52-58 [in Ukrainian].
20. Vasytkovskiy, O., Leshchenko, S., Vasytkovska K., Petrenko, D. (2016). Pidručnyk doslidnyka. Navchalnyi posibnyk dlja studentiv ahrotekhnichnykh spetsialnostei [Tutorial of the researcher. A manual for students of agrotechnical specialties]. Kharkiv: Machulin [in Ukrainian].

Oleksii Vasytkovskiy, Prof., PhD tech. sci., **Serhii Leshchenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Petrenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Serhii Moroz**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Nesterenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Preliminary Studies of Passive String Sieve

The article presents the results of research into the operation of the model of the original string sieve. The sieve is equipped with synthetic strings made of ultra-small diameter Dyneema braided cord. The purpose of this study is to evaluate the performance and identify the main indicators of the technological efficiency of the proposed fixed sieve installed at an angle to the horizon.

Preliminary studies of the sowing sieve model were carried out by implementing the plan of a full factorial experiment. The experiments were carried out on a model of a seed sieve with holes of 2 mm. In the course of experiments, a post-harvest heap of winter wheat with natural clogging was used. The criterion for evaluating the efficiency of separation is the mass of seeding, and the specific feed and the angle of inclination of the sieve are the operating factors. The operational efficiency was established and the main performance indicators of the model were identified. The statistical mathematical model of the process allows us to assert the linear dependence of the criterion on the operating factors and to obtain a quantitative assessment of their influence on the process of cleaning the grain mixture. The surface of the response of the mass of the selected seeding from the specific loading of a unit of the sieve area and the angle of its inclination is constructed. An analysis of the regression equation and the response surface was carried out, during which design flaws were identified and tasks for further research were formulated.

The factor that was found to be influential in the course of the previous experiments – the angle of inclination at the minimum value does not fully ensure guaranteed performance, since during the experiments clogging and accumulation of piles on the separating surface were periodically observed. An increase in the mass of the selected seeding is achieved by reducing the angle of the passive sieve to 17° and increasing the specific supply to 160 kg/dm² h. A decrease in feed worsens the sieving process, especially at a small angle of inclination of the sieve, however, according to the Student's test, it is not significant. The resulting non-classical dependence may indicate the imperfection of the layout, the influence of unforeseen factors, etc., and requires further research.

grain, grain mixture, grain cleaning machine, string passive sieve, live section, separation efficiency, specific productivity, angle of inclination

Одержано (Received) 28.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 07.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.674.6:631.559

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.81-86>

К.В. Васильковська, доц., канд. техн. наук, **М.М. Ковальов**, канд. с.-г. наук, **О.О. Андрієнко**, доц., канд. с.-г. наук, **Г.І. Корнічева**, агрон.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: vasilkovskakv@ukr.net

Технічне забезпечення гідропоніки, як прогресивного виду вирощування овочевих культур

В статті запропоновано схему гідропонної установки (NFT) для вирощування зелених овочевих культур в умовах закритого ґрунту. Вирощування зелених овочевих культур в умовах гідропонних систем дає можливість отримувати врожай цілий рік, при чому в об'ємі набагато більшому ніж за ґрунтових умов. Розроблена конструкція гідропонної системи дає можливість отримувати сталий врожай рослин салату при використанні субстрату. Використана установка системи NFT із використанням поживного розчину мінерально-біологічних препаратів дозволяє отримати розсаду з добре розвинутою кореневою системою та надземною частиною. Проведені дослідження дали змогу отримати врожайність, що переважає врожайність в ґрунтових умовах на 10-15%, а в перерахунку на рік – в 5,0-5,5 рази.
гідропонний метод, овочеві культури, установка, субстрат, мінеральний розчин

Постановка проблеми. Продовольча безпека в Україні та світі залежить від багатьох факторів, насамперед від добової енергетичної цінності споживання та забезпечення раціону людини продуктами харчування. Загострення продовольчої кризи та неможливість вивезення продукції сільськогосподарського виробництва з портів на тлі війни в Україні, лише посилює питання продовольчої безпеки [1].

В умовах нестабільного землеробства Центральної України вирощування вимогливих до вологості овочевих культур є досить проблематичною задачею. Часткова окупація тих регіонів, які постачали на ринок України овочеві культури, спонукає до пошуку нових методів вирощування овочевих культур протягом всього року. Овочеві культури в зоні ризикованого землеробства вирощуються в основному із використанням різних способів зрошення [2]. Таким чином використання краплинного зрошення, ін'єкційного зрошення та елементів гідропоніки є головною складовою виконання технологічного процесу вирощування овочевих культур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологічний процес вирощування овочевих культур обов'язково включає в себе наступні складові: якісне насіння з високим генетичним потенціалом, зрошення, використання вискоєфективних добрив, захист рослин від шкочинних організмів та механізацію всіх етапів технологічного процесу [3].

Ідея використання гідропоніки виникла за античних часів. Прикладом її втілення можна вважати одне із семи чудес світу – Висячі сади Семіраміди, свідчення про існування яких датується існуванням Вавилонського царства. Однак слід зауважити, що в садах було використано ґрунт, хоча і була зроблена спроба забезпечення рослин поживними речовинами за допомогою системи зрошення [4, 5].

Принцип споживання рослинами поживних речовин вперше був застосований Аристотелем, саме він зробив висновок про те, що кінцевий продукт, що надходить до

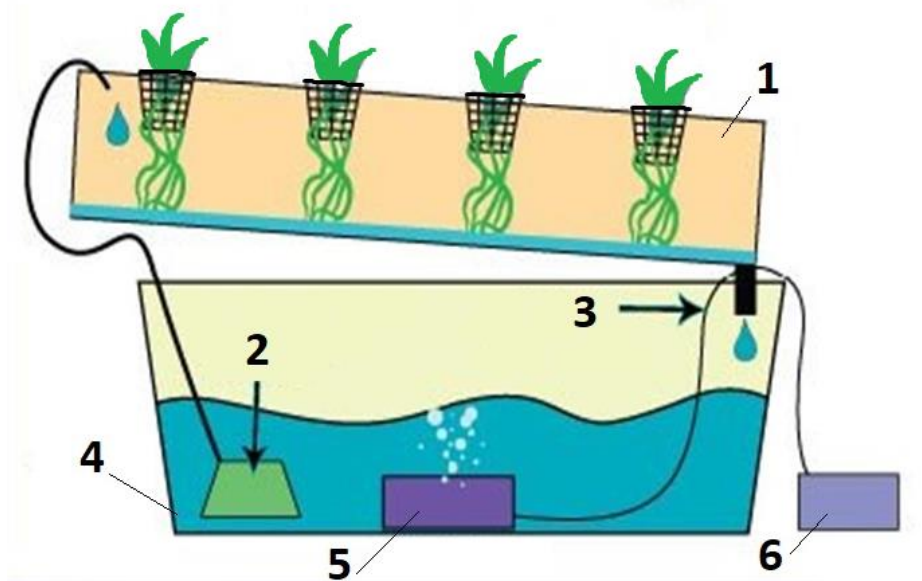
коріння в якості харчування, має органічну форму [6]. Вчений відкрив основу гідропоніки – рослини беруть з ґрунту неорганічні речовини, отримані в результаті розпаду органіки. Таким чином для розвитку і росту їм не потрібен ґрунт, а потрібне світло, сталий температурний режим та раціональне надходження неорганічних речовин до кореневої системи.

Постановка завдання. Метою написання статті є обґрунтування схеми установки для гідропонного вирощування овочевих культур в умовах закритого ґрунту для отримання сталих врожаїв овочевих культур протягом всього року.

Виклад основного матеріалу. Гідропонний метод – це спосіб вирощування культур на «фальшивих» ґрунтах. При цьому методі коренева система отримує харчування із середовища, що володіє волого-повітряною характеристикою, а також в цьому середовищі відбувається сильна аерація водного простору.

В якості ґрунту, можуть бути застосовані тверді пористі матеріали, які дадуть можливість кореневій системі «дихати». Такий заміник ґрунту потребує досить частого (крапельного) зрошення, за потребою може використовуватись удобрення сумішшю. В якості матеріалу для такого замінника ґрунту застосовують мінеральну вату, керамзит, кокосові субстрати, тирсу та подібні їм речовини [7].

Для проведення дослідження на кафедрі загального землеробства ЦНТУ розроблено і виготовлено гідропонну установку, яка працює за принципом поживного шару (NFT). Установка розроблена для вирощування зелених овочевих культур. В якості субстрату було використано кокосово-агроперлітну ґрунтосуміш, також в установці можна використовувати мінеральну вату або лляні килимки (рис. 1).



1 – лоток з рослинами; 2 – насос живильних речовин; 3 – трубка для повернення живильних речовин;
4 – резервуар; 5 – розпилювач; 6 – помпа

Рисунок 1 – Типова схема гідропонної установки (NFT)

Джерело: розроблено авторами із використанням [1, 3]

Використовувана установка є компактною, забезпечується системою освітлення та працює в автоматичному режимі. Корисна площа установки складає $0,104 \text{ м}^2$, таким чином можливо одночасно вирощувати від 40 до 112 рослин салату.

Обов'язковою умовою роботи установки є постійний доступ кисню до коренів рослин. Для цього в установці використано помпу 6 (компресор). Від помпи трубка потрапляє до розпилювача 5.

В кришці лотка 1 прорізано отвори для горщиків з рослинами. Діаметр отвору повинен дозволяти горщикам занурюватись на половину, однак при цьому він не повинен провалюватися. Крок між отворами підбирається з урахуванням особливостей рослин. Для вирощування салату та зелені крок становить 10 см.

В бічній частині лотка 1 виготовлено отвір для підключення насоса 2 та шлангів. Резервуар 4 заповнено рідиною на 2/3 висоти.

Горщики для рослин заповнені субстратом, в якості якого використано кокосово-агроперлітну ґрунтосуміш. Горщики розміщено в пророблених отворах, при чому їх нижня частина повинна бути зануреною у рідину. Після збору та перевірки працездатності установки, висаджувалось насіння. Нами використано насіння салату сорту Тудела.

Після перший паростків в рідину додавались поживні елементи. Правильність приготування живильного розчину має важливе значення. Вода, як основа розчину, повинна бути чистою, низько мінералізованою. Для поживного розчину використовуються водорозчинні добрива. Нами використовувалось комплексне добриво з мікроелементами та біологічними препаратами [7, 9].

Так як, рідина в резервуарі із часом може випаровуватись, потрібно стежити за її рівнем та, за необхідності, поповнювати. Рекомендовано компресор використовувати не менше чотирьох годин на добу. Нами використано таймер, який підключав компресор в заданий час.

Щотижня відбувався контроль режиму живлення рослин та проводився аналіз поживного розчину, а щодня відбувався контроль величини рН та вмісту солей. За необхідністю коригувався вміст макро- і мікроелементів [8].

Поживний розчин змінюємо повністю один раз на місяць, так як в ньому може накопичуватись сірка та розклались залишки відмерлих частин рослин.

Використання мінерального розчину в гідропонній установці дало істотний вплив на ріст і розвиток рослин салату та спричинило приріст площі листових пластинок (рис. 2).

В досліді отримано врожайність салату сорту Тудела – 4,9 кг/м², що на 10-15% більше ніж у ґрунтових умова, а за використання установки цілий рік – більше в 5,0-5,5 рази.



Рисунок 2 – Загальний вигляд рослин салату та гідропонної установки (NFT) для вирощування салату

Джерело: розроблено авторами

Виростання новітніх інноваційних технологій у тепличному господарстві, як закордоном, так і в Україні, дає нові можливості для інтенсифікації виробництва овочевої продукції протягом всього року. А використання гідропонних установок із системою життєзабезпечення рослин мікроелементами надає новий рівень для вирощування цих рослин навіть без використання ґрунту.

Метод гідропоніки базується на використанні новітніх досягнень хімії, біології та електронних систем життєзабезпечення. Метод добре зарекомендував себе для вирощування, як овочевих, так і кімнатних рослин. Найбільшою перевагою гідропоніки є висока врожайність (приблизно в 5 разів вище, ніж при вирощуванні в ґрунті). Пояснення тому просте: перебуваючи в ґрунті, рослині доводиться шукати корисні речовини, і основна частина зусиль витрачається на ріст кореневої системи, а не надземної його частини, а вирощування рослин в спеціальному розчині дозволяє їм отримувати всі необхідні мікро- та макроелементи в повному обсязі, без додаткових зусиль. Завдяки цьому, енергія рослини спрямована на розвиток надземної його частини, що сприяє збільшенню їх врожайності [10].

Також до переваг слід віднести відсутність потреби у використанні фунгіцидів. Так як, без наявності ґрунту відсутні такі шкідники, як капустянка та сциаріди.

До найбільшої переваги слід віднести економію води та контроль речовин, які вони поглинають в процесі розвитку.

Однак, метод гідропоніки вимагає наукового підходу, тут важливо дотримуватися правильного температурного режиму та регулярно контролювати кислотність води. Слід тримати постійну температуру в межах 20-25°C.

Висновки. Отже, виходячи умов сьогодення, все більш важливим питанням є забезпечення населення овочевими культурами цілий рік. Новітні системи вирощування зелених овочевих культур в умовах гідропонних систем дає можливість отримувати врожай цілий рік, при чому в об'ємі набагато більшому ніж за ґрунтових умов. Розроблена конструкція гідропонної системи дає можливість отримувати сталий врожай рослин салату при використанні кокосово-агроперлітну ґрунтосуміш в якості субстрату. Запропонована установка системи NFT із використанням поживного розчину мінерально-біологічних препаратів дозволила отримати розсаду з добре розвиненою кореневою системою та надземною частиною із врожайністю 4,9 кг/м², яка переважає врожайність в ґрунтових умовах на 10-15% і в перерахунку на рік – в 5,0-5,5 рази.

Список літератури

1. Vasytkovska K., Andriienko O., Vasytkovskyi O., Andriienko A., Popov V. and Malakhovska V. (2021). Dynamics of export potential of sunflower oil in Ukraine. *HELIA*, 44(74). 115-123. DOI: <https://doi.org/10.1515/helia-2021-0001>
2. Ковальов М.М., Кулик Г.А., Машенко Ю.В. Продуктивність індетермінантних гібридів томату залежно від органічних мульчуючих матеріалів та краплинного зрошення. *Аграрні інновації*. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика», Вип. 12, 2022: С. 34-40. DOI: <https://doi.org/10.32848/agr.innov.2022.12.6>
3. Васильковська К.В., Ковальов М.М., Андрієнко О.О. Технічне забезпечення ін'єкційного зрошення овочевих культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* Вип. 51, 2021. С. 14-20. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.14-20>
4. Руденко М. Чудесна гідропоніка: Усі секрети врожаю в гідрогелі, торфі, сіні, мхі. Харків : Vivat, 2017. 224 с.
5. Гіль Л.С., Пашковський А.І., Суліма Л.Т. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Ч. 1. Закритий ґрунт: навч. посіб. Вінниця: Нова книга, 2008. 368 с.

6. Мітков В.Б., Шиленко А.С. Удосконалення поливу та режимів краплинного зрошення в умовах закритого ґрунту. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С.51-54.
7. Ковальов М.М., Звездун О.М. Вирощування найпоширеніших сортів салату ромен на різних типах субстратів в NFT системах. *Водні біоресурси та аквакультура*. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», Вип. 9 (1), 2021. С. 27-36. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.3>
8. Бондаренко Г.Л., Яковенко К.І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві. Харків: Основа, 2001. 369 с.
9. Howard M. R. (2013). Hydroponic food production. NW. Taylor & Francis Group. P. 155.
10. Ковальов М.М., Васильковська К.В. Перспективи розвитку тепличного господарства в Україні. *Аграрні науки та продовольство в сучасній системі освіти: взаємини та протидії: матеріали науково-педагогічного підвищення кваліфікації у галузі аграрних наук та продовольства*. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2021. С. 33-37.

Referencis

1. Vasytkovska, K., Andriienko, O., Vasytkovskyi, O., Andriienko, A., Popov, V. a& Malakhovska, V. (2021). Dynamics of export potential of sunflower oil in Ukraine. *HELIA*, 44(74): 115-123. DOI: <https://doi.org/10.1515/helia-2021-0001> [in English].
2. Kovalov, M.M., Kulyk, H.A. & Mashchenko, Yu.V. (2022). Productivity of indeterminate tomato hybrids depending on organic mulching materials and drip irrigation [Produktyvnist indeterminantnykh hibrdiv tomatu zalezho vid orhanichnykh mulchuiuchykh materialiv ta kraplynnoho zroshennia]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian innovations, Issue 12*. 34-40. DOI: <https://doi.org/10.32848/ahar.innov.2022.12.6> [in Ukrainian]
3. Vasytkovska, K.V., Kovalov, M.M. & Andriienko, O.O. (2021). Technical support of injection irrigation of vegetable crops [Tekhnichne zabezpechennia inieksiinoho zroshennia ovochevykh kultur]. *Konstruivannja, vyrobnyctvo ta ekspluacija sil'skohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 51*, 14-20. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.14-20>
4. Rudenko, M. (2017). Wonderful hydroponics: All the secrets of the harvest in hydrogel, peat, hay, moss [Chudesna hidroponika: Usi sekrety vrozhaiu v hidroheli, torfi, sini, mkhe], Harkiv: Vivat [in Ukrainian]
5. Hil, L.S., Pashkovskyi, A.I. & Sulima, L.T. (2008). Modern technologies of vegetable growing in closed and open soil. Closed ground: training manual. [Suchasni tekhnolohii ovochivnytstva zakrytoho i vidkrytoho ґрунту. Zakrytyi ґрунт: navchalnyi posibnyk]. Vinnytsia: Nova knyha [in Ukrainian]
6. Mitkov, V.B. & Shylenko, A.S. (2020). Improvement of watering and drip irrigation regimes in closed soil conditions [Udoskonalennia polyvu ta rezhymiv kraplynnoho zroshennia v umovakh zakrytoho ґрунту]. *Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: II Mizhnarodna nauko-vo-praktbchnf Internet-konferentsia – II International Science and Practice Internet Conferences (pp. 51-54.)*, Melitopol': TDAТУ [in Ukrainian]
7. Kovalov, M.M. & Zvezdun, O.M. (2021). Cultivation of the most common varieties of romaine lettuce on different types of substrates in NFT systems [Vyroshchuvannia naiposhyrenishykh sortiv salatu romen na riznykh typakh substrativ v NFT systemakh]. *Vodni bioresursy ta akvakultura – Aquatic bioresources and aquaculture, Issue 9(1)*, 27-36. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.3> [in Ukrainian]
8. Bondarenko, H.L. & Yakovenko, K.I. (2001). Methods of research in vegetable growing and melon growing [Metodyka doslidnoi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi]. Kharkiv: Osнова [in Ukrainian]
9. Howard, M. R. (2013). Hydroponic food production. NW. Taylor & Francis Group, 155 [in English].
10. Kovalov, M.M. & Vasytkovska, K.V. (2021). Prospects for the development of greenhouse farming in Ukraine [Perspektyvy rozvytku teplychnoho hospodarstva v Ukraini]. *Agrarian sciences and food in the modern education system: relations and countermeasures: nauko-vo-pedahohichnohe pidvyshchennia kvalifikatsii u haluzi ahrarnykh nauk ta prodovolstva – Scientific and Pedagogical Professional Development in the Field of Agrarian Sciences and Food*, 33-37. [in Ukrainian]

Kateryna Vasytkovska, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykola Kovalov**, PhD agr. sci., **Olha Andriienko**, Assoc. Prof., PhD agr. sci., **Halina Kornicheva**, Agr.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Technical Support of Hydroponics as a Progressive Type of Growing Vegetable Crops

The aggravation of the food crisis and the impossibility of exporting agricultural products from the ports against the backdrop of the war in Ukraine only exacerbates the issue of food security. The purpose of writing the article is to substantiate the installation scheme for hydroponic cultivation of vegetable crops in closed soil conditions for obtaining stable harvests of vegetable crops throughout the year.

To carry out research, a hydroponic plant that works on the principle of a nutrient layer (NFT) was developed and manufactured at the Department of General Agriculture of the Central Ukrainian National Technical University. The installation is designed for growing green vegetable crops. A coconut-agroperlite soil mixture was used as a substrate. The used installation is compact, provided with a lighting system and works in automatic mode. The useful area of the installation is 0.104 m², so it is possible to grow from 40 to 112 lettuce plants at the same time. The use of a mineral solution in a hydroponic installation had a significant effect on the growth and development of lettuce plants and caused an increase in the area of leaf plates. In the experiment, the yield of Tudela variety lettuce was obtained - 4.9 kg/m², which is 10-15% more than in soil conditions, and if the installation is used all year round - 5.0-5.5 times more. The advantage of the method is that there is no need to use fungicides. Since, without the presence of soil, there are no such pests as cabbageworm and sciaridis. And the biggest advantage is saving water and controlling the substances they absorb in the process of development.

The latest systems of growing green vegetable crops in the conditions of hydroponic systems make it possible to harvest all year round, and in a much larger volume than under soil conditions. The developed design of the hydroponic system makes it possible to obtain a steady crop of lettuce plants when using a coconut-agroperlite soil mixture as a substrate. The proposed installation of the NFT system using a nutrient solution of mineral-biological preparations made it possible to obtain seedlings with a well-developed root system and an above-ground part with a yield of 4.9 kg/m².

hydroponic method, vegetable crops, installation, substrate, mineral solution

Одержано (Received) 12.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 07.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.331.8

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.86-98>

Е. Б. Алієв, ст.досл. д-р техн. наук, директор

*Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України,
м. Запоріжжя, Україна*

e-mail: aliev@meta.ua

П.Є. Безверхній, асп.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

e-mail: niklinko21@gmail.com

Чисельне моделювання сповільнювача насіння пневматичної сівалки точного висіву

В результаті чисельного моделювання сповільнювача насіння пневматичної сівалки John Deere в програмному пакеті Star CCM+ отримано візуалізацію процесу руху насіння і повітряного потоку в робочій області сповільнювача. За результатами чисельного моделювання і обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримані рівняння регресії третього порядку в розкодованому вигляді без урахування значущих коефіцієнтів за t-критерієм Стюдента залежностей швидкості повітряного потоку, швидкості насіння на виході сповільнювача насіння і коефіцієнта зміни норма висіву від швидкості повітряного потоку на вході і відношення площі випускних отворів до площі входу.

насіння, сівалка, точний висів, сповільнювач, моделювання, симуляція, швидкість

Постановка проблеми. У сучасному рослинництві важлива роль відводиться енергозберігаючим технологіям вирощування культурних рослин. Це один із найважливіших перспективних і пріоритетних напрямків, який вимагає застосування сільськогосподарських машин нового покоління, що забезпечують високу якість і точність робіт на всіх технологічних операціях, в тому числі і під час сівби культурних рослин [1, 2].

Нові конструкції машин розробляються із врахуванням вимог прецизійності (точності), багатофункціональності, енергоємності та з достатнім запасом міцності конструктивних елементів [3, 4]. Для роботи таких машин у варіанті універсальних пневматичних сівалок точного висіву існуючі системи подачі насіння мало пристосовані і вимагають доопрацювання [5, 6, 7]. Не винятком є і пневматична сівалка John Deere (рис. 1).

Багато пневматичних сівалок виробництва John Deere не можуть утримувати насіння в посівному ложі, особливо при нульовій або мінімальній обробці гранту (No-till, Strip-till, Mini-till). Це стає ще більшою проблемою при роботі на високих швидкостях на меншій глибині висіву. Рішенням даної проблеми є удосконалення системи подачі насіння [8, 9].



Рисунок 1 – Конструкція висівної секції пневматичної сівалки John Deere

Джерело: [5]

Виліт насіння з посівного ложа є поширеною проблемою для багатьох пневматичних сівалок, що виникає при посіві дрібнонасінневих культур (наприклад, ріпаку, проса, гірчиці), при внесенні гранульованого добрива разом із насінням (збільшується швидкість потоку повітря), при використанні більш широкого посівного обладнання [5, 10, 11]. Ці чинники збільшують ризик викидання насіння з посівного ложа, що зменшує однорідність посіву. Для вирішення даної проблеми необхідно встановлювати сповільнювачі насіння, що дозволяють зменшити швидкість повітряного потоку на виході з сошнику.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки все більше і більше фермерів використовують повітряні бункери для розміщення сумішей добрив у рядку разом із насінням, для транспортування обох продуктів до висівних башмаків (сошників) потрібно значно більший потік повітря, особливо при більшій ширині висіву та вищій швидкості висіву. Завдяки такому підвищенню швидкості повітряного

потоків підвищується ризик того, що насіння (і добрива) вилетять із отвору для насіння і потраплять не у посівне ложе [11, 12]. Рішенням даної проблеми є встановлення сповільнювача насіння, який встановлюється вертикально над висівною трубою на пневматичних сівалках John Deere [5]. Вони мають різноманітну форму, що дозволяє ергономічне розташування під елементами рами, зберігаючи близьку вертикальну орієнтацію для хорошого потоку насіння (рис. 2) [5]. Однак конструкція сповільнювачів насіння повинна забезпечувати, окрім зниження швидкості повітряного потоку, вільний потік насіння до сошника без утворення заторів з урахуванням постійного коливання рами сівалки і забезпечення необхідної точності висіву, а також запобігання травмування насіння під час його переміщення.

Тому для обґрунтування конструктивно-режимних параметрів сповільнювача насіння пневматичної сівалки на прикладі John Deere необхідно провести відповідне чисельне моделювання.



Рисунок 2 – Конструкції сповільнювача насіння

Джерело: [5]

Постановка завдання. Підвищення ефективності роботи сповільнювача насіння пневматичної сівалки John Deere шляхом обґрунтування його конструктивно-режимних параметрів на основі чисельного моделювання в програмному пакеті Star CCM+¹.

Виклад основного матеріалу. Спираючись на власний досвід чисельного моделювання [13, 14, 15, 16] для досягнення поставленої мети було побудовано модель в програмному пакеті Star CCM+. Конструкція і згенерована сітка внутрішньої області сповільнювача насіння із зазначенням геометричних розмірів приведена на рис. 3.

Геометричні розміри сповільнювача насіння були обрані з урахуванням можливості його розташування і конструктивних особливостей пневматичної сівалки John Deere. В якості моделей генерації об'ємної сітки в програмному пакеті Star CCM+ були обрані наступні: генератор багатограних комірок, генератор поверхневої сітки, екструдер. Опорними величинами зазначених генераторів є наступні: базовий розмір – 0,004 м; швидкість росту x поверхні – 1,3; відносний мінімум розміру для подрібнення комірок – 10 %; мінімальна допустима якість грані – 0,001 м.

В якості фізичних моделей для чисельного моделювання обрані наступні: модель реального газу (повітря) Ван-дер-Ваальса; модель k - ϵ -турбулентності; модель роздільної течії; модель Лагранжевої багатозфазності, зокрема метод дискретних елементів (DEM) з урахування багатозфазної взаємодії. Симуляція процесу виконана у тривимірному просторі із нестационарним неявним вирішувачем.

¹ В дослідженнях використовувалося програмне забезпечення «Simcenter STAR-CCM+ Academic Pack», власником ліцензії якої є Дніпровський державний аграрно-економічний університет.

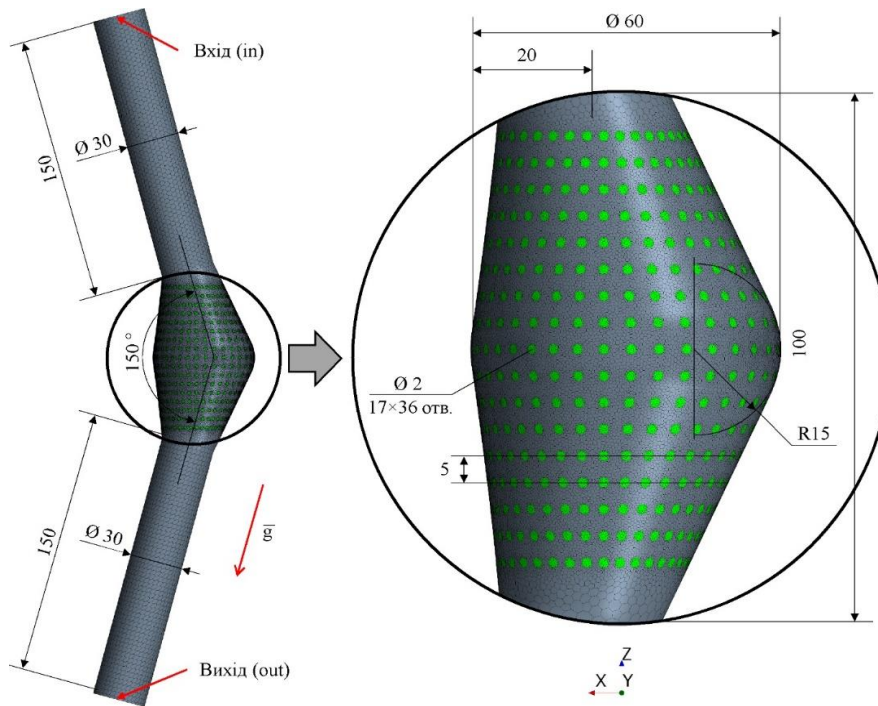


Рисунок 3 – Конструкція і згенерована сітка внутрішньої області сповільнювача насіння (значення в мм)
Джерело: розроблено авторами

Для повітря прийняті наступні фізико-механічні властивості: динамічна в'язкість – $1,85508 \cdot 10^{-5}$ Па·с; турбулентне число Прандтля – 0,9; молекулярна маса – 28,9664 кг/кмоль.

В якості DEM-частинок обрано насіння сої, які мали сферичну форму. Властивості насіння соя прийняті наступні [17]: коефіцієнт Пуассона – 0,45; модуль Юнга – 0,2 МПа; щільність – 700,0 кг/м³; ефективний діаметр насіння знаходиться в межах від 0,0045 м до 0,0055 м і підпорядковується нормальному розподілу; стандартне відхилення діаметра насіння – 0,001 м.

Взаємодія насінин одне з одним і зі непроникливими стінками сповільнювача насіння підпорядковані моделі контакту Герца-Міндліна. При цьому коефіцієнт тертя спокою прийнятий 0,61, нормальний коефіцієнт відновлення – 0,5, дотичний коефіцієнт відновлення – 0,3.

Вектор сили тяжіння згідно рис. 3 мав координати (2,539; 0,0; -9,476) м/с².

В якості граничних умов обрані наступні моделі (відповідно до рис. 3): границя «Вхід (in)» (діаметр – 30 мм) – модель швидкості повітря на вході (V_{in}); границя «Вихід (out)» діаметр – 30 мм – модель неявного виходу; границя «отвори» (діаметр – 2 мм, загальна кількість – $17 \times 36 = 612$ шт) – модель неявного виходу; інші границі – модель стінки. Всі границі, окрім границі «Вихід (out)» є непроникливі для DEM-частинок (насінин).

Інжектор DEM-частинок (насінин) в кількості 25 точок розміщений на границі «Вхід (in)». Ймовірність використання точки для генерації насінини складає 0,3. Швидкість генерація частинок обрано з наступник міркувань. Норма висіву сої складає в середньому 300000 шт/га = 30 шт/м² [18]. При міжрядді 0,7 м отримуємо 42,9 шт/м в рядку. Приймаючи середню швидкість переміщення сівалки 2,0 м/с отримуємо швидкість генерація DEM-частинок (насінин) $Q_{in} = 86$ шт/с.

Крок за часом вирішувач складає 0,01 с, максимальне значення внутрішніх ітерацій – 10, час експозиції 10 с.

В якості факторів досліджень обрано швидкість повітряного потоку на вході V_a^{in} (5–25 м/с, крок – 5 м/с), відношення площі випускних отворів до площі входу ε

$$\varepsilon = \frac{S_h N_h}{S_{in}} = \frac{N_h}{225}, \quad (1)$$

де S_h – площа випускного отвору, $S_h = \pi(2/2)^2 \text{ мм}^2$;

N_h – кількість випускних отворів;

S_{in} – площа входу, $S_{in} = \pi(30/2)^2 \text{ мм}^2$.

Змінюючи кількість випускних отворів отримуємо діапазон фактору ε : $N_h = 17 \times 0 \rightarrow \varepsilon = 0$; $N_h = 17 \times 6 \rightarrow \varepsilon = 0,45$; $N_h = 17 \times 12 \rightarrow \varepsilon = 0,91$; $N_h = 17 \times 18 \rightarrow \varepsilon = 1,36$; $N_h = 17 \times 24 \rightarrow \varepsilon = 1,84$; $N_h = 17 \times 30 \rightarrow \varepsilon = 2,27$; $N_h = 17 \times 36 \rightarrow \varepsilon = 2,72$.

Почергово задаючи значення факторів отримуємо $7 \times 5 = 35$ дослідів.

Критеріями досліджень є швидкість повітряного потоку на виході V_a^{out} , швидкість насіння на виході V_p^{out} і коефіцієнт зміни норма висіву η :

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}}, \quad (2)$$

де Q_{out} – норма висіву на виході, шт./с;

Q_{in} – норма висіву на вході, шт./с.

В результаті чисельного моделювання отримано візуалізації процесу руху насіння у сповільнювачі, які приведені на рис. 4-6. На рисунках представлено лінії потоку повітря і розміщення та швидкості насіння в процесі їх руху. З рисунків наочно можна визначити максимальні і мінімальні швидкості потоку повітря на вході і виході сповільнювача насіння. Окрім цього візуалізація демонструє максимальне і мінімальне значення швидкостей насіння в процесі їх руху.

Аналізуючи рис. 4-6 можна стверджувати, що при збільшенні кількості випускних отворів сповільнювача насіння окрім зменшення швидкості повітряного потоку на виході спостерігається утворення вихрового руху. Наявність такого руху додатково зменшує швидкість насіння і змінює траєкторію його руху з лінійної до обертової навколо центра сповільнювача насіння.

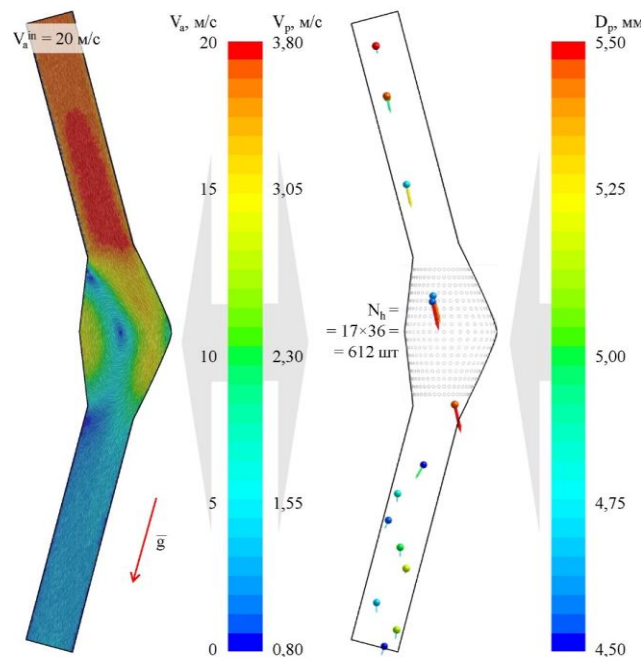


Рисунок 4 – Візуалізація процесу руху насіння у сповільнювачі при $V_a^{in} = 20 \text{ м/с}$, $\varepsilon = 2,72$

Джерело: розроблено авторами

На рис. 4-6 при великій кількості випускних отворів сповільнювача насіння спостерігається скупчення насінин на виході, що призводить до збільшення норми висіву на виході Q_{out} в порівнянні із нормою висіву на вході Q_{in} . Тобто застосування сповільнювача насіння вирішує поставлену задачу зменшення швидкості насінин, однак змінює норму висіву. Тому для використання подібних сповільнювачів необхідно корегувати норму висіву висівного апарата сівалки в залежності від їх конструктивних особливостей.

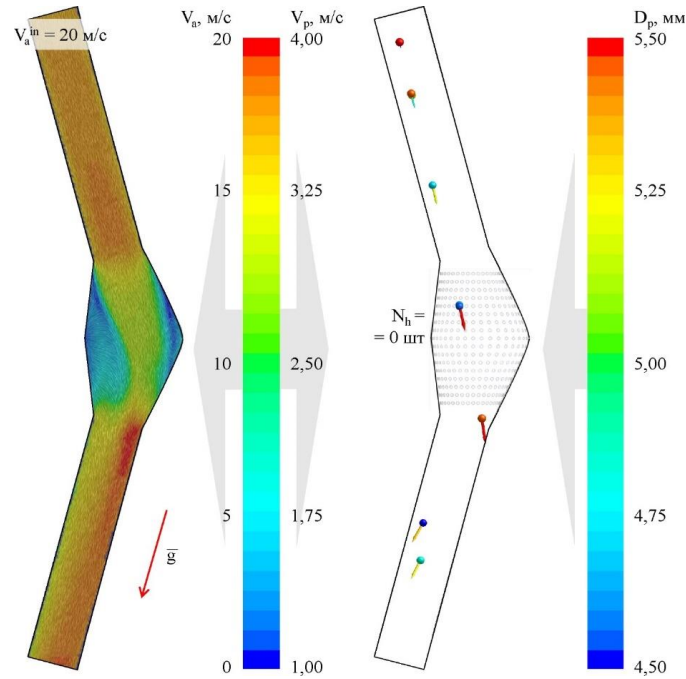


Рисунок 5 – Візуалізація процесу руху насіння у сповільнювачі при $V_a^{in} = 20$ м/с, $\varepsilon = 0$
Джерело: розроблено авторами

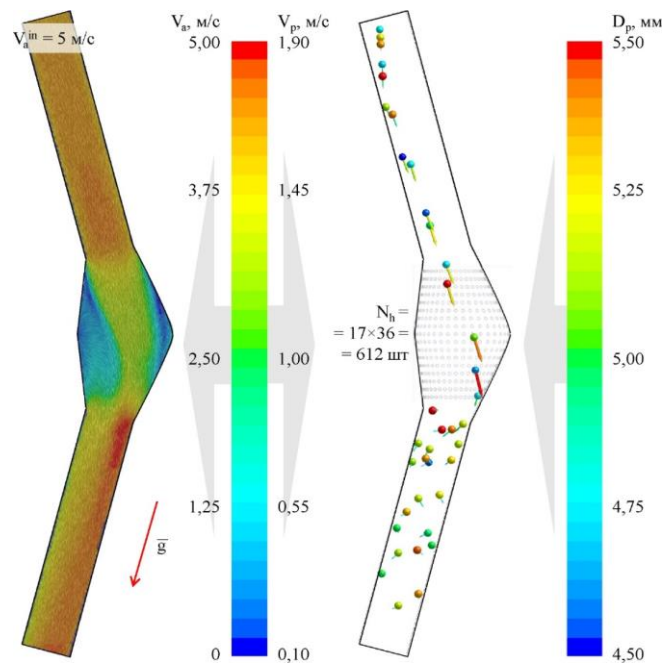


Рисунок 6 – Візуалізація процесу руху насіння у сповільнювачі при $V_a^{in} = 5$ м/с, $\varepsilon = 2,72$
Джерело: розроблено авторами

В результаті чисельного моделювання отримано гістограми динаміки кількості насіння на вході і виході сповільнювача насіння. Приклад такого розподілу приведено на рис. 7. Норма висіву на виході Q_{out} можна розрахувати з рис. 7 наступним чином:

$$Q_{out} = \frac{\sum N_{out}}{10}, \quad (3)$$

де N_{out} – кількість насіння, яке перетнуло площину виходу сповільнювача насіння за 10 с.

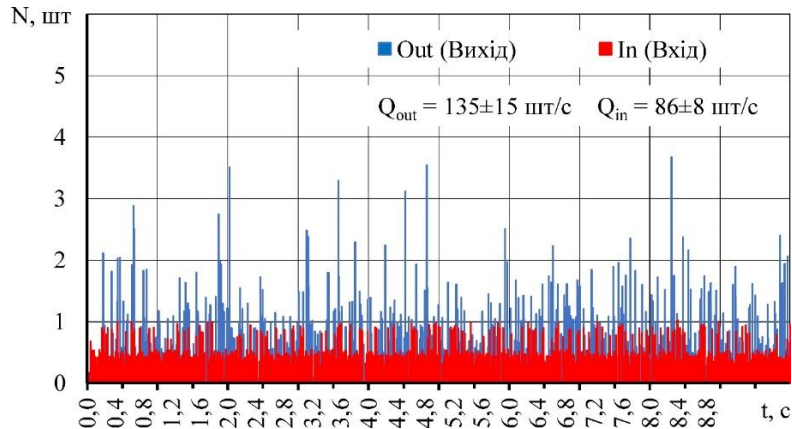


Рисунок 7 – Гістограми динаміки кількості насіння на вході і виході сповільнювача насіння
Джерело: розроблено авторами

За результатами чисельного моделювання і обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримано рівняння регресії третього порядку $V_a^{out}(V_a^{in}, \varepsilon)$ в розкодованому вигляді без урахування значущих коефіцієнтів за t -критерієм Стьюдента:

$$V_a^{out} = 1,93387 + 0,884114 V - 6,66064 \varepsilon - 0,688551 V \varepsilon + 6,1066 \varepsilon^2 + 0,158812 V \varepsilon^2 - 1,46639 \varepsilon^3 \quad (4)$$

Побудувавши тривимірний графік рівняння (4) на рис. 8 видно, що із збільшенням швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} при фіксованих значеннях відношення площі випускних отворів до площі входу ε швидкість повітряного потоку на виході V_a^{out} сповільнювача насіння збільшується. Це спостереження є цілком логічним, так як потік повітря лише частково проходить крізь випускні отвори сповільнювача повітря і здійснює подальший рух в напрямку насіннепроводу. Збільшення відношення площі випускних отворів до площі входу ε при фіксованих значеннях швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} призводить до зменшення швидкості повітряного потоку на виході V_a^{out} . Однак дана залежність має не лінійний, а кубічний характер, що підтверджується рівнянням (4).

Перевірка отриманого рівняння за коефіцієнтом кореляції Пірсона $r = 0,996$ дає змогу стверджувати об адекватності рівняння (4) на досліджуваному діапазоні варіювання факторів.

За результатами чисельного моделювання і обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримано рівняння регресії третього порядку $V_p^{out}(V_a^{in}, \varepsilon)$ в розкодованому вигляді без урахування значущих коефіцієнтів за t -критерієм Стьюдента:

$$V_p^{out} = -0,125199 + 0,0315502 V + 0,00285204 V^2 - 0,00007 V^3 - 0,0199292 \varepsilon - 0,00103046 V \varepsilon + 0,0899615 \varepsilon^2 - 0,0045114 V \varepsilon^2 - 0,0199169 \varepsilon^3. \quad (5)$$

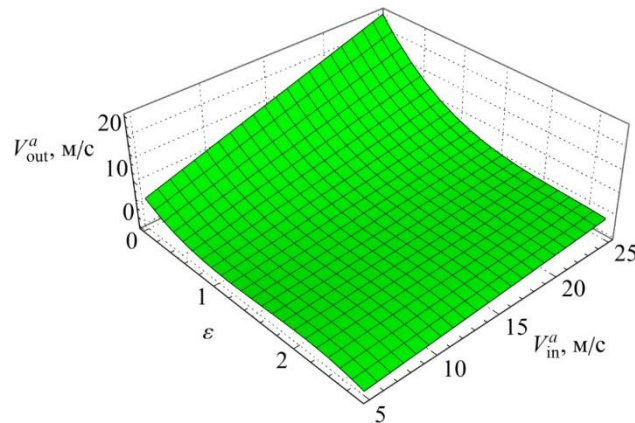


Рисунок 8 – Залежність швидкості повітряного потоку на виході V_a^{out} сповільнювача насіння від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} і відношення площі випускних отворів до площі входу ϵ
Джерело: розроблено авторами

Побудувавши тривимірний графік рівняння (5) на рис. 9 видно, що зміна швидкості насіння на виході V_p^{out} сповільнювача насіння схожа із зміною швидкості повітряного потоку на виході V_a^{out} (рис. 8). Однак напрям гілок кубічних парабол $V_p^{out}(\epsilon)$ і $V_a^{out}(\epsilon)$ мають різний напрям. Це можна пояснити тим фактом, що насінини під дією повітряного потоку, який є нерівномірним у поперечному перерізі, здійснюють окрім поступального руху, ще й обертний навколо власної осі симетрії, що зменшує лінійну швидкість насінини.

Перевірка отриманого рівняння за коефіцієнтом кореляції Пірсона $r = 0,998$ дає змогу стверджувати об адекватності рівняння (5) на досліджуваному діапазоні варіювання факторів.

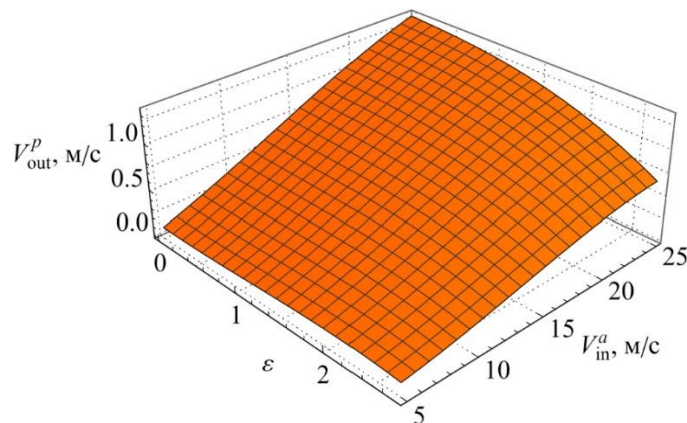


Рисунок 9 – Залежність швидкості насіння на виході V_p^{out} сповільнювача насіння від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} і відношення площі випускних отворів до площі входу ϵ
Джерело: розроблено авторами

За результатами чисельного моделювання і обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримано рівняння регресії третього порядку $\eta(V_a^{in}, \epsilon)$ в розкодованому вигляді без урахування значущих коефіцієнтів за t -критерієм Стьюдента:

$$\eta = 1,1343 - 0,0211045 V + 0,000664446 V^2 + 0,321999 \epsilon + 0,0456175 V \epsilon - 0,183901 \epsilon^2 - 0,0101584 V \epsilon^2 + 0,0394935 \epsilon^3. \quad (6)$$

Побудувавши тривимірний графік рівняння (6) на рис. 10 видно, що із збільшенням швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} при фіксованих значеннях відношення площі випускних отворів до площі входу ε коефіцієнт зміни норма висіву η збільшується. Збільшення відношення площі випускних отворів до площі входу ε при фіксованих значеннях швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} призводить до збільшення коефіцієнта зміни норма висіву η . Це відбувається через те, що швидкість насіння на виході зменшується (рис. 9) і відбувається утворення скопичення насіння на виході.

Перевірка отриманого рівняння за коефіцієнтом кореляції Пірсона $r = 0,997$ дає змогу стверджувати об адекватності рівняння (6) на досліджуваному діапазоні варіювання факторів.

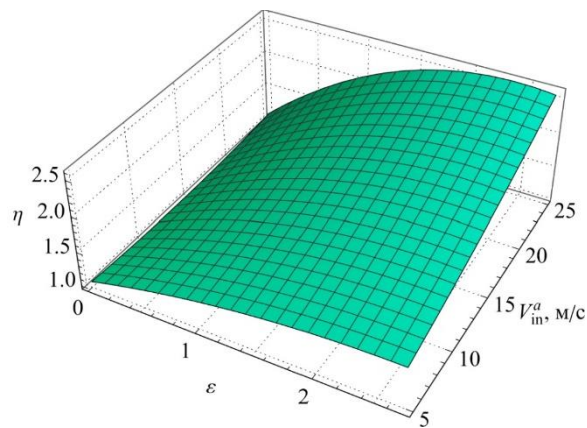


Рисунок 10 – Залежність коефіцієнт зміни норма висіву η від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} і відношення площі випускних отворів до площі входу ε сповільнювача насіння
Джерело: розроблено авторами

В зв'язку з тим що для кожного критерію оцінки дослідів визначені оптимальні значення факторів, які не співпадають вирішимо компромісну задачу, яка має вигляд:

$$\begin{cases} V_p^{out}(V_a^{in}, \varepsilon) \rightarrow \min, \\ \eta(V_a^{in}, \varepsilon) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (7)$$

Задачу (6) будемо вирішувати методом скалярного ранжування шляхом мінімізації мультиплікативної функції із врахування коефіцієнта важливості приватного критерію:

$$\frac{V_p^{out}(V_a^{in}, \varepsilon) \eta(V_a^{in}, \varepsilon)}{\max(V_p^{out}) \max(\eta)} \rightarrow \min, \quad (8)$$

де $\max()$ – максимальне значення функції.

Вирішуючи в програмному пакеті Mathematica рівняння (8) спільно з (5)–(6) при фіксованих значеннях швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} в діапазоні від 5 м/с до 25 м/с отримує значення відношення площі випускних отворів до площі входу ε сповільнювача насіння, які приведені на рис. 11.

На рис. 11 показано залежність відношення площі випускних отворів до площі входу ε від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} при забезпечені умови (8). При зазначеному діапазоні швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} необхідно корегувати норму висіву на коефіцієнта η , який знаходиться в межах від 1,47 до 2,56.

Висновки. В результаті чисельного моделювання сповільнювача насіння пневматичної сівалки John Deere в програмному пакеті Star CCM+ отримано візуалізацію процесу руху насіння і повітряного потоку в робочій області сповільнювача.

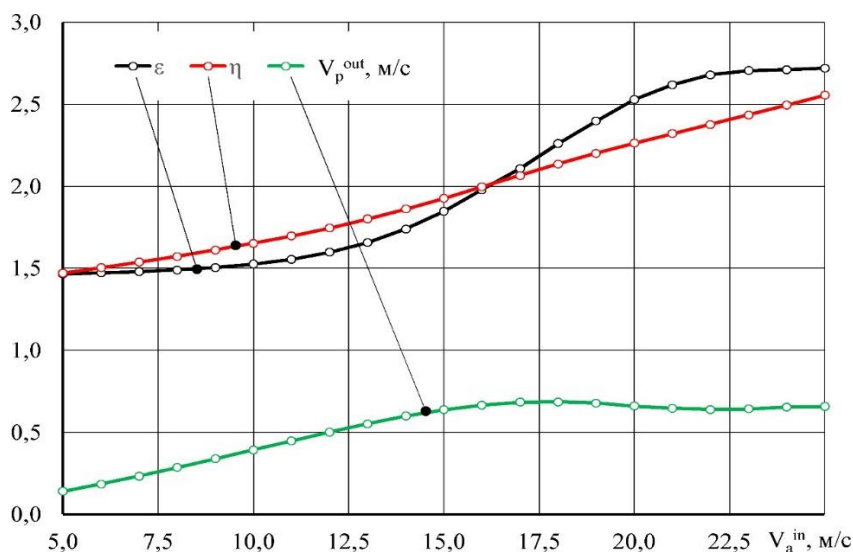


Рисунок 11 – Залежність відношення площі випускних отворів до площі входу ε , коефіцієнта зміни норма висіву η і швидкості насіння на виході V_p^{out} від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in}

Джерело: розроблено авторами

За результатами чисельного моделювання і обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримані рівняння регресії третього порядку в розкодованому вигляді без урахування значущих коефіцієнтів за t-критерієм Стюдента залежностей швидкості повітряного потоку V_a^{out} , швидкості насіння V_p^{out} на виході сповільнювача насіння і коефіцієнта зміни норма висіву η від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} і відношення площі випускних отворів до площі входу ε .

В результаті вирішення компромісної методом скалярного ранжування шляхом мінімізації мультиплікативної функції із врахування коефіцієнта важливості приватного критерію при фіксованих значеннях швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} в діапазоні від 5 м/с до 25 м/с отримує відповідну залежність відношення площі випускних отворів до площі входу ε сповільнювача насіння. Встановлено, що при зазначеному діапазоні швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} необхідно корегувати норму висіву на коефіцієнта η , який знаходиться в межах від 1,47 до 2,56.

Список літератури

1. Бойко А., Свирень Н., Сысолин П., Петренко Н. Проблемы совершенствования и тенденции развития посевной техники. *Техніка АПК*. 2000. № 11–12. С. 8–10.
2. Раднаев Д.Н. Условия применения показателей эффективности посевных агрегатов. *Вестник КрасГАУ*. 2011. № 3. С. 141–146.
3. Аулин В.В., Панков А.А. Технично-экономическое обоснование и анализ перспектив точного посева зерновых культур пневмоструйными аппаратами. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2015. Вип. 45, Ч. 2. С. 7–14.

4. Пастухов В.І., Крохмаль Д.В. Якісні показники роботи сівалки для сумісних посівів. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжн. наук.–практ. конф. Кропивницький. ЦНТУ, 2017. С. 209-210.
5. Needham Ag Technologies. (2021). Product Guide. Research Product Sales Customer Service. North Calhoun. 92 p. URL: http://www.needhamag.com/documents/Needham_Ag_2022_Product_Guide.pdf
6. Yang L., Yan B. X., Yu Y. M., He X. T., Liu Q. W., Liang Z. J., Yin X., Zhang D. Global overview of research progress and development of precision maize planters. *Int J Agric & Biol Eng.* 2016. 9(1). P. 9-26.
7. Boiko A., Popyk P., Gerasymchuk I., Bannyi O., Gerasymchuk N. Application of the new structural solutions in the seeders for precision sowing as a resource saving direction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. 5(1 (95)). P. 46–53. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142023>
8. Koller A.A. Design, performance prediction and validation of a seed orienting corn planter. *Master of Science in Aerospace Engineering. Georgia Institute of Technology. Atlanta, GA, 2005.* 111 p.
9. Turan, J., Višacki, V., Sedlar, A., Pantelić, S., Findura, P., Máchal, P., Mareček, J. Seeder with Different Seeding Apparatus in Maize Sowing. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2015. 63(1). P. 137–141.
10. Панков А.О. Наукові основи підвищення ефективності роботи зернових сівалок застосуванням пневматичних висівних пристроїв дискретної дії: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Кропивницький. ЦНТУ, 2018. 456 с.
11. Belodedov V., Nosko P., Boyko G., Fil P., Mazneva M. Parameter optimization of dosator for technique cultures on the quantity intervals, close by to calculation. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture.* 2013. Vol. 13., № 4. Lublin. P. 18–24.
12. Belodedov V., Nosko P., Fil P., Stavitskiy V. Parameter optimization using coefficient of variation of intervals for one–seed sowing apparatus with horizontal disk during maize seeding. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture.* 2007. V. VII. P. 31–37.
13. Алієв Е.Б. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Запоріжжя: СТАТУС. 2019. 196 с.
14. Aliev E.B., Bandura V.M., Pryshliak V.M., Yaropud V.M., Trukhanska O.O. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH – Agricultural Engineering.* 2018. Vol. 54, Nr. 1. P. 95-104.
15. Shevchenko I., Aliiev E. Study of the process of calibration of confectionery sunflower seeds. *Food Science and Technology.* 2018. Vol. 12, Issue 4. P. 135-142.
16. Shevchenko I., Aliiev E., Viselga G., Kaminski J. R. Modeling Separation Process for Sunflower Seed Mixture on Vibro-Pneumatic Separators. *Mechanika.* 2021. Vol. 27(4). P. 311–320. <https://doi.org/10.5755/j02.mech.27647>
17. Алієв Е.Б., Лупко К.О. Морфологічні ознаки і фізико-механічні властивості насіння дрібнонасінних культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2020. Вип. 50. С. 27-35. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.27-35>.
18. Поляков А.И., Бойко К.Я., Никитенко О.В. Формирование продуктивности подсолнечника и сои под влиянием действия комплексных удобрений. *Научно-технический бюллетень Института олійних культур НААН.* 2010. № 15. С. 112-118.

Referencis

1. Boyko, A., Sviren, N., Sysolin, P., Petrenko, N. (2000). Problemy sovershenstvovaniya i tendentsii razvitiya posevnoy tekhniki [Problems of improvement and trends in the development of sowing equipment]. *Tekhnika APK – Equipment of the AIC, 11–12*, 8–10 [in Russian].
2. Radnaev, D.N. (2011). Usloviya primeneniya pokazateley effektivnosti posevnykh agregatov [Conditions for the use of indicators of the efficiency of seeding units]. *Vestnik KrasGAU – Bulletin of KrasGAU, 3*, 141–146 [in Russian].
3. Aulin, V.V., Pankov, A.A. (2015). Tekhnyko–ekonomycheskoe obosnovanye y analiz perspektiv tochnoho poseva zernovykh kul'tur pnevmostruynymy apparatamy [Feasibility study and analysis of prospects for accurate sowing of grain crops by pneumatic jets]. *Konstruyuvannya, vyrobnyctvo ta ekspluatatsiya sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 45, Part 2*, 7–14 [in Ukrainian].

4. Pastukhov, V.I., Starch, D.V. (2017). Yakisni pokaznyky roboty sivalky dlya sumisnykh posiviv. [Qualitative indicators of seeder operation for compatible crops]. *Problems of design, production and operation of agricultural machinery* : XI Mizhn. nauk.–prakt. konf (m. Kropyvnytskyi) – XI International Scientific and Practical Conference (pp. 209-210). Kropyvnytskyi. CNTU [in Ukrainian].
5. Needham Ag Technologies. (2021). *Product Guide. Research Product Sales Customer Service*. North Calhoun. 92 p. Retrieved from http://www.needhamag.com/documents/Needham_Ag_2022_Product_Guide.pdf
6. Yang, L., Yan, B. X., Yu, Y. M., He, X. T., Liu, Q. W., Liang, Z. J., Yin, X., Zhang, D. (2016). Global overview of research progress and development of precision maize planters. *Int J Agric & Biol Eng.* 9(1). P. 9-26.
7. Boiko, A., Popyk, P., Gerasymchuk, I., Bannyi, O., Gerasymchuk, N. (2018). *Application of the new structural solutions in the seeders for precision sowing as a resource saving direction*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 5(1 (95)). P. 46–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142023>
8. Koller, A.A. (2005). *Design, performance prediction and validation of a seed orienting corn planter*. Master of Science in Aerospace Engineering. Georgia Institute of Technology. Atlanta, GA. 111 p.
9. Turan, J., Višacki, V., Sedlar, A., Pantelić, S., Findura, P., Máchal, P., Mareček, J. (2015). Seeder with Different Seeding Apparatus in Maize Sowing. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 63(1), P. 137–141 [in Latin].
10. Pankov, A.O. (2018). *Naukovi osnovy pidvyshchennya efektyvnosti roboty zernovykh sivalok zastosovannyam pnevmatychnykh vysivnykh prystroyiv dyskretnoyi diyi. [Scientific bases of increase of efficiency of work of grain seeders by application of pneumatic sowing devices of discrete action]*. The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.05.11 - Machines and means of mechanization of agricultural production. Kropyvnytskyi. CNTU. 456 c. [in Ukrainian].
11. Belodedov, V., Nosko, P., Boyko, G., Fil, P., Mazneva, M. (2013). Parameter optimization of dosator for technique cultures on the quantity intervals, close by to calculation. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. Vol. 13., № 4. Lublin. P. 18–24.
12. Belodedov, V., Nosko, P., Fil, P., Stavitskiy, V. (2007). Parameter optimization using coefficient of variation of intervals for one–seed sowing apparatus with horizontal disk during maize seeding. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. V. VII. P. 31–37.
13. Aliiev, E.B. (2019). *Fizyko-matematychni modeli protsesiv pretsyziynoyi separatsiyi nasinnyevoho materialu sonyashnyku: monohrafiy. [Physical and mathematical models of processes of precision separation of sunflower seed material: monograph]*. Zaporozhye: STATUS. 196 p.
14. Aliev, E.B., Bandura, V.M., Pryshliak, V.M., Yaropud, V.M., Trukhanska, O.O. (2018). *Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry*. INMATEH – Agricultural Engineering. Vol. 54, Nr. 1. P. 95-104.
15. Shevchenko, I., Aliiev, E. (2018). *Study of the process of calibration of confectionery sunflower seeds*. Food Science and Technology. Volume 12, Issue 4. P. 135-142.
16. Shevchenko, I., Aliiev, E., Viselga, G., Kaminski, J. R. (2021). *Modeling Separation Process for Sunflower Seed Mixture on Vibro-Pneumatic Separators*. Vol. 27(4). P. 311–320. <https://doi.org/10.5755/j02.mech.27647>
17. Aliiev, E.B., Lupko, K.O. (2020). *Morfolohichni oznaky i fizyko-mekhanichni vlastyvoli nasynnya dribnonasinnykh kul'tur [Morphological features and physical and mechanical properties of seeds of small-seeded crops]*. Design, manufacture and operation of agricultural machinery. Vol. 50. P. 27-35. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.27-35>. [in Ukrainian].
18. Polyakov, A.I., Boyko, K.Ya., Nikitenko, O.V. (2010). *Formyrovanye produktyvnosti podsolnechnyka y soy pod vlyanyem deystviyya kompleksnykh udobrenyy. [Formation of productivity of sunflower and soy under the influence of action of complex fertilizers]*. Scientific and technical bulletin of the Institute of Oilseeds of NAAS. № 15. P. 112-118. [in Ukrainian].

Elchyn Aliiev, Senior Researcher, DSc., Director

Institute of Oilseeds of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Zaporizhia, Ukraine

Petro Bezverkhniy, post-graduate

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Numerical Simulation of a Pneumatic Precision Seed Drill

As a result of numerical simulation of the seed retarder of the John Deere pneumatic seed drill in the software package Star CCM + visualization of the process of seed movement and air flow in the working area of the retarder was obtained.

According to the results of numerical modeling and processing of data obtained in the software package Wolfram Mathematica obtained third-order regression equations in decoded form without significant coefficients according to Student's t-test dependences of air flow rate V_a^{out} , seed speed V_p^{out} the velocity of the air flow at the inlet V_a^{in} and the ratio of the area of the outlets to the area of the inlet ε .

As a result of solving the compromise method of scalar ranking by minimizing the multiplicative function taking into account the coefficient of importance of the private criterion at fixed values of air flow velocity at the inlet $V_{a in}$ in the range from 5 m/s to 25 m/s seed. It is established that at the specified range of air flow rate at the inlet $V_{a in}$ it is necessary to adjust the seeding rate by the coefficient η , which is in honey from 1.47 to 2.56.

seeds, seeder, precision sowing, moderator, simulation, simulation, speed

Одержано (Received) 24.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 02.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.3.072

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.98-107>

В.В. Амосов, доц., канд. техн. наук, **М.О. Свірень**, проф., д-р техн. наук,

О.М. Васильковський, проф., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: v_vas_a@ukr.net, e-mail: kaf_sgm_kntu@ukr.net, e-mail: olexa74@ukr.net

Підвищення надійності причіпного пристрою бункера-накопичувача п еревантажувального

Пропонується аналіз особливостей конструкцій причіпних пристроїв. Визначено оптимальну конструкцію причіпного пристрою бункера-накопичувача перевантажувального БНП-30ПП. Розроблено креслення удосконаленого причіпного пристрою бункера-накопичувача перевантажувального БНП-30ПП. Впровадження розробки сприяє підвищенню ефективності використання збирально-транспортних комплексів при вирощуванні сільськогосподарських культур.

збирально-транспортний комплекс, бункер-накопичувач перевантажувальний, причіпний пристрій

Постановка проблеми. Сучасна триланкова технологія збирання зернових культур передбачає використання бункерів-накопичувачів перевантажувальних (бункерів-перевантажувачів, причепів перевантажувачів), що дає змогу підвищити продуктивність збирально-транспортного комплексу приблизно на 20–50 % [4]. Бункер для накопичення та перевантажування зерна агрегується з трактором і їде за комбайном, щоб відразу збирати урожай. У міру наповнення бункера, буквально за лічені хвилини (завдяки високій продуктивності вивантажувального шнека) він здійснює на краю поля перевантаження зерна в автомашину або ж відвозить до місця

© В.В. Амосов, М.О. Свірень, О.М. Васильковський, 2022

зберігання. Комбайн в такому ланцюзі працює без зупинок і може виконати ту ж роботу набагато швидше. Відповідно, для збору врожаю буде потрібно менше комбайнів [1, 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Більшість фірм-виробників бункерів-накопичувачів як вітчизняних, так і закордонних, пропонують широкий типорозмірний ряд машин різної місткості й вантажопідйомності, що дає змогу ефективно використовувати їх у потрібних варіантах за складом і продуктивністю. Широкий діапазон значень об'єму кузова робить можливим якомога точніше узгодити об'єм зернового бункера комбайна певної моделі з об'ємом кузова бункера-накопичувача з тим, щоб максимально ефективно забезпечити повне випорожнення зерна з бункера комбайна за одну операцію [4].

Для порівняння причіпних пристроїв нами обрано 15 бункерів-накопичувачів перевантажувальних, місткість бункера яких близька до 30 м³. Їх основні характеристики наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Бункери-накопичувачі перевантажувальні

Компанія	Марка машини	Місткість бункера, м ³	Схема агрегування	Тип причіпного пристрою
Horsch [4;6]	Titan 34UW	34	1	C; D
ANNABURGER [4]	HTS22.16	29	2	C
HAWE-WESTER [4;7]	ULW2500T	30	2	C
Fliegl [4]	ULW35	35	1	C
Kinze [8]	851graincart	30,6	1	D
J&M [4;9]	GC24t-1	31	1	D
Bergmann [4;10]	GTW330	33	2	A
PRONAR [11]	T740	28	2	C
Umega [5;12]	GPP-23	23; 32	2	A
ТОВ «НІЖИН МЕХАНІЗАЦІЯ» [4;13]	Bronton	32	3	D
УБК «Metal-make» [14]	LATKER BP-32	32	3	D
ТОВ «Завод Кобзаренка» [4;5;15]	ПБН-30	30	2	A
EGRITECH ТОВ «ПК «Пожмашина» [16;17]	БНП-30	30	2	B D
Лилиани [19]	БП-25/31	31	2	D
«Союз-Спецтехника» [18]	UW 200	20	1	A

Джерело: розроблено авторами

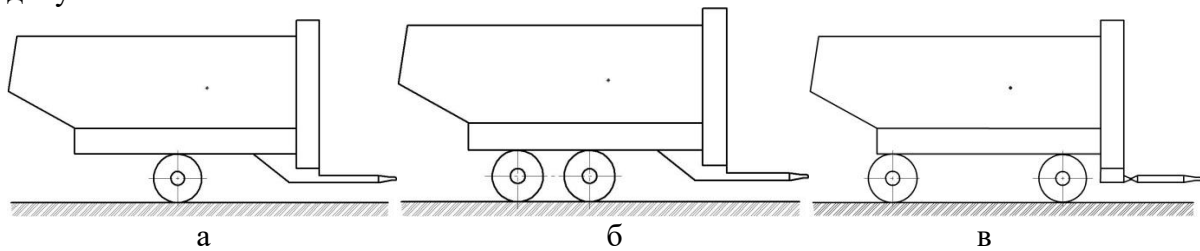
Аналіз даних табл. 1 дає можливість зробити висновок, що більшість (53 %) бункерів-накопичувачів, які вміщують близько 30 м³, мають схему агрегування 2, тобто бункер спирається на підресорену двовісну тандемну підвіску та частково – на причіпний пристрій трактора. Дишло причепа жорстко з'єднане з рамою бункера-накопичувача. При від'єднанні від трактора воно спирається на регульовану по висоті опору з механічним або гідравлічним приводом.

Причіпний пристрій є одним з найвідповідальніших вузлів бункера-накопичувача. Від досконалості його конструкції, високої міцності та надійності залежить продуктивність збирально-транспортного комплексу. Суттєвим фактором є

також величина зусилля, яке діє на причіпний пристрій бункера-накопичувача при його русі по поверхні поля або дороги.

Аналіз особливостей конструкцій причіпних пристроїв бункерів-накопичувачів перевантажувальних, наведених у табл. 1, приводить до наступних висновків:

- будова причіпного пристрою бункера-накопичувача має забезпечувати швидке та надійне його стикування з причіпним пристроєм трактора;
- міцність причіпного пристрою залежить від маси причепа та частини вертикальної складової навантаження, яка діє нього;
- будова та розміри причіпного пристрою регламентуються міжнародними, міждержавними, державними стандартами [20-22] та іншими нормативними документами.



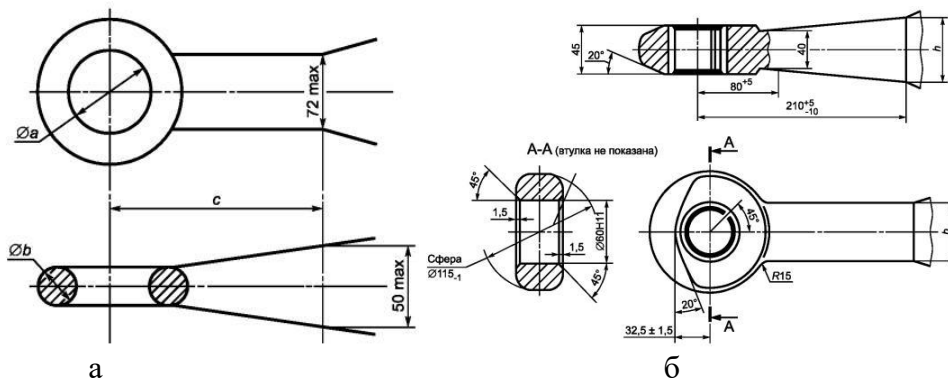
а – напівнавісна машина, одновісна; б – напівнавісна машина, двовісна тандемна;
в – причіпна машина, двовісна

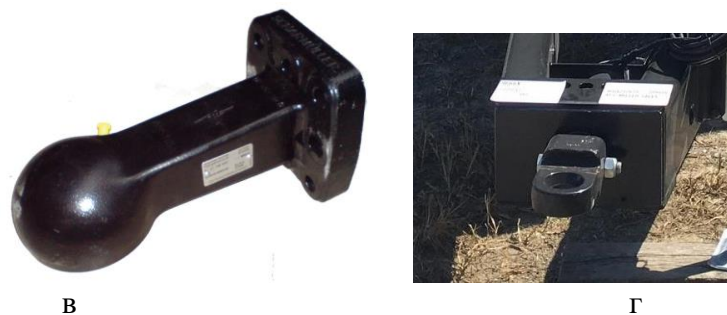
Рисунок 1 – Схеми агрегування бункерів-накопичувачів перевантажувальних

Джерело: розроблено авторами

У розглянутих бункерах-накопичувачах використано наступні основні типи причіпних пристроїв:

- 1) Кільце з тороїдальною поверхнею, яке жорстко з'єднане з штангою (рис. 2, а). Штанга може бути або приварена до фланця або шарнірно з'єднана з ним, маючи можливість обертатись навколо поздовжньої осі. Фланець кріпиться до дишла болтами.
- 2) Петля з циліндричним отвором (рис. 2, б), у якому може бути вмонтовано сферичний шарнір, жорстко з'єднана зі штангою. Штангу закріплюють до фланця аналогічно типу А.
- 3) Напівсферична поверхня жорстко з'єднана зі штангою (рис. 2, в).
- 4) Плита з циліндричним отвором (рис. 2, г), у якому може бути вмонтовано сферичний шарнір. Плита може бути або приварена до фланця або шарнірно з'єднана з ним через штангу.





а – Тип А; б – Тип В; в – Тип С з фланцем; г – Тип D зі змінною плитою та фрагментом диска (Kinze 851)

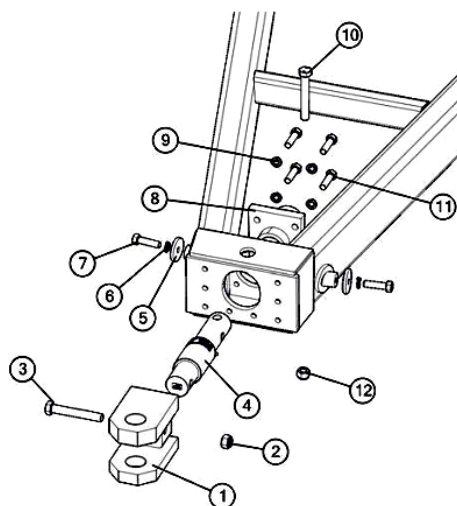
Рисунок 2 – Типи причіпних пристроїв

Джерело: [20, 22, 8]

На більшості моделей бункерів-накопичувачів передбачена можливість заміни типу та розміру причіпного пристрою у залежності від параметрів причіпного пристрою трактора. Наприклад, бункери-накопичувачі ПБН-30 комплектуються змінним причіпним кільцем $\varnothing 90$ мм згідно ГОСТ 2349, а також додатково змінними причіпними кільцями $\varnothing 40$; $\varnothing 50$ та причіпною напівсферою для кулі $\varnothing 80$.

Якщо бункер-накопичувач обладнаний ваговимірювальною системою, то для вимірювання зусилля, яке діє на причіпний пристрій, встановлюють додаткову ланку з датчиком 4 (рис. 3). Мікропроцесорний пристрій обробляє дані з датчика причіпного пристрою та датчиків на осях усіх коліс і визначає вагу зерна у бункері.

Поворотну зчіпку з двома вушками можна швидко замінити на поворотну зчіпку з одним вушком, якщо причіпний пристрій трактора має два вушка (вилку). За необхідністю, комплект додаткового обладнання бункера-накопичувача може включати ланки 1 (рис. 3) з різними діаметрами отворів під з'єднувальні пальці для агрегування з відповідними пристроями тракторів [9].



1 – поворотна зчіпка з двома вушками (вилка); 2 – гайка стопорна; 3 – болт;
4 – ваговимірювальна штанга зчіпки/хвостовик 73 мм; 8 – опора ваговимірювальної штанги

Рисунок 3– Причіпний пристрій бункера-накопичувача GC24t-1

Джерело: [9]

Виклад основного матеріалу. Господарства Кіровоградської області використовують бункери для накопичення та перевантажування зерна, зокрема ПП «Астарта Груп» закупило три таких бункери БНП-30 у ТОВ «Промислова компанія «Пожмашина»» (рис. 4).



Рисунок 4 – Бункер для накопичення та перевантажування зерна БНП-30

Джерело: [16]

Бункер-накопичувач перевантажувальний БНП-30 призначений для перевезення сипких речовин (зерна, мінеральних добрив і т. п.), їх перевантаження в інші транспортні засоби.

Це напівнавісна машина, двовісна, розрахована на експлуатацію в будь-яких кліматичних зонах України. Бункер без ускладнень агрегується з тракторами потужністю 200-240 к. с., що обладнані пневматичною або гідравлічною системою на привід гальмівної системи бункера, а також мають електричні й гідравлічні з'єднання. Гальмівна система – барабанні гальма з внутрішніми колодками. Для агрегування бункерів БНП-30 тиск у гідросистемі трактора повинен становити 22,0 МПа, у пневмосистемі – не менше 0,8 МПа, а номінальна напруга електрообладнання 12 В [17].

Конструктивно бункер БНП-30 – це двовісний агрегат на листових ресорах із залежною ходовою системою типу тандем з реактивними штангами, кузовом конусоподібної форми, у днищі якого по всій довжині кузова розміщено шнек, закритий зверху спеціальною заслінкою.

Кузов має надійне антикорозійне покриття. Для відкривання й закривання заслінки передбачено спеціальний гідроциліндр.

У першому варіанті конструкції для з'єднання з трактором було використано зчіпну петлю згідно ГОСТ 2349-75 (рис. 5).

Вона швидко виходила з ладу від перевантаження вертикальною складовою сили з боку дишла причепа (рис. 6). Відповідно до ГОСТ 2349-75 її максимальне допустиме значення 2450 Н, а технічні характеристики причепа допускають навантаження на крайню точку дишла до 25000 Н.



Рисунок 5 – Зчіпна петля згідно ГОСТ 2349-75

Джерело: [16]

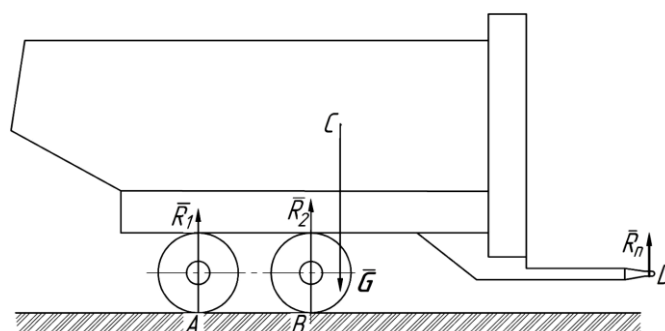


Рисунок 6 – Схема вертикальних складових сил, які діють на причеп

Джерело: розроблено авторами

Відповідно до своїх гарантійних зобов'язань ТОВ «ПП «Пожмашина»» замінило зчіпну петлю на вдосконалений варіант: кронштейн зі сферичним підшипником (рис. 7). Але і цей варіант вийшов з ладу на всіх причіпних пристроях після 350–400 годин роботи. Причиною стали тріщини зварного шва підшипника 1 (рис. 7) та основного металу кронштейна 2 (рис. 7).



1 – тріщина по зварному шву підшипника; 2 – тріщина по основному металу

Рисунок 7 – Вдосконалений ТОВ «ПП «Пожмашина»» кронштейн зі сферичним підшипником

Джерело: розроблено авторами

Спостереження за роботою бункера у польових умовах, аналіз деформацій та руйнувань деталей кронштейна, спільне обговорення з інженерами ПП «Астарта Груп» привело до наступних висновків:

а) статичні та динамічні навантаження на дишло бункера перевищують допустимі значення внаслідок недосконалої конструктивної схеми бункера для накопичення та перевантажування зерна БНП-30;

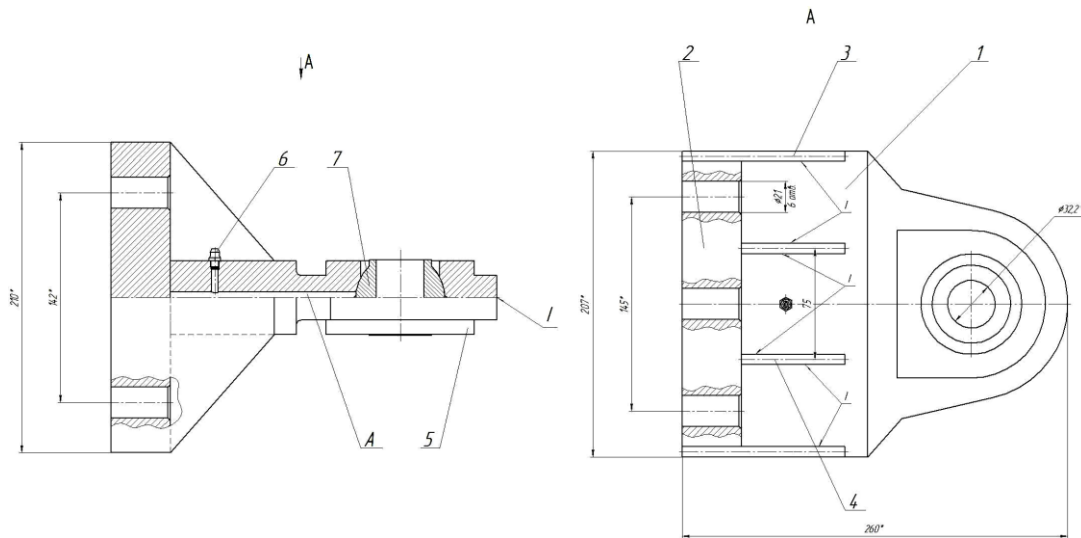
б) деформація кронштейна у поздовжньо-вертикальній площині та тріщини зварного шва підшипника і основного металу кронштейна є результатом недосконалої конструкції передньої частини кронштейна та сферичного підшипника, які не забезпечили необхідних кутів для маневрування бункера та його руху по нерівностях поля;

в) необхідно перевірити можливість якісного зварювання обойми сферичного підшипника з кронштейном;

г) необхідно вдосконалити форму верхньої частини кронштейна причіпного пристрою та спосіб фіксації сферичного підшипника у кронштейні.

Метою роботи є підвищення змінної продуктивності збирально-транспортних комплексів при вирощуванні сільськогосподарських культур.

Для усунення відмічених недоліків запропоновано зберегти уніфікацію нового варіанту конструкції причіпного пристрою з попереднім, посилити горизонтальну частину корпуса, виконавши її з двох аналогічних за формою та розмірами плит 1 та 5 (рис. 8), з'єднаних зварним швом. У порожнині між ними розміщено сферичний шарнір 7, поверхню якого змащують мастилом крізь маслянку 6 та канал А. Фланець 2, боковина 3 та ребра жорсткості 4 мають такі ж розміри, як і у варіанту конструкції, що вдосконалюється.



1 – верхня плита; 2 – фланець; 3 – боковина; 4 – ребро; 5 – нижня плита; 6 – маслянка;
7 – сферичний шарнір

Рисунок 8 – Креслення причіпного пристрою, вдосконаленого ЦНТУ

Джерело: розроблено авторами

Висновки:

1. Реальні навантаження на причіпний пристрій бункера-накопичувача перевантажувального БНП-30ПП перевищують допустимі стандартами значення.

2. Вдосконалення причіпного пристрою, проведене ТОВ «ПП «Пожмашина»» має конструктивні недоліки, які приводять до деформації кронштейна та тріщин металу.

3. Вдосконалення причіпного пристрою, запропоноване ЦНТУ та узгоджене з ПП «Астарта Груп» (рис. 8, 9), показало високу надійність у процесі експлуатації бункера-накопичувача перевантажувального БНП-30ПП.



Рисунок 9 – Причіпний пристрій, вдосконалений ЦНТУ та встановлений на бункер-накопичувач перевантажувальний БНП-30ПП

Джерело: розроблено авторами

Список літератури

1. Філатов С. Аграрна логістика в усій красі: реалії. *Зерно*. 2017. №8. С.48–54. URL: <http://www.zerno-ua.com/journals/2017/avgust-2017-god/agrarna-logistika-v-usiy-krasi-realiyi> (дата звернення: 2.11.2022)
2. Смакотін О. П'ять способів підвищити ефективність внутрішньої агрологістики підприємства. *АгроМаркет*. 2016. №2.
3. Огійчук В. Знайти третій комбайн. *The Ukrainian Farmer*. 2017. №7. С.75–77
4. Перевантажувальні бункери-накопичувачі зерна. *Агробізнес-Україна*. 2017. №4. С.60–68
5. Тракторні причепа і напівпричепа: огляд конструкцій / Ясенський В., Дерев'янко Д., Черношкур В. та ін. *Техніка і технології АПК*. 2014. №7. С.19–27
6. Бункер-перевантажувач HORSCH Titan 34 UW. *АгроЕліта*. 2013. №8. С.36. URL: http://agroprod.biz/wp-content/uploads/zhurnal/2013/8/magazine1/files/res/downloads/download_0035.pdf (дата звернення: 2.11.2022)
7. HАWE причеп-перегрузчик. URL: http://www.hawe-wester.de/files/hawe_folder_ulw_12s_web_russ.pdf (дата звернення: 2.11.2022)
8. Kinze 851 grain cart. URL: <http://www.kinze.com/single-auger-grain-cart.aspx?id=fb06bfe7-e212-4d87-b4d7-b03ba36557fd&name=851+grain+cart> (дата звернення: 2.11.2022)
9. Зерновые прицепы GC24t-1: руководство оператора. URL: http://www.jm-inc.com/manuals/grain_carts/o_gc_24_ton_russian.pdf (дата звернення: 2.11.2022)
10. Прицеп-перегрузчик BERGMANN GTW 330. URL: <http://www.bergmann-goldenstedt.de/ru/oborudovanie/oborudovanie/perevalochnye-pricepy/gtw-330.html> (дата звернення: 2.11.2022)
11. Прицеп PRONAR T740. URL: <http://pronar.pl/ru/produkt/pricep-pronar-t740/> (дата звернення: 2.11.2022)
12. Бункер-перевантажувач зерна UMEGA. *АгроЕліта*. 2017. №10. С.73
13. Бункер перегрузочный BRONTON ООО «Нежинский механический завод». URL: <http://www.nmzprom.com.ua/index.php/product/134> (дата звернення: 2.11.2022)
14. Бункер перевантажувач LATKER ВР-32. URL: <https://metal-make.com/p539706923-bunker-peregruzchik-latker.html> (дата звернення: 2.11.2022)
15. Бункер перевантажувач ПБН 30. URL: <https://metal-make.com/p100736256-bunker-peregruzchik-kub.html> (дата звернення: 2.11.2022)
16. Бункер-накопичувач БНП-30. URL: <https://egritech.org/uk/products/bunker-nakopichuvach-bnp-30/> (дата звернення: 2.11.2022)
17. Бункер-накопичувач перевантажувальний БНП-30. URL: <http://pkpm.com.ua/ua/production/selskoxozyajstvennaya-texnika/bunkera-nakopiteli-peregruzochnyie/bunker-nakopitel-peregruzchik-bnp-30.html> (дата звернення: 2.11.2022)

18. Накопитель-перегрузчик зерновой UW 200. URL: <http://www.soyuz-st.com/products/vspomogtech/UW200/> (дата звернення: 2.11.2022)
19. Бункеры-перегрузчики зерна. URL: <http://liliani.ru/product/catalog/grain-loaders.html> (дата звернення: 2.11.2022)
20. ГОСТ 2349-75. Устройства тягово-сцепные системы «крюк – петля» автомобильных и тракторных поездов. Основные параметры и размеры. Технические требования. [Дата введения 1976-01-01]. М. : Стандартинформ. 10 с. (Межгосударственный стандарт)
21. ГОСТ 3481-79 (ИСО 6489-1-80, ИСО 6489-2-80). Тракторы сельскохозяйственные. Тягово-сцепные устройства. Типы, основные параметры и размеры. М. : ИПК издательство стандартов. 11 с. (Межгосударственный стандарт)
22. ГОСТ 13398-82 Устройства прицепные сельскохозяйственных машин. Типы, основные размеры и расположение. М. : Государственный комитет по стандартам. 7 с. (Межгосударственный стандарт)

References

1. Filatov, S. (2017). [hrarna lohistyka v usii krasi: realii. [Agricultural logistics in all its glory: realities.] *Zerno – Grain*, 8, 4854. Retrieved from <http://www.zerno-ua.com/journals/2017/avgust-2017-god/agrarna-logistika-v-usiy-krasi-realiyi> [in Ukrainian].
2. Smakotin, O. (2016). Piat sposobiv pidvyshchyty efektyvnist vnutrishnoi ahrolohistyky pidpriemstva [Five ways to increase the efficiency of internal agrolistics of the enterprise]. *AhroMarket*, 2 [in Ukrainian]
3. Ohiichuk V. (2017) Znaity tretii kombain [Find the third harvester] . *The Ukrainian Farmer*, 7, 75–77 [in Ukrainian].
4. Pervantazhivalni bunkery-nakopychuvachi zerna [Overloading grain storage bunkers] . (2017). *Ahrobiznes-Ukraina – Agribusiness-Ukraine*, 4, 60–68. [in Ukrainian]
5. Yasenetskyi, V., Derevianko, D., Chornoshkur, V. et al. (2014). Traktorni prychevy i napivprychevy: ohliad konstruktсии [Tractor trailers and semi-trailers: a review of structures] . *Tekhnika i tekhnologii APK – Equipment and Technologies of the AIC*, 7, 19–27 [in Ukrainian].
6. Bunker-pervantazhuvach HORSCH Titan 34 UW [Hopper-transloader HORSCH Titan 34 UW] . (2013). *AhroElita*, 8, 36. Retrieved from http://agroprod.biz/wp-content/uploads/zhurnal/2013/8/magazine1/files/res/downloads/download_0035.pdf. [in Ukrainian]
7. HAWE pricep-peregruzchik [HAWE trailer-loader] . *hawe-wester.de*. Retrieved from http://www.hawe-wester.de/files/hawe_folder_ulw_12s_web_russ.pdf. [in Russian]
8. Kinze 851 grain cart. *kinze.com*. Retrieved from <http://www.kinze.com/single-auger-grain-cart.aspx?id=fb06bfe7-e212-4d87-b4d7-b03ba36557fd&name=851+grain+cart> [in English].
9. Zernovye pricepy GC24t-1: rukovodstvo operatora [GC24t-1 Grain Carts: Operator's Manual] . *jm-inc.com*. Retrieved from http://www.jm-inc.com/manuals/grain_carts/o_gc_24_ton_russian.pdf. [in Russian]
10. Pricep-peregruzchik BERGMANN GTW 330. [BERGMANN GTW 330 loading trailer] . *bergmann-goldenstedt.de*. Retrieved from <http://www.bergmann-goldenstedt.de/ru/oborudovanie/oborudovanie/perevalochnye-pricepy/gtw-330.html>. [in Russian]
11. Pricep PRONAR T740 [Trailer PRONAR T740]. *pronar.pl*. Retrieved from <http://pronar.pl/ru/produkt/prytsep-pronar-t740/> [in Russian]
12. Bunker-pervantazhuvach zerna UMEGA [UMEGA grain transfer hopper]. (2017). *AhroElita*, 10, 73 [in Ukrainian]
13. Bunker peregruzochnyj BRONTON OOO «Nezhinskij mehanicheskij zavod» [Bunker reloading BRONTON OOO "Nezhinskij Mechanical Plant"]. *nmzprom.com.ua*. Retrieved from <http://www.nmzprom.com.ua/index.php/product/134> [in Russian]
14. Bunker pervantazhuvach LATKER BP-32 [Bunker loader LATKER BP-32]. *metal-make.com*. Retrieved from <https://metal-make.com/p539706923-bunker-peregruzchik-latker.html>. [in Ukrainian]
15. Bunker pervantazhuvach PBN 30 [Bunker reloader PBN 30] . *metal-make.com*. Retrieved from <https://metal-make.com/p100736256-bunker-peregruzchik-kub.html> [in Ukrainian]
16. Bunker-nakopychuvach BNP-30 [Storage hopper BNP-30]. *egritech.org*. Retrieved from <https://egritech.org/uk/products/bunker-nakopichuvach-bnp-30/> [in Ukrainian].
17. Bunker-nakopychuvach pervantazhivalnyi BNP-30 [Bunker-accumulator transshipment BNP-30] . *pkpm.com.ua*. Retrieved from <http://pkpm.com.ua/ua/production/selskoxozyajstvennaya-tekhnika/bunkera-nakopiteli-peregruzochnyie/bunker-nakopitel-peregruzchik-bnp-30.html> [in Ukrainian].

18. Nakopitel-peregruzchik zernovoj UW 200 [UW 200 grain reloader] . *soyuz-st.com*. Retrieved from <http://www.soyuz-st.com/products/vspomogtech/UW200/> [in Russian]
19. Bunkery-peregruzchiki zerna. [Bunkers-grain reloaders]. *liliani.ru*. Retrieved from <http://liliani.ru/product/catalog/grain-loaders.html> [in Russian]
20. Ustrojstva tyagovo-sceпnye sistemy «kryuk – petlya» avtomobilnyh i traktornyh poezdov. Osnovnye parametry i razmery. Tehnicheskie trebovaniya [Hook-and-loop traction devices for automobile and tractor trains. Basic parameters and dimensions. Technical requirements] GOST 2349-75 [in Russian]
21. GOST 3481-79 (ISO 6489-1-80, ISO 6489-2-80) Traktory sel'skohozyajstvennye. Tyagovo-sceпnye ustrojstva. Tipy, osnovnye parametry i razmery. [Agricultural tractors. Traction coupling devices. Types, basic parameters and dimensions] [in Russian]
22. GOST 13398-82 Ustrojstva priceпnye sel'skohozyajstvennyh mashin. Tipy, osnovnye razmery i raspolozhenie. [Trailer devices for agricultural machines. Types, main dimensions and location] [in Russian]

Volodymtr Amosov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykola Sviren**, Prof., DSc., **Oleksii Vasytkovskyi**, Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Increasing the Reliability of the Trailer of the Loader-Accumulator of the Transshipment

The use of hoppers-accumulators of transshipment makes it possible to increase the productivity of the collection and transport complex by approximately 20-50%. The towing device is one of the most responsible nodes of the hopper-accumulator. The productivity of the collection and transport complex depends on the perfection of its design, high strength and reliability. The purpose of the work is to increase the variable productivity of the collection and transport complex due to the improvement of the towing device of the hopper-accumulator of the transshipment BNP-30PP.

The analysis of the features of the constructions of the towing devices of hoppers-accumulators of transshipment showed that the strength of the towing device depends on the weight of the trailer and part of the vertical component of the load. The coupling loop of the hopper-accumulator of the transshipment BNP-30PP, made in accordance with GOST 2349-75, quickly failed due to overloading by the vertical component of the force on the side of the drawbar of the trailer. "Pozhmashina" LLC replaced the coupling hinge with an improved version: a bracket with a spherical bearing, which failed after 350-400 hours of operation. Therefore, as a result of a joint discussion with the engineers of PE "Astarta Group" and the teachers of the Department of Agricultural Machine Building of the Central Ukrainian National Technical University, an optimal design was proposed and a drawing of the towing device of the hopper-accumulator of the transshipment BNP-30PP was developed.

The real loads on the towing device of the BNP-30PP transshipment hopper-accumulator exceed the values allowed by the standards. The towing device developed by PP "Pozhmashina" LLC has design flaws that lead to deformation of the bracket and cracks in the metal. The improvement of the trailer device showed high reliability during the field operation of the BNP-30PP transshipment hopper-accumulator. The implementation of the development contributes to reducing the time spent on repair and maintenance of the hopper-accumulator and increasing the efficiency of the use of collection and transport complexes in the cultivation of agricultural crops.

harvesting and transport complex, reloading storage hopper, trailer device

Одержано (Received) 08.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 06.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.312; 631.316.22

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.108-117>

С.М. Лещенко, доц., канд. техн. наук, **В.М. Сало**, проф., д-р техн. наук, **О.М. Васильковський**, проф., канд. техн. наук, **Д.І. Петренко**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м Кропивницький, Україна
e-mail: serafsgm@ukr.net

Визначення параметрів та ефективність роботи додаткових робочих органів глибокорозпушувачів

В роботі проведено огляд і аналіз існуючих додаткових робочих органів комбінованих глибокорозпушувачів серійних машин. Встановлено, що питання оцінки ефективності роботи додаткових робочих органів глибокорозпушувачів та пошук їх раціональних конструктивно-технологічних параметрів є недостатньо дослідженим і потребує практичного вирішення. Запропоновано використання у якості додаткових робочих органів спарених зубчастих котків та визначено їх окремі конструктивні параметри. Наведені результати польових досліджень ефективності роботи спарених зубчастих котків у агрегаті із комбінованим чизельним глибокорозпушувачем. Встановлено, що при швидкості роботи 7...8 км/год та рівномірній дії на ґрунт обома котками на важких і середніх суглинкових ґрунтах досягається показник кришення ґрунту 70-75%.

додаткові робочі органи, спарений зубчастий коток, параметри котка, ефективність роботи, коефіцієнт кришення ґрунту

Постановка проблеми. Основний обробіток ґрунту під час вирощування сільськогосподарських культур є найбільш затратною операцією, яка крім значних витрат енергії характеризується низькою продуктивністю праці та досить часто неповною відповідністю результатів обробітку чинним агротехнічним вимогам. Останнім часом існує усталена тенденція поступового переходу від основного обробітку ґрунту у вигляді полицевої оранки до технологій глибокого розпушування ґрунту без обертання скиби. Така зміна технології основного обробітку є дуже актуальною і для України, адже це дозволяє як знизити витрати енергії на процес та підвищити продуктивність праці, так і поліпшити інфільтраційні властивості ґрунтів сільськогосподарського призначення, а також створити початкові умови для реалізації системи ґрунтозбереження, що в результаті забезпечить загальне підвищення родючості. Якщо наприкінці минулого століття вважалося, що при безполицевому основному обробітку ґрунту важливо на поверхні поля зберегти максимальну кількість стерні, а вимоги до розмірів брил, які залишаються на поверхні поля були досить умовними, сьогодні вимоги змінюються і для ефективної роботи глибокорозпушувачів різних конструкцій важливо забезпечити ще й додаткове подрібнення ґрунтових агрегатів та перемішування і розподілення рослинних решток на певній глибині [1, 2, 3]. Для вказаних цілей значна кількість виробників різноманітних глибокорозпушувачів використовують додаткові робочі органи, серед яких зубчасті чи борончасті котки, комбінація різних дисків, різноманітні граблини та ін., причому ці робочі органи можуть бути як розміщені в один ряд, так і працювати спарено із аналогічними чи іншими за конструкцією елементами [1, 3, 4]. Незважаючи на конструктивне виконання, призначення таких додаткових робочих органів глибокорозпушувачів

ідентичне, а саме – частково подрібнити надто крупні грудки ґрунту та поліпшити вирівнювання поверхні поля, перемішати і розподілити на певній глибині, а за потреби і перерізати рослинні рештки попередника та бур'ян, забезпечити часткове закриття ґрунтом добрив, що внесені способом поверхневого розкидання тощо.

Незважаючи на варіації та різноманіття конструкцій і технологічних параметрів додаткових робочих органів глибокорозпушувачів, якісні показники їх роботи оцінено недостатньо, а рекомендації відносно практичного використання не розроблено. Отже, питання оцінки ефективності роботи додаткових робочих органів глибокорозпушувачів та пошук їх раціональних конструктивно-технологічних параметрів є важливою задачею, що в результаті дозволить поліпшити якість основного безполицевого обробітку ґрунту.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Сьогодні в Україні більшість глибокорозпушувачів, незалежно від того, чи це машини місцевого чи закордонного виробництва, на полях господарств працюють тільки із додатковими робочими органами. Варто відмітити, що на етапі проектування комбінованих глибокорозпушувачів, головна увага під час проведення як теоретичних, так і експериментальних досліджень по вивченню та обґрунтуванню раціональних параметрів і режимів роботи була приділена основним робочим органам. Загальним же обґрунтуванням впливу окремих параметрів в тому числі і додаткових робочих органів глибокорозпушувачів на ґрунт займалися І.М. Панов, В.І. Ветохін [5], І.А. Шевченко [6], В.Ф. Пащенко [7], А.С. Кушнар'ов [8], Я.С. Гуков [9, 10] та ін.

Загалом всі додаткові робочі органи для додаткової доробки ґрунту, що призначені для роботи із глибокорозпушувачами, можна розділити на одноелементні та парні. Більшість виробників на ці робочі органи покладають ще й функцію опорних, причому регулювання глибини обробітку основних робочих органів може відбуватися як гідросистемою енергетичного засобу так і механічно. Дуже добре за призначенням такі робочі органи розділив виробник UNIA PLOW (Польща) [11], причому наведені котки (рис. 1) під час обробітку теж можуть працювати як по одному так і в парі.



Рисунок 1 – Додаткові робочі органи глибокорозпушувачів UNIA PLOW (Польща)

Джерело: розроблено авторами з використанням [11]

Міжнародний виробник сільськогосподарської техніки BEDNAR FMT (Чехія) [12] для додаткового обробітку ґрунту глибокорозпушувачами використовує котки Tandem Spiked або ж котки Cutpack із скребками (рис. 2). Як відмічає виробник, коток Cutpack із скребками – це важкий сталевий коток діаметром 630 мм із високою ріжучою здатністю та суттєвим ефектом зворотного ущільнення, що призначений для використання на важких ґрунтах. Втім, досвід практичного використання в умовах

важких суглинкових і глинистих ґрунтів України доводить, що більш ефективним додатковим робочим органом глибокорозпушувачів є спарений зубчастий коток типу Tandem Spiked, який поступово стає найпоширенішим і його в конструкціях різних глибокорозпушувачів у різних варіаціях пропонують ряд як закордонних так і вітчизняних виробників. Подібні за будовою спарені зубчасті котки встановлюються на ґрунтообробних агрегатах SS2F, SS3F та їх модифікаціях «Gascon» (Іспанія), Digger «Farmet» (Чехія), ARTIGLIO, PINOCCHIO «MASCHIO GASPARDO» (Італія), GRS2, GRS3 «VELES AGRO» (Україна), GULDEN, FRANC «LOZOVA MACHINERY» (Україна) та багатьох інших.



Рисунок 2 – Додаткові робочі органи глибокорозпушувачів BEDNAR FMT (Чехія):
а – котки Tandem Spiked; б – котки Cutpack із скребками

Джерело: розроблено авторами з використанням [12]

Спарені зубчасті котки (рис. 2 а), які встановлюються на глибокорозпушувачі від різних виробників, суттєво відрізняються формою зубів, діаметром, взаємним розміщенням один відносно іншого, механізмами їх регулювання, режимами роботи тощо. Виходячи з цього, питання дослідження окремих параметрів цих додаткових робочих органів глибокорозпушувачів з метою пошуку найбільш ефективних конструктивних рішень є важливою прикладною задачею основного безполицевого обробітку ґрунту.

Постановка завдання. Отже, метою даної роботи є обґрунтування конструкції та оцінка ефективності роботи спарених зубчастих котків як додаткових робочих органів чизельних глибокорозпушувачів.

Виклад основного матеріалу. Вітчизняні комбіновані глибокорозпушувачі, що вдало конкурують із закордонними виробниками аналогічної за призначенням техніки, конструктивно є дуже близькими до закордонних аналогів, проте низька якість матеріалів, з яких виготовляються їх робочі органи та сама якість виготовлення негативно впливають на термін експлуатації та на якість проведення обробітку, крім того, часто робочі органи є не повністю адаптованими до дійсних ґрунтово-кліматичних умов. На основі проведених досліджень [13...16], протоколів випробувань діючих машин та практичних висновків фермерів на кафедрі сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ спроектовано сімейство комбінованих чизельних глибокорозпушувачів типу ЧН, які протягом семи років на замовлення агроформувань вироблялися ПП «Савицький» м. Кропивницький, а останнім часом виготовляється компанією «БМ-Системс». Такі ґрунтообробні агрегати комплектуються спареними зубчастими котками (рис. 3), що виконують функцію опорних та є додатковими

робочими органами, які забезпечують подрібнення крупних грудок ґрунту після роботи чизельних лап, забезпечують перемішування і заробку на глибину до 20 см рослинних решток. Залежно від того, яким чином налаштовано спарений зубчастий коток, забезпечується регулювання глибини обробітку самих розпушувальних лап глибокорозпушувача та інтенсивність перемішування і подрібнення брил ґрунту після проходу основних робочих органів.

За своєю конструкцією і принципом роботи спарений зубчастий коток (рис. 3) є подібним до котків типу Tandem Spiked (рис. 2), при цьому має більш просту технологічну форму і менший поперечний перетин зубів, що спрощує їх виготовлення та механічні регулювання, які дозволяють використовувати ці робочі органи у складі комбінованих глибокорозпушувачів із будь-якими тракторами та не потребують прив'язки до гідросистеми енергетичних засобів.

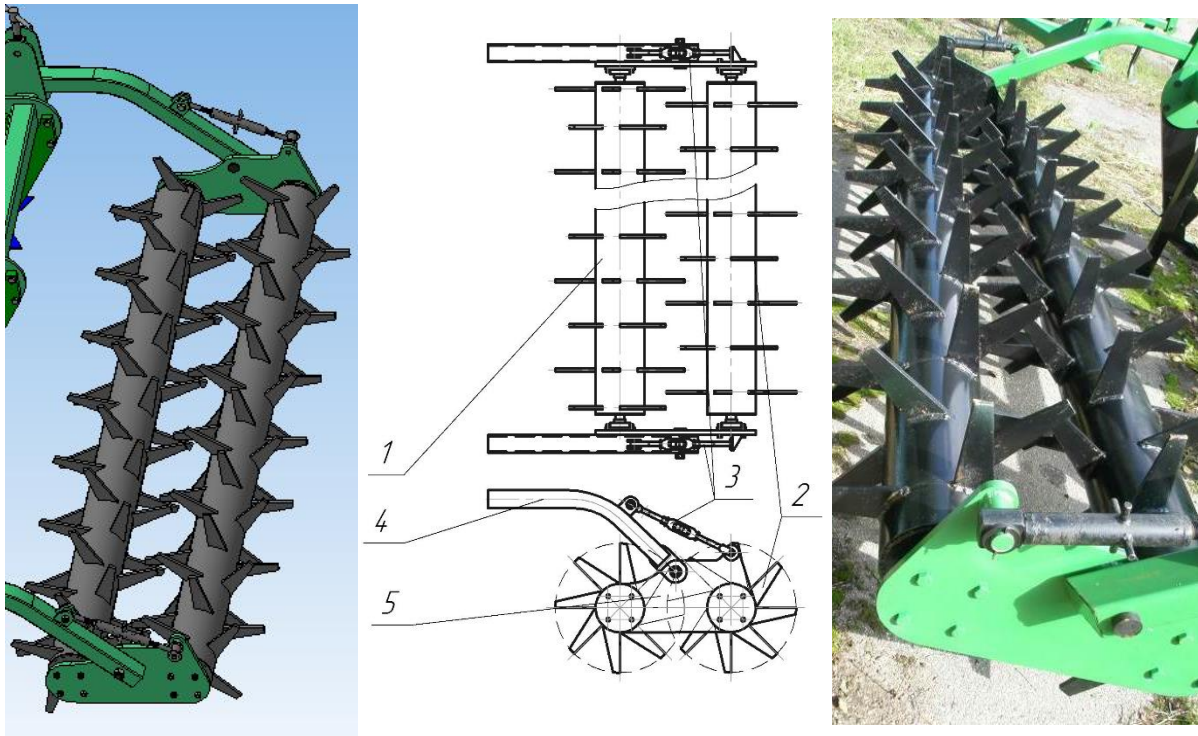


Рисунок 3 – Просторова модель, схема та загальний вигляд спареного зубчастого котка:
1 – передній коток; 2 – задній коток; 3 – регулювальний гвинт інтенсивності роботи спареного котка;
4 – рамка кріплення батареї котків; 5 – щок батареї котків

Джерело: розроблено авторами

Рекомендований до використання в якості додаткового робочого органу глибокорозпушувачів спарений зубчастий коток складається із переднього 1 та заднього 2 котків (рис. 3), зуби яких зміщені на пів кроку один відносно іншого та жорстко закріплені по концентричному колу труби основи котка. Безпосередньо зуби мають форму звужених зрізаних призм, що приварюються до труби із нахилом вперед чи назад, залежно від установки самого котка. Кожен із котків встановлюється цапфами в підшипниковий вузол, який закріплений в щоках батареї котків 5. Це забезпечує вільне обертання котків при їх перекочуванні по поверхні поля. Інтенсивність роботи батареї регулюється їх положенням відносно горизонту регулювальними гвинтами 3, що встановлені по обидва боки та закріплюються до щок 5. Рамка кріплення батареї котків 4 входить в боковини просторової ферми рами глибокорозпушувача. При обертанні регулювального гвинта інтенсивності роботи спареного котка 3, можна

встановити або ж рівномірну роботу обома котками, чи забезпечити нахил батареї вперед чи назад. Нахил котків вперед забезпечує більш інтенсивне перемішування рослинних решток, але при цьому крупні брили розпушуються гірше, якщо ж потрібно поліпшити подрібнення часток ґрунту – необхідно забезпечити незначне підймання переднього котка відносно заднього. За нормальних умов роботи при незначній вологості і невеликій кількості рослинних решток рекомендовано встановлювати горизонтальне положення котків.

За відомою класичною схемою під час вибору параметрів котків основними є діаметр цього робочого органу і його довжина. Під час визначення діаметру котка потрібно враховувати можливу поздовжню деформацію ґрунту [1]. Якщо в полі працює гладкий коток, це має місце коли кут охоплення котка ґрунтом α не буде перевищувати 20° за умови, що грудка перед котком не буде надто великою. Враховуючи те, що запропонована конструкція котка при роботі забезпечує виконання двох функцій, а це – ущільнення нижніх шарів ґрунту і роздавлювання грудок та інтенсивне перемішування верхніх горизонтів за рахунок проникнення зубів котка в попередньо розпушений ґрунт, кут обхвату такої конструкції (рис. 4) складає $\alpha = 50^\circ$.

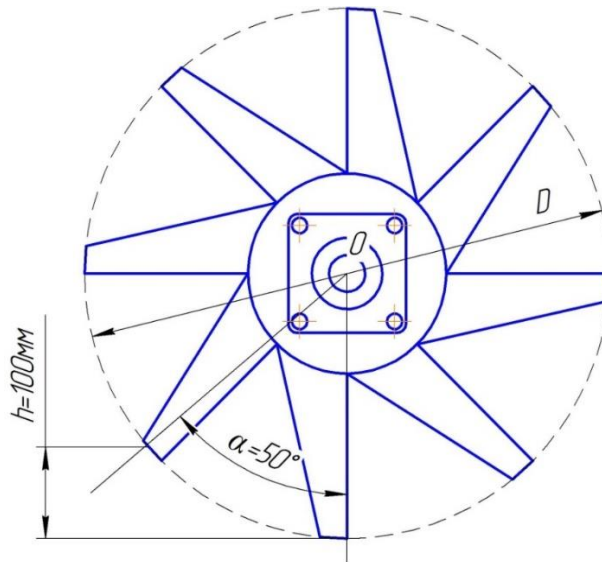


Рисунок 4 – Схема до визначення параметрів зубчастого котка

Джерело: розроблено авторами

Для визначення діаметру котка, що забезпечить необхідні якісні показники роботи, можна скористатися класичною залежністю [1]:

$$\cos \alpha = \frac{D - 2 \cdot h}{D} = 1 - \frac{2 \cdot h}{D}, \quad (1)$$

де α – кут обхвату котка ґрунтом;

D – діаметр котка;

h – усереднене значення глибини деформації котком ґрунту.

Наведена вище формула дозволяє знайти значення мінімального діаметру, за умови вільного перекочування котка без його забивання грудками

$$D \geq \frac{2 \cdot h}{1 - \cos \alpha}. \quad (2)$$

Якщо врахувати, що кут обхвату запропонованого котка $\alpha = 50^\circ$, а усереднене значення глибини деформації котком ґрунту $h = 100$ мм, то мінімальний розрахунковий

діаметр котка дорівнює $D = 560$ мм. На комбіновані глибокорозпушувачі типу ЧН встановлювали котки діаметром $D = 580$ мм.

Вибираючи ширину захвату котків враховують рельєф поля та інші зовнішні чинники, що можуть впливати на роботу таких робочих органів. Дослідники відмічають [1], що за умов роботи котків на рівнині їх ширина може становити до 2 м, якщо ж обробіток проводять в умовах гірського рельєфу та значних нерівностях полів, ширина котків не перевищує 1 м. При виборі ширини спарених зубчастих котків варто враховувати функцію, що цей механізм виконує, а ширину таких котків узгоджують із шириною захвату глибокорозпушувачів.

Відомо, що конструктивні параметри котків, які забезпечують їх роботоздатність мають прямий зв'язок із об'ємною деформацією ґрунту.

$$h = \frac{1,3 \cdot \sqrt[3]{G^2}}{\sqrt[3]{g_o^2 \cdot B^2 \cdot D}}, \quad (3)$$

де G – повна вага котка;

g_o – коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту котком;

B – ширина захвату котка

Із наведеної вище залежності коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту котком дорівнює:

$$g_o = \sqrt{\frac{2,2 \cdot G^2}{h^3 \cdot B^2 \cdot D}}. \quad (4)$$

Для визначення зусилля перекочування котка по поверхні ґрунту потрібно скористатися залежністю, яка включає вагу котка, коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту, ширину захвату котка і його діаметр:

$$P = 0,86 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{G^4}{g_o \cdot B \cdot D^2}}, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт, що враховує додатковий опір деформації ґрунту, який виникає від роботи зубів. Враховуючи подвійну функцію такого типу котків, які проводять одночасно і ущільнення і розпушування, цей коефіцієнт знаходиться в діапазоні значень $k = 1,2 \dots 1,3$.

З метою оцінки ефективності роботи чизельних глибокорозпушувачів із спареними зубчастими котками запропонованої конструкції, були проведені польові дослідження на полях Кіровоградщини. Наведені нижче результати є накопиченими і обробленими даними, що були отримані протягом 2014...2021 років. Дослідження проводилися на важких і середніх суглинкових ґрунтах із середньою твердістю ґрунту в поверхневому горизонті 20-25 кг/см², на глибині 10...20 см – 40-50 кг/см² та на глибині до 30 см – 70-85 кг/см². Якість роботи глибокорозпушувача із додатковими робочими органами – спареним зубчастим котком проводили за коефіцієнтом кришення ґрунту [13], який можна визначити за формулою

$$k = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100\%, \quad (6)$$

де m_1 – фактична вага часток ґрунту розміром менше 50 мм після роботи агрегату;

m_2 – сумарна вага навіски ґрунту.

Зведений результат польових досліджень по оцінці ефективності роботи спарених зубчастих котків (рис. 5) наведено для глибини роботи чизельного

глибокорозпушувача $h = 30...38$ см, за умови, що глибина суцільного обробітку була близькою до 20 см. Діапазон швидкостей руху скомплектованого ґрунтообробного агрегату була обмежена максимально можливою швидкістю його руху за умови проведення якісного обробітку, враховуючи необхідне тягове зусилля енергетичного засобу на якомога вищій передачі із врахуванням зовнішніх ґрунтово-кліматичних умов. В більшості випадків робоча швидкість руху знаходилася в діапазоні $V_p = 4...9$ км/год. Отримані експериментальні графіки (рис. 5) підтверджують, що найнижча якість кришення ґрунту чизельного глибокорозпушувача спостерігається при його роботі без котків, а коефіцієнт кришення дорівнює 48...62%. Варто зазначити, що підвищення робочої швидкості забезпечує поліпшення якісних показників обробітку, але ця швидкість обмежується тяговим зусиллям трактора. За умов, коли глибокорозпушувач працює із одним зубчастим котком, що забезпечується регулюванням гвинтами 3 (рис. 3), якісні показники є вищими при аналогічних швидкостях роботи і знаходяться на рівні $k = 56...71$ %. Найбільш ефективно комбінований чизельний глибокорозпушувач працює із двома зубчастими котками і при робочій швидкості 7,2...8,2 км/год якісний показник кришення ґрунту дорівнював 70...75%. Наведений якісний показник кришення ґрунту запропонованим комбінованим чизельним глибокорозпушувачем із спареним зубчастим котком є вищим за відповідні показники роботи подібних за призначенням закордонних агрегатів. Так, за аналогічних умов роботи під час обробітку важких чорноземів, показник кришення ґрунту глибокорозпушувача Artiglio S 250-500 виробника «GASPARDO» дорівнював $k = 55-60\%$, інший подібний агрегат Senius 400/18 від «AMAZONE» забезпечував якість на рівні $k = 58-65\%$ [13].

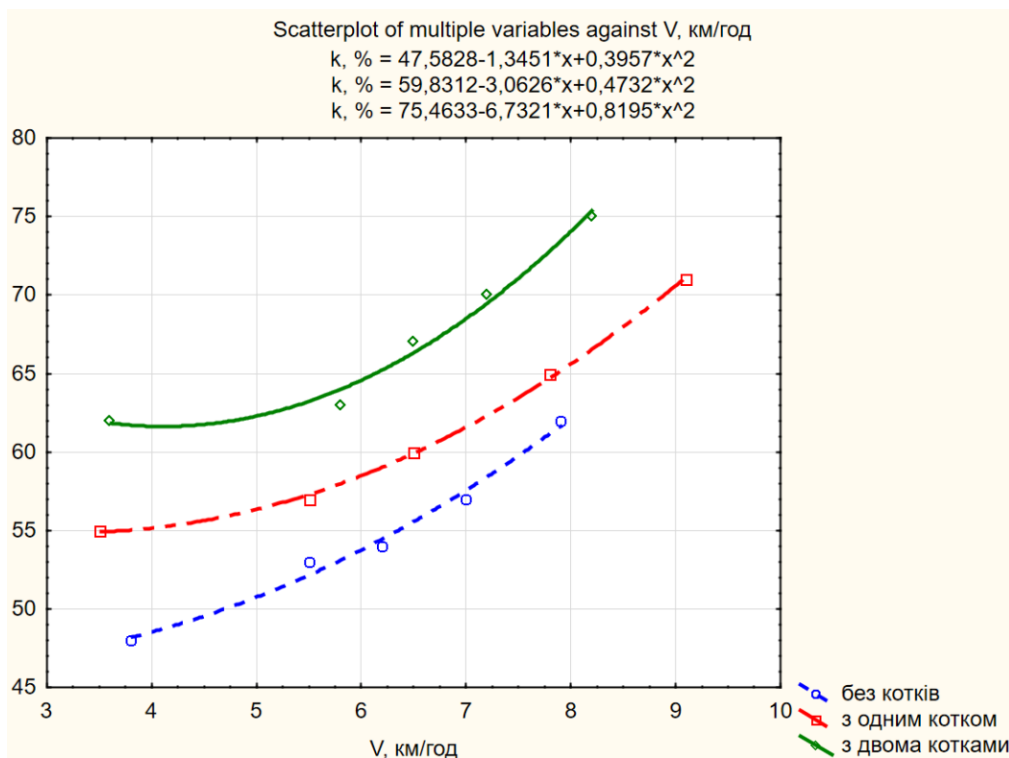


Рисунок 5 – Експериментальна залежність ефективності роботи глибокорозпушувача від робочої швидкості агрегату і варіанту роботи спареного зубчастого котка

Джерело: розроблено авторами

Висновки. 1. Для ефективної роботи комбінованих глибокорозпушувачів ґрунту необхідно використовувати додаткові робочі органи, що мають додатково подрібнити крупні частки та частково перемішати і розподілити рослинні рештки. Найбільш доцільно за ускладнених умов роботи у якості додаткових робочих органів використовувати спарені зубчасті котки із механічним регулюванням.

2. На етапі обґрунтування конструктивних параметрів спарених зубчастих котків достатньо врахувати необхідний кут обхвату котка ґрунтом і усереднене значення глибини деформації котком ґрунту. Це дозволить отримати фактичне значення робочого діаметру котка та розрахувати зусилля перекочування котка по поверхні ґрунту.

3. Під час польових досліджень роботи комбінованих глибокорозпушувачів із спареним зубчастим котком встановлено, що працюючи двома зубчастими котками при робочій швидкості 7,2...8,2 км/год якісний показник кришення ґрунту знаходиться на рівні 70...75%, що суттєво (до 20%) перевищує якісні показники роботи закордонних машин аналогічної конструкції за таких-же умов роботи.

Список літератури

1. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / В.М. Сало та ін. Х.: Мачулін, 2016. 244 с.
2. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting / K.V. Vasylykova et al. *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2016. Vol.50 No.3. P.13-20 ref.18.
3. Машини для обробітку ґрунту та сівби: посіб.; за ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. Дослідницьке: УкрНДПБТ ім. Л. Погорілого, 2009. 288 с.
4. Azizi, A., Gilandeh, Y. A., Mesri-Gundoshmian, T., Saleh-Bigdeli, A. A., & Moghaddam, H. A. (2020). Classification of soil aggregates: A novel approach based on deep learning. *Soil and Tillage Research*, 199, 104586. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104586>
5. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв: монография . К.: Феникс, 2008. 266 с.
6. Шевченко І.А. Керування агрофізичним станом ґрунтового середовища . К.: Видавничий дім «Вініченко», 2016. 320 с.
7. Пащенко В.Ф., Корниенко С.И., Гусаренко Н.П. Теория воздействия рабочих органов орудий на почву: монография. Харьков: ХНАУ, 2013. 90 с.
8. Кушнарев А.С., Кочев В.И. Механико-технологические основы обработки почвы. К.: Урожай, 1989. 144 с.
9. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка . К., Нора-Принт, 1999 . 275 с.
10. Гуков Я.С. Обґрунтування деяких параметрів розпушувачів ґрунту . *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2000. Вип. 83. С.84-88.
11. Глибокорозпушувач UNIA PLOW. URL: https://vfc.com.ua/catalogue/silskogospodarska_tehnika/glibokorozpushuvachi/unia-57.html (дата звернення 10.12.2022).
12. Глибокорозпушувачі BEDNAR FMT. Загальна інформація, робочі органи, технічні дані. URL: <https://www.bednar.com/uk/глибокорозпушувачі/> (дата звернення 10.12.2022).
13. Leschenko S., Salo V., Petrenko D. Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil . *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж.міжвід.наук.-техн. зб.* 2014. Вип. 44. С. 237-243.
14. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць Центральноукраїнського нац. техн. ун-ту*. 2018. Вип. 31. С. 10–20.
15. Сало В., Лещенко С. Технічне забезпечення процесів глибокого розпушування ґрунту . *Пропозиція: український журнал з питань агробізнесу. Інформаційний щомісячник*. 2015. №10. С.122-124.
16. Лещенко С. М., Сало В.М. Шляхи підвищення ефективності роботи комбінованих чизельних ґрунтообробних знарядь з додатковими деформаторами . *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. зб.* 2016. Вип. 4 (103) . 2016. С. 31-37. URL: <https://journal.imesg.gov.ua/info/attach.php?id=66> (дата звернення 12.12.2022).

Referencis

1. Salo, V.M., Leshchenko, S.M., Luzan, P.G., Machok, Yu.V. & Bogatir`ov, D.V. (2016). *Mashyny dlia obrobittu gruntu ta vnesennia dobryv. Navchalnyi posibnyk dlia studentiv ahrotekhnichnykh spetsialnostei [Tillage and fertilizer machines. A textbook for students of agricultural specialties]*. Kharkiv: Machulin [in Ukrainian].
2. Vasytkovska K.V, Leshchenko S.M., Vasytkovskyi O.M., Petrenko D.I. (2016). Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting. *INMATEH-Agricultural Engineering. Vol.50, No.3*, 13-20 [in English].
3. Kravchuk V.I., Melnyk Yu.F. (2009). *Posibnyk. Mashyny dlia obrobittu gruntu ta sivby [Manual. Machines for soil cultivation and seeding]*. Doslidnytske: UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho. [in Ukrainian].
4. Azizi, A., Gilandeh, Y. A., Mesri-Gundoshmian, T., Saleh-Bigdeli, A. A., & Moghaddam, H. A. (2020). Classification of soil aggregates: A novel approach based on deep learning. *Soil and Tillage Research, 199*, 104586. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104586> [in English].
5. Panov, Y.M. & Vetokhyn, V.Y. (2008). *Fyzycheskye osnovi mekhaniky pochv [Physical bases of soil mechanics]*. Kiev: Fenyks [in Russian].
6. Shevchenko I.A. (2016). *Keruvannya agrofizichnim stanom gruntovogo seredovisha [Management of Agrophysical Condition of Soil Environment]*. Kiev: Vidavnychij dim «Vinichenko» [in Ukrainian].
7. Pashchenko, V.F., Korniyenko, N.P. & Husarenko, S.Y. (2013). *Teoryia vozdeistvyia rabochykh orhanov orudyi na pochvu [Theory of the impact of the working bodies of guns on the soil]*. Kharkov : KhNAU [in Russian].
8. Kushnarev, A.S. & Kochev, V.I. (1989). *Mekhaniko-tekhnolohicheskye osnovy obrabotky pochvy [Mechanical and technological bases of soil cultivation]*. Kiev: Urozhai [in Russian].
9. Hukov, Ya.S. (1999). *Obrobittok hruntu. Tekhnolohiia i tekhnika [Tillage of the soil. Technology and equipment]*. Kyiv: Nora-Prynt [in Ukrainian].
10. Hukov Ya.S. (2000). Obgruntuvannia deiakykh parametriv rozpushuvachiv gruntu [Justification of some parameters of soil looseners]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva – Mechanization and electrification of agriculture, Issue 83*, 84-88 [in Ukrainian].
11. *Hlybokorozpushuvach UNIA PLOW. [Deep loosener UNIA PLOW]*. vfc.com.ua. Retrieved from https://vfc.com.ua/catalogue/silskogospodarska_tekhnika/glibokorozpushuvachi/unia-57.html [in Ukrainian].
12. Hlybokorozpushuvachi BEDNAR FMT. Zahalna informatsiia, robochi orhany, tekhnichni dani. [Deep looseners BEDNAR FMT. General information, working bodies, technical data]. [bednar.com](https://www.bednar.com/uk/глубокорозпушувачі/). Retrieved from <https://www.bednar.com/uk/глубокорозпушувачі/> [in Ukrainian].
13. Leschenko, S., Salo, V. & Petrenko, D. (2014). Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil. *Konstruivannja, vyrobnytstvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 44*, 237-243. [in Ukrainian].
14. Leshchenko, S.M., Salo V.M. & Petrenko D.I. (2018). Otsinka enerhoiemnosti hlybokoho obrobittu gruntu kombinovany my chyzelnymy hlybokorozpushuvachamy [Assessment of energy intensity of deep cultivation of soil by combined chisel deep tillers]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohrads'koho nats. tekhn. un-tu – Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation: coll. of science avenue of Kirovohrad National Technical University, Issue 31*, 10–20 [in Ukrainian].
15. Salo, V. & Leshchenko, S. (2015). Tekhnichne zabezpechennia protsesiv hlybokoho rozpushuvannia gruntu [Technical support of the processes of deep loosening of the soil]. *Propozytsiia: ukraïnskyi zhurnal z pytan ahrobiznesu. Informatsiinyi shchomisiachnyk – Offer: Ukrainian magazine on agribusiness. Information monthly, 10*, 122-124. [in Ukrainian].
16. Leshchenko, S.M. & Salo, V.M. (2016). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti roboty kombinovanykh chyzelnykh gruntoobrobnykh znariad z dodatkovy my deformatoramy [Ways to improve the efficiency of combined chisel tillage tools with additional deformer]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva : zahalnodержavnyi zbirnyk – Mechanization and electrification of agriculture: general government. coll. Issue 4 (103)*, 31-37. Retrieved from <https://journal.imesg.gov.ua/info/attach.php?id=66>

Serhii Leshchenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasyl Salo**, Prof., DSc., **Olexiy Vasylovskiy**, Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Petrenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Determination of Parameters and Efficiency of Additional Operating Parts of Deep Tillers

The article presents an overview and analysis of existing additional operating parts of combined deep tillers of serial machines. It was established that the issue of assessing the effectiveness of additional operating parts of deep tillers and the search for their rational structural and technological parameters is insufficiently studied and needs practical solution. The most versatile operating part for high-quality work of deep tillers can be a paired toothed roller. Having studied its design parameters and operating modes, it is possible to get clear recommendations regarding its use.

An improved design of the Tandem Spiked toothed roller type with mechanical adjustment is proposed, as such rollers have a much simpler shape of teeth and a smaller cross-section of each tooth. The dependences for the calculation of certain design parameters of the roller, namely its diameter, length and coefficient of volume deformation of the soil, are given based on the fact that the roller performs two functions – compaction of the lower layers of the soil and crushing of clods and intensive mixing of the upper horizons. To determine the rolling force on the soil surface, we use the relationship that includes the weight of the roller, the volume deformation coefficient of the soil, the grip width of the roller and its diameter. Field studies to assess the efficiency of paired toothed rollers are carried out.

For the effective operation of combined deep tillers of the soil, it is necessary to use additional operating parts, which should additionally grind large particles and partially mix and distribute plant residues. It is most expedient to use paired toothed rollers with mechanical adjustment as additional operating parts under difficult working conditions. At the stage of substantiating the design parameters of paired toothed rollers, it is enough to take into account the required angle of the soil roller's girth and the average value of the soil deformation depth. This will allow getting actual value of the working diameter of the roller and calculate the force of the roller rolling over the soil surface. During field studies of the operation of combined deep tillers with a paired toothed roller, it was established that when working with two toothed rollers at a working speed of 7.2...8.2 km/h, the qualitative indicator of soil crushing is at the level of 70...75%, which significantly exceeds the qualitative indicators of the work of foreign machines of a similar design under the same operating conditions.

additional operating parts, paired toothed roller, parameters of the roller, operating efficiency, coefficient of soil crushing

Одержано (Received) 19.12.2022

Прорецензовано (Reviewed) 22.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.664

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.118-134>

Ю.В. Кулешков, проф., д-р техн. наук, М.І. Черновол, проф., д-р техн. наук, М.В. Красота, доц., канд. техн. наук, Т.В. Руденко, доц., канд. техн. наук, Р.А. Осін, доц. канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: kul090455@gmail.com*

Підвищення довговічності шестеренного насоса гідросистеми автотракторної техніки шляхом зниження зносів деталей, що утворюють радіальний зазор

В роботі наведені результати досліджень залежності втрат робочої рідини через радіальний зазор. Визначені основні параметри, що на них впливають, та умови, при яких втрати робочої рідини будуть мінімальними, що відповідає раціональному значенню радіального зазору і забезпечує зменшення зносів деталей, які утворюють радіальний зазор.

Встановлено, що підвищити довговічність шестеренного насоса можливо за рахунок того, що обробку шестерень і наступне складання шестеренного насоса здійснюють з гарантованим радіальним зазором в з'єднанні деталей «корпус – шестерні», що виключає початковий знос корпусу шестеренного насоса на при його обкатуванні. Запобіганню явища абразивного зношування сприяє збільшення радіального зазору до розмірів, через які спроможні вільно пройти абразивні частки будь-якої величини не зачепивши стінок корпусу і вершин зубів шестерень. Раціональний радіальний зазор забезпечує вільне проходження практично всіх абразивних часток що підвищує довговічність шестеренного насоса.
шестеренний насос, радіальний зазор, втрати робочої рідини, довговічність

Постановка проблеми. Втрати робочої рідини через зазори у з'єднаннях деталей є недоліком будь-якого насосу об'ємного типу, зокрема і шестеренного насоса (НШ), який застосовується в гідросистемах автотракторної техніки.

Одним з відповідальних з'єднань шестеренного насоса є рухоме з'єднання вершин зубів шестерень з корпусом насоса – радіальний зазор. Відомо, що саме збільшення радіального зазору між вершинами зубів шестерень з корпусом внаслідок зношення деталей, що його утворюють, є причиною передчасного виходу з ладу шестеренного насоса. А тому, дана публікація, що присвячена підвищенню довговічності шестеренного насоса шляхом зниження зносів деталей, які утворюють радіальний зазор, безумовно, є актуальною.

Втрати робочої рідини через радіальний зазор, за оцінкою різних авторів [1- 13, 15, 16], складають лише 20%...25% від загальних втрат, тобто не є превалюючими, але у підвищенні довговічності шестеренного насоса з'єднання «вершини зубів шестерень – корпус» відіграє першорядну роль. Це можливо пояснити слідуючим.

При виробництві НШ для збільшення коефіцієнта подачі прагнуть виконати радіальний зазор якомога меншим. Сучасна технологія забезпечення мінімального радіального зазору полягає в тому, що обробку ділянки розділення робочих порожнин на стінках колодязів корпусу виконують врізанням зубів шестерень в стінки корпусу насоса під впливом тиску робочої рідини на етапі обкатування НШ [13].

Зниження довговічності шестеренного насоса пояснюється тим, що створення мінімального радіального зазору в з'єднанні «вершини зубів шестерень – корпус» шляхом врізання зубів шестерень в стінки корпусу НШ під впливом тиску робочої рідини призводить до початкового зносу корпусу НШ ще на стадії його виробництва.

Окрім того, утворення мінімального радіального зазору в радіальному з'єднанні «вершини зубів шестерень – корпус» зазначеним способом створюються передумови для інтенсивного зношування як корпусу в місці з'єднання з шестернями, так і самих шестерень по зовнішньому діаметру. Встановити причини цього можна з'ясувавши механізм абразивного зношування деталей цього з'єднання.

Потрапляння абразивних часток в мінімальний зазор радіального з'єднання відбувається шляхом їх затягування шестернями, що обертаються. Невисока твердість корпусу, виготовленого з алюмінію (80...120 НВ), в першу чергу сприяє зношуванню самого корпусу, а також впровадженню абразивних часток в матеріал корпусу, що підвищує інтенсивність зношування шестерень насоса по зовнішньому діаметру закріпленими в матеріалі корпусу частками абразиву.

Таким чином, описаний процес викликає технічне протиріччя, суть якого в тому, що прагнення зменшити зазор в місці ущільнення вершин зубів шестерень з корпусом НШ підвищує інтенсивність абразивного зношування корпусу НШ і вершин зубів шестерень. Цим обґрунтовується низький рівень ресурсу НШ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Втрати робочої рідини в насосі через зазори в з'єднаннях корпусу та шестерень зменшують коефіцієнта подачі НШ. Постає питання про співвідношенні втрат через різні зазори шестеренного насоса. Дослідниками це питання вирішується по-різному.

На жаль, єдиної думки щодо втрат робочої рідини через радіальний зазор не існує.

Так, в роботах Т.М. Башти [1-5] стверджується, що на торцеві втрати робочої рідини припадає 75...80% сумарних втрат в шестеренному насосі.

В роботі Є.М. Юдін [6] вважається, що розподіл обсягу втрат робочої рідини за значимістю відбувається аналогічно Т.М. Башті: торцеві втрати, втрати через радіальні зазори і втрати через нещільність міжзубового контакту.

У роботі [7] Рибкіним Є.А. та Усов А.А. наведено результати експериментального визначення втрат робочої рідини.

В роботі Савунова М.П. [8] найбільш значимими вважаються втрати робочої рідини в місцях утворення торцевих і радіальних зазорів. При цьому, втрати робочої рідини в зоні міжзубового контакту, на його думку, невисокі, тому що в місцях контакту створюється високий тиск, який викликає деформацію і підвищує щільність прилягання профілів зубів. Також, герметичність зони міжзубового контакту в процесі функціонування насоса не погіршується, а може навіть покращуватися через процес припрацювання поверхонь зубів, які контактують.

В роботах Калашникова В.І. [9], ступінь значимості втрат робочої рідини в НШ встановлений в такому порядку: втрати через торцеві, радіальні зазори, через міжзубовий контакт та через радіальні зазори між втулками та цапфами шестерень.

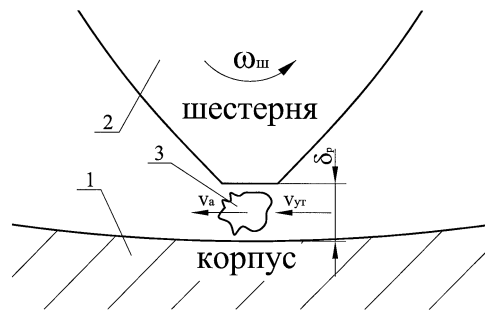
Однак, основна тенденція, і автори статті з цим згодні, полягає в тому, що зазначені втрати лежать в межах 20...25%. Більш докладно це питання викладено в публікаціях авторів [15, 16].

Постановка завдання. Метою даного дослідження є визначення раціонального радіального зазору, при якому буде відбуватися мінімальне зношування деталей, які утворюють радіальний зазор, що в кінцевому результаті забезпечить підвищення довговічності шестеренного насоса гідросистеми автотракторної техніки.

Викладення основного матеріалу. Аналізуючи механізм абразивного зношування, який приведений вище, можливо зазначити наступне. Відомо, що абразивному зношуванню піддаються будь-які матеріали, навіть ті, що були зміцнені сучасними методами до високої твердості. А тому, пошуки методів зміцнення деталей з'єднання «вершини зубів шестерень – корпус» на сучасному етапі розвитку технологій зміцнення не призведе до кардинального вирішення проблеми.

Природно припустити, що зношування деталей радіального з'єднання шестеренного насоса не буде відбуватись за умов, коли абразивні частки отримують можливість вільно проходити через радіальний зазор. Тобто, запобіганню явища абразивного зношування сприяє збільшення радіального зазору до розміру, при якому абразивні частки будь-якого розміру спроможні вільно пройти, не зачепивши стінок корпусу і вершин зубів корпусу.

Тобто, підвищення довговічності шестеренного насоса може бути досягнуте тим, що при його виготовленні і складанні забезпечують гарантований радіальний зазор між корпусом і вершинами зубів шестерень, чим забезпечується зменшення інтенсивності абразивного зношування деталей насоса за рахунок того, що даний зазор забезпечує вільне проходження абразивних часток. На рис. 1 представлена схема проходження абразивної частки через радіальний зазор шестеренного насоса.



- 1 – шестерня; 2 – корпус; 3 – абразивна частка, розміри якої менше ніж радіальний зазор;
 V_a – швидкість абразивної частки; $V_{рт}$ – швидкість руху робочої рідини через радіальний зазор;
 δ_p – радіальний зазор.

Рисунок 1 – Схема проходження абразивних часток через радіальний зазор

Джерело: розроблено авторами

З вищенаведеного витікає, що підвищення довговічності НШ досягається за рахунок того, що виконання обробки шестерень і наступне складання шестеренного насоса здійснюють з гарантованим радіальним зазором в з'єднанні деталей «вершини зубів шестерень – корпус», що виключає початкове зношування корпусу шестеренного насоса при його обкатуванні.

Таким чином, виникає питання чи можливо це, адже відомо, що збільшення зазорів сприяє суттєвому збільшенню втрат робочої рідини через зазори, та знижує коефіцієнт подачі насоса.

Відомо, що втрати робочої рідини через радіальний зазор можливо описати наступною формулою [13]

$$q_p = \left(\frac{\Delta P \cdot \delta_p^3}{12 \cdot \mu \cdot l_z} - \frac{r_a \cdot \omega \cdot \delta_p}{2} \right) \cdot b, \quad (1)$$

де δ_p – радіальний зазор, м;

ΔP – перепад тиску між камерами всмоктування і нагнітання, Па;

μ – в'язкість робочої рідини, Па·с;

l_z – довжина зони ущільнення вершин зубів шестерень корпусом, м;

r_a – зовнішній радіус шестерні, м;

ω – кутова швидкість обертання шестерень насоса, с⁻¹;

b – ширина шестерень, м.

або через частоту обертання враховуючи, що

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n, \quad (2)$$

де n – частота обертання шестерень насоса, об/с,

виводимо вираз для встановлення втрат робочої рідини через радіальний зазор між корпусом і вершинами зубів шестерень через частоту обертання шестерень n

$$q_p = \left(\frac{\Delta P \cdot \delta_p^3}{12 \cdot \mu \cdot l_z} - r_a \cdot \pi \cdot n \cdot \delta_p \right) \cdot b. \quad (3)$$

Тоді, загальні втрати робочої рідини через зони радіальних зазорів для ведучої і веденої шестерень НШ за один оберт насоса мають вигляд [15]

$$q_{1p} = \left(\frac{\Delta P \cdot \delta_p^3}{6 \cdot \mu \cdot l_z \cdot n} - 2 \cdot r_a \cdot \pi \cdot \delta_p \right) \cdot b. \quad (4)$$

При русі робочої рідини в радіальному зазорі, який утворюється корпусом і шестернею, вона підпорядкована двом протилежно діючим силам. З одної сторони, в напрямку з камери нагнітання до камери всмоктування впливає сила гідравлічного тиску, а з іншого, в протилежний бік, на цю ж робочу рідину діє сила тертя, яка створюється через рух шестерень у в'язкій робочій рідині.

З залежностей (1), (3) і (4) бачимо, що втрати робочої рідини складаються з двох доданків: перший напірна складова і другий фрикційна. При цьому фрикційна складова спрямована в сторону протилежну напірній складовій, а тому існує можливість зменшення [15] втрат робочої рідини завдяки використанню відповідних параметрів зубчастого зачеплення і режимів роботи шестеренного насоса. До цих параметрів слід віднести величину радіального зазору δ_p , частоту обертання шестерень n , довжину зони ущільнення вершин зубів шестерень корпусом l_z та зовнішній радіус шестерень r_a .

Звісно, що на втрати робочої рідини найбільш впливає величина радіального зазору δ_p , оскільки цей параметр входить в залежність (1) в третьому ступеню,

Зменшити втрати робочої рідини через радіальний зазор можливо б було збільшивши частоту обертання шестерень. Адже, з залежностей (1) і (3) бачимо, що при цьому збільшується фрикційна складова, а з залежності (4), що напірна складова зменшується пропорційно частоті обертання шестерень насоса. Але, на перешкоді до цього стоять наступні фактори. Частота обертання шестерень насоса лежить в межах $n = 40 \dots 60$ об/с, що відповідає частоті обертання колінчастого вала більшості дизелів. Створювати для насосів окремий привід немає сенсу. З іншого боку збільшення частоти обертання призводить до виникнення проблем з всмоктуванням робочої рідини і появою кавітації.

Аналогічно, збільшення зовнішнього радіусу шестерень r_a сприяє збільшенню фрикційної складової (див. (1), (3), (4)), але при цьому збільшуються передумови для виникнення кавітації, адже при цьому пропорційно зростає лінійна швидкість вершин зубів шестерень.

Найбільш суперечливим є параметр, який визначає довжину зони ущільнення вершин зубів шестерень корпусом l_z . Дослідники по-різному її визначають: від

товщини зубів шестерень, що знаходяться в зоні ущільнення до всього периметра колодязів корпусу, з яким контактують шестерні насоса [15].

Зона ущільнення вершин зубів шестерень корпусом l_z двох шестерень визначається у відповідності з виразом

$$l_z = 2 \cdot S_a, \quad (5)$$

де d_a – зовнішній діаметр шестерень, м;

z – кількість зубів шестерень;

S_a – товщина зуба шестерні на його вершині, м.

Це пояснюється тим, що в момент перекриття вхідного отвору вершиною зуба шестерні тиск робочої рідини в міжзубовій западині дорівнює атмосферному. В процесі подальшого обертання відбувається підвищення тиску робочої рідини в міжзубовій западині. Період по куту обертання, в якому відбувається підвищення тиску робочої рідини, становить $\frac{2 \cdot \pi}{z}$ радіан.

Збільшення тиску в міжзубовій западині визначають у відповідності із залежністю

$$\Delta P = \frac{\Delta V}{V} E, \quad (6)$$

де ΔP – змінення (збільшення) тиску в міжзубовій западині, Па;

ΔV – змінення об'єму робочої рідини в міжзубовій западині, м³;

V – об'єм міжзубової западини, м³;

$\frac{\Delta V}{V}$ – відносна зміна об'єму робочої рідини в міжзубовій западині;

E – об'ємний модуль пружності робочої рідини, $E = 1,3 \cdot 10^9$ Па.

З залежності (6) можна визначити на скільки необхідно змінити об'єм робочої рідини в міжзубовій западині, щоб тиск робочої рідини збільшився на ΔP , а саме

$$\Delta V = \frac{\Delta P \cdot V}{E}, \quad (7)$$

Об'єм міжзубової западини визначають за формулою [6]

$$V = b \cdot \left\{ r_a^2 \left[\frac{\pi}{z} + \text{inv} \alpha_a - \left(\frac{\varphi}{2} + \text{inv} \alpha_\omega \right) \right] - r_b^2 \cdot \frac{\text{tg}^3 \alpha_a}{3} - r_f^2 \cdot \left[\frac{\pi}{z} - \frac{\varphi}{2} - \text{inv} \alpha_\omega \right] \right\}, \quad (8)$$

де b – ширина шестерень, м;

r_a – зовнішній радіус шестерень, м;

z – кількість зубів шестерень;

α_a – кут вершини евольвенти, рад;

φ – кут дуги зуба по початковому колу, рад;

α_ω – кут зачеплення зубчастого зачеплення, рад;

r_b – радіус початкового кола, м;

r_f – радіус кола западин, м;

Кут дуги зуба по початковому колу визначають із залежності

$$\varphi = \frac{\pi}{z} - \frac{\Delta s}{r}, \quad (9)$$

де r – радіус початкового кола, м

$\Delta s = 0,08 \cdot m$ - боковий зазор, м.

m - модуль зачеплення.

Розрахуємо об'єм міжзубової западини для зубчастого зачеплення шестеренного насоса НШ-32 УК, при цьому маємо: ширина шестерень $b = 22$ мм, зовнішній радіус шестерень $r_a = 27,5$ мм; кількість зубів $z = 8$, кут вершини евольвенти, $\alpha_a = 0,818$ рад; кут зачеплення зубчастого зачеплення $\alpha_\omega = 0,582$ рад, рад; радіус кола западин, $r_f = 17,25$ мм, мм; радіус початкового кола $r = 22,5$ мм. Тоді об'єм міжзубової западини для зубчастого зачеплення шестеренного насоса НШ-32УК, розрахований за формулами (8) і (9) становить $V_{M3} = 2244$ мм³.

Для підвищення тиску в міжзубовій западині до значення P необхідно змінити об'єм робочої рідини в міжзубовій западині до значення, яке визначається за залежністю (7). Результати розрахунку наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку зміни об'єму робочої рідини для підвищення тиску до значення P

Тиск, що створює насос P , МПа	16	20	32	50
Зміна об'єму робочої рідини в міжзубовій западині ΔV , мм ³	27,62	34,53	55,24	86,33
Зміна об'єму робочої рідини в міжзубовій западині в % від першопочаткового об'єму міжзубової западини	1,23	1,54	2,46	3,85

Джерело: розроблено авторами

Також, з табл. 1 бачимо, що навіть при повній відсутності втрат робочої рідини через зазори в з'єднаннях деталей насоса, об'єм робочої рідини, що подається через напірний отвір насоса завжди буде менший об'єму, що подається через отвір всмоктування. І пояснюється це тим, що робоча рідина стискається внаслідок підвищення тиску. Це зауваження важливо тим, що доволі часто в рекламних матеріалах в якості маркетингового прийому вказують коефіцієнт подачі насоса в межах 98...99%, що як ми бачимо з табл. 1 неможливо.

Графіки залежності (4) представлені на рис. 2. З рис. 2 видно, що при радіальному зазорі $\delta_p = 0...0,12$ мкм і $S_{a1} = 1$ мм, при $\delta_p = 0...0,15$ мкм і $S_{a2} = 2$ мм і при $\delta_p = 0...0,20$ мкм і $S_{a1} = 3$ мм втрати робочої рідини через радіальні зазори не тільки відсутні, а й мають від'ємне значення. При цьому вони співпадають з напрямком подачі шестеренного насоса, що й сприяє підвищенню, як подачі, так і коефіцієнту подачі насоса. І, лише при радіальному зазорі, що перевищує величину $\delta_p > 0,12$ мкм при $S_{a1} = 1$ мм, $\delta_p > 0,15$ мкм і $S_{a2} = 2$ мкм і при $\delta_p > 0,20$ мкм при $S_{a1} = 3$ мм втрати робочої рідини приймають від'ємні значення. З рис. 2 видно, що існує раціональне значення радіального зазору, при якому від'ємні втрати робочої рідини максимальні [15].

З вищенаведеного випливає, що підвищити довговічність шестеренного насоса можливо за рахунок того, що обробку шестерень і наступне складання шестеренного насоса здійснюють з гарантованим радіальним зазором в з'єднанні деталей «корпус – шестерні», що не допускає початковий знос корпусу НШ на при його обкатуванні.

Звертаючи увагу на процес абразивного зношування, що викладений вище,

встановлюємо наступне. Спрацьовування поверхонь деталей радіального з'єднання НШ не буде за умов, якщо абразивні частки матимуть можливість вільно проковзувати крізь радіальний зазор. Тобто, попередженню явища абразивного зношування буде сприяти підвищення радіального зазору до значень, при яких можливо вільно проходити абразивним часткам будь-якого розміру не зачепивши стінок корпусу і вершин зубів шестерень.

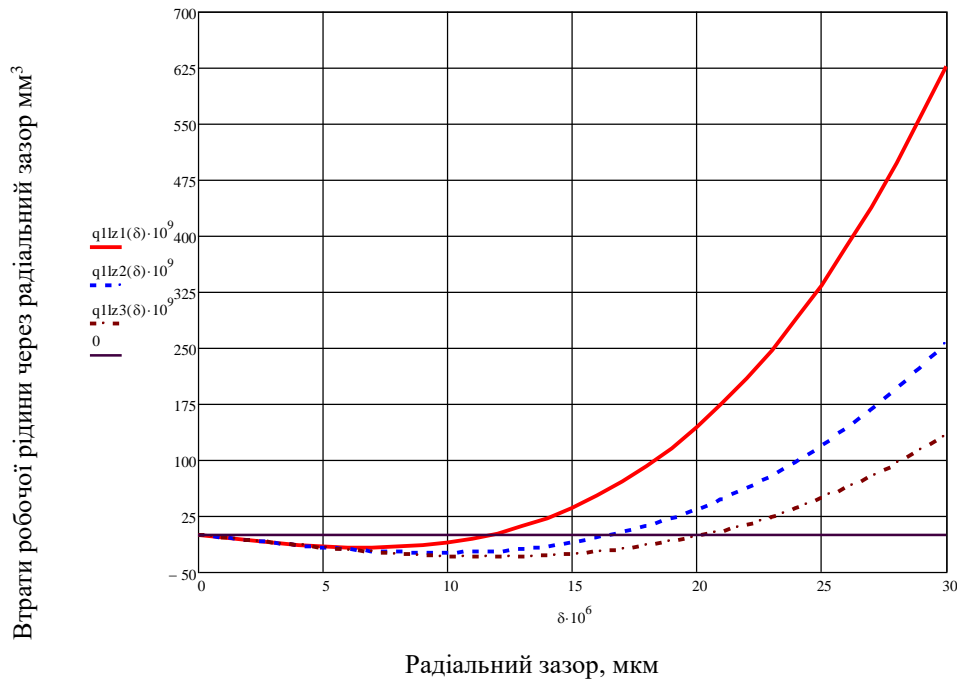


Рисунок 2 – Графічна залежність втрат робочої рідини через радіальний зазор при $S_{a1} = 1$ мм, $S_{a2} = 2$ мм і $S_{a3} = 3$ мм і $n = 40$ об/с.

Джерело: розроблено авторами

Тобто, гарантований радіальний зазор повинен бути більшим за експериментальними даними у 2,5 рази ніж середньозважений розмір часток забруднень d_s , які присутні в робочій рідині. Це відбувається завдяки тому, що в радіальному зазорі при умові $\delta_p < 2,5 \cdot d_s$ у взаємодію з корпусом і шестернями вступають декілька абразивних часток, утворюючи конгломерати, які заклинюються між корпусом і вершинами зубів шестерень, що призводить до інтенсивного зношування деталей насоса. При збільшенні радіального зазору до величини

$$\delta_p > 2,5 \cdot d_s. \quad (10)$$

ймовірність такої взаємодії різко знижується. Умова (10) являється нижньою границею гарантованого радіального зазору.

При цьому, якщо радіальний зазор перевищує середньозважену величину абразивних часток 3 (рис. 1), тобто при виконанні умови (10), останні можуть без перешкод, не торкаючись корпусу 1 і шестерні 2 вільно проходити через радіальний зазор, що значно знижує зношування цих деталей і є передумовою суттєвого зростання довговічності шестеренного насоса.

Далі, встановимо середньозважений розмір абразивних часток, які надходять до НШ з робочою рідиною. Гідравлічні системи автомобілів, сільськогосподарських та промислових тракторів функціонують на робочій рідині 12 класу чистоти згідно ДСТУ

ГОСТ 17216:2004 «Чистота промислова. Класи чистоти рідин». В табл. 2 представлено гранулометричний склад абразивних часток, які мають місце в робочій рідині і який обмежується ДСТУ ГОСТ 17216:2004 [14].

Як бачимо з табл. 2 середньозважений розмір абразивної частки, які згідно технічним вимогам ДСТУ ГОСТ 17216:2004 [14] зустрічаються в робочій рідині шестеренних насосів становить $d_{св} = 12,1$ мкм. Тоді, мінімальне значення гарантованого радіального зазору у відповідності з (10) становить: $\delta_{p\min} = 30$ мкм.

Таблиця 2 – Гранулометричний склад робочої рідини 12 класу чистоти, який лімітується ДСТУ ГОСТ 17216:2004 «Чистота промислова. Класи чистоти рідин»

Границі гранулометричних інтервалів, мкм	5...10	10...25	25...50	50...100	100...200	Середньозважений розмір абразивної частки, мкм
Кількість часток в 100 мм ³ робочої рідини	63000	31500	3150	400	100	12,092

Джерело: розроблено авторами

Визначимо об'єм втрат робочої рідини через радіальні зазори у відсотках від загальних втрат робочої рідини через зазори насоса за формулою.

$$V_{p\%} = \frac{V_{pз}}{V_0 \cdot (1 - \eta_v)} \cdot 100, \quad (11)$$

де $V_{pз}$ – об'єм втрат робочої рідини через радіальні зазори, мм³;

V_0 – об'єм робочої камери насоса, $V_0 = 32000$ мм³;

η_v – коефіцієнт подачі шестеренного насоса, зазвичай $\eta_v = 0,94$.

Результати розрахунків за формулами (4) і (11) для різних зазорів і ширини вершин зубів шестерень наведені в табл. 3.

З табл. 3 бачимо, що радіальний зазор $\delta_{p\min} = 30$ мкм дозволяє отримати цілком задовільний результат, щодо об'єму втрат через радіальний зазор при $S_{a2} = 2$ мм 13,38% від загального об'єму втрат і відмінний результат при $S_{a1} = 3$ мм 6,93% від загального об'єму втрат.

При радіальному зазорі $\delta_{p\min} = 40$ мкм задовільний результат, щодо об'єму втрат через радіальний зазор можна отримати лише при $S_{a3} = 3$ мм - 22,6% від загального об'єму втрат.

З результатів наведених в табл. 3 бачимо, що при суттєвому збільшенні радіального зазору втрати робочої рідини можуть бути цілком задовільні. З цього витікає, що підвищити довговічність шестеренного насоса можливо за рахунок того, що при його виготовленні і складанні забезпечується гарантований радіальний зазор між корпусом і вершинами зубів шестерень. Внаслідок цього, відбувається зменшення інтенсивності абразивного зношування деталей насоса через те, що такий зазор забезпечує вільне проходження через нього практично всіх абразивних часток (рис. 1), що і забезпечує підвищення довговічності шестеренного насоса.

Забезпечити зазначений вище гарантований радіальний зазор можливо при механічній обробці шестерень 2 (рис. 1), якщо поле допуску на зовнішній діаметр шестерень змістити в сторону зменшення діаметру шестерень («в мінус»).

Таблиця 3 –Результати розрахунків втрат робочої рідини через радіальний зазор для різних зазорів і ширини вершин зубів шестерень при частоті обертання $n = 40$ об/с (2400 об/хв.)

Радіальний зазор δ_p , мкм	Ширина вершини зубів шестерень S_a мм,		
	1	2	3
	Втрати робочої рідини, мм ³		
0	0	0	0
7	-17,0 (-0,90%)	-22,0 (-1,140%)	-23,5 (-1,220%)
11	-5,260 (0,270%)	-23,50 (-1,230%)	-29,60 (-1,540%)
16	51,70 (2,690%)	-4,570 (-0,2380%)	-23,30 (-1,220%)
20	143,70 (7,480%)	33,80 (1,760%)	-2,780 (-0,145%)
25	334,0 (17,40%)	120,0 (6,240%)	48,0 (2,510%)
30	628,0 (32,70%)	257,0 (13,380%)	133,0 (6,940%)
40	1606,0 (83,630%)	727,0 (37,860%)	434,0 (22,6%)
45	2332,0 (121,40%)	1080,0 (56,30%)	663,0 (34,5%)

Джерело: розроблено авторами

Так, наприклад в серійному насосі НШ-32, шестерні виготовляють з допусками на зовнішній діаметр 55_{-60}^{-30} мм і, при цьому, в момент обкатування відбувається врізання шестерень в корпус на величину 15...55 мкм [16]. При виготовленні шестерень з допусками на зовнішній діаметр 55_{-170}^{-140} мм, буде забезпечений радіальний зазор в межах 0...40 мкм. При цьому, 95% насосів будуть мати радіальний зазор в межах 5...35 мкм, а 70% насосів в межах 10...30 мкм, що майже відповідає визначеним вимогам.

В табл. 4 наведені результати втрат робочої рідини через радіальний зазор для рекомендованих зазорів і ширини вершин зубів шестерень при різній частоті обертання шестерень. З табл. 4 бачимо, що цілком прийнятний результат, щодо об'єму втрат через радіальний зазор можна досягти при величині зазору $\delta_p = 10...30$ мкм при частоті обертання $n = 40$ об/с. При збільшенні частоти обертання до $n = 50$ об/с, радіальний зазор можна збільшити до значень $\delta_p = 40$ мкм при $S_a = 2$ мм і до значень $\delta_p = 45$ мкм при $S_a = 3$ мм, при цьому об'єм втрат через радіальний зазор не перевищує 26% від загального об'єму втрат.

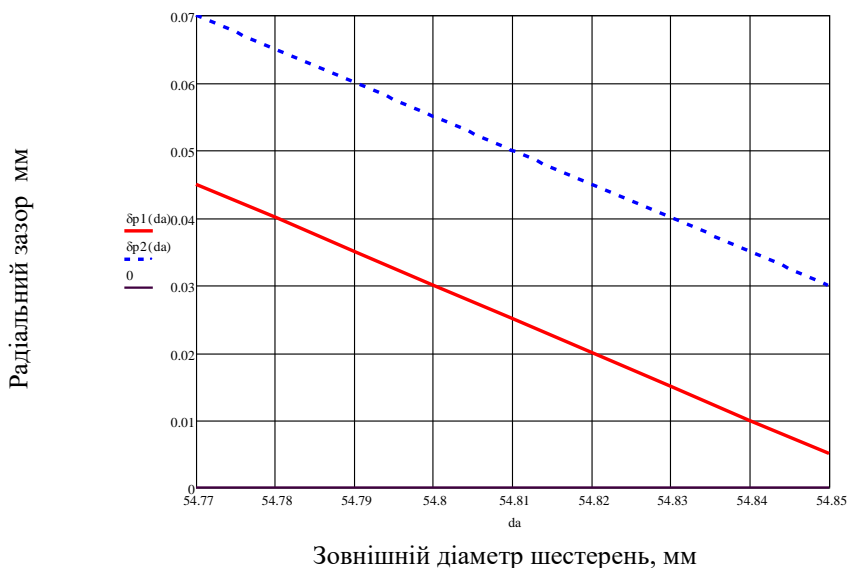
Тобто, за результатами, що наведені в табл. 4 видно, що для забезпечення гарантованого радіального зазору $\delta_p = 10...30$ мкм можливо рекомендувати допуски на виготовлення шестерень 55_{-170}^{-140} мм. В цьому випадку, у 70% насосів радіальний зазор в 0,82...2,47 рази більший ніж розмір середньозваженої частки абразиву 3 (рис. 1). При цьому, частка абразиву може рухатись майже без перешкод через радіальний зазор, не торкаючись ні стінок корпусу 1, ні вершин зубів шестерень 2 (рис. 1), що забезпечує суттєве зменшення зношування деталей, що утворюють радіальний зазор, що може бути використано для значного збільшення довговічності шестеренного насоса.

Таблиця 4 – Результати розрахунків втрат робочої рідини через радіальний зазор для різних зазорів і ширини вершин зубів шестерень при різній частоті обертання

Радіальний зазор δ_p , мкм	Ширина вершини зубів шестерень S_a мм,	
	2	3
	Втрати робочої рідини, мм ³ , (%)	
0	Частота обертання 40 об/с (2400об/хв.)	
0...40	0...726,80 (0...37,90%)	-23,30...433,90 (0...22,60%)
10...30	-24,30...256,70 (-1,270...13,40%)	-28,90...133,20 (-1,50...9,90%)
30...50	256,70...1527,0 (13,40...79,50%)	133,20...954,30 (9,90...49,70%)
	Частота обертання 50 об/с (3000об/хв.)	
0...40	0...551,1 (0...28,1%)	0...316,7 (0...16,5%)
10...30	-27,0...182,6 (-1,41...9,5%)	-30,7...83,7 (-1,6...4,36%)
30...50	182,60...1183,0 (9,50...61,60%)	83,7...725,50 (4,36...37,80%)
45	-	496,40 25,9%

Джерело: розроблено авторами

На рис. 3 представлені графіки радіального зазору від зовнішнього діаметру шестерень. Керуючись представленими графічними залежностями можливо визначити необхідний діаметр шестерень для наперед заданого радіального зазору.



$\delta_{p1}(d_a)$ - залежність радіального зазору від зовнішнього діаметра шестерень для випадку, коли врізання в корпус насоса максимальні; $\delta_{p2}(d_a)$ - залежність радіального зазору від зовнішнього діаметра шестерень для випадку, коли врізання в корпус насоса мінімальні.

Рисунок 3 – Графічна залежність радіального зазору від розмірів зовнішнього діаметра шестерень d_a

Джерело: [16]

Тобто, збільшення довговічності НШ добиваються тим, що при його виробництві та складанні створюють гарантований радіальний зазор між корпусом насоса і вершинами зубів шестерень, чим досягається зменшення інтенсивності абразивного зношування деталей насоса. Раціональний радіальний зазор забезпечує вільне проходження практично всіх абразивних часток що підвищує довговічність шестеренного насоса.

Цей метод підвищення довговічності шестеренного насоса відрізняється надзвичайною простотою впровадження у виробництво. Для його реалізації слід змістити поле допуску зовнішнього діаметру шестерень в бік зниження цього діаметру («в мінус»). Зазначимо також, що при цьому не пропонується збільшити точність обробки зовнішнього діаметру шестерень.

В разі технологічної можливості збільшити точність виготовлення деталей можна майже зовсім виключити зношення деталей радіального зазору.

Запропонований метод підвищення довговічності шестеренного насоса був реалізований при виготовленні шестеренного насоса типу НШ-32УК.

Як зазначено вище запропоновані допуски на виконання зовнішнього діаметра шестерень $55_{-0.170}^{-0.140}$ мм забезпечує проходження частки абразиву 3 без дотикань, що не допускає абразивне зношування корпусу 1 і вершин зубів шестерень 2 (рис. 1).

Для порівняння довговічності шестеренних насосів виготовлених за способом, що пропонується, з серійними насосами були проведені їх ресурсні стендові прискорені випробування.

Ресурсні стендові прискорені випробування НШ здійснювалися на випробувальному стенді СИН-7. Процес прискорення випробувань НШ забезпечується методом підвищення частоти циклів експлуатаційного навантаження і впровадження в робочу рідину штучного забруднювача. Повний цикл проведення випробувань має 2...4 етапи тривалістю по 6 годин кожен.

Перший етап – режим обкатування і випробовування НШ за основними технічними параметрами, а саме визначення коефіцієнту об'ємної подачі. Обкатування та випробовування насосів проводили на стенді КПД-6 у ВАТ «Гідросила» м. Кропивницький.

Після обкатування проводили замірювання коефіцієнт подачі η_v . Визначення коефіцієнта подачі η_v приводили при номінальному режимі: тиск 16,0 МПа, частота обертання 40 об/с і температура робочої рідини $50 \pm 5^\circ\text{C}$.

Наступні етапи проведення випробовувань тривалістю 6 годин проводилися наступним чином. До робочої рідини додавали абразив у вигляді кварцового пилу з питомою площею $5600 \text{ см}^2/\text{г}$ у відповідності до ГОСТ 8002 – 74. НШ випробовували при циклічному навантаженні з частотою 600 вмикань на годину та часом циклового навантаження 1,0...1,5 с. Коефіцієнт прискорення ресурсних при таких випробуваннях складає $K_p = 200$.

Для проведення ресурсних випробовувань було використано 6 насосів, вироблених за методом, що пропонується. Заздалегідь були отримані коефіцієнт подачі η_v НШ, що підлягають випробуванням.

Після кожного етапу ресурсних випробувань шестеренні насоси знов досліджувалися на забезпечення ними коефіцієнта подачі.

Випробування насосів закінчували при досягненні насосом граничного стану. У відповідності з ГСТУ 3-25-180-97 [17] граничним станом шестеренного насоса слід

вважати такий стан, при якому його коефіцієнт подачі досягає граничного рівня $\eta_{v22} = 80\%$.

Середній ресурс напрацювання шестеренного насоса \bar{T}_n визначали за формулою:

$$\bar{T}_n = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ni}}{n}, \quad (12)$$

де T_{ni} – напрацювання i -го насоса на ресурсну відмову, тобто до того моменту коли його коефіцієнт подачі досягне граничного значення $\eta_{v22} = 80\%$.

При цьому, при встановленні ресурсу окремих насосів, які за час випробувань напрацювали певну кількість годин T , слід застосовувати інтерполяцію для тих насосів, які дійшли стану, при якому коефіцієнт подачі сягне значення $\eta_v < 80\%$.

НШ, які отримали граничний стан підлягали розбиранню і встановленню величини зносів корпусів в зоні контакту з шестернею і зносів шестерень по зовнішньому діаметру.

Отримані результати прискорених випробувань серійних НШ і насосів, які вироблені за способом, що пропонується, вказані в табл. 5.

Таблиця 5 – Результати випробувань серійних НШ і насосів, які вироблені за способом, що пропонується.

Технічні показники насоса	Результати досліджень технічних характеристик насосів	
	серійного насоса	виготовленого за способом, що пропонується
Тривалість випробувань насосів на довговічність, годин	15	24
Коефіцієнт прискорення випробування $K_{ГПР}$	200	200
Коефіцієнт об'ємної подачі насоса в кінці випробувань η_v , %	71,7	82,5
Середній ресурс шестеренного насоса, год	3000	4800
Середній знос корпусу насоса в зоні контакту з шестернями, мм	0,52	0,025
Середня швидкість зношування корпусу насоса в зоні контакту з шестернями, мм/год	$173,4 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-6}$
Середня зносостійкість корпусу насоса в зоні контакту з шестернями, год/мм	5769,23	192000
Середній знос шестерень по зовнішньому діаметру, мм	0,40	0,018
Середня швидкість зношування шестерень по зовнішньому діаметру, мм/год	$133,3 \cdot 10^{-6}$	$3,75 \cdot 10^{-6}$
Середня зносостійкість шестерень по зовнішньому діаметру, год/мм	7500	266666,67

Джерело: розроблено авторами

З наведених результатів видно, що запропоновані заходи сприяють підвищенню довговічності шестеренного насоса завдяки зниженню, як початкового зносу корпусу, так і наступного виключення зносу деталей радіального з'єднання завдяки тому, що абразивні частки без перешкод проходять через радіальний зазор. Зокрема, довговічність шестеренного насоса підвищилася в 1,6 рази, середній знос корпусу зменшився в 20,8 раз, а шестерень в 22,2 рази.

З наведеного бачимо, що запропоновані заходи сприяють підвищенню довговічності шестеренного насоса також завдяки використанню ефекту фрикційного руху робочої рідини, а також зниження як початкового зносу корпусу, так і подальшого виключення зносу деталей радіального з'єднання.

Окрім того, з рис. 2 і табл. 2 і 3 бачимо, що існує раціональний зазор, при якому втрати робочої рідини через радіальний зазор набувають від'ємного значення, що сприяє підвищенню коефіцієнта подачі шестеренного насоса.

Цей зазор можна визначити з залежності [15]

$$\delta_p = 2 \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot n \cdot \mu \cdot l_p \cdot r_a}{\Delta P}}. \quad (14)$$

Розрахунок у відповідності з залежністю (14) наведені в табл. 6.

Таблиця 6 – Значення раціонального радіального зазору, при якому досягається максимальне значення коефіцієнту подачі насоса (для шестеренного насоса НШ- 32УК)

Частота обертання шестерень об/с (об/хв)	32 (1920)	40 (2400)	50 (3000)	60 (3600)	70 (4200)	100 (6000)
Рекомендована величина радіального зазору δ_p , мкм, при ширині вершини зубів шестерень S_a , мм						
1	6,0	6,8	7,6	8,3	9,0	10,7
2	8,6	9,6	10,7	11,8	12,7	15,2
3	10,5	11,8	13,2	14,4	15,6	18,6

Джерело: розроблено авторами

З вищенаведеного пропонується для отримання гарантованого радіального зазору при механічній обробці шестерень 2 (рис. 1) поле допуску змістити в бік зменшення діаметру шестерень щонайменше на величину, при якій коефіцієнт подачі шестеренного насоса буде максимальним, тобто у відповідності з розрахунками наведеними в табл. 6.

Так, як і в попередньому випадку для забезпечення необхідного зазору необхідно змістити поле допуску у відповідності до результатів, що наведені в табл. 6. Однак, поле допуску в цьому випадку повинно бути суттєво вужчим, а найкраще точне виконання розміру у відповідності до результатів, що наведені в табл. 6.

Розрахунки за формулами (1) і (8) з радіальним зазором, що наведено в табл. 6 представлені в табл. 7.

Таблиця 7 – Результати розрахунків максимальних від’ємних втрат робочої рідини через радіальний зазор

Розрахунковий радіальний зазор δ_p , мкм	Ширина вершини зубів шестерень S_a мм,		
	1	2	3
	Втрати робочої рідини, мм ³ , (%)		
	Частота обертання 32 об/с (1920 об/хв.)		
6	-15,4 (-0,8%)		
8,6		-21,8 (-1,13%)	
10,5			-26,7 (-1,39%)
	Частота обертання 40 об/с (2400 об/хв.)		
6,8	-17,2 (-0,90%)		
9,6		-24,3 (-1,27%)	
11,8			-29,9 (-1,6 %)
	Частота обертання 50 об/с (3000 об/хв.)		
7,6	-19,3 (-1,0%)		
10,7		-27,2 (-1,47%)	
13,2			-33,3 (-1,74%)
	Частота обертання 60 об/с (3600 об/хв.)		
8,3	-21,0 (-1,1%)		
11,8	-	-29,8 (-1,55%)	
14,4			-36,51 (-1,9%)

Джерело: розроблено авторами

Слід зазначити, що результати розрахунків, що наведені в табл. 7 були отримані для певного розміру радіального зазору. Однак, від’ємними втратами робочої рідини через радіальний зазор в межах 1...1,9 % нехтувати теж не варто.

Таким чином, з проведеного аналізу технічних параметрів серійних НШ і виготовлених за способом, що пропонується, встановлено, що використання запропонованого методу у виробництво надасть можливість істотно підвищити довговічність шестеренного насоса, а також, його коефіцієнт подачі.

Спосіб виготовлення шестеренного насоса з підвищеним коефіцієнтом подачі може бути ефективно використаний у галузі машинобудування та ремонту гідромашин. Спосіб, що пропонується, може бути просто впроваджений у виробництво.

Висновки.

1. Огляд науково-технічних джерел інформації показав, що стан деталей, що утворюють радіальний зазор відіграє першорядну роль щодо довговічності шестеренного насоса.

2. Визначено умови, при яких втрати робочої рідини через радіальні зазори будуть мінімальними. Зазначені моделі враховують наявність напірної і фрикційної складової втрат.

3. Встановлені основні параметри, що надають можливість керувати втратами робочої рідини через радіальні зазори. Серед них: ширина вершин зубів шестерень l_z , частота обертання шестерень n і зовнішній радіус шестерень r_a .

4. Результати досліджень визначення раціонального радіального зазору дозволяють покращити ефективність технології виробництва НШ за рахунок раціоналізації допусків на виготовлення шестерень, що дозволяє підвищити

довговічність шестеренного насоса.

5. Порівняльний аналіз технічних характеристик серійних шестеренних насосів і виготовлених за способом, що пропонується дає змогу:

- підвищити довговічність шестеренного насоса у 1,6 рази за рахунок зниження зносів деталей, що утворюють радіальний зазор;
- знизити зношування корпусу шестеренного насоса в 20,8 раз за рахунок недопущення умов для абразивного зношування деталей радіального з'єднання;
- знизити зношування шестерень насоса по зовнішньому діаметру в 22,2 рази за рахунок усунення умов для абразивного зношування деталей радіального з'єднання;
- підвищити коефіцієнт подачі шестеренного насоса.

Список літератури

1. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропневмопривід. Ч. I. Гідравліка і гідравлічні машини у стислому викладі : навчальний посібник 2-е вид. перепрацьоване і доповнене . К.: НУХТ, 2008. 194 с.
2. Гідравліка, гідромашини та гідропневмоавтоматика : підручник / Л. Є. Пелевін та ін. К. : КНУБА, 2015. 340 с.
3. Башта Т.М. Расчеты и конструкция самолетных гидравлических устройств . 3-е изд. перераб. и доп. М.: Гос. научно-технич. издат. Оборонгиз, 1961. 475 с.
4. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика: спр. пособ. М.: Машиностроение, 1977. 672 с.
5. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 1974. 606 с.
6. Панченко А. И., Дворников В. А., Кюрчев С. В. Теоретические основы управления надежностью гидроприводов сельскохозяйственных машин . *Праці Таврійської державної агротехнічної академії* ; відп. за вип. В. Т. Надикто. 2007. Вип. 7, т. 1. С. 221 - 231.
7. Іскович-Лотоцький Р.Д., Севостьянов І.В. Приводи автоматизованого устаткування: навч. посіб. Вінниця: "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 2004. 205 с.
8. Гидрообъемный привод тракторов / А. И. Панченко и др. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання* ; відп. за вип. А. І. Панченко. 2008. Вип. 8, т. 8. С. 38 - 44.
9. Калашников В.И. Исследование эксплуатационной надежности гидронасосов типа НШ 32: дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1968. 167 с.
10. Ибрагимов Р.А. Повышение работоспособности отремонтированных насосов гидросистем машин, эксплуатируемых в условиях хлопководства: дис. канд. технич. наук. Янгиюль , 1984 . 252 с.
11. Кулешков Ю.В., Саловский В. С. Оценка влияния зазоров в сопряжениях шестеренного насоса на величину его внутренних утечек. *Конструирование и технология производства с.х. машин: республ. межвед. науч.-техн. сб.* 1993. Вип. 23. С. 28 – 32.
12. Матвієнко О.О. Математична модель втрат робочої рідини через радіальний зазор шестеренного насоса типу НШ . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту.* 2005. Вип. 16. С.235-240.
13. Кулешков Ю.В., Матвієнко О.О. Аналіз математичних моделей втрат робочої рідини через радіальний зазор шестеренного насоса типу НШ . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту.* 2006. Вип. 17. С. 205 - 207.
14. ДСТУ ГОСТ 17216: 2004 . Чистота промислова. Класи чистоти рідин . Київ ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2004. 11 с. (НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ).
15. Визначення раціонального радіального зазору в шестеренному насосі гідросистем автотракторної техніки / Ю.В. Кулешков та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. праць* . 2022. Вип. 5 (36), ч. II. С. 86 - 96.
16. Особливості утворення радіального зазору в шестеренному насосі / Ю.В. Кулешков та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. праць.* 2022. Вип.6 (37), ч. I. С. 168 -173.

References

1. Kulinchenko, V.R. (2008). Hidravlika, hidravlichni mashyny i hidropnevmpopyvid . Hidravlika i hidravlichni mashyny u styslomu vykladi [Hydraulics, hydraulic machines and hydropneumatic drive. Hydraulics and hydraulic machines in a nutshell]. Part. I. (2-d ed). Kyiv : NUKhT [in Ukrainian].
2. Pelevin, L.Ye., Mischuk, D.O., Rashkivskiy, V.P., Horbatiuk, Ye.V., Arzhaiev, H.O. & Krasnikov, V.F. (2015). *Hidravlika, hidromashyny ta hidropnevmoavtomatyka* [Hydraulics, hydraulic machines and hydropneumatic automation]. Kyiv : KNUBA [in Ukrainian].
3. Bashta, T.M. (1961). *Raschety y konstruksyia samoletnykh hidravlycheskykh ustroystv* [Calculations and design of aircraft hydraulic devices]. (3-d ed.). Moskow : Gos. nauchno-tehnich. izdat. Oborongiz [in Russian].
4. Bashta, T.M. (1977). *Mashynostroytelnaia hidravlika* [Mechanical engineering hydraulics] . Moskow : Mashynostroenye [in Russian].
5. Bashta T.M. (1974). *Obemnye nasosy y hidravlycheskye dvyhately hydrosystem* [Displacement pumps and hydraulic motors for hydraulic systems] . Moskow : Mashynostroenye [in Russian].
6. Panchenko, A.I., Dvornikov, V.A., Kjurchev, S.V. (2007). Teoreticheskie osnovy upravlenija nadezhnost'ju gidroprivodov sel'skohozjajstvennykh mashin . [Theoretical Foundations of Reliability Control of Hydraulic Drives of Agricultural Machines]. *Praci Tavrijs'koï derzhavnoi agrotehnicnoi akademii – Practice of the Taurian State Agrotechnical Academy. Issue 7, Vol. 1, 221 - 231.*
7. Iskovich-Lotoc'kij, R.D. & Sevost'janov, I.V (2004). *Privodi avtomatizovanogo ustatkuvannja* [Bring automated installation]. Vinnicja: “UNIVERSUM- Vinnicja” [in Ukrainian].
8. Panchenko, A. I. et al. (2008). Hidroob#emnyj privod traktorov [Hydrostatic drive of tractors.]. *Praci Tavrijs'kogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universitetu: naukove fahove vidannja – Proceedings of the Tavri State Agro-Technological University: scientific specialist publication, Issue. 8, Vol. 8, 38 – 44 .*
9. Kalashnykov, V.Y. (1968 *Issledovanie jekspluatacionnoj nadezhnosti gidronasosov tipa NSh 32. Candidate's thesis.* Kyev [in Russian].
10. Ybrahymov, R.A. (1984). *Povyshenye rabotosposobnosti otremonirovannykh nasosov hydrosystem mashyn, ekspluatiruemykh v uslovyakh khlopkovodstva. Candidate's thesis.* Yanhyiul [in Russian].
11. Kuleshkov, Yu.V. & Salovskiy, V. S. (1993). Otsenka vlyianiya zazorov v sopriazheniyakh shesterennogo nasosa na velychynu eho vnutrennykh utechek [Evaluation of the effect of gaps in the interfaces of a gear pump on the magnitude of its internal leaks]. *Konstruirovaniye i tehnologiya proizvodstva s.h. mashin: republ. mezhved. nauch.-tehn. sb. – Design and production technology of s.kh. machines: republican interdepartmental scientific and technical collection, Issue 23, 28 – 32* [in Russian].
12. Matviienko, O.O. (2005). Matematychna model vtrat robochoi ridyny cherez radialnyi zazor shesterennogo nasosa typu NSh [Mathematical model of the inlet of the working rod through the radial clearance of a gear pump type NSh] . *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohrads'koho nats. tekhn. un-tu – Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation: coll. of science avenue of Kirovohrad National Technical University, Issue 16, 235-240* [in Ukrainian].
13. Kulieshkov, Iu.V. & Matviienko, O.O. (2006). Analiz matematychnykh modelei vtrat robochoi ridyny cherez radialnyi zazor shesterennogo nasosa typu NSh [Analysis of mathematical models of losses of the working fluid due to the radial clearance of the gear pump of the NSh type]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohrads'koho nats. tekhn. un-tu – Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation: coll. of science avenue of Kirovohrad National Technical University, Issue 17, 205 - 207* [in Ukrainian].
14. Industrial cleanliness. Liquid purity classes . (2004). DSTU HOST 17216:2004. Kyiv NATsIONAL'NYJ STANDART UKRAYNY.
15. Kuleshkov, Iu.V., Krasota, M.V., Rudenko, T.V., Osin, R.A. & Yevseichyk, Yu.B. (2022). Vyznachennia ratsional-noho radialnoho zazoru v shesterennomu nasosi hydrosystem avtotraktornoï tekhniky [Determination of the rational radial gap in the gear pump of the hydraulic systems of the auto-tractor machinery]. *Tsentrāl'noукраїнський науковий вісник. Технічні науки – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, Issue 5 (36), part. II , 205 - 207* [in Ukrainian].
16. Kuleshkov, Iu.V., Krasota, M.V., Rudenko, T.V., Osin, R.A. & Yevseichyk, Yu.B. (2022). Osoblyvosti utvorennia radialnoho zazoru v shesterennomu nasosi [Peculiarities of the formation of a radial gap in a gear pump]. *Tsentrāl'noукраїнський науковий вісник. Технічні науки – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, Issue 5 (36), part. II , 168 -173* [in Ukrainian].

Yuriy Kuleshkov, Prof., DSc., **Mykhailo Chernovol**, Prof., DSc., **Mykhailo Krasota**, Assoc. Prof., Phd tech. sci., **Timofey Rudenko**, Assoc. Prof., Phd tech. sci., **Ruslan Osin**, Assoc. Prof., Phd tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Increasing gear Pump Hydraulic Systems of Car and Tractor Machinery Durability by Decreasing Details Attrition, Which Create Radial Clearance

The research goal is the determination of rational radial clearance, with what details, which create radial clearance, attrition will be minimal and eventually provides gear pump hydraulic systems of car and tractor machinery durability increasing.

Research gives the results of the dependence of working liquid losses through radial clearance. Determined main parameters, which have an influence on them, and conditions due to which working liquid losses will be minimal, which corresponds to the rational value of radial clearance and provides decreasing of details attrition, which creates radial clearance. Were found as the main parameters, which allow managing working liquid losses through radial clearances. They consist of gear tooth tops width, gear rotation frequency, and outer gear radius.

Offered a new conditions determination method, in which working liquid losses through radial clearances will be minimal. Mentioned models include the presence of pressurized and frictioned losses compounds.

Was found that increasing gear pump durability is able due to gears processing and further gear pump assembling made with guaranteed radial clearance in connection «body - gears» details, which excludes initial attrition of gear pump body in time of its enabling. Increasing radial clearance to sizes, in which abrasive parts of any sizes are able to frequently walk through avoiding body walls and gear teeth tops, helps to prevent the abrasive attrition phenomenon. Rational radial clearance provides free passage for almost all abrasive parts, which increases gear pump durability.

Rational radial clearance determination allows for increasing the efficiency of technology of gear pump manufacturing by rationalizing tolerances for gears manufacturing, which allows for increasing gear pump durability.

gear pump, radial clearance, working liquid losses, hydraulic system

Одержано (Received) 05.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 26.10.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 621.96/98 (075)

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.135-155>

В. М. Боков, проф., канд. техн. наук, **О. Ф. Сіса**, доц., канд. техн. наук, **В. Я. Мірзак**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Свяцький**, доц., канд. техн. наук, **В.М. Шмельов**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: Viktor.alia.kntu@gmail.com

Фізичні особливості процесу багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки

Вивчено фізичні обмеження, що обумовлюють граничний коефіцієнт багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки. Виявлено явище пружності дротів сітки, в наслідок чого бічна стінка деталі набуває викривлену, близьку до конічної форму. Показано фізичну подібність процесу деформування окремого дроту металевої сітки при багатоопераційному витягуванні та процесу гнуття плоскої заготовки, що дозволяє визначити технологічне зусилля кожної операції витягування з застосуванням формул для розрахунку зусилля гнуття.

Виявлено дві форми неусталеності процесу багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком та запропоновано новий спосіб витягування, який створює такі умови штампування, при яких асиметрична деформація деталі (непоправний брак) не спостерігається, а окремі додаткові засоби для обрізування краю відштампованої деталі не використовуються.

багатоопераційне витягування циліндричних деталей, металева сітка, квадратна заготовка, граничний коефіцієнт витягування, спосіб витягування

Постановка проблеми. В сучасному машинобудуванні для виготовлення циліндричних порожнистих деталей із дном використовуються різноманітні способи. Найбільш поширеним із них є спосіб витягування, який здійснюється із листової заготовки [1-5]. В залежності від відносної висоти, даним способом циліндричні деталі можуть бути отримані за одну технологічну операцію витягування (одноопераційне витягування: відносна висота $H/d \leq 1$) та за декілька послідовних технологічних операцій витягування (багатоопераційне витягування: відносна висота $H/d > 1$). Недоліком даного способу є те, що отримані їм порожнисті деталі не можуть використовуватися як кожуха для огороження характерних місць виробів (наприклад, механізмів, що обертаються, або робочих частин мікрофонів) із за відсутності отворів в бічних стінках та дні ковпачка, які потрібні для повітряного зв'язку внутрішньої частини виробу із зовнішньою. Відомий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком, який, зокрема, знайшов застосування для виготовлення кожухів мікрофонів [6]. Завдяки використанню металевої сітки, отримані даним способом деталі забезпечують надійний повітряний зв'язок внутрішньої частини виробу із зовнішньою. Одноопераційне витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком даним способом було об'єктом дослідження робіт [7, 8], де

показана доцільність використання плоскої квадратної заготовки. Подальше удосконалення технології витягування деталей із металевої сітки в напрямку підвищення відносної висоти відштампованої деталі пов'язано з використанням багатоопераційного способу витягування. Вивчення даного процесу дозволить значно зменшити граничний коефіцієнт витягування і тим самим значно підвищити відносну висоту деталі. Спосіб багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком не був об'єктом дослідження. Тому робота, що спрямована на удосконалення технології виготовлення деталей із металевої сітки за рахунок використання багатоопераційного способу витягування, є актуальним науково-практичним завданням.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є удосконалення технології виготовлення циліндричних деталей із металевої сітки за рахунок використання багатоопераційного способу витягування.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розробити методику експериментального дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування;
- вивчити фізичні обмеження, що обумовлюють граничний коефіцієнт багатоопераційного витягування;
- виконати експериментальне дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування;
- запропонувати новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком.

Методика експериментального дослідження. Методика експериментального дослідження передбачала визначення критичного коефіцієнта багатоопераційного витягування m_2 шляхом послідовного штампування.

Загально відомо, що можливість витягування циліндричної деталі за одну технологічну операцію визначається граничним коефіцієнтом витягування m_2 , який є кількісним показником даного процесу. За Романовським В. П. [2] його експериментально встановлюють за формулою (1)

$$m_2 = \frac{d}{D_3} . \quad (1)$$

Якщо в попередній роботі [7] коефіцієнт витягування у виразі (1) для одноопераційного (першого) витягування змінювався за рахунок знаменника, тобто за рахунок зміни розміру вихідної заготовки D_3 , то в даній роботі коефіцієнт витягування для багатоопераційного витягування змінювався за рахунок зміни чисельника цього ж виразу, тобто за рахунок зміни діаметру d відштампованого ковпачка.

Витягування здійснювалося із квадратної вихідної заготовки в наступній технологічній послідовності:

- перше витягування в умовах мінімального значення граничного коефіцієнта витягування, наближеного до граничного коефіцієнта для першого витягування. Це виключало можливість підвищення відносної висоти відштампованої деталі за рахунок подальшого зменшення коефіцієнта витягування шляхом підвищення розміру вихідної заготовки;
- друге витягування за умов зменшення діаметра ковпачка після першого витягування на 4 мм;
- третє витягування за умов зменшення діаметра ковпачка після другого витягування на 4 мм;

- четверте витягування за умов зменшення діаметра ковпачка після третього витягування на 4 мм;
- п'яте витягування за умов зменшення діаметра ковпачка після четвертого витягування на 4 мм і т. п.

При послідовному витягуванні деталей із металеві сітки з невеликим кроком t зменшення діаметру ковпачка (у даному разі $t = 4$ мм), поступово зменшується загальний коефіцієнт витягування m_i (див. формулу 1), а висота деталі зростає.

Так:

$$\text{- при першому витягуванні} \quad m_1 = \frac{d_1}{D_3} = \frac{29}{114} = 0,244;$$

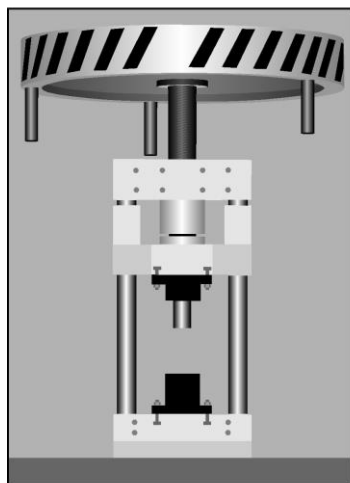
$$\text{- при другому витягуванні} \quad m_2 = \frac{d_2}{D_3} = \frac{25}{114} = 0,219;$$

$$\text{- при третьому витягуванні} \quad m_3 = \frac{d_3}{D_3} = \frac{21}{114} = 0,184;$$

$$\text{- при четвертому витягуванні} \quad m_4 = \frac{d_4}{D_3} = \frac{17}{114} = 0,149;$$

$$\text{- при п'ятому витягуванні} \quad m_5 = \frac{d_5}{D_3} = \frac{13}{114} = 0,114.$$

Кількість можливих операцій витягування буде визначатися досяганням граничного значення коефіцієнта витягування m_g .



Багатоопераційне витягування заготовок здійснювали з використанням малогабаритного інерційного гвинтового пресу зусиллям 100 кН с ручним приводом маховика (рис. 1).

Рисунок 1 – Загальний вид малогабаритного інерційного гвинтового пресу з ручним приводом

Джерело: розроблено автором [9]

Принципова схема пресу, що складається із станини та головного виконавчого механізму, приведена на рис. 2. Станина рамного типу утворена верхньою 6 і нижньою 13 траверсами, які з'єднані двома циліндричними стійками 1 і 12. В верхній траверсі 6 закріплена робоча гайка 9 гвинтової пари.

Головний виконавчий механізм пресу включає повзун 4, гвинт 5 і маховик 7. Повзун 4 з подовженими напрямними має напрямок за циліндричними стійками 1 і 12. До повзуну з можливістю обертання приєднаний гвинт 5, на якому нарізана чотиризахідна права трапеціодального профілю з кутом нахилу 13° різьба, що не самогальмується. Нижня опора гвинта, кінематично зв'язаного з гайкою 9, виконана у вигляді сферичного підп'ятника 11, вставленого в центральне поглиблення повзуна 4. Фланець гвинта 5 притиснутий зверху кришкою 10 із сферичною поверхнею контакту. На верхній частині гвинта закріплений маховик 7, на ободі якого встановлені три поворотні рукоятки 8 с кутом 120° між ними для зручності ручного привода.

Інерційний гвинтовий прес працює таким чином. В штамповий простір преса поміщують пуансон 2 разом з пуансонотримачем 3, матрицю 14 і закріплюють їх. Інструмент, що встановлюється, повинен відповідати операції, яка виконується на пресі. Перед початком роботи повзун 4 пресу знаходиться в крайньому верхньому положенні, яке фіксують за допомогою підставки (на рис. 1, 2 не показана). Після установки заготовки виймають підставку і поворотом маховика за рукоятку 8 на кут $120^\circ - 150^\circ$ приводять до обертання маховик 7, який разом з гвинтом 5 здійснює гвинтовий рух далі за інерцією. Повзун 4 опускається вниз і за рахунок накопиченої кінетичної енергії рухо-мих частин виконує технологічну операцію. Якщо енергії одного ходу вниз недостатньо для кінцевої формозміни заготовки, то деформацію виконують за декілька ходів повзуна. Величина кінетичної енергії, що накопичується рухомими частинами, а відповідно і зусилля пресу, легко регулюється шляхом зміни висоти підйому повзуна, зусилля, що прикладається до рукоятці привода, та кута повороту маховика, на якому прикладають зусилля.

В якості інструмента використовувався експериментальний штамп (рис. 3) для другого та подальшого витягування.

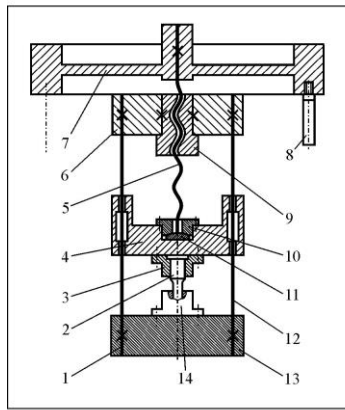


Рисунок 2 – Принципіальна схема інерційного гвинтового пресу
Джерело: розроблено автором [9]

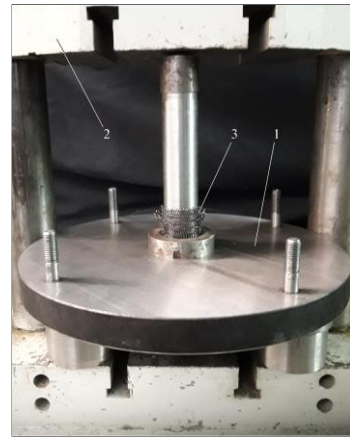
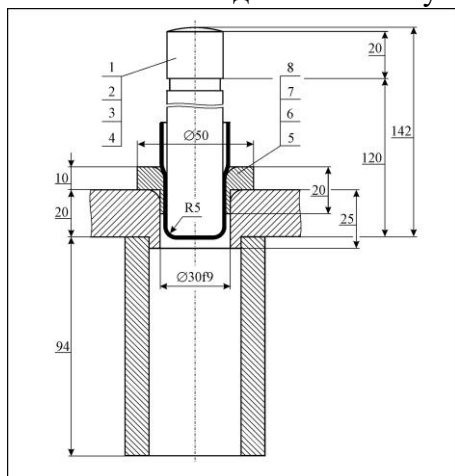


Рисунок 3 – Експериментальний штамп, що встановлений на універсальний інерційний гвинтовий прес: 1 – штамп; 2 – прес; 3 – заготовка, що витягується
Джерело: розроблено авторами

Він складається з наступних основних деталей (рис. 4, 5):

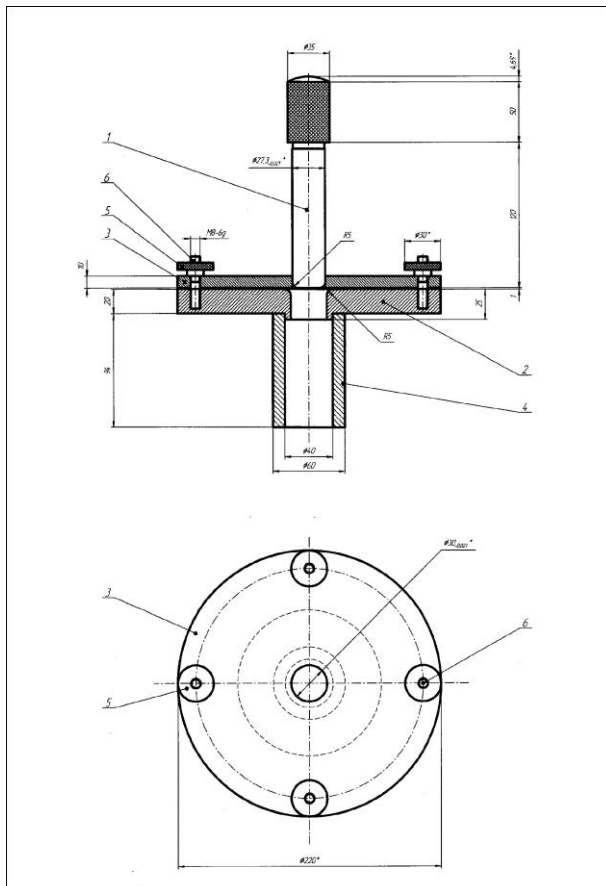


- 1 – пуансон $\text{Ø}23,7$ мм для другого витягування;
- 2 – пуансон $\text{Ø}19,7$ мм для третього витягування;
- 3 – пуансон $\text{Ø}15,7$ мм для четвертого витягування;
- 4 – пуансон $\text{Ø}11,7$ мм для п'ятого витягування;
- 5 – матриця $\text{Ø}26$ мм для другого витягування;
- 6 – матриця $\text{Ø}22$ мм для третього витягування;
- 7 – матриця $\text{Ø}18$ мм для четвертого витягування;
- 8 – матриця $\text{Ø}14$ мм для п'ятого витягування.

Рисунок 4 – Креслення експериментального штампа для другого та подальшого витягування
Джерело: розроблено авторами



Рисунок 5 – Комплект змінних пуансонів та матриць
Джерело: розроблено авторами



Даний експериментальний штамп є модернізацією штампа (рис. 6), який призначений для першого витягування [5].

1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – притискне кільце;
4 – підставка; 5 – спеціальна гайка; 6 – шпилька

Рисунок 6 – Експериментальний штамп для першого витягування
Джерело: розроблено авторами

Штамп працює таким чином. Заготовка після першого витягування одягається на пуансон 1 та фіксується її центрального положення гвинтом М3 (на кресленні не показано). Остання дія пов'язана з тим, що експериментальний штамп не має напрямних вузлів, які позиціонують його верхню (рухому) частину відносно нижньої (нерухомої). Далі пуансон 1 разом із заготовкою встановлюється зверху в матрицю 5 та притискується повзуном інерційного пресу при обертанні маховика. При

вертикальному переміщенні вниз пуансона разом з заготовкою, остання зменшує свій середній діаметр d_c з 29 мм на 25 мм. Інші операції витягування здійснюються аналогічно.

Для експериментального дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування циліндричної деталі використовувалася сітка напівтомпакова 2,0 ГОСТ 6613-73 [10, с. 218], товщина 1 мм. Матеріал сітки: латунь Л80.

В якості вихідної заготовки застосовувалися зразки квадратної форми в плані. Схема розташування зразка відносно дротів сітки показана на рис. 7.. Кожен зразок вписувався в круг діаметром 115 мм.

Фізичні обмеження, що обумовлюють граничний коефіцієнт багатоопераційного витягування. На підставі теоретичних досліджень можна стверджувати, що фізичні обмеження досягання граничних значень коефіцієнтів одноопераційного та багато-операційного витягування різні.

Так, при одноопераційному витягування воно пов'язано з рівновагою зусилля, потрібного на відрив дна та зусилля, потрібного для витягування притиснутого фланця вихідної заготовки в зазор між пуансоном та матрицею. Така рівновага спостерігається, за рівнем інших умов, при певному розмірі D_3 вихідної заготовки.

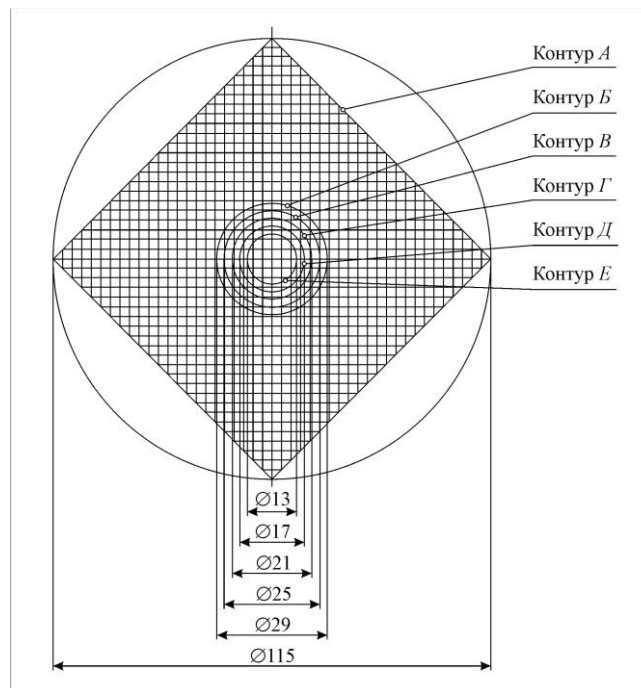
При багатоопераційному витягуванні одночасно спостерігаються два процеси:

- з одного боку, послідовне зменшення діаметра відштампованого ковпачка приводить до послідовного зменшення зусилля витягування, що пов'язано зі зменшенням площі сітки, яка деформується;

- з другого боку, послідовне зменшення діаметра відштампованого ковпачка приводить до підвищення коефіцієнта заповнення зазору між пуансоном та матрицею дротами сітки. При певному (критичному) коефіцієнті заповнення зазору, який відповідає граничному коефіцієнту витягування, тертя дротів в зазорі різко зростає, що викликає стрімке зростання зусилля витягування до рівня, коли дроти сітки, які його сприймають, не витримують та рвуться.

Перевірка фізичних обмежень досягання граничних значень коефіцієнтів одноопераційного та багатоопераційного витягування включала в себе:

- визначення кількості дротів n_i на контурах $A-E$ вихідної заготовки та переходах штампування (рис. 7). Результати підрахунку наведено в таблицю 1;



Контур A – вихідна заготовка, $D_3 = 115$ мм; контур B – перше витягування, $\varnothing 29$ мм; контур B – друге витягування, $\varnothing 25$ мм; контур C – третє витягування, $\varnothing 21$ мм; контур D – четверте витягування, $\varnothing 17$ мм; контур E – п'яте витягування, $\varnothing 13$ мм

Рисунок 7 – Схема до визначення кількості перетинання осей дротів сітки з контурами $A-E$:
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1 – Результати підрахунку кількості дротів сітки на контурах А-Е

Вид контуру	Кількість дротів на контурі, шт.
Контур А (вихідна заготовка)	$n_A = 180$
Контур В (Ø29 мм)	$n_B = 44$
Контур В (Ø25 мм)	$n_B = 40$
Контур Г (Ø21 мм)	$n_G = 36$
Контур Д (Ø17 мм)	$n_D = 28$
Контур Е (Ø13 мм)	$n_E = 20$

- розрахунок площі дротів сітки на контурах А-Е, що сприймають навантаження при витягуванні. Результати розрахунку наведено в таблицю 2.;

Таблиця 2 – Результати розрахунку площі дротів сітки на контурах А-Е

Вид контуру	Площа дротів на контурі, мм ² *
Контур А (вихідна заготовка)	$F_A = F_{(1)} \cdot n_A = 0,25 \cdot 180 = 45$
Контур В (Ø29 мм)	$F_B = F_{(1)} \cdot n_B = 0,25 \cdot 44 = 11$
Контур В (Ø25 мм)	$F_B = F_{(1)} \cdot n_B = 0,25 \cdot 40 = 10$
Контур Г (Ø21 мм)	$F_G = F_{(1)} \cdot n_G = 0,25 \cdot 36 = 9$
Контур Д (Ø17 мм)	$F_D = F_{(1)} \cdot n_D = 0,25 \cdot 28 = 7$
Контур Е (Ø13 мм)	$F_E = F_{(1)} \cdot n_E = 0,25 \cdot 20 = 5$

* $F_{(1)}$ – площа квадрата, що описаний навколо круглого дроту сітки Ø 0,5 мм. $F_{(1)} = 0,5^2 = 0,25$ мм²

- розрахунок площі перерізів зазорів між пуансоном та матрицею, що відповідають контурам В-Е. Результати розрахунку наведено в таблицю 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунку площі перерізів зазорів між пуансоном та матрицею, що відповідають контурам В-Е

Номер операції витягування	Площа перерізів F_i , мм ²
Перше витягування (контур В)	$F_{30} = 0,785 (30^2 - 27,7^2) = 104,18$
Друге витягування (контур В)	$F_{26} = 0,785 (26^2 - 23,7^2) = 89,73$
Третє витягування (контур Г)	$F_{22} = 0,785 (22^2 - 21,7^2) = 75,29$
Четверте витягування (контур Д)	$F_{18} = 0,785 (18^2 - 15,7^2) = 60,84$
П'яте витягування (контур Е)	$F_{14} = 0,785 (14^2 - 11,7^2) = 46,40$

- результати розрахунку коефіцієнта заповнення дротами сітки перерізів зазорів між пуансоном та матрицею, що відповідають контурам В-Е. Результати розрахунку наведено в таблицю 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунку коефіцієнта k_i заповнення дротами сітки перерізів зазорів між пуансоном та матрицею, що відповідають контурам В-Е

Номер операції витягування	Коефіцієнт $k_i = F_A \cdot 100 / F_i$, %
Перше витягування (контур В)	$k_B = 45 \cdot 100 / 104,18 = 43,19$
Друге витягування (контур В)	$k_B = 45 \cdot 100 / 89,73 = 50,15$
Третє витягування (контур Г)	$k_G = 45 \cdot 100 / 75,29 = 59,77$
Четверте витягування (контур Д)	$k_D = 45 \cdot 100 / 60,84 = 73,96$
П'яте витягування (контур Е)	$k_E = 45 \cdot 100 / 46,40 = 96,98$

- розрахунок (оцінка) зусиль за операціями витягування:

• **друге витягування.** Зусилля другого витягування визначаємо за формулою Рудмана Л. І. для вільного гнuttя (2) [3, с. 211, ф-ла 35], беручи до уваги, що кожен дріт сітки деформується окремо, а кількість кутів гнuttя на кожному дроті дорівнює двом:

$$P_{\sigma(2)} = B_z \cdot s \cdot \kappa_z \cdot \sigma_{\sigma} \cdot c \quad (2)$$

де B_z – сума довжин лінії гнuttя

$$B_z = d_{\partial} \cdot n_B = 0,5 \cdot 44 = 22 \text{ мм};$$

s – діаметр дроту сітки. $s = 0,5$ мм;

κ_z – коефіцієнт [3, с. 212, табл. 22]. При $r/s = 5,5/0,5 = 11$, $\kappa_z = 0,08$;

σ_{σ} – межа міцності матеріалу сітки. Для латуні Л80 $\sigma_{\sigma} = 370$ МПа [3, с. 370];

c – кількість кутів гнuttя кожного дроту. $c = 2$.

Тоді:

$$P_{\sigma(2)} = 22 \cdot 0,5 \cdot 0,08 \cdot 370 \cdot 2 = 651 \text{ Н} = 65,1 \text{ кг};$$

• **третє витягування.** Зусилля третього витягування визначаємо за аналогічною методикою

$$P_{\sigma(3)} = 36 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,08 \cdot 370 \cdot 2 = 533 \text{ Н} = 53,3 \text{ кг};$$

• **четверте витягування.** Зусилля четвертого витягування визначаємо за аналогічною методикою

$$P_{\sigma(4)} = 28 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,08 \cdot 370 \cdot 2 = 414 \text{ Н} = 41,4 \text{ кг};$$

• **п'яте витягування.** Зусилля п'ятого витягування визначаємо за аналогічною методикою

$$P_{\sigma(5)} = 20 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,08 \cdot 370 \cdot 2 = 296 \text{ Н} = 29,6 \text{ кг};$$

- визначення відстані l_{∂} , що відповідає щільному дворядному упакуванню дротів в зазорі між пуансоном та матрицею за формулою

$$l_{\partial} = \frac{n_A}{2} \cdot d_{\partial} = \frac{180}{2} \cdot 0,5 = 45 \text{ мм};$$

- визначення довжини розгортки l_E зазору між пуансоном та матрицею за середнім діаметром d_c , що визначається за формулою

$$l_E = \pi \cdot d_c = 3,14 \cdot 13 = 40,82 \text{ мм}.$$

Оскільки $l_{\partial} > l_E$, 180 дротів сітки не можуть увійти в зазор вільно, а лише з деформацією поперечного перерізу. В таких умовах спостерігається інтенсивне зростання зусилля витягування, яке сприймають дроти П-подібної форми (стінка – дно – стінка). Їх міцність визначає можливий граничний коефіцієнт витягування m_z ;

- розрахунок міцності дротів в контурах заготовки *Б-Е*, які сприймають навантаження при витягуванні:

- зусилля P_B , що витримують дроти в контурі *Б* визначаємо за формулою

$$P_B = F_\delta \cdot n_B \cdot \sigma_\epsilon,$$

де F_δ – площа перерізу одного дроту

$$F_\delta = \frac{\pi \cdot d_\delta^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,196 \text{ мм}^2;$$

n_B – кількість дротів, що сприймають навантаження. $n_B = 44$ шт. (див. табл. 1);

σ_ϵ – межа міцності матеріалу сітки. Для латуні Л80 $\sigma_\epsilon = 370$ МПа [3, с. 370].

Тоді

$$P_B = 0,196 \cdot 44 \cdot 370 = 3191 \text{ Н} = 319,1 \text{ кг};$$

- зусилля P_V , що витримують дроти в контурі *В* визначаємо за аналогічною методикою

$$P_V = 0,196 \cdot 40 \cdot 370 = 2901 \text{ Н} = 290,1 \text{ кг};$$

- зусилля P_Γ , що витримують дроти в контурі *Г* визначаємо за аналогічною методикою

$$P_\Gamma = 0,196 \cdot 36 \cdot 370 = 2610 \text{ Н} = 261 \text{ кг};$$

- зусилля P_D , що витримують дроти в контурі *Д* визначаємо за аналогічною методикою

$$P_D = 0,196 \cdot 28 \cdot 370 = 2030 \text{ Н} = 203 \text{ кг};$$

- зусилля P_E , що витримують дроти в контурі *Е* визначаємо за аналогічною методикою

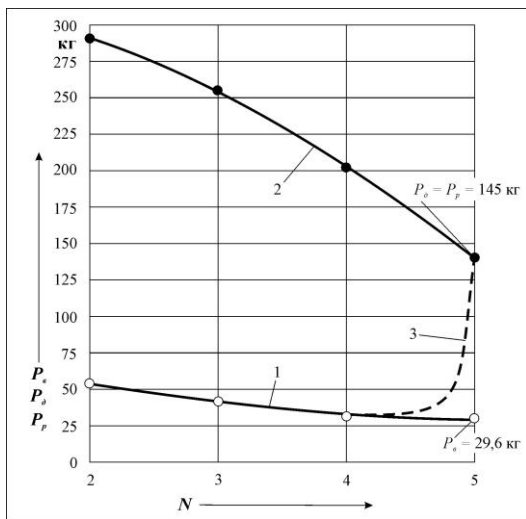
$$P_E = 0,196 \cdot 20 \cdot 370 = 1450 \text{ Н} = 145 \text{ кг};$$

- розробка графічної залежності зусилля витягування P_ϵ , зусилля міцності дротів в критичному перерізі P_δ та реального зусилля витягування P_p , що урахує скупчення дротів в зазорі між матрицею та пуансоном (крива 3), від порядкового номеру витягування N (рис. 8).

Залежність $P_\epsilon = f(N)$ (крива 1 рис. 8) показує, що із підвищенням порядкового номеру витягування зусилля витягування зменшується і є мінімальним ($P_\epsilon = 29,6$ кг) при п'ятому витягуванні.

Із залежності $P_\delta = f(N)$ (крива 2 рис.8) виходить, що із підвищенням порядкового номеру витягування зусилля міцності дротів зменшується і в критичному перерізі, якій відповідає п'ятому витягуванню, воно мінімальне та дорівнює 145 кг.

Залежність $P_p = f(N)$ (крива 3 рис.8) демонструє картину, що відбувається при



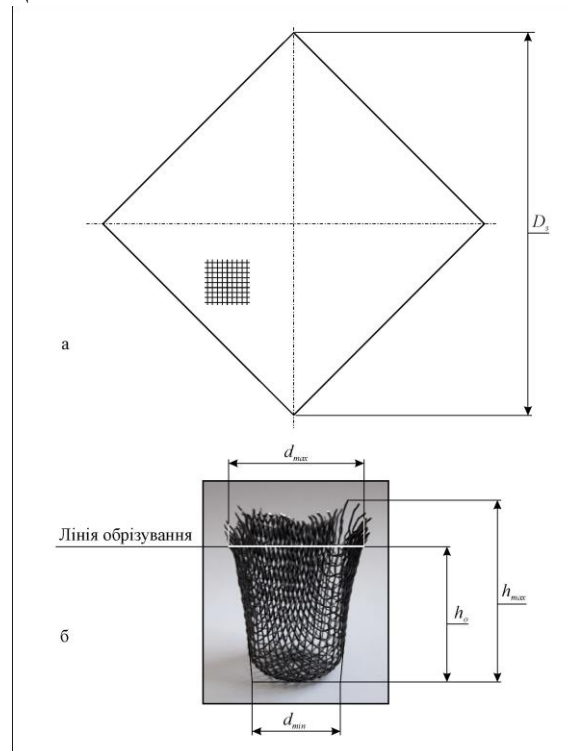
критичному скупченні дротів в зазорі: зростає тертя дротів в зазорі, а отже опір проштовхування ковпачка крізь матрицю; реальне зусилля миттєво зростає, досягає значення, що відповідає межі міцності дротів ($P_p = P_o = 145$ кг) і дроти обриваються.

Рисунок 8 – Залежності зусилля витягування P_e (крива 1), зусилля міцності дротів в критичному перерізі P_o (крива 2) та реального зусилля витягування P_p , що урахує скупчення дротів в зазорі між матрицею та пуансоном (крива 3), від порядкового номеру витягування N
Джерело: розроблено авторами

Як бачимо, критичний коефіцієнт багатоопераційного витягування деталей із металевої сітки з квадратним вічком m_c визначається процесом підвищення коефіцієнта k_i заповнення зазору між пуансоном та матрицею дротами сітки до критичної межі (табл. 4).

Експериментальне дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування.

• **Перше витягування.** Результати щодо першого витягування циліндричної деталі із металевої сітки, яке здійснювалося із квадратної вихідної заготовки, наведено на рисунку 9 та в таблиці 5.



а – вихідна заготовка; б – деталь після витягування

Рисунок 9 – Перше витягування циліндричної деталі із металевої сітки:

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 5 – Параметри першого витягування*

D_3 , ММ	h_{max} , ММ	h_o , ММ	d_{min} , ММ	d_{max} , ММ	d_c , ММ	$\frac{h_o}{d_c}$	$m = \frac{d_c}{D_3}$
115	47,5	34	30	37	29	1,17	0,252

* D_3 – розмір вихідної заготовки;
 h_{max} – найбільша висота деталі;
 h_o – висота деталі після обрізування;
 $\frac{h_o}{d_c}$ – відносна висота деталі;
 m – загальний коефіцієнт витягування

• **Друге витягування.** Результати щодо другого витягування циліндричної деталі із металевої сітки наведено на рисунку 10 та в таблиці 6.

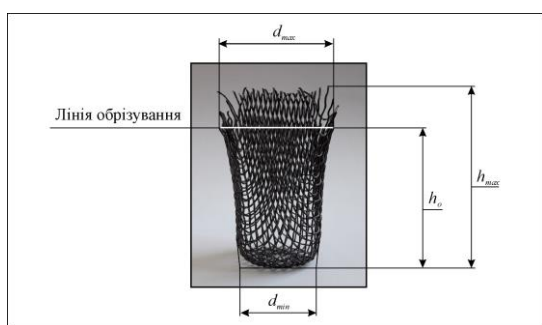


Рисунок 10 – Друге витягування циліндричної деталі із металевої сітки
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 6 – Параметри другого витягування*

D_3 , ММ	h_{max} , ММ	h_o , ММ	d_{min} , ММ	d_{max} , ММ	d_c , ММ	$\frac{h_o}{d_c}$	$m = \frac{d_c}{D_3}$
115	47,5	38	26	32	25	1,52	0,217

* D_3 – розмір вихідної заготовки для першого витягування;
 h_{max} – найбільша висота деталі;
 h_o – висота деталі після обрізування;
 $\frac{h_o}{d_c}$ – відносна висота деталі;
 m – загальний коефіцієнт витягування

• **Третє витягування.** Результати щодо третього витягування циліндричної деталі із металевої сітки наведено на рисунку 11 та в таблиці 7.

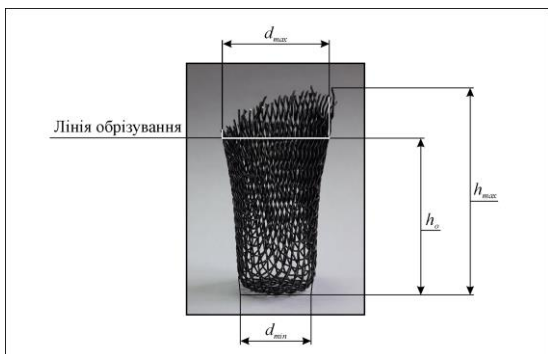


Рисунок 11 – Третє витягування циліндричної деталі із металевої сітки
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 7 – Параметри третього витягування*

D_3 , ММ	h_{max} , ММ	h_o , ММ	d_{min} , ММ	d_{max} , ММ	d_c , ММ	$\frac{h_o}{d_c}$	$m = \frac{d_c}{D_3}$
115	51,5	42	22	27	21	2,00	0,183

* D_3 – розмір вихідної заготовки для першого витягування;

h_{max} – найбільша висота деталі;

h_o – висота деталі після обрізування;

$\frac{h_o}{d_c}$ – відносна висота деталі;

d_c

m – загальний коефіцієнт витягування

• **Четверте витягування.** Результати щодо четвертого витягування циліндричної деталі із металеві сітки наведено на рисунку 12 та в таблиці 8.

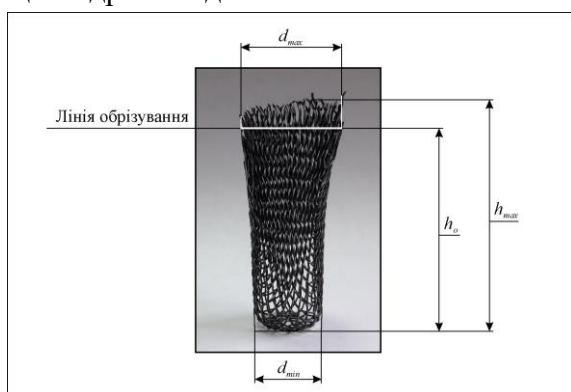


Рисунок 12 – Четверте витягування циліндричної деталі із металеві сітки

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 8 – Параметри четвертого витягування*

D_3 , ММ	h_{max} , ММ	h_o , ММ	d_{min} , ММ	d_{max} , ММ	d_c , ММ	$\frac{h_o}{d_c}$	$m = \frac{d_c}{D_3}$
115	55,5	45	18	23	17	2,65	0,147

* D_3 – розмір вихідної заготовки для першого витягування;

h_{max} – найбільша висота деталі;

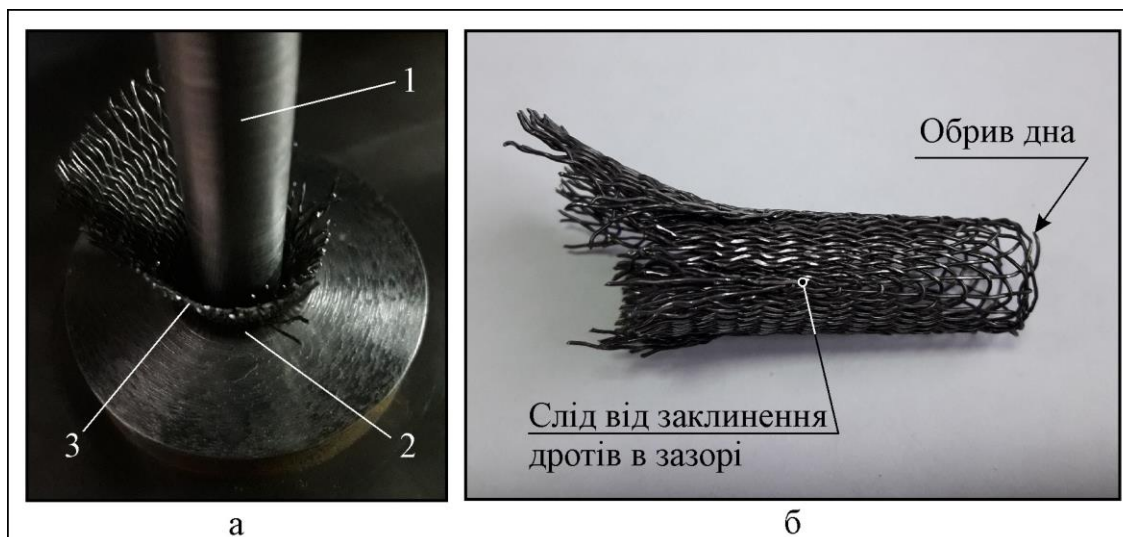
h_o – висота деталі після обрізування;

$\frac{h_o}{d_c}$ – відносна висота деталі;

d_c

m – загальний коефіцієнт витягування

• **П'яте витягування.** Результати п'ятого витягування циліндричної деталі із металеві сітки наведено на рис. 13 та в таблиці 9.



а – момент заклинення дротів в зазорі; б – деталь після витягування; 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка в процесі витягування

Рисунок 13 – П'яте витягування циліндричної деталі із металевої сітки

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 9 – Параметри п'ятого витягування*

D_3 , мм	h_{max} , мм	h_o , мм	d_{min} , мм	d_{max} , мм	d_c , мм	$\frac{h_o}{d_c}$	$m = \frac{d_c}{D_3}$
115	62	-	14	16,5	13	-	0,113

* D_3 – розмір вихідної заготовки для першого витягування;
 h_{max} – найбільша висота деталі;
 h_o – висота деталі після обрізування;
 $\frac{h_o}{d_c}$ – відносна висота деталі;
 m – загальний коефіцієнт витягування

Аналіз отриманих результатів дослідження, наведених в таблицях 5 – 9, показує:

- із підвищенням порядкового номеру витягування N , коефіцієнт витягування m_i циліндричної деталі із металевої сітки безперервно зменшується (рис. 14) з 0,252 (перше витягування) до 0,147 (четверте витягування). При $m_i = 0,113$ (п'яте витягування) спостерігався відрив дна. Тому граничний коефіцієнт витягування m_c лежить в межах між четвертим та п'ятим витягуванням, тобто є справедливим вираз $0,147 > m_c > 0,113$;

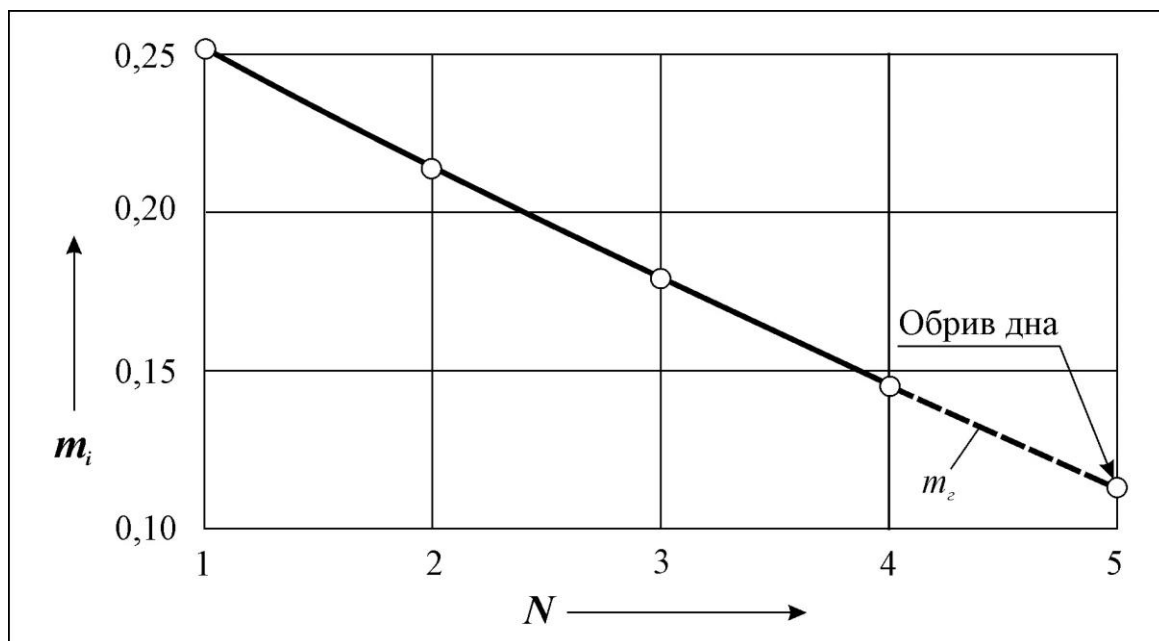


Рисунок 14 – Залежність коефіцієнта витягування m_i циліндричної деталі із металевої сітки від порядкового номеру витягування N

Джерело: розроблено авторами

- із підвищенням порядкового номеру витягування N , відносна висота деталі h_o/d_c збільшується (рис. 15) з 1,17 (перше витягування) до 2,65 (четверте витягування), тобто в 2,3 рази;

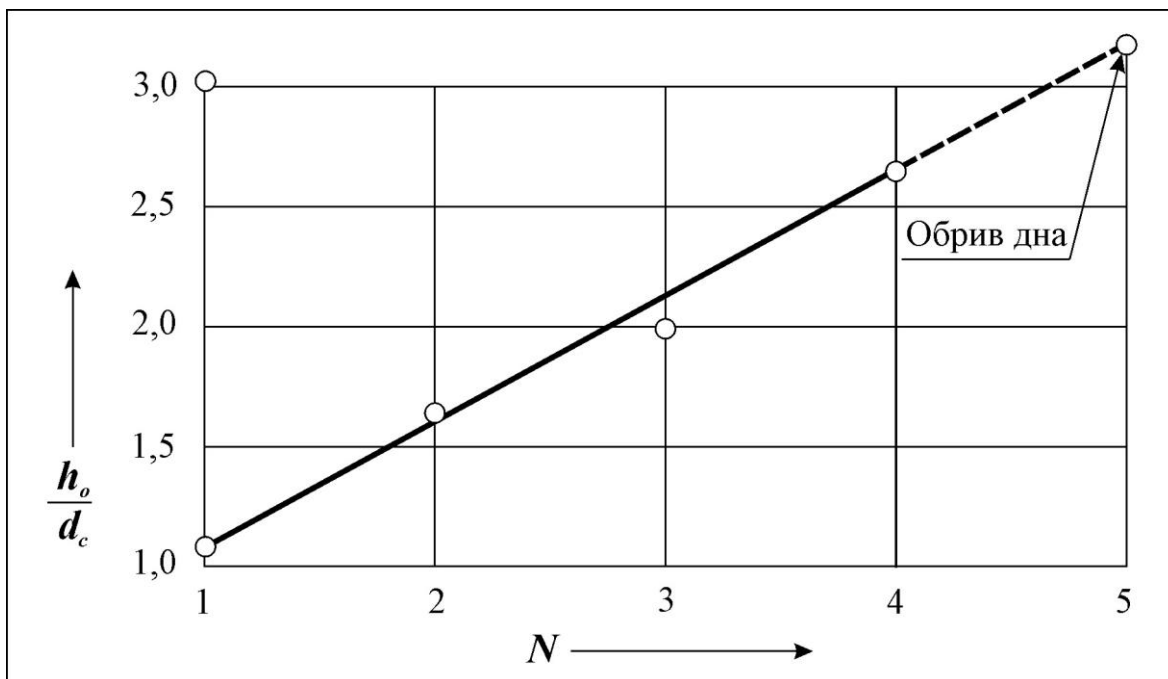


Рисунок 15 – Залежність відносної висоти циліндричної деталі із металевої сітки h_o/d_c від порядкового номеру витягування N

Джерело: розроблено авторами

- при багатоопераційному витягуванні виявлено явище пружності дротів сітки, в наслідок чого бічна стінка деталі набуває викривлену, близьку до конічної форму. Ступень нахилу стінки оцінювали за кутом пружності $\Delta\alpha$ (див. формулу 3 на рис. 16). В таблиці 10 наводяться результати розрахунку кута пружності $\Delta\alpha$ за порядковим номером витягування N .

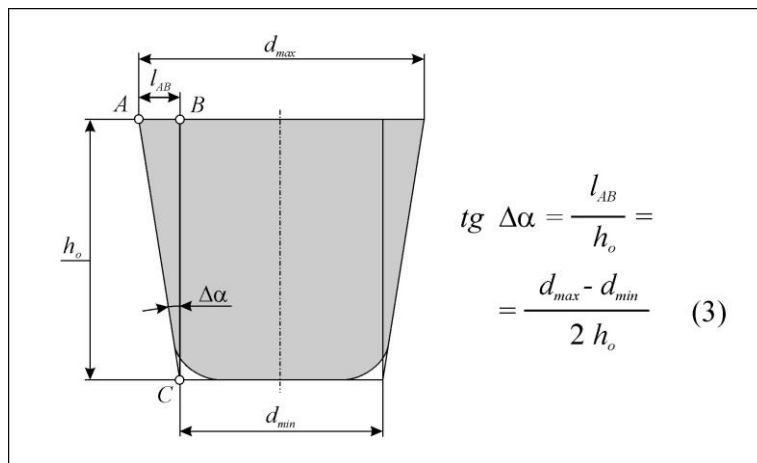


Рисунок 16 – До розрахунку кутів пружності $\Delta\alpha$ за порядковим номером витягування N
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 16 – Результати розрахунку кутів пружності $\Delta\alpha$ за порядковим номером витягування N

Кут пружності $\Delta\alpha$			
Перше витягування	Друге витягування	Третє витягування	Четверте витягування
5°43'	4°32'	3°24'	2°51'

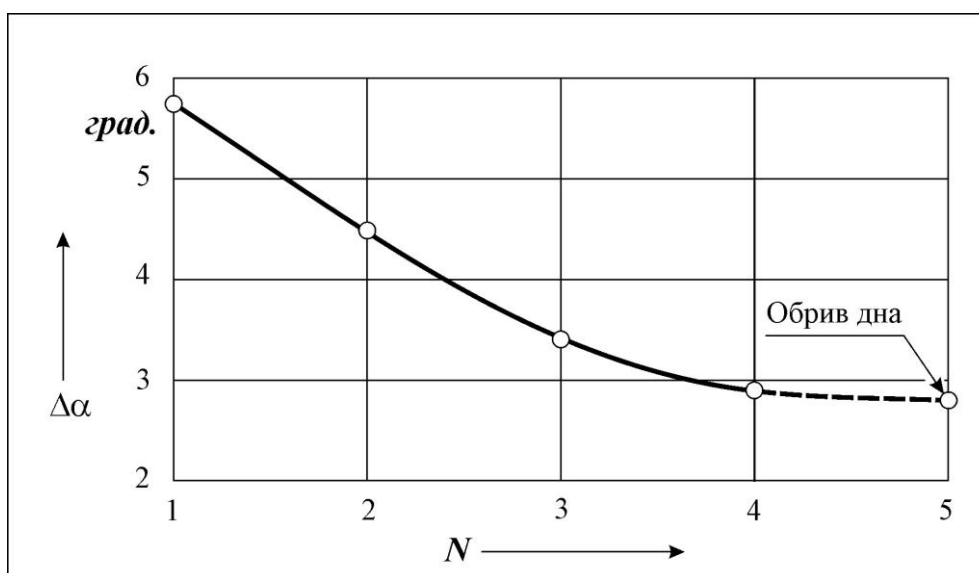


Рисунок 17 – Залежність кута пружності $\Delta\alpha$ від порядкового номеру витягування N
Джерело: розроблено авторами

Як бачимо (рис. 17), із підвищенням порядкового номеру витягування N , кут пружності $\Delta\alpha$ зменшується. Останнє пояснюється тим, що із підвищенням порядкового номеру витягування N ступень пластичної деформації деталі збільшується. В умовах експерименту кут пружності $\Delta\alpha$ змінювався у межах від $5^{\circ}43'$ до $2^{\circ}51'$.

Слід відмітити, що при витягуванні деталей із суцільного матеріалу кут пружності бічної стінки не спостерігається, але при гнутті – має місце.

Витягування циліндричних деталей із металевої сітки за своєю фізичною природою дуже схоже із гнуттям суцільної заготовки. Вся різниця в тому, що при витягуванні деталей із металевої сітки гнеться окремо кожен дріт сітки, а при гнутті суцільної заготовки – вся заготовки за шириною. Тому в першому випадку пружинить кожний дріт, а в другому – вся деталь.

Такі фізичні особливості витягування циліндричних деталей із металевої сітки припускають, що методи боротьби з кутом пружності аналогічні з відомими методами, які використовуються при гнутті суцільної заготовки.

Новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком. При експериментальному дослідженні багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком було виявлено дві форми неусталеності процесу.

Перша форма неусталеності процесу пов'язана з утворенням різних за висотою протилежних стінок деталі (рис. 18). Така нерівномірність викликана нерівномірним тертям заготовки об матрицю в протилежних частинах зазору між пуансоном та матрицею. Дана форма неусталеності кількісно характеризується кутом нахилу відкритого краю деталі β по відношенню до поверхні дна [див. формулу (4) на рис. 18]. В реальних умовах експерименту кут β змінювався в межах від 0° до 25° .

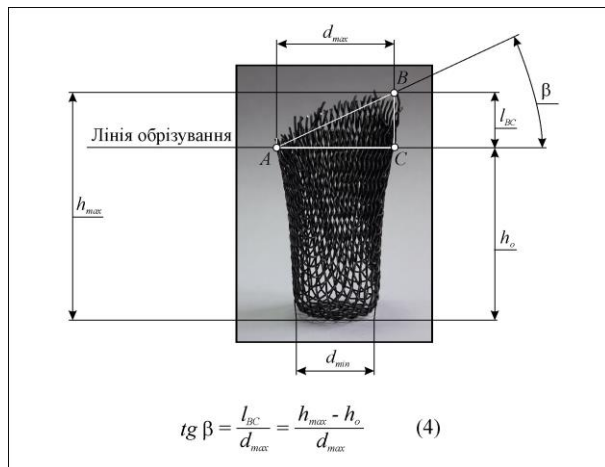


Рисунок 18 – До визначення кута нахилу відкритого краю деталі β по відношенню до поверхні дна

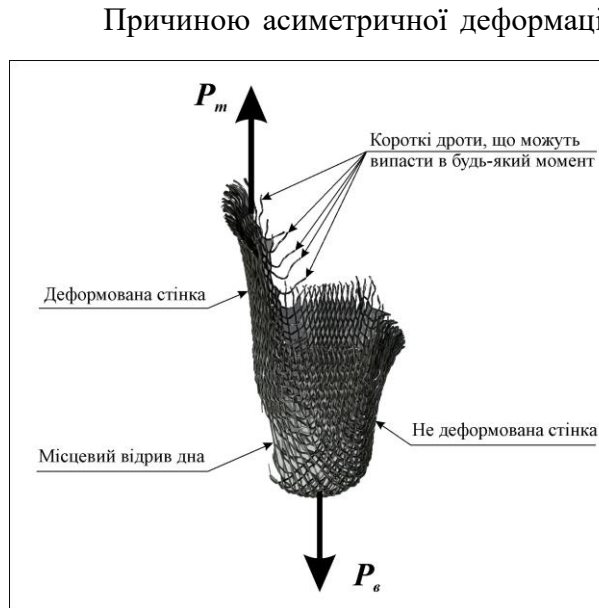
Джерело: розроблено авторами

Слід відмітити, що кут нахилу відкритого краю деталі β можна суттєво зменшити наступними прийомами:

- при витягуванні обов'язково змащувати мастилом матрицю. Мастило зменшує зусилля тертя заготовки об матрицю і тим самим сприяє зменшенню кута нахилу β ;
- застосовувати штампи з напрямними елементами, які забезпечують постійний зазор між матрицею та пуансоном. Останнє також зменшує зусилля тертя заготовки об матрицю і тим самим сприяє зменшенню кута нахилу β .

Друга форма неусталеності процесу виявлена у відомому способі витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком при другому та подальшому витягуванні. Вона проявляється в тому, що після витягування *періодично* (з періодичністю приблизно 50-60 випадків із 100) спостерігається асиметрична

деформація деталі, яка приводить до непоправному браку (рис. 19), а собівартість виготовлення придатної деталі витягуванням підвищується.



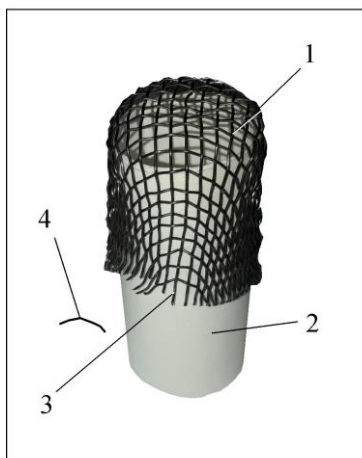
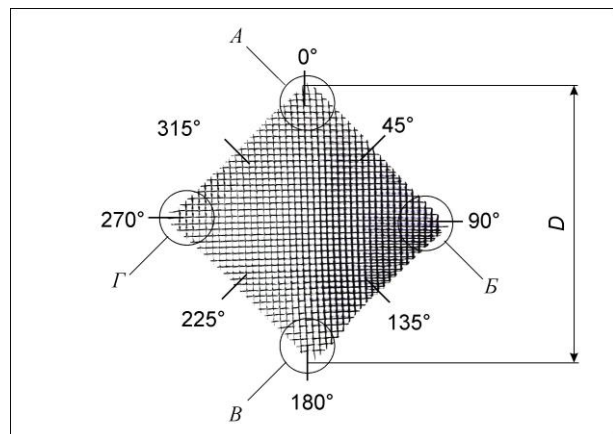
Причиною асиметричної деформації є наступне. Багатоопераційне витягування деталі здійснюється із квадратної заготовки (рис. 20). В кутових зонах *A, B, B, Г* даної заготовки є короткі дроти. В процесі витягування дані дроти викривляються і можуть випасти із сітки (рис. 19, 4.4). Якщо такий дріт під дією гравітаційної сили попадає в зазор між пуансоном та матрицею, він штучно підвищує товщину заготовки та створює умови для асиметричного підвищеного тертя заготовки в зазорі. Таке явище сприяє гальмуванню заготовки в зазорі за рахунок сили тертя P_m з одного боку, та інтенсивному русі її з протилежного боку зусиллям витягування P_e , що передається заготовці через витяжний пуансон.

Рисунок 19 – Приклад асиметричної деформації деталі при витягуванні із металевої сітки
Джерело: розроблено авторами

A, B, B, Г – зони з короткими дротами

Рисунок 20 – Фото квадратної вихідної заготовки із металевої сітки з квадратним вічком для багатоопераційного витягування циліндричних деталей

Джерело: розроблено авторами



1 – ковпачок із квадратної сітчастої вихідної заготовки;
2 – оправлення із паперу; 3 – місце, з якого випав короткий дріт;
4 – короткий дріт, що випав

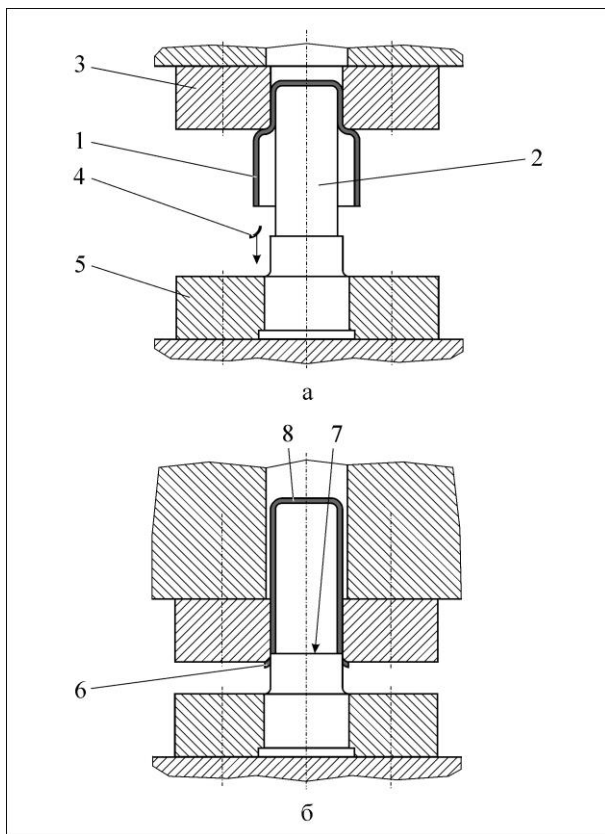
Рисунок 21 – Ковпачок з дротом, що випав
Джерело: розроблено авторами

Крім того, у відомому способі для обрізування краю заготовки після витягування застосовують окремі додаткові засоби (пристрої або штампи), що також підвищують собівартість виготовлення деталей із металевої сітки з квадратним вічком.

Новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком. Задачею даного способу є зменшення собівартості виготовлення витягнутої деталі за рахунок створення таких умов штампування, при яких асиметрична деформація деталі (непоправний брак) не спостерігається, а окремі додаткові засоби при обрізуванні краю заготовки не використовуються.

Дана задача вирішується за рахунок того, що друге та подальше витягування здійснюють пуансоном, який закріплений в нижній нерухомій частині штампа, та матрицею, яка закріплена в верхній рухомій частині штампа, а обрізування краю заготовки – гострою ступінчастою частиною цього ж пуансона.

Для реалізації даного способу (рис. 22, а) заготовку 1 після першого витягування надягають на пуансон 2, який закріплений на нижній нерухомій частині штампа, і штампують. При ході повзуна преса вниз матриця 3 переміщується, витягує заготовку, тобто зменшує її діаметр та підвищує її висоту. При цьому, звичайно, короткий крайовий вигнутий дріт 4 від сітки, що погано тримається на периферійній частині заготовки 1, якщо відокремлюється від неї, то під дією гравітаційної сили падає вниз на пуансонотримач 5.



Такий спосіб штампування виключає можливість попадання дроту 4 в зазор між внутрішньою циліндричною поверхнею заготовки 1 та циліндричною (бічною) поверхнею пуансона 2.

При досяганні крайнього нижнього положення (рис. 22, б) матриця 3 обрізує залишкову частину 6 заготовки 1 завдяки наявності на пуансоні 2 гострої ступінчастої частини 7. Таким чином, спосіб реалізує і витягування (деталь 8), і обрізування (залишкова частина 6) за один хід інструмента.

Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, зменшує собівартість виготовлення витягнутої деталі.

а – проміжна фаза штампування; б – кінцева фаза штампування

Рисунок 22 – Схема штампа для другого витягування циліндричної деталі із металевої сітки з квадратним вічком

Джерело: розроблено авторами

Висновки. На підставі теоретичних досліджень показано фізичні особливості досягання граничних значень коефіцієнтів багатоопераційного витягування. При певному (критичному) коефіцієнті заповнення дротами зазору, який відповідає граничному коефіцієнту витягування, тертя дротів в зазорі різко зростає, що викликає стрімке зростання зусилля витягування до рівня, коли дроти сітки, які його сприймають, не витримують та рвуться.

Встановлено, що із підвищенням порядкового номеру витягування N , коефіцієнт витягування m_i циліндричної деталі із металевої сітки безперервно зменшується з 0,252 (перше витягування) до 0,147 (четверте витягування). При $m_i = 0,113$ (п'яте витягування) спостерігався відрив дна. Тому граничний коефіцієнт витягування m_c лежить в межах між четвертим та п'ятим витягуванням, тобто є справедливим вираз $0,147 > m_c > 0,113$. Показано, що із підвищенням порядкового номеру витягування N , відносна висота деталі h_0/d_c збільшується з 1,17 (перше витягування) до 2,65 (четверте витягування), тобто в 2,3 рази. При багатоопераційному витягуванні виявлено явище пружності дротів сітки, в наслідок чого бічна стінка деталі набуває викривлену, близьку до конічної форму. Показано, що із підвищенням порядкового номеру витягування N , кут пружності $\Delta\alpha$ зменшується. Останнє пояснюється тим, що із підвищенням порядкового номеру витягування N ступень пластичної деформації деталі збільшується. В умовах експерименту кут пружності $\Delta\alpha$ змінювався у межах від $5^\circ 43'$ (перше витягування) до $2^\circ 51'$ (четверте витягування). Виявлено, що витягування циліндричних деталей із металевої сітки за своєю фізичною природою схоже із гнуттям суцільної заготовки. Вся різниця в тому, що при витягування деталей із металевої сітки гнеться окремо кожен дріт сітки, а при гнутті суцільної заготовки – вся заготовки за шириною. Тому в першому випадку пружинить кожний дріт, а в другому – вся деталь. Такі фізичні особливості витягування циліндричних деталей із металевої сітки припускають, що методи боротьби з кутом пружності аналогічні з відомими методами, які використовуються при гнутті суцільної заготовки.

При експериментальному дослідженні багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком виявлено дві форми неусталеності процесу. Встановлено, що перша форма пов'язана з утворенням різних за висотою протилежних стінок деталі. Дана форма кількісно характеризується кутом нахилу відкритого краю деталі β по відношенню до поверхні дна. Запропоновано прийоми суттєвого зменшення кута β . Показано, що друга форма спостерігається при другому та подальшому витягуванні. Вона проявляється в тому, що після витягування періодично (з періодичністю приблизно 50-60 випадків із 100) відбувається асиметрична деформація деталі, яка приводить до непоправному браку, а собівартість виготовлення придатної деталі витягуванням підвищується. Встановлено, що причиною браку є попадання короткого дроту від заготовки в зазор між пуансоном та матрицею в момент витягування. Запропоновано новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком, який виключає можливість попадання дроту в зазор між внутрішньою циліндричною поверхнею заготовки та циліндричною (бічною) поверхнею пуансона. Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, зменшує собівартість виготовлення витягнутої деталі за рахунок створення таких умов штампування, при яких асиметрична деформація деталі (непоправний брак) не спостерігається, а окремі додаткові засоби для обрізування краю заготовки не використовуються.

Список літератури

1. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: учебник. 3-е изд. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. 432 с.
2. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 60-е изд., пере раб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. 520 с.
3. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. ред. Л. И. Рудмана. М.: Машиностроение, 1988. 496 с.

4. Орлюк М.В., Вишневський П.С. Технологія холодного штампування та конструювання штампів: навч. посіб. Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 80 с
5. Боков В. М. Технологія холодного штампування: підручник . Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2021. 213 с.
6. Сетка для микрофона DPA microphones DUA0710N. URL: <https://muzline.ua/dpa-microphones-dua0710n/>
7. Боков В.М., Сіса О.Ф. Витягування циліндричних деталей із не суцільного матеріалу . *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник* . Вип. 51. 2021. С. 163-185.
8. Спосіб витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком: пат. 143027 Україна: МПК В26F 1/40, В21D 22/00 . № u201912214; заявл. 24.12.2019; опубл. 10.07.2020, Бюл. № 13.
9. Запороженко В. С., Боков В. М. Исследование работоспособности инерционного винтового пресса с ручным приводом . *Вісник СумДУ*. 2004. № 13 (72). С. 153-159.
10. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1980. 728 с.

References

1. Zubcov, M.E. (1980). *Sheet stamping* . (3d ed.). Leningrad: Mashinostroenie. Leningr. otd-nie [in Russian].
2. Romanovskij, V.P. (1979). *Cold Forging Handbook*. (60-d ed.). Leningrad: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie [in Russian].
3. Rudmana, L.I. (Eds.). (1988). *Die Builder's Handbook: Sheet Metal Stamping*. Moskow: Mashinostroenie [in Russian].
4. Orliuk, M.V., Vyshnevs'kyj, P.S. (2022). *Tekhnolohiia kholodnoho shtampuvannia ta konstruiuvannia shtampiv [Technology of cold stamping and design of stamps]*. Kyiv KPI im. Ihoria Sikorskoho [in Ukrainian].
5. Bokov, V.M. (2021). *Tekhnolohiia kholodnoho shtampuvannia [Cold stamping technology]*. Kropyvnyts'kyj: PP «Ekskliuzyv-System» [in Ukrainian].
6. Setka dlja mikroфона DPA microphones DUA0710N. *muzline.ua*. Retrieved from <https://muzline.ua/dpa-microphones-dua0710n/> [in Russian].
7. Bokov, V.M. & Sisa, O.F. (2021). Vytiahuvannia tsylindrychnykh detalej iz ne sutsil'noho materialu [Extrusion of cylindrical parts from non-solid material]. *Konstruiuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 51*, 163-185 [in Ukrainian].
8. Pat. 143027 Ukrajna: MPK V26F 1/40, V21D 22/00 .Sposib vytiahuvannia tsylindrychnykh detalej iz ploskoj metalevoi sitky z kvadratnym vichkom [The method of extracting cylindrical parts from a flat metal grid with a square mesh]. No. u2019 12214; stated. December 24, 2019; has been published July 10, 2020, Bul. No. 13 [in Ukrainian].
9. Zaporozhchenko, V.S. & Bokov, V.M. (2004). Issledovanie rabotosposobnosti inercionnogo vintovogo pressa s ruchnym privodom . *Visnik SumDU – Bulletin of Sumy State University, 13 (72)*, 153-159 [in Ukrainian].
10. Anur'ev, V.I. (1980). *Handbook of the mechanical engineering designer*. (Vols. 1-3; Vol.1). (5d ed.). Moskov: Mashinostroenie [in Russian].

Victor Bokov, Prof., PhD tech. sci., **Oleh Sisa**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Mirzak**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Sviatskyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vitaliy Shmelyov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukraine National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Physical Features of The Process of Multi-operation Extraction of Cylindrical Parts From a Metal Mesh

In modern mechanical engineering, a method of single-operation extraction of cylindrical parts from a metal grid with a square mesh is known, which, in particular, has found application for the manufacture of microphone casings. Further improvement of the technology of extracting parts from a metal mesh in the direction of increasing the relative height of the stamped part is associated with the use of a multi-operation method of extraction. The study of this process will allow to significantly reduce the limit coefficient of extraction and thereby significantly increase the relative height of the part. Therefore, the work aimed at

improving the technology of manufacturing parts from a metal mesh due to the use of a multi-operation method of extraction is an urgent scientific and practical task.

The purpose of the study is to improve the technology of manufacturing cylindrical parts from a metal mesh by using a multi-operation method of drawing.

The result of the work is the study of physical limitations that determine the limiting coefficient of multi-operational extraction of cylindrical parts from a metal mesh. The phenomenon of elasticity of the mesh wires was revealed, as a result of which the side wall of the part acquires a curved, close to conical shape. The physical similarity between the process of deformation of a single wire of a metal mesh during multi-operation drawing and the process of bending a flat workpiece is shown, which allows determining the technological effort of each drawing operation using formulas for calculating the bending force.

In addition, two forms of instability of the process of multi-operational drawing of cylindrical parts from a metal grid with a square mesh were revealed, and a new method of drawing was proposed, which creates such stamping conditions, in which asymmetric deformation of the part (irreparable defect) is not observed, and separate additional means for cutting the edge of the stamped parts are not used.

multi-operation drawing of cylindrical parts, metal grid, square workpiece, drawing limit coefficient, drawing method

Одержано (Received) 25.08.2022

Прорецензовано (Reviewed) 14.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.787.4

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.156-165>

І.В. Шепеленко, доц., д-р техн. наук, **А.М. Кириченко**, проф., д-р техн. наук, **С.О. Магопєць**, доц., канд. техн. наук, **М.В. Красота**, доц., канд. техн. наук, **І.Ф. Василенко**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: kntucpfzk@gmail.com

Зміна шорсткості поверхні при нанесенні антифрикційних покриттів

В роботі розглянуто шорсткість поверхні антифрикційного покриття як основний критерій оцінки якості отриманого покриття. Експериментальні дослідження нанесення антифрикційного покриття фрикційно-механічним методом виконувалися за розробленою методикою на зразках із сірого чавуну СЧ20. В якості матеріалу антифрикційного покриття використано латунь Л63. Встановлені основні закономірності зміни шорсткості поверхневого шару в залежності від параметрів процесу фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО). Отримані дані дозволяють прогнозувати та керувати в процесі ФАБО таким важливим геометричним параметром поверхневого шару, як шорсткість, а отже, підвищити якість отриманого покриття.

шорсткість, антифрикційні покриття, фінішна антифрикційна безабразивна обробка, параметри процесу

Постановка проблеми. Підвищення зносостійкості, контактної міцності, корозійній стійкості та ін. експлуатаційних властивостей деталей пов'язано з управлінням параметрами стану поверхневого шару і передусім – з шорсткістю поверхні. Вплив початкової шорсткості на зношування проявляється вже в період припрацювання, а форма і висота мікронерівностей впливають на знос спряжених поверхонь. Їх інтенсивність зношування багато в чому залежить від величини контакту і напруженого стану поверхневого шару, які також пов'язані з розмірами і формою мікронерівностей [1].

Параметри шорсткості поверхні певним чином впливають на показники її фізичного стану (наклепування, внутрішні напруження, мікротріщини, структура) [2]. Елементи шорсткості є концентраторами напружень, які знижують характеристики міцності матеріалу. Величина концентрації напружень залежить у свою чергу від глибини западин мікронерівностей та радіусу їх закруглень [3].

Вибір параметрів шорсткості здійснюється з урахуванням умов експлуатації деталей. Початкова шорсткість, що близька до експлуатаційній, зменшує знос, температуру та коефіцієнт тертя. Отримана рівноважна шорсткість дозволяє звести до мінімуму величину зносу та тривалість припрацювання поверхонь тертя.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дані робіт [4, 5 та ін.] свідчать про значний вплив різних параметрів мікро і макрогеометрії на експлуатаційні характеристики робочих поверхонь.

В роботі [6] вказано, що шорсткість поверхні є одним з основних чинників, що визначають інтенсивність зношування пар тертя. Доведено істотний вплив шорсткості поверхневого шару на корозійну стійкість [7]. Остання підвищується при зниженні висотних параметрів, оскільки у западинах збираються речовини, що утворюють вогнища корозії та інтенсифікують процес руйнування металу. Низька шорсткість дозволяє також краще утримуватися пасивуючій плівці, що захищає поверхню від зовнішньої дії. Проте, шорсткість поверхні доцільно знижувати до певного значення, оскільки низька шорсткість призводить до збільшення зносу із-за схоплювання спряжених поверхонь.

Надійність нерухомих з'єднань деталей також значною мірою залежить від шорсткості поверхні [2]. При великих значеннях R_a внаслідок того, що змінання мікроставів порушує вид посадки, скорочується термін служби сполучення. При малих значеннях R_a не забезпечується необхідне зчеплення спряжених поверхонь. Для кожної деталі та властивій їй умов тертя існує певна оптимальна контурна площа контактування, сукупність плям контакту, оптимально розташованих на номінальній площі. Причому, шорсткість поверхонь тертя також мають оптимальні значення, які для конкретних пар тертя знаходять експериментально.

Параметри якості поверхні, що визначають її експлуатаційні властивості, формуються протягом усього технологічного процесу, проте найбільший вплив мають фінішні операції, дослідженню яких завжди приділялася велика увага [8]. Отже, саме на фінішну обробку покладаються завдання щодо забезпечення необхідної якості поверхневого шару. На наш погляд, нанесення антифрикційних покриттів на заключних етапах технологічного процесу виготовлення та відновлення деталей фінішною антифрикційною безабразивною обробкою (ФАБО), окрім отримання антифрикційного покриття, забезпечить досягнення оптимальної шорсткості в зоні контактування та необхідних фізико-механічних властивостей робочих поверхонь деталі.

В дослідженнях [9, 10], присвячених утворенню антифрикційного покриття ФАБО, встановлено, що шорсткість поверхні є основним критерієм оцінки якості плівки, що наноситься. В роботах [11, 12] доведена необхідність забезпечення початкового мікрорельєфу для створення сприятливих умов для мікрорізання антифрикційного матеріалу мікроставами поверхні та підвищення якості утворення покриття фрикційно-механічним методом. В зв'язку з цим виникає необхідність проведення спеціальних досліджень впливу параметрів процесу ФАБО на шорсткість поверхневого шару.

Постановка завдання. Метою представлених досліджень є встановлення основних закономірностей зміни шорсткості поверхневого шару, обробленого ФАБО.

Методика проведених досліджень. Параметри і характеристики шорсткості поверхні регламентовані ГОСТ 2789-73*[13]. Дослідження поверхні, обробленої фрикційно-механічним методом ФАБО, здійснювалися на спеціальних зразках із сірого чавуну СЧ 20, виготовлених у вигляді дисків (рис.1). Причому, для інтенсифікації мікрорізання антифрикційного матеріалу при нанесенні покриттів на поверхні диска заздалегідь створювався певний мікрорельєф відповідно до рекомендацій [14, 15] з використанням токарних різців із твердого сплаву ВК4.

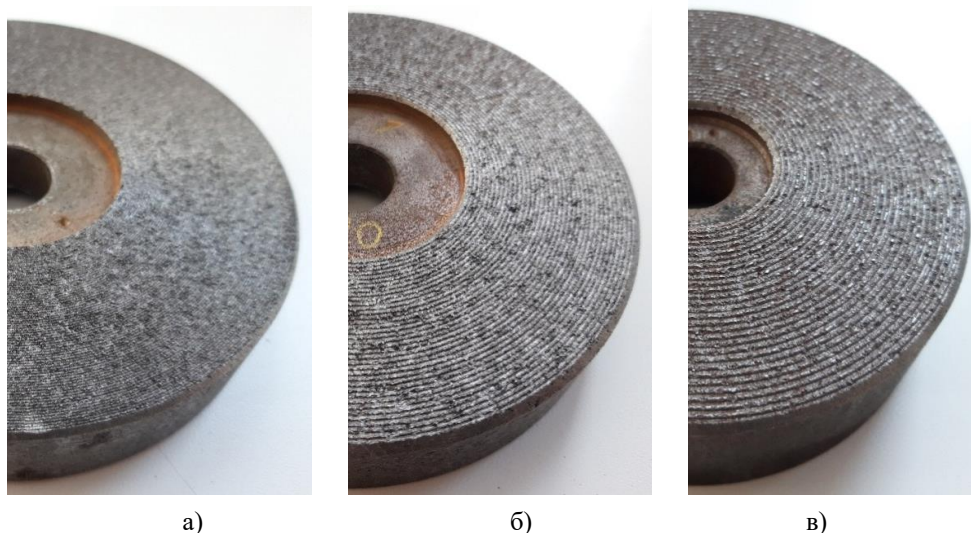


Рисунок 1 – Зразки із чавуну СЧ20 з різними кроками t виступів мікрорельєфу при дослідженні процесу ФАБО: а) $t = 0,05$ мм; б) $t = 0,10$ мм; в) $t = 0,15$ мм

Джерело: розроблено авторами

Оскільки форма і розміри мікронерівностей обробленої поверхні визначаються, передусім, геометрією різця в плані та величиною його подачі, тому для отримання різних за розмірами та формою виступів і западин мікронерівностей поверхні на дослідницьких зразках нами вибрані певні значення головного φ і допоміжного φ_1 кутів в плані [16] та величини поперечної подачі S різця, які забезпечили крок виступів мікрорельєфу 0,05; 0,10; 0,15; 0,175 мм.

Нанесення покриттів фрикційно-механічним методом ФАБО здійснювалося за розробленою авторами методикою [17] з використанням оригінального пристрою на вертикально-фрезерному верстаті мод. 676П.



Рисунок 2 – Робоча зона пристрою для нанесення антифрикційного покриття

Джерело: розроблено авторами

В якості матеріалу антифрикційного покриття використана латунь Л63. Зусилля притискання антифрикційного бруска до оброблюваної поверхні P склали 82,4 Н; 164,6 Н. Оцінка якості покриття виконувалася після двох, шести та дванадцяти проходів антифрикційного бруска по обробленій поверхні. Таким чином, на дослідницьких зразках із чавуну СЧ20 наносилися антифрикційні покриття у вигляді доріжки упоперек мікровиступів основи (рис.3). При цьому ширина нанесеного покриття відповідала ширині антифрикційного інструменту – 6 мм.



Рисунок 3 – Досліджувані зразки з антифрикційним покриттям

Джерело: розроблено авторами

При проведенні експериментів шорсткість поверхні до і після ФАБО вимірювали за допомогою профілографа Mahr XR20 – приладу на базі ПК (рис.4). Шорсткість поверхні оцінювалася середнім арифметичним відхиленням профілю R_a . В якості величини параметра шорсткості R_a застосовували її середнє значення, що було отримано в результаті трьох вимірів.



Рисунок 4 – Вимірювання шорсткості поверхні дослідних зразків з використанням профілографа Mahr XR20

Джерело: розроблено авторами

Виклад основного матеріалу. Враховуючи те, що шорсткість поверхні, яка досягається ФАБО, разом із сплосністю, може бути основним критерієм якості покриття, та багато в чому визначати процес припрацювання в початковій період експлуатації, в роботі головну увагу приділено вивченню саме цього геометричного параметра мікрорельєфу.

До технологічних факторів ФАБО при вибраній схемі обробки слід віднести: зусилля притискання антифрикційного бруска P , число циклів (проходів) натирання N і

швидкість переміщення інструменту V . Зважаючи на низькі значення V , вплив цього чинника в дослідженнях не враховувався.

Оскільки на сплошність антифрикційного покриття істотно впливає мікрорельєф початкової поверхні, шорсткість поверхні визначалася до і після нанесення покриттів фрикційно-механічним методом ФАБО. Зміна величин значення середньоарифметичного відхилення профілю зразків визначалася як:

$$\Delta R_a = R_{a \text{ ФАБО}} - R_a, \quad (1)$$

де $R_{a \text{ ФАБО}}$ – шорсткість поверхні після ФАБО, мкм;

R_a – вихідна шорсткість поверхні, мкм.

Отримані значення дозволили встановити основні закономірності зміни параметра шорсткості ΔR_a залежно від технологічних параметрів ФАБО (рис.5-7). Профілограми поверхні досліджуваних зразків після точіння і подальшого ФАБО представлені на рис.8.

Аналіз експериментальних даних (рис.5-7) переконливо свідчить про значну зміну середньоарифметичного відхилення профілю ΔR_a поверхні після ФАБО. Разом з тим механізм цих змін для різних значень шорсткості початкової поверхні та режимів обробки при вибраній схемі різний.

Встановлено, що величина ΔR_a тим значніше, чим вище значення R_a початкової поверхні. У цьому сенсі найбільші значення ΔR_a спостерігається при нанесенні покриттів на заздалегідь підготовлену поверхню під покриття з кроком 0,175 мм (рис.5). Цей факт підтверджує особливо важливу роль мікрорізання в процесі формування антифрикційного покриття, який переконливо доведено в роботах [11, 12].

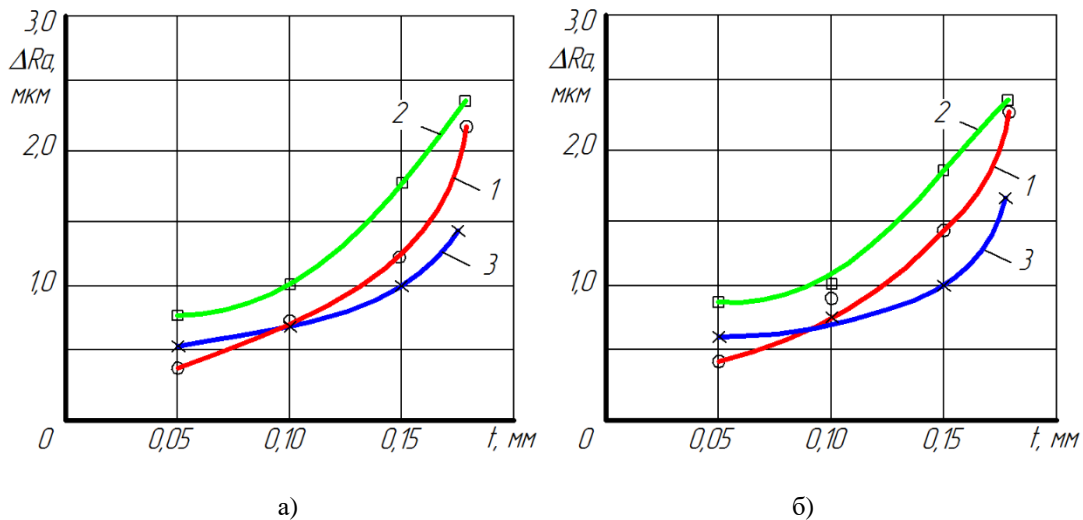


Рисунок 5 – Залежність зміни шорсткості ΔR_a в процесі ФАБО від кроку виступів мікрорельєфу початкової поверхні t при зусиллі $P=82,4$ Н (а), $P=164,6$ Н (б) і кількості циклів натирання N : 1 – 2; 2 – 6; 3 – 12
Джерело: розроблено авторами

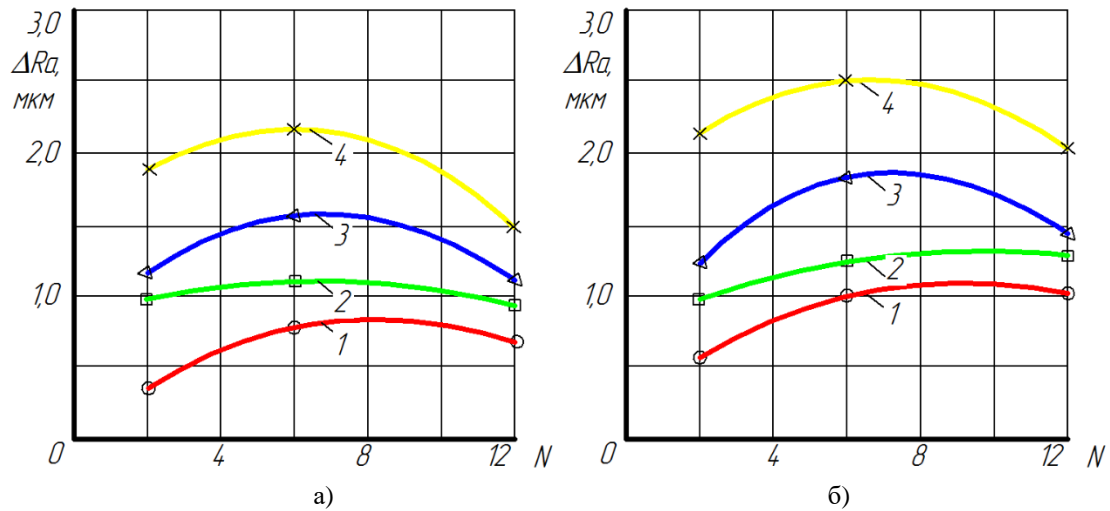


Рисунок 6 – Залежність зміни шорсткості ΔR_a в процесі ФАБО від кількості циклів натирання N при зусиллі $P = 82,4 \text{ Н}$ (а), $P = 164,6 \text{ Н}$ (б) і кроці виступів мікрорельєфу початкової поверхні t : 1 – 0,05 мм; 2 – 0,1 мм; 3 – 0,15 мм; 4 – 0,175 мм

Джерело: розроблено авторами

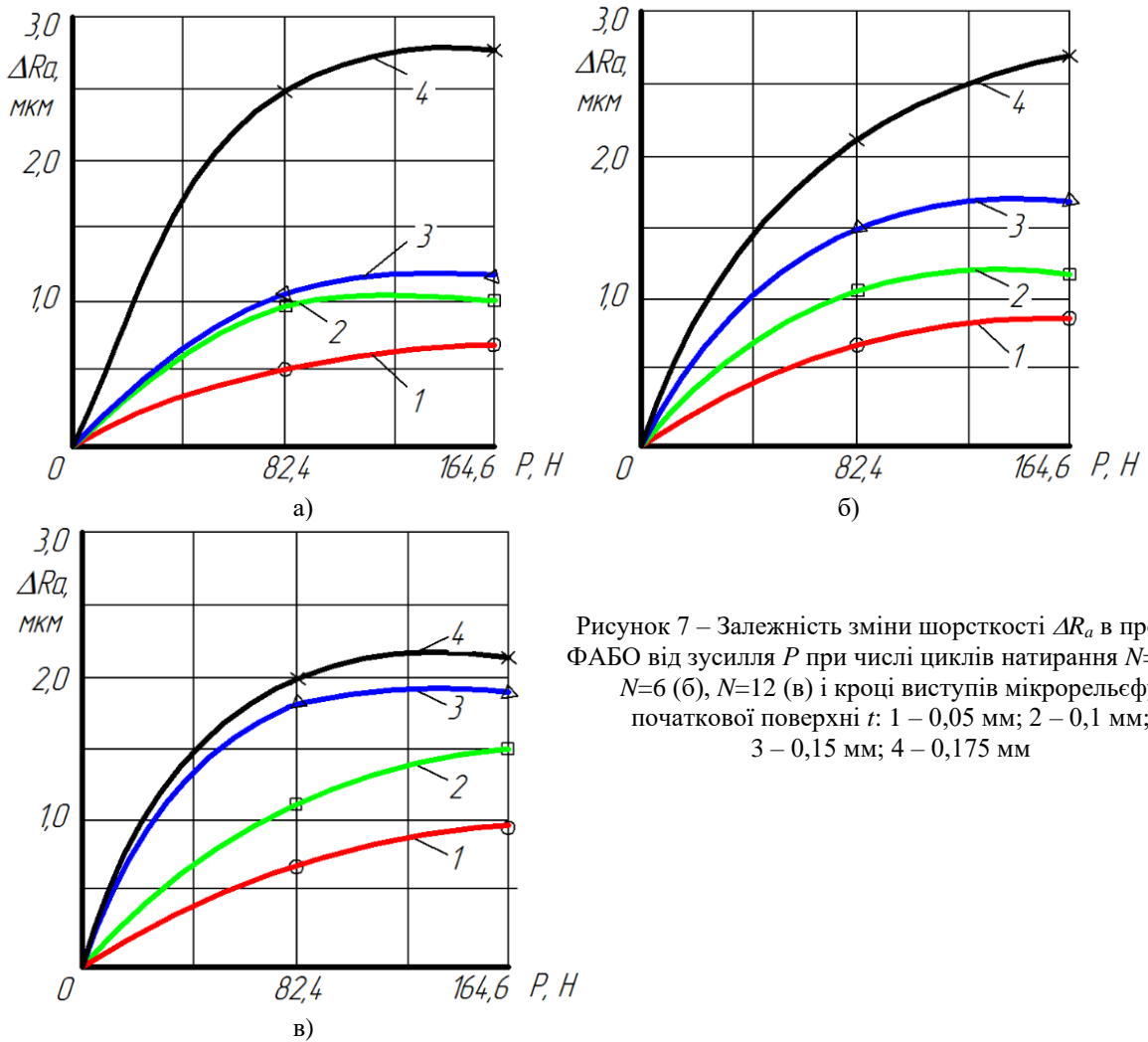


Рисунок 7 – Залежність зміни шорсткості ΔR_a в процесі ФАБО від зусилля P при числі циклів натирання $N=2$ (а), $N=6$ (б), $N=12$ (в) і кроці виступів мікрорельєфу початкової поверхні t : 1 – 0,05 мм; 2 – 0,1 мм; 3 – 0,15 мм; 4 – 0,175 мм

Джерело: розроблено авторами

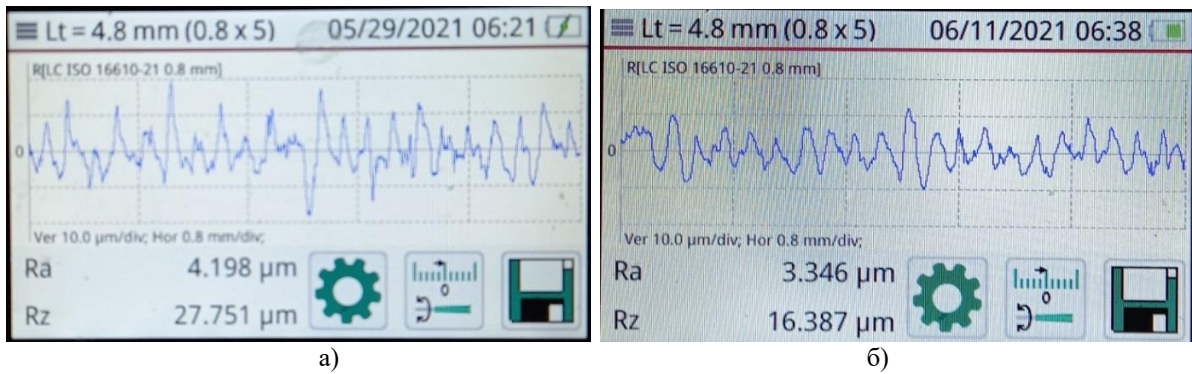


Рисунок 8 – Профілограми вимірювання шорсткості досліджуваних зразків після точіння (а) і подальшого нанесення антифрикційного покриття ФАБО (б)

Джерело: розроблено авторами

Проте високі значення R_a початкової поверхні не дозволяють отримувати суцільне покриття, що робить можливим його руйнування внаслідок контактної взаємодії спряжених поверхонь. При нанесенні покриття фрикційно-механічним методом ФАБО на задалегідь обробленій поверхні з кроком 0,1 мм вдалося отримати суцільне покриття.

Встановлено (рис.6), що найбільш раціональною кількістю циклів (проходів) натирання є $2 \div 6$. Подальші цикли натирання не підвищують якість антифрикційного покриття з точки зору шорсткості поверхні.

Зі збільшенням зусилля притискання (контактного тиску) антифрикційного інструменту до оброблюваної поверхні (рис.7) спостерігається деяке підвищення шорсткості, а потім його стабілізація, що пояснюється інтенсивнішим затиранням антифрикційного матеріалу (латуні Л63) у западини мікрорельєфу і згладжуванням їх вершин. Це також підтверджують дані профілограм (рис.8), які свідчать про те, що нанесення антифрикційного покриттів ФАБО підвищують якість поверхні, згладжуючи мікрорельєф і западини за рахунок нанесення на їх поверхню антифрикційного матеріалу.

Висновки.

1. Нанесення антифрикційного покриттів ФАБО за розробленою схемою дозволило підвищити якість поверхні, значно знижуючи її шорсткість за рахунок затирання латуні у западини мікрорельєфу поверхні, а також часткового змінання та згладжування гребінців мікронерівностей. Це призводить до більше рівномірного та щільнішого нанесення покриття на оброблювану поверхню.

2. Зі збільшенням параметра початкової шорсткості поверхні R_a зростає і величина зміни середньоарифметичного відхилення профілю ΔR_a . Але, високі початкові значення середньоарифметичного відхилення профілю R_a не дозволяють досягати суцільне, а отже, якісне антифрикційне покриття ФАБО.

3. Отримання якісного антифрикційного покриття при вибраній схемі ФАБО стало можливим за наступними режимами обробки: зусилля притискання антифрикційного бруска $P = 164,6$ Н; кількість циклів натирання $N = 6$.

4. Результати виконаних досліджень при нанесенні антифрикційних покриттів ФАБО в частині досліджень шорсткості дозволяють прогнозувати та керувати цим важливим геометричним параметром поверхневого шару, який багато в чому визначає якість обробленої поверхні.

Список літератури

1. Ръжов Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. К.: Наукова думка, 1994. 181 с.
2. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин . К.: Техника, 1981. 142 с.
3. Оптимизация технологии нанесения покрытий по критериям прочности и износостойкости / Б.А. Ляшенко и др. Киев : НАН Украины, ИПП им. Г.С. Писаренко, 2010. 93 с.
4. Чернец М.В., Клименко Л.П., Пашечко М.И. Трибомеханика, триботехника, триботехнологии . Т.1. Механика трибоконтактного взаимодействия при скольжении. Николаев: Изд-во НГТУ им. Петра Могилы, 2006. 476 с.
5. Соловых Е.К. Тенденции развития технологий поверхностного упрочнения в машиностроении: монография . Кировоград, КОД, 2012. 92 с.
6. Шепеленко И.В., Черкун В.В. Влияние состояния исходной поверхности на процесс ФАБО. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 3 (1). С.150–155.
7. Поверхневе зміцнення матеріалів працюючих в умовах комплексного впливу агресивних речовин: монографія / Б.П. Серета та ін. Кам'янське: ДДТУ, 2019. 173 с.
8. Черновол М.И., И.В. Шепеленко, Будар Мохамед Р.Ф. Повышение качества финишной обработки отверстий . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту.* 2016. Вип.29. С.104–111.
9. Shepelenko I.V. Technological factors influence on the antifriction coatings quality// *Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. 2021. Т.26, №2/100. С.50–57.
10. Shepelenko I.V. The study of surface roughness in the process of finishing antifriction non-abrasive treatment . *Проблеми трибології (Problems of Tribology)* . 2020. №1/95. С.34–40.
11. Shepelenko I. Mechanics of Micro-cutting Using FANT/ I. Shepelenko, Y. Tsekhanov, M. Storchak M. et al.// In: Tonkonogyi V. et al. (eds) *Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham (2021), pp.619–628.
12. Shepelenko I. Power Parameters of Micro-cutting During Finishing Anti-friction Non-abrasive Treatment/ I. Shepelenko, Y. Nemyrovskiy, Y. Tsekhanov et al. *New Technologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 128*. Springer, Cham (2020), pp.194–201.
13. ГОСТ 2789-73 (СТ СЭВ 638-77). Шероховатость поверхности. М.: Гос. Комитет СССР по стандартам, 1981. 7 с.
14. Rasheed A Abdullah. Experimental quality improvement of the application of antifriction coating/ Abdullah Rasheed A, Ihor Shepelenko, Eduard Posviatnyenko . *Journal of Physics: Conference Series, Volume 1706, First International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials 13-14 August 2020, Coimbatore, India*, pp.1–11.
15. Shepelenko I. Improving the Efficiency of Antifriction Coatings by Means of Finishing the Antifriction Non-abrasive Treatment/ I. Shepelenko, Y. Tsekhanov, Y. Nemyrovskiy et al. *Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham (2020), pp.289–298.
16. Филоненко С. Н. Резание металлов . Киев: Наук. дум., 1975. 232 с.
17. Шепеленко І.В., Немировський Я.Б., Посвятенко Е.К. Підвищення якості антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування . *Mechanics and Advanced Technologies*, 2022. Т. 6, № 1. С.24–30.

References

1. Ryzhov, E.V., Klymenko, S.A. & Hutsalenko, O.H. (1994). *Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva detalej s pokrytiami* [Technological support of the quality of parts with coatings]. Kyiv, Naukova dumka [in Russian].
2. Matalin, A.A. (1981). *Tekhnologicheskije metody povysheniya dolgovechnosti detalej mashin* [Technological methods for increasing the durability of machine parts]. Kyiv, Tekhnika [in Russian].
3. Lyashenko, B.A., Solovyh, E.K., Mirnenko, V.I. et al. (2010). *Optimizaciya tekhnologii naneseniya pokrytij po kriteriyam prochnosti i iznosostojkosti* [Optimization of coating technology according to the criteria of strength and wear resistance]. Kyiv, IPP im. G.S. Pisarenko [in Russian].

4. Chernec, M.V., Klimenko, L.P. & Pashechko, M.I. (2006). *Tribomekhanika, tribotekhnika, tribotekhnologii* [Mechanics of tribocontact interaction during sliding]. Nikolaev, Izdatel'stvo NGTU im. Petra Mogily [in Russian].
5. Solovyh, E.K. (2012). *Tendencii razvitiya tekhnologij poverhnostnogo uprochneniya v mashinostroenii* [Trends in the development of surface hardening technologies in mechanical engineering]. Kirovograd, KOD [in Russian].
6. Shepelenko, I.V. & Cherkun, V.V. (2013). Vliyanie sostoyaniya iskhodnoj poverhnosti na process FABO [Influence of the initial surface state on the FABO process]. *Naukovij visnik Tavrijs'kogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu – Scientific bulletin of Tavriya State Agro-Technological University, Issue 3 (1)*, 150–155 [in Russian].
7. Sereda, B.P., Bannikov, L.P., Nesterenko, S.V., et al. (2019). *Poverkhneve zmitsnennia materialiv pratsiuiuchykh v umovakh kompleksnogo vplyvu ahresyvnnykh rehovyn* [Surface strengthening of materials working under conditions of complex exposure to aggressive substances]. Kamianske, DDTU [in Ukraine].
8. Chernovol, M.I., Shepelenko, I.V. & Mohamed R.F. Budar (2016). Povyshenie kachestva finishnoj obrabotki otverstij [Better Hole Finishing]. *Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia: zb. nauk. pr. Kirovohrads'koho nats. tekhn. un-tu – Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation: coll. of science avenue of Kirovohrad National Technical University, Issue 29*, 104–111 [in Russian].
9. Shepelenko, I.V. (2021). Technological factors influence on the antifriction coatings quality. *The international scientific journal Problems of Tribology. Vol.29. No 2/100*. 50–57. [in English].
10. Shepelenko, I.V. (2020). The study of surface roughness in the process of finishing antifriction non-abrasive treatment. *The international scientific journal Problems of Tribology, Vol.28, No 1/95*, 34–40. [in English].
11. Shepelenko, I., Tsekhanov, Y., Storchak, M. et al. (2021). Mechanics of Micro-cutting Using FANT. *Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer*, 619–628 [in English].
12. Shepelenko, I., Nemyrovskiy, Y., Tsekhanov, Y. et al. Power Parameters of Micro-cutting During Finishing Anti-friction Non-abrasive Treatment. *New Technologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer*, 194–201 [in English].
13. Sherohovatos' poverhnosti [Surface roughness]. (1981). *GOST 2789-73 (ST SEV 638-77)*. Moskva. Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam [in Russian].
14. Rasheed A Abdullah, Shepelenko, Ihor & Posviatyenko, Eduard (2020). Experimental quality improvement of the application of antifriction coating. *Journal of Physics: Conference Series. First International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials, Vol. 1706*, 1–11 [in English].
15. Shepelenko, I., Tsekhanov, Y., Nemyrovskiy, Y. et al. (2020). Improving the Efficiency of Antifriction Coatings by Means of Finishing the Antifriction Non-abrasive Treatment. *Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer*. 289–298 [in English].
16. Filonenko, S.N. (1975). *Rezanie metallov* [Metal cutting]. Kyiv, Naukova dumka [in Russian].
17. Shepelenko, I.V., Nemyrovskiy, Ya.B. & Posviatenko, E.K. (2022). Pidvyshchennia yakosti antyfraktsiinykh pokryttiv z vykorystanniam plastychnoho deformuvannia [Improving the quality of antifriction coatings using plastic deformation]. *Mechanics and Advanced Technologies. Vol.6. No 1*. 24–30 [in Ukraine].

Ihor Shepelenko, Assoc. Prof., DSc., **Andrii Kyrychenko**, Prof., DSc., **Sergii Mahopets**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Michael Krasota**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Vasylenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Change in Surface Roughness When Applying Anti-friction Coatings

The analysis of literary sources made it possible to state that the surface roughness obtained by the finish anti-friction non-abrasive treatment (FANT) is one of the main quality criteria of the anti-friction coating and largely determines the process of running-in during the initial period of operation. The purpose of the presented research is to establish the main patterns of changes in the roughness of the surface layer treated by FANT.

Application of anti-friction coatings was carried out according to the method developed by the authors using the original device on a vertical milling machine. Special disc-shaped samples made of gray cast iron SCH20 were used as the tested samples. L63 brass was used as the material of the anti-friction coating. Among

the technological factors that changed with the selected FANT scheme, the following were selected: the pressure force of the anti-friction bar and the number of rubbing passes. The roughness of the surface was estimated by the average arithmetic deviation of the R_a profile. The average value obtained as a result of three measurements was taken as the value of the roughness parameter R_a .

The obtained values made it possible to establish the main patterns of changes in the roughness parameter depending on the technological parameters of FANT. It is shown that with an increase in the initial surface roughness parameter R_a , the value of the change in the average arithmetic deviation of the profile ΔR_a also increases. High initial values of the arithmetic average deviation of the R_a profile do not allow obtaining a continuous, and therefore high-quality anti-friction coating of FANT. Obtaining a high-quality anti-friction coating with the selected FANT scheme became possible with the following processing modes: pressing force of the anti-friction bar $P = 164.6 \text{ N}$; the number of rubbing cycles is $N = 6$. The results of the studies performed on the application of FANT anti-friction coatings make it possible to predict and control such an important geometric parameter of the surface layer as roughness, which largely determines the quality of the treated surface.

roughness, anti-friction coatings, finish anti-friction non-abrasive treatment, process parameters

Одержано (Received) 27.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 06.10.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 628.161

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.166-177>**Н.О. Матлах***Кіровоградська Мала академія наук учнівської молоді, м. Кропивницький, Україна***Д.В. Трушаков**, доц., канд. техн. наук, **О.А. Козловський**, доц., канд. техн. наук,**М.О. Федотова**, канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: dmitro.trushakov@gmail.com*

Створення багатосекційного фільтру очищення води з автоматизованим контролем забруднення мембран

Статтю присвячено створенню багатосекційного фільтру очищення води, який можливо виготовити власноруч у домашніх умовах. При цьому необхідно у фільтрі необхідно застосувати автоматизований контроль забруднення мембран у секціях фільтру. Основною метою дослідження є розробка простого та дешевого багатосекційного фільтру очищення питної води, який поєднав би у собі різні технології очистки з можливістю власноручного його виготовлення та з можливістю автоматизованого контролю забруднення мембран. Завданням дослідження є розробка та виготовлення діючої моделі багатосекційного фільтру очищення питної води - конструкція фільтру повинна бути багатосекційною, з мембранами, що містять різні наповнювачі для очистки води; простою та дешевою для власноручного виготовлення в домашніх умовах; конструкція фільтру повинна передбачати автоматизований контроль ступеня забруднення мембран у секціях фільтру. Шляхом проведеного аналізу існуючих розповсюджених побутових фільтрів води визначено найбільш оптимальне рішення по розробці власної конструкції побутового фільтру води. В результаті проведеного аналізу було створено діючу модель трьохсекційного фільтру води – перша секція містить мембрану з кварцовим піском, друга секція містить мембрану з порошком активованого вугілля, третя секція містить мембрану з дрібними шматочками шунгіту (або з дрібними шматочками кремнію). В результаті проведеного експериментального дослідження фільтрування забрудненої води з допомогою виготовленого трьохсекційного фільтру було визначено, що вага води після проходження через фільтр зменшується внаслідок затримки речовин зі щільністю більшою ніж у води (тверді домішки). Також відфільтрована вода стала прозорою та перестала пінитись при збовтуванні. Це підтверджує працездатність запропонованого фільтру. Розроблений трьохсекційний фільтр може використовуватися як окремий самостійний фільтр води або додатково з побутовими поліпропіленовими фільтрами води для якісного фільтрування домішок до 1мкм.

фільтр води, мембрана фільтру, автоматизований контроль забруднення мембрани фільтру

Постановка проблеми. Сьогодні в Україні існує проблема погіршення якості питної води. Ця проблема виникла внаслідок зношення водопровідних мереж, застарілих очисних споруд, забруднення річок та водосховищ.

Питна вода, призначена для споживання людиною, повинна відповідати Державним санітарним нормам і правилам ДСанПіН 2.2.4-171-10 та Державному стандарту України ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [1, 2]: бути безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, мати сприятливі органолептичні властивості та нешкідливий хімічний склад. Для виробництва питної води слід надавати перевагу воді підземних джерел питного водопостачання населення, надійно захищених від біологічного, хімічного та радіаційного забруднення.

В 2021 році Кабінет Міністрів України схвалив концепцію Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022-2026 роки [3].

Постановка завдання. Основною метою роботи є підвищення якості питної води завдяки розробці простого та дешевого багатосекційного фільтру очищення питної води. Цей фільтр повинен поєднати різні технології очистки з можливістю власноручного його виготовлення. Необхідно передбачити автоматизований контроль забруднення мембран у секціях фільтру.

Завдання дослідження. Провести аналіз конструкційних особливостей та принципів дії розповсюджених фільтрів та визначитися з принципом дії та конструкцією. Розробити та виготовити діючу модель багатосекційного фільтру очищення питної води - конструкція фільтру повинна бути багатосекційною, з мембранами, що містять різні наповнювачі для очистки води; простою та дешевою для власноручного виготовлення в домашніх умовах; конструкція фільтру повинна передбачати автоматизований контроль ступеня забруднення мембран у секціях фільтру. Експериментально підтвердити працездатність розробленої конструкції фільтру очищувати питну воду.

Об'єкт дослідження це очищення води у побуті.

Предмет дослідження це багатосекційний побутовий фільтр для очищення питної води, що власноруч можна виготовити у домашніх умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питна вода, призначена для споживання людиною, повинна відповідати Державним санітарним нормам і правилам ДСанПіН 2.2.4-171-10 та Державному стандарту України ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [1, 2]. У роботі [3] приведено опис Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022-2026 роки. У роботі [4] запропоновано конструкцію фільтру для очистки нафтомістящих вод. У роботі [5] приводиться опис розробки гранули фільтруючого матеріалу. У роботі [6] описано універсальний фільтрувальний пристрій для очищення водопровідної або річкової, або підземної води і одержання питної води підвищеної якості споживання. У роботі [7] приведено опис фільтруючого матеріалу для очистки питної води. У роботі [8] приведено опис сорбційно-фільтраційного матеріалу для очищення води.

Постановка завдання. В даній роботі дослідження спрямовані на розробку багатосекційного фільтру очищення води, який можливо виготовити власноруч у домашніх умовах. При цьому необхідно у фільтрі необхідно застосувати автоматизований контроль забруднення мембран у секціях фільтру.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні в Україні існує проблема погіршення якості питної води. Ця проблема виникла внаслідок зношення водопровідних мереж, застарілих очисних споруд, забруднення річок та водосховищ.

Питна вода, призначена для споживання людиною, повинна відповідати Державним санітарним нормам і правилам ДСанПіН 2.2.4-171-10 та Державному стандарту України ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [1, 2]: бути безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, мати сприятливі органолептичні властивості та нешкідливий хімічний склад. Для виробництва питної води слід надавати перевагу воді підземних джерел питного водопостачання населення, надійно захищених від біологічного, хімічного та радіаційного забруднення.

В 2021 році Кабінет Міністрів України схвалив концепцію Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022-2026 роки [3].

На Кіровоградщині включаючи місто Кропивницький постачальником питної водопровідної води є обласне виробниче комунальне підприємство "Дніпро-

Кіровоград". Нажаль водопровідна вода у Кропивницькому внаслідок зношення водопровідних мереж та інших факторів не повністю відповідає санітарним нормам. Так, наприклад, за даними хіміко-бактеріологічної лабораторії контролю якості питної води КП «Теплоенергтик» у м. Кропивницькому не всі основні показники питної води задовільняють санітарним нормам, що представлено у таблиці 1 [9].

Таблиця 1 – Вимірювання показників складу та властивостей питної води

№ п/п	Найменування показника	Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10	Числове значення результату вимірювань	Позначення методики виконання вимірювань	Похибка вимірювання δ , (Δ)*, P=0,95
1	Амоній іони (мг/дм ³)	0,5 (2,6)*	0,49	МВВ 081/12-0106-03	±(20-9)%
2	Водневий показник (од.рН)	6,5-8,5	7,63	ДСТУ 4077-2001	±0,2од.рН
3	Забарвленість (град.)	20 (35)*	33,4	МВ 2-3/2018 (ГОСТ 3351-74)	±20%
4	Загальна жорсткість (моль/м ³)	7 (10)*	8,4	МВ 1-3/2018 (ГОСТ 4151-72)	±2%
5	Загальна лужність (ммоль/дм ³)	(0,5-6,5)*	10,2	ДСТУ ISO 9963-1:2007	±10%
6	Загальне залізо (мг/дм ³)	0,2 (1,0)*	0,23	КНД 211.1.4.034-95	±25% ±(0,018 - 0,14√r)*
7	Залишковий активний хлор (мг/дм ³)	1,5	0,21	МВ 3-1/2018 (ГОСТ 18190-72)	± 25 %
8	Каламутність (мг/дм ³)	0,58 (2,03)*	0,9	МВ 2-4/2018 (ГОСТ 3351-74)	±20%
9	Нітрати (мг/дм ³)	<50	1,86	МВВ 081/12-0651-09	±25%
	Азот нітратний		0,42		
10	Нітрити (мг/дм ³)	<0,5	0,024	КНД 211.1.4.023-95	±(0,009-2)*
11	Перманганатна окиснюваність (мгО/дм ³)	<5	2,4	МВВ 081/12-0016-01	±(32-11)%
12	Сульфати (мг/дм ³)	250 (500)*	144,85	МВВ 081/12-0177-05	±9% ±3%
13	Сухий залишок (мг/дм ³)	1000 (1500)*	879	МВВ 081/12-0109-03	±10% ± 5%
14	Фториди (мг/дм ³)	0,7-1,5	1,02	МВ 1-2/2018 (ГОСТ 4386-89)	±20%
15	Хлориди (мг/дм ³)	250 (350)*	83,31	МВВ 081/12-0653-09 КНД 211.1.4.037-95	± 20 % ±(1,49-1,79)*
16	ЗМЧ (КУО/с м ³)	<50	2	МВ 10.2.1-113-2005	Не регламент
17	Ентерококк/100см ³	відсутні	відсутні	МВ 10.2.1-113-2005	Не регламент
18	E. coli/100см ³	відсутні	відсутні	МВ 10.2.1-113-2005	Не регламент

* В дужках вказано показники фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води згідно додатків № 1-4 ДСанПіН 2.2.4-171-10 (Редакція від 28.12.2019. Норматив, зазначений у дужках, має право використовувати підприємство питного водопостачання до 1 січня 2022 року згідно додатку 2 таблиці 1)

Джерело: [9]

Побутові фільтри очищення води можна умовно поділити на два види:

- звичайні фільтри очищення води, що містять поліпропіленові картриджі (розмір пор 1мкм) для фільтрування механічних домішок;
 - фільтри зворотнього осмосу (з покращеними властивостями очищення води).
- Фільтр зворотнього осмосу – це фільтр, що складається з трьох картриджей, мембрани, накопичувального баку. Зворотній осмос – це складний фізичний процес, в якому при певному тиску рідина проходить через напівпроникну мембрану з більш концентрованою розчину в менш концентрований розчин, тобто в зворотньому для осмосу напрямку (осмос – це власно довільний перенос рідини крізь напівпроникну мембрану, яка не пропускає розчинену речовину та розділює два розчини однієї рідини з різними концентраціями).

Головним недоліком фільтрів з поліпропіленовими картриджами є те, що вони фільтрують головним чином від механічних домішок. Вони не пристосовані фільтрувати бактерії, пом'якшувати властивості води та інше. Крім того в них картриджи з очисними мембранами швидко забруднюються і якщо вчасно їх не змінювати, то вони самі становляться джерелами бактерій. Вартість цих фільтрів складає порядку 200 грн. Типовим представником поліпропіленових фільтрів є фільтр Aquakut DP 10 [10] (рис.1).

Недоліком фільтрів зворотнього осмосу є те, що вони не є звичайними фільтрами проточного типу, а є фільтрами накопичувального типу. Тобто відфільтрована вода накопичується у баку, що іде у комплекті з фільтром. Ємність цього бака є не великою, зазвичай 7 літрів. Крім того у них висока вартість – починаючи з 2000 гривень. Типовим представником фільтрів зворотнього осмосу є Ecoso MO550 [11] (рис. 2).



Рисунок 1 – Звичайний поліпропіленовий фільтр Aquakut DP 10 “1/2” Puremix
Джерело: [10]



Рисунок 2 – Система зворотнього осмосу Ecoso MO550 ECOEP
Джерело: [11]

Матеріали застосовані у мембранах власного фільтру. В результаті аналізу розповсюджених побутових фільтрів води запропоновано трьохсекційний фільтр очищення води: перша секція містить мембрану з кварцового піску, друга секція містить мембрану з активованого вугілля, третя секція містить мембрану з кремнію або шунгіту (в залежності від вимог до вихідної якості води).

В якості мембранних наповнювачів можна використовувати різні речовини для очищення води: кварцовий пісок або трепел, активоване вугілля, шунгіт, кремній та інші [12-14].

Властивості кварцового піску для очистки води [15]: згубно діє на паразитів; знижує концентрацію радіонуклідів у воді; видаляє з води розчини хлору, заліза, марганцю, алюмінію; збирає іони важких металів методом адсорбції; пригнічує бактерії і віруси.

Активоване вугілля очищує воду методом адсорбції [16]: видаляє найдрібніші частинки (піщинки), іржу, окаліну; шкідливі сольові з'єднання; від хлору та всіх його з'єднань; видаляє важки метали; покращує органолептичні властивості води: запах, смак, мутність, кольоровість – у підсумку вода стає прозорою та приємною на смак. Але у фільтрів з активованим вугіллям є і недолік: разом зі шкідливими речовинами з води вимиваються корисні для людини мінерали.

Для того щоб збагатити очищену воду корисними мінералами, потрібно після фільтра з активованим вугіллям поставити ще додатковий фільтр з мінералізаторами, що збагачують очищену воду корисними мінералами. В якості таких мінералів застосовують кремній та шунгіт. Вода, що оброблена кремнієм, збагачується мікроелементами, роками не псується. У кремнієвій воді виникає утворення

структурної водної системи з електричною решіткою рідких кристалів кремнію, це призводить до того що у воді відсутні патогенні мікроорганізми, а різні шкідливі домішки випадають у осад [17]. Шунгіт збагачує воду мікроелементами. Крім того він очищує воду від нітратів, сполук хлору, важких металів, різних бактерій та мікроорганізмів [18].

Вихід третьої секції (останньої) проектує мого фільтру запропоновано з'єднати зі входом звичайного поліпропіленового фільтру, за допомогою якого здійснюється фільтрування дрібних механічних часток розміром до 1 мікрона.

Конструкційна побудова секції фільтра. Конструкційну побудову секцій фільтра здійснюємо у відповідності з виконанням наступних вимог:

- внизу секції повинно здійснюватися накопичення осаду;
- дно секції повинно відкриватися, щоб осад можна було видаляти;
- в секцію легко повинні вставлятися власноруч виготовлені мембранні фільтри з різними наповнювачами;
- потрібно передбачити здійснення контролю забруднення мембранних фільтрів.

У відповідності з цими вимогами конструкційну побудову секцій фільтра мною запропоновано виконати наступним чином. В секцію вставляються власноруч виготовлені мембранні фільтри з наповнювачами із кварцового піску, активованого вугілля, подрібнених шматочків кремнію або шунгіту. Мембранні фільтри виготовляємо з порядку 10 шарів бинту або марлі в яку загорнутий наповнювач, зверху та знизу марлі звичайна армована пластикова сітка. В якості секцій мною використані сифони для раковини. Для того щоб вони витримували тиск води, всі різьбові з'єднання я проклеїв клейовим пістолетом. Ще як варіант можна встановити кран для перекривання води перед фільтром. В цьому випадку при відкриванні крану вода зі зниженим тиском буде подаватися на фільтр, а також він не буде піддаватися постійному тиску водопровідної води. Конструкційна побудова секції фільтра представлена на рисунку 3.

Мною передбачено здійснювати контроль забруднення мембран у секціях фільтру. Для цього з обох боків мембрани фільтру у сифоні вбудовані пластини з титану (можна використати нержавіючу сталь). Кінці цих пластин виведені ззовні та з'єднані електричним ланцюгом: кнопковий вимикач, джерело живлення 4,5 В; налагоджувальний резистор; міліамперметр М42300 рис. 3 [19]. Градування шкали міліамперметра виконуємо дослідним шляхом наступним чином. На початку експлуатації мембрани, коли вона ще незабруднена, вмикаємо кнопковий вимикач. В наслідок того, що вода є електролітом між титановими пластинами протикає струм. За допомогою налагоджувального резистора ми добиваємось, щоб стрілка міліамперметра стала по центру шкали. Шкалу міліамперметра розфарбовуємо в три кольори, що відповідають ступеню забруднення мембранних фільтрів: зелений – нормальний стан; жовтий – початкове забруднення; червоний – сильне забруднення рис. 4.

Розфарбовування шкали проводимо наступним чином. Поверх прозорого корпусу на місце шкали в міліамперметрі наклеюємо надруковану стрічку. Невеличку ділянку надрукованої стрічки шкали зліва та з права від стрілки зафарбовуємо зеленим кольором. Далі ліворуч та праворуч зеленої ділянки зафарбовуємо жовту та червону. Зелена ділянка символізує про нормальну роботу секції фільтра, тобто про не забруднення мембрани з наповнювачем. У процесі експлуатації на мембрані будуть осідати різні домішки – іржа від труб, хлор та інші, в наслідок цього електропровідність води може збільшуватись, або зменшуватись. Час від часу у процесі експлуатації (раз у декілька діб) потрібно вмикати кнопковий вимикач і здійснювати контроль забруднення мембран. Виконане розфарбування шкали міліамперметра М42300 представлено на рис. 4.

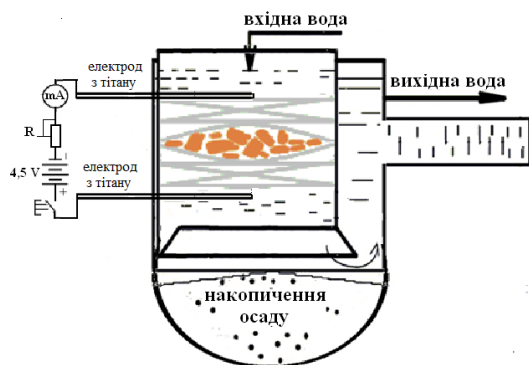


Рисунок 3 – Конструкційна побудова секції фільтра
Джерело: розроблено авторами



Рисунок 4 – Конструкційна побудова шкали міліамперметра M42300 (розфарбовано авторами)

Джерело: [19]

Конструкційна побудова трьохсекційного фільтра. В результаті виконання роботи мною сконструйовано та виготовлено діючий зразок трьохсекційного фільтра очищення питної води. Вихід побудованого мною фільтра може бути з'єднано зі входом звичайного поліпропіленового фільтра Aquakut DP 10 "1/2" Puremix [10], за допомогою якого здійснюється кінцеве фільтрування дрібних механічних часток (розмір пор мембрани фільтра 1 мікрон). Конструкційна побудова розробленого трьохсекційного фільтра з можливістю використання з побутовими поліпропіленовими фільтрами води представлена на рис. 5.

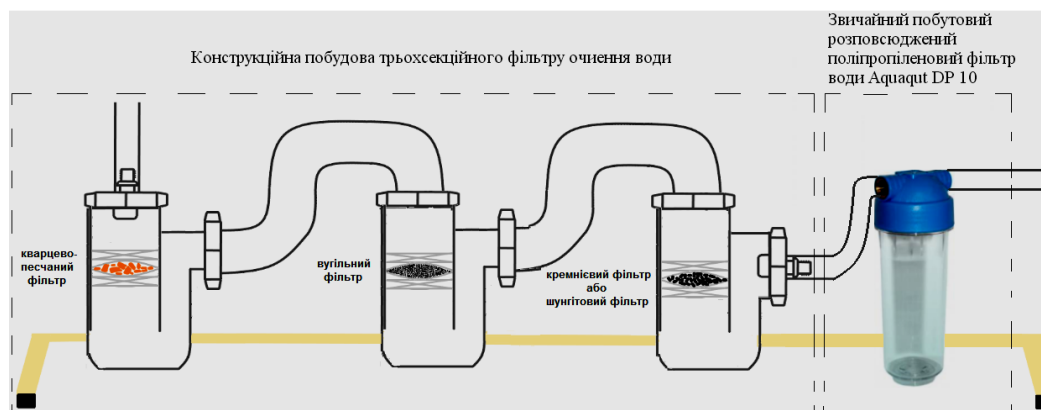


Рисунок 5 – Конструкційна побудова трьохсекційного фільтра з можливістю використання з побутовими поліпропіленовими фільтрами води

Джерело: розроблено авторами

Зовнішній вигляд виготовленого трьохсекційного фільтра представлений на рисунку 6.



Рисунок 6 – Зовнішній вигляд виготовленого трьохсекційного фільтра
Джерело: розроблено авторами

Структурна схема трьохсекційного фільтру води та алгоритм контролю мембран фільтру зображені на рисунку 7 та рисунку 8 відповідно.

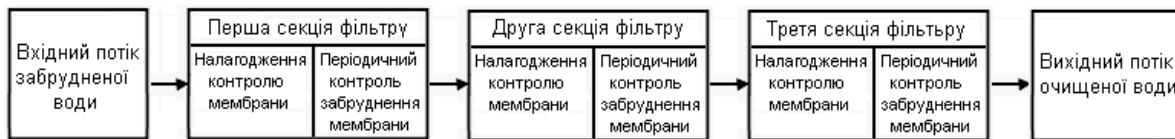


Рисунок 7 - Зовнішній вигляд виготовленого трьохсекційного фільтру

Джерело: розроблено авторами

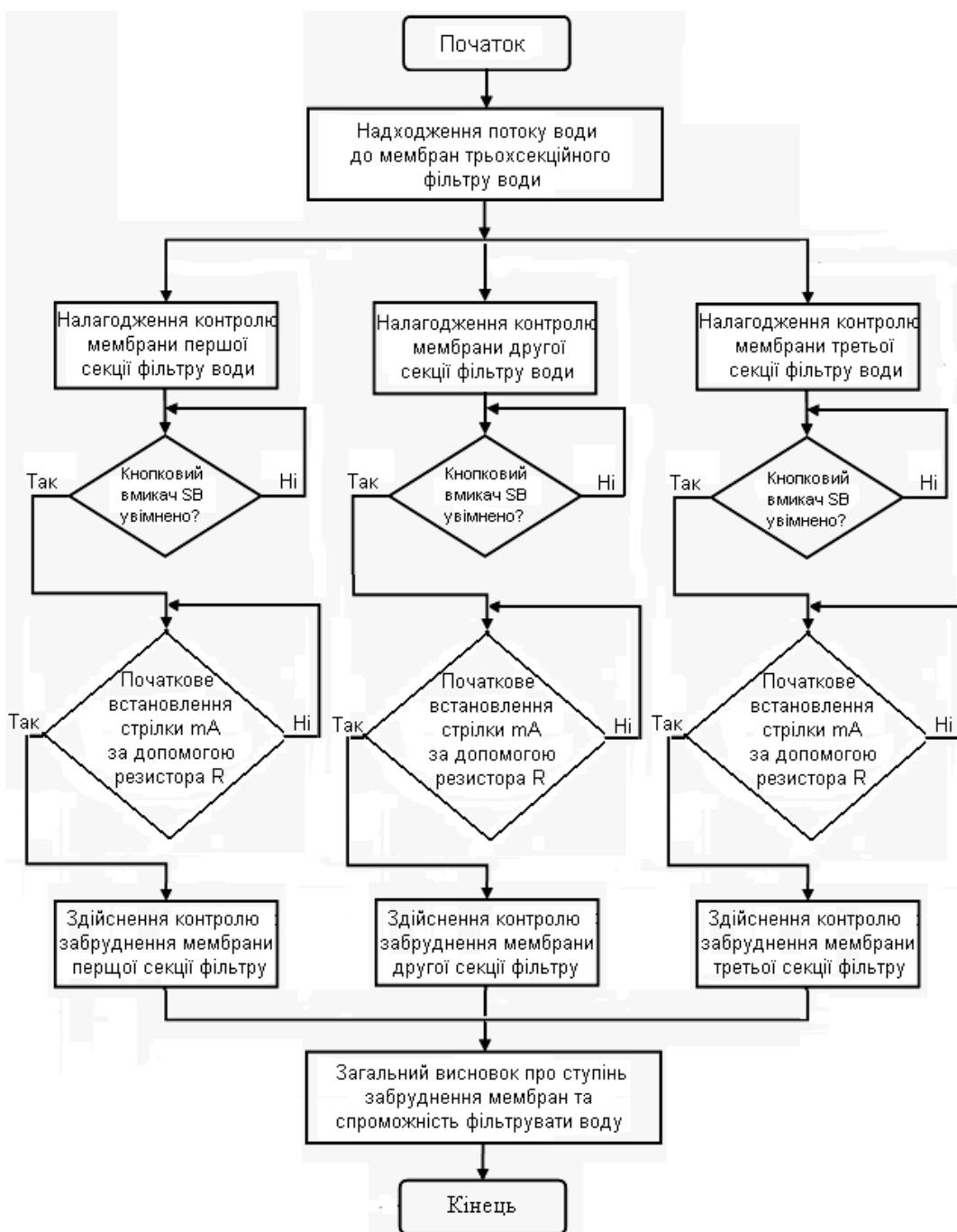


Рисунок 8 – Алгоритм контролю мембран трьохсекційного фільтру води

Джерело: розроблено авторами

Виконання експериментального дослідження. Експериментальні дослідження виконані за спеціальною методикою. Для їх проведення взяли забруднену воду з наступними властивостями: напівпрозора, містить механічні домішки у вигляді твердих часток та інших включень, при збовтуванні – піниться. Потім її пропускали через виготовлений зразок трьохсекційного фільтру: при цьому перша секція містила власноруч виготовлену мембрану з кварцовим піском, друга – активованим вугіллям, третя – з дрібними шматочками шунгіту.

Мета проведеного дослідження полягала у встановленні оптимальної товщини шару кварцового піску в мембрані фільтру. Для цього відібрали 5 проб забрудненої води по 200 мл кожна в конічні колби з номерами, зважили на електронних вагах з точністю до другого знаку після коми, результати зважування занесли до таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати зважування проб забрудненої води

Вага проб, г (об'єм 200 мл без ваги колби)				
№1	№2	№3	№4	№5
200,85	200,78	200,75	201,01	200,92

Джерело: розроблено авторами

П'ять колб перед дослідженням просушували в сушильній шафі три температури $t = 90^{\circ}\text{C}$, охолоджували до кімнатної температури $t = 21^{\circ}\text{C}$. Потім п'ять проб забрудненої води по 200 мл кожна по черзі пропускали через виготовлений трьохсекційний фільтр. При цьому товщина кварцового піску в мембрані першої секції складала 2 см. Потім п'ять проб відфільтрованої води (фільтрату) збирали в попередньо просушені та зважені колби, після чого ще раз зважили на електронних вагах. Різницю прийняли за вагу забруднень. Результати оформили у вигляді таблиці 3.

Таблиця 3 – Експериментальні результати фільтрування забрудненої води

Sample number water	Initial weight of the water sample, grams	Weight of filtered water (filtrate), grams	Weight of dirt, grams	Contamination content, grams/liter
1	200,85	199,15	1,07	5,350
2	200,78	199,69	1,09	5,450
3	200,75	199,77	0,98	4,900
4	201,01	199,90	1,11	5,550
5	200,92	199,65	1,07	5,350

Джерело: розроблено авторами

Якість фільтрату оцінювали візуально. Після фільтрування вода у всіх пробах стала прозорою, при збовтуванні в колбах не утворювалась піна, тобто механічні домішки та завислі речовини осіли на мембрані з кварцовим піском. Потім дослід повторили при товщині фільтруючого шару в 1 см та 0,5 см, результати оформили у вигляді діаграми на рисунку 9.

Як можна побачити з рисунку, збільшення фільтруючого шару кварцового піску в мембрані фільтру з 0,5 см до 1 см покращує властивості фільтрування домішок приблизно на 80%, а подальше збільшення фільтруючого шару кварцового піску в мембрані фільтру з 1 см до 2 см покращує властивості фільтрування домішок приблизно на 20%. Тобто подальше збільшення фільтруючого шару здається недоцільно. Тому достатньо оптимальною товщиною шару в мембрані фільтру можна вважати товщину шару кварцового піску 2 см для фільтрування механічних домішок.

Виконання експериментального дослідження представлено на рисунку 10.

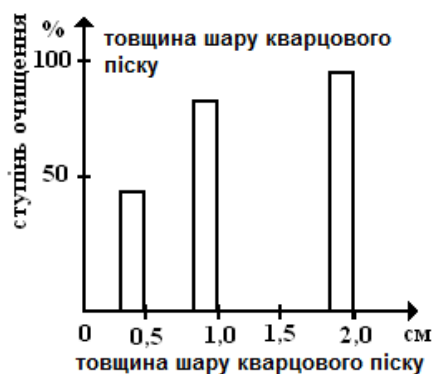


Рисунок 9 – Визначення товщини фільтруючого шару кварцового піску.

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 10 – Зовнішній вигляд лабораторної установки для виконання експериментального дослідження

Джерело: розроблено авторами

Результати дослідження. В результаті проведеного аналізу конструкції розповсюджених побутових фільтрів води запропоновано власний трьохсекційний фільтр: перша секція містить мембрану з кварцового піску, друга – з активованого вугілля, третя – з кремнію або шунгіту (в залежності від вимог до вихідної якості води). Секції фільтру виконані у відповідності до наступних вимог: внизу секцій здійснюється накопичення осаду; дно секції відкручується, що дозволяє видаляти осад; в секцію легко вставляються власноруч виготовлені мембранні фільтри з різними наповнювачами. Конструкцією фільтру передбачено здійснювати електричний контроль ступеня забруднення мембранних наповнювачів фільтрів. Сконструйовано та виготовлено діючий зразок трьохсекційного фільтру очищення питної води. Цей фільтр може використовуватися як окремий самостійний фільтр або додатково з побутовими поліпропіленовими фільтрами (для фільтрування домішок до 1мкм). В результаті проведеного експериментального дослідження фільтрування забрудненої води з допомогою виготовленого трьохсекційного фільтру визначено, що вага води після проходження через фільтр зменшується внаслідок затримки важких речовин зі щільністю більшою ніж у води (тверді домішки). Також відфільтрована вода стала

прозорою та перестала пінитись при збовтуванні. Це підтверджує працездатність фільтру до очищення води. В результаті експериментального дослідження визначено, що товщина шару кварцового піску 2 см у мембрані фільтру достатньо для фільтрування домішок речовин у воді.

Список літератури

1. Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Верховна Рада України. Офіційний вебпортал парламенту України. Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 14.09.2022)
2. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Видання офіційне. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. – 28 с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10672-dstu_voda_pytna.pdf (дата звернення: 14.09.2022)
3. Загальнодержавна цільова соціальна програма «Питна вода України» на 2022-2026 роки. Верховна Рада України. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/388-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 14.09.2022)
4. Коган П.Г., Кесельман Э.М., Долуб Л.М., Крутоголов А.С. Фильтр для очистки нефтесодержащих вод. Описание изобретения к авторскому свидетельству. SU 1551394. 23.03.90. Бюл. №11.
5. Косяков А.В., Лапенко А.А., Кулигин С.В., и др. Гранула фильтрующего материала. Описание изобретения к патенту RU 2685117 С1. Опубликовано 16.04.2019. Бюл. № 11.
6. Курніков Ю.О., Бердишев Г.Д., Орлюк М.І. та ін. Універсальний фільтрувальний пристрій для очищення водопровідної або річкової, або підземної води і одержання питної води підвищеної якості споживання "Природний". Опис до патенту на корисну модель. UA 44067 U. 10.09.2009. Бюл. №17.
7. Стрелко В.В., Бортун А.І., Картель М.Т. та ін. Фильтрующий материал для очистки питьевой воды. Опис до патенту на винахід. UA 4581 С1. 28.12.94. Бюл. №7-І.
8. Швець Д.І., Опенько Н.М., Маметьева Є.Г., Василенко В.Й. Сорбційно-фільтраційний матеріал для очищення води. Опис до деклараційного патенту на винахід. UA 41513 А. 17.09.2001. Бюл №8.
9. КП «Теплоенергетик» КМР, м. Кропивницький. Хіміко-бактеріологічна лабораторія контролю якості питної води. Протокол №72 вимірювання показників складу та властивостей питної води від 01.12.2021р. URL: <https://teploenergetik.kr.ua/informatsiya-pro-yakist-pitnoi-vodi> (дата звернення: 17.09.2022)
10. Фильтры. Колба DP 10" 1/2" в комплекте ключ, крепление. URL: <https://aquakut.com/kolba-dp-10-quot-1-2-quot-v-komplekte-klyuch-kreplenie-kartridzh> (дата звернення: 17.09.2022)
11. Фильтры обратного осмоса: линейка фильтра - улучшенная, минерализация - без минерализации. URL: https://ecosoft.ua/filtry-obratnogo-osmosa-prod/lineika-is-uluchshennaja/mineralization-is-without/?gclid=Cj0KCQiA2ZCOBhDiARIsAMRfv9J1F2hr90ot764J5lsSRC4BhuqMhHGWc4CjLfewYAxShVQazfS6BgMaAvz7EALw_wcB (дата звернення: 18.09.2022)
12. Аюкаев Р.Н., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. Ленинград: Стройиздат, 1985. 120 с.
13. Орлов В.О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою. Рівне: НУВГП, 2005. 163 с.
14. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. М.: Стройиздат, 1964. - 156с.
15. Где применяется кварцевый песок для очистки воды и как выбрать подходящий. URL: <https://strojdvor.ru/vodosnabzhenie/pesocnyj-filtr-dla-vody> (дата звернення: 18.09.2022)
16. Уголь для фильтрации: вред и польза. URL: <https://akvo.com.ua/articles/aktivirovannyu-ugol-dlya-filtra-vred-i-polza> (дата звернення: 18.09.2022)
17. Кремний для очистки воды. URL: https://med-magazin.ua/item_n6612.htm (дата звернення: 18.09.2022)
18. Камень для очистки воды шунгит. URL: <https://kredo-shop.com.ua/po-zabolevaniyam/ozhogi/shungit-500g> (дата звернення: 18.09.2022)
19. Амперметры М42300 постоянного тока. URL: <https://asenergi.com/catalog/pribory-schitovye/ampmetry-m42300.html> (дата звернення: 19.09.2022)

References

1. Derzhavni sanitarni normy ta pravyla "Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoiu" [State sanitary norms and rules "Hygienic requirements for drinking water

- intended for human consumption"]. (DSanPiN 2.2.4-171-10). (nd.). Verkhovna Rada Ukrainy. Ofitsiyni vebportal parlamentu Ukrainy. Zakonodavstvo Ukrainy. *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> [in Ukrainian].
2. DSTU 7525:2014 . Voda pytna [The water is drinkable]. Vymohy ta metody kontroliuvannia yakosti. Vydannia ofitsiine. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy. Retrieved from https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10672-dstu_voda_pytna.pdf [in Ukrainian].
 3. Zahalnodержavna tsilova sotsialna prohrama «Pytna voda Ukrainy» na 2022-2026 roky [Nationwide targeted social program "Drinking water of Ukraine" for 2022-2026]. (nd.). Verkhovna Rada Ukrainy. Ofitsiyni vebportal parlamentu Ukrainy. *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/388-2021-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
 4. Kohan, P.H., Keselman, E.M., Dolub, L.M., Krutoholov, A.S. (1990). Fyltr dlia ochystky nefesoderzhashchikh vod [Filter for purification of oil-containing waters]. Opysanye yzobreteniya k avtorskomu svydetelstvu. SU 1551394. 23.03.90. Biul. №11. [in Russian].
 5. Kosiakov, A.V., Lapenko, A.A., Kulyhyn, S.V., et al. (2019). Hranula fyltruiushcheho materyala [Filter material granule]. Opysanye yzobreteniya k patentu RU 2685117 C1. Opublykovo 16.04.2019. Biul. № 11. [in Russian].
 6. Kurnikov, Yu.O., Berdyshev, H.D., Orliuk, M.I. et al. (2009). Universalnyi filtruvalnyi prystrii dlia ochyshchennia vodoprovodnoi abo richkovoї, abo pidzemnoi vody i oderzhannia pytnoi vody pidvyshchenoi yakosti spozhyvannia "Pryrodnyi" [A universal filter device for cleaning tap water, river water, or underground water and obtaining drinking water of increased consumption quality "Natural"]. Opys do patentu na korysnu model. UA 44067 U. 10.09.2009. Biul. №17.
 7. Strielko, V.V., Bortun, A.I., Kartel, M.T. et al. (1994). Filtruiuchy material dlia ochystky pytnoi vody [Filter material for cleaning drinking water]. Opys do patentu na vynakhid. UA 4581 S1. 28.12.94. Biul. №7-I. [in Ukrainian].
 8. Shvets, D.I., Openko, N.M., Mametieva, Ye.H. & Vasylenko, V.I. (2001). Sorbtsiino-filtratsiyni material dlia ochyshchennia vody [Sorption-filtration material for water purification]. Opys do deklaratsiinoho patentu na vynakhid. UA 41513 A. 17.09.2001. Biul №8. [in Ukrainian].
 9. KP «Teploenerhetyk» KMR, m. Kropyvnytskyi. Khimiko-bakteriologichna laboratoriiia kontroliu yakosti pytnoi vody. Protokol №72 vymiriuvannia pokaznykiv skladu ta vlastyvoſtei pytnoi vody vid 01.12.2021. [KP "Teploenergetik" KMR, Kropyvnytskyi. Chemical and bacteriological laboratory of drinking water quality control. Protocol No. 72 for measuring indicators of the composition and properties of drinking water dated December 1, 2021.]. *teploenergetik.kr.ua*. Retrieved from <https://teploenergetik.kr.ua/informatsiya-pro-yakist-pitnoi-vodi> [in Ukrainian].
 10. Fyltri. Kolba DP 10" 1/2" v komplekte kliuch, kreplenye [Filters. Flask DP 10" 1/2" wrench, mount included.]. *aquakut.com*. Retrieved from <https://aquakut.com/kolba-dp-10-quot-1-2-quot-v-komplekte-klyuch-kreplenie-kartridzh> [in Russian].
 11. Fyltri obratnoho osmosa: lyneika fyltra - uluchshennaia, myneralizatsyia - bez myneralizatsyy [Reverse osmosis filters: filter line - improved, mineralization - without mineralization]. *ecosoft.ua*. Retrieved from https://ecosoft.ua/filtry-obratnogo-osmosa-prod/lineika-is-uluchshennaja/mineralization-is-without/?gclid=Cj0KCQiA2ZCOBhDiARIsAMRfv9J1F2hr90ot764J5lsSRC4BhuqMHHGwC4CjLfewYAxShVQazfS6BgMaAvz7EALw_wcB [in Russian].
 12. Aiukaev, R.N. & Meltser, V.Z. (1985). *Proyzvodstvo y pryomenenye fyltruiushchikh materyalov dlia ochystky vody* [Production and application of filter materials for water treatment]. Lenynhrad: Stroiyzdat, – 120 s. [in Russian].
 13. Orlov, V.O. (2005). *Vodoochysni filtry iz zernystoiu zasypkoiu* [Water purification filters with granular backfill]. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].
 14. Mynts, D.M. (1964). *Teoretycheskye osnovi tekhnolohyy ochystky vody* [Theoretical foundations of water purification technology] . Moskow: Stroiyzdat [in Russian].
 15. Hde pryeniaetsia kvartsevyi pesok dlia ochystky vody kak vibrat podkhodiashchyi [Where is quartz sand used for water treatment and how to choose the right one]. *strojdvor.ru*. Retrieved from <https://strojdvor.ru/vodosnabzhenie/pesocnyj-filtr-dla-vody> [in Russian].
 16. Uhol dlia fyltratsyy: vred y polza [Coal for filtration: harm and benefit] .*akvo.com.ua*. Retrieved from <https://akvo.com.ua/articles/aktivirovanny-ugol-dlya-filtra-vred-i-polza> [in Russian].
 17. Kremnyi dlia ochystky vody [Silicon for water purification]. *med-magazin.ua*. Retrieved from https://med-magazin.ua/item_n6612.htm [in Russian].
 18. Kamen dlia ochystky vody shunhyt [Shungite stone for water purification.]. *kredo-shop.com.ua*. Retrieved from <https://kredo-shop.com.ua/po-zabolevaniyam/ozhogi/shungit-500g> [in Russian].
 19. Ampermetry M42300 postoiannoho toka [M42300 DC ammeters]. *asenergi.com*. Retrieved from <https://asenergi.com/catalog/pribory-schitovye/ampermetry-m42300.html> [in Russian].

Nikita Matlakh

Junior Academy of Sciences of Ukraine Kirovograd Region, Kropyvnytskyi, Ukraine

Dmytro Trushakov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Kozlovskiy**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Marianna Fedotova**, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Creation of a Multi-section Water Purification Filter With Automated Control of Membrane Pollution

The article is devoted to the creation of a multi-section water purification filter, which can be made by hand at home. At the same time it is necessary to apply in the filter the automated control of pollution of membranes in sections of the filter. The main purpose of the study is to develop a simple and cheap multi-section filter for drinking water purification.

The filter must have different cleaning technologies with the possibility of its own manufacture and with the possibility of automated control of membrane contamination. The task of the research is to develop and manufacture a working model of a multi-section filter for drinking water purification. The design of the filter should be multi-section with membranes containing various fillers for water purification; simple and cheap to make at home. The design of the filter should provide for automated control of the degree of contamination of the membranes in the filter sections. By analyzing the existing common household water filters, the most optimal solution for developing your own design of a household water filter has been determined. As a result of the analysis, a working model of a three-section water filter was created. The first section of the filter contains a membrane with quartz sand, the second section contains a membrane with activated carbon powder, the third section contains a membrane with small pieces of shungite (or with small pieces of silicon). As a result of an experimental study of the filtration of contaminated water using a three-section filter was determined next. The weight of water after passing through the filter decreases due to the retention of substances with a density greater than that of water (solid impurities). Also, the filtered water became clear and stopped foaming when shaken. This confirms the efficiency of the proposed filter.

The developed three-section filter can be used as a separate stand-alone water filter or in addition with household polypropylene water filters for quality filtration of impurities up to 1 micrometer.

water filter, filter membrane, automated control of filter membrane contamination

Одержано (Received) 05.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 24.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 681.17; 681.5.015

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.177-189>

В.О. Кондратець, проф., докт. техн. наук, **Ю.М. Пархоменко**, доц., канд. техн. наук, **М.Д. Пархоменко**, доц., **А.Р. Бокій**, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: parhomenkoym@ukr.net

Теоретичне обґрунтування типу променевих перетворювачів при ідентифікації зернового потоку

Стаття присвячена теоретичному обґрунтуванню типу променевих перетворювачів при ідентифікації зернового потоку у сівалках. Розглянуто умови роботи променевих перетворювачів у процесі висівання зернових культур, види і характеристики таких перетворювачів. Показано, що найкращими характеристиками володіють оптопарі, створені на базі незалежних джерела і приймача інфрачервоного випромінювання у вигляді кремнієвих діодів, що працюють у діапазоні 0,75...1,1 мкм. **променеві перетворювачі, оптопарі, ідентифікація зернового потоку, інфрачервоне випромінювання**

© В.О. Кондратець, Ю.М. Пархоменко, М.Д. Пархоменко, А.Р. Бокій, 2022

Постановка проблеми. Україна, посідаючи ведучі місця у виробництві зерна, в останні роки послаблює свої позиції на світовому ринку [1]. Нині не здійснюється у повному обсязі передбачений законодавством України напрямок реалізації ресурсозберігаючих технологій в енергетиці, промисловості та аграрному комплексі. Однією з причин зниження виробничих показників у зерновому господарстві є недосконалість проведення сівби, що, зокрема, зв'язано з відсутністю надійних і якісних засобів контролю потоку насіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задачу автоматичного контролю потоку насіння у зернових сівалках у різні роки розв'язували Л.В. Аніскевич, Є.А. Беляєв, Г.М. Бузенков, П.М. Василенко, С.В. Кардашевський, Г.Т. Клейман, М.Г. Кінкер, В.В. Логін, О.О. Лук'яненко, М.Д. Пархоменко, В.К. Хорошенко та інші, однак вибір типів променевих перетворювачів оптичних пристроїв реєстрації особливо не обґрунтовувався. Враховуючи, що дана публікація спрямована на реалізацію засобів контролю при висіванні зернових культур, її тема є актуальною. Вона направлена на здійснення програми "Технічні засоби нового покоління для сільськогосподарського виробництва", включеної до переліку Державних цільових наукових та науково-технічних програм, визначених законом України "Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки", а також є складовою частиною результатів наукових досліджень за темою "Система комп'ютерної ідентифікації технологічного процесу висіву насіння зерновими сівалками" (0107U005469), що включена до тематичного плану Центральноукраїнського національного технічного університету.

Постановка завдання. Метою даної публікації є теоретичне обґрунтування типу променевих перетворювачів в пристроях ідентифікації зернового потоку, що формується висівними апаратами сівалок, для підвищення їх дозволяючої здатності та якості реєстрації дискретних об'єктів в потоці.

Виклад основного матеріалу. Сучасні системи контролю висіву (СКВ) такі як: «RECORD» (розроблена відділом досліджень та розвитку компанії «Трак», Україна, м. Херсон) [2], «MONADA» (ООО НПФ Монада, Україна, м. Херсон) [3], «ФАКТ» (ЧП «Руденко», Україна, м. Полтава) [4] комплектуються, з однієї сторони, бортовими системами збирання, обробки та відображення інформації, а з іншої – комплексом датчиків призначених для реєстрації параметрів процесу висіву і придатних для встановлення на різні типи вітчизняних та зарубіжних сівалок. Незважаючи на різнобічність апаратної реалізації бортових СКВ (різні типи мікроконтролерів, елементів спряження, відображення інформації тощо) і прив'язаного до неї програмного забезпечення, в цілому вони надають механізатору майже однотипну інформацію про: проходження насіння по висівним патрубкам; забивання або відсутність висіву в патрубок із зазначенням його номера; величину інтенсивності зернового потоку (для суцільного висіву); кількість "двійників" (в %), "пропусків" (в %) та норму висіву (в шт./п.м.) для сівалок точного висіву; рівень насіння і добрив у бункерах; швидкість руху сівалки (км/год); пройдений шлях (км); засіяну площу (га) тощо. Функціональні можливості бортової системи можна безперервно вдосконалювати, шляхом внесення змін в програмне забезпечення або апаратну реалізацію на більш сучасних мікроконтролерах. В недалекому майбутньому бортову систему може замінити багатфункціональний бортовий комп'ютер.

Особливо проблемними компонентами СКВ є датчики – реєстратори зернин в потоці. Темпи їх вдосконалення є більш тривалими, а шляхи – складнішими. На сьогодні в СКВ використовуються в основному ємнісні і оптичні датчики. За своєю фізичною природою ємнісні датчики є пристроями об'ємної дії – реагують на зміну діелектричної проникності пролітаючими між обкладинками конденсатора зернинами.

Швидкими темпами іде впровадження оптичних датчиків об'ємної дії, які реагують на зміну інтенсивності світлового потоку на вході фотоприймача при перетині насінинами площини контролю. Вказані датчики успішно контролюють наявність зернового потоку (з метою своєчасного виключення просівів при його зупинці) та, з відносною долею похибки, забезпечують оцінку якості сівби в сівалках точного висіву. Пристрої реєстрації об'ємної дії не придатні для розпізнавання зернин в потоці які одночасно перетинають площину його контролю, в тому числі і частину зерен–двійників просапних культур, число яких досягає 12%. Для забезпечення якості сівби необхідно мати такі пристрої реєстрації, які б ідентифікували кожен зернин в потоці і надавали достовірну інформацію про їх кількість та розподіл до засобів керування процесом висіву. Означеним вимогам відповідає запропонований в роботі принцип побудови пристрою реєстрації, який дозволяє ідентифікувати розділені зерна не лише вздовж руху потоку, але й такі, що паралельно перетинають площину контролю датчика [5].

Дослідженнями встановлено, що поштучну ідентифікацію окремих зернин в потоці можна здійснювати з високою ефективністю двома взаємно перпендикулярно розташованими системами “випромінювач-приймач”, шляхом сканування вздовж координат X, Y променів певної фізичної природи, які слід конструктивно виконувати у вигляді прямокутної рамки. При проведенні досліджень використовувалася реєструюча рамка розміром 50×100 мм. Для забезпечення необхідної дозволяючої здатності при ідентифікації об'єктів діаметром $d \geq 2$ мм по одному виміру було конструктивно розміщено 48 оптронних пар (ОП) “випромінювач-приймач”, а по іншому 16 ОП. Розмір рамки, кількість і діаметр променів визначаються конструктивними параметрами площини реєстрації датчика та геометричними розмірами зернин - об'єктів реєстрації. Порушення потоку енергії від джерела випромінювання до приймача слугує сигналом про знаходження об'єкту в площині реєстрації. Аналіз інформації, яка рядок за рядком поступає з виходів променевих перетворювачів, розміщених вздовж координат X, Y , в мікропроцесорну систему обробки даних дозволяє ідентифікувати кожен зернин в загальному потоці дискретних об'єктів. Акцентуємо увагу на тому, що принцип роботи системи з лінійок ОП базується на перериванні об'єктами оптичних променів, а не на відображенні їх від об'єктів. Незалежно від місця перетину об'єктом площини контролю, така система забезпечує формування на вході фотоприймачів не викривлені зображення реєстрованих об'єктів, що спрощує їх ідентифікацію [6]. Сканування рядків оптронних пар з заданою частотою ($f \geq 5 \text{кГц}$) повинно бути неперервним. Навіть часткова втрата інформації приведе до похибки ідентифікації. В процесі проведення дослідно-конструкторських робіт аналізувалися і інші шляхи побудови датчиків реєстрації дискретних рухомих об'єктів в потоці.

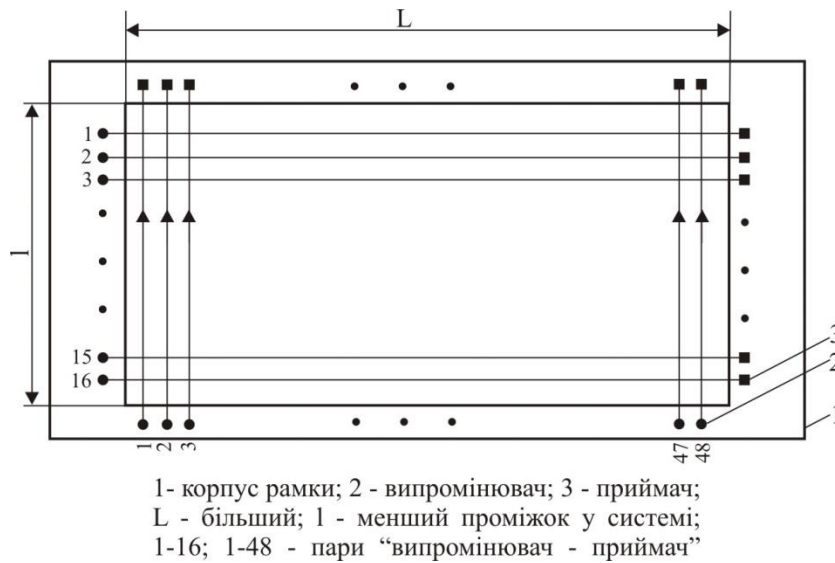


Рисунок 1 – Прямокутна рамка с джерелами випромінювання та приймачами випромінювання
 Джерело: розроблено автором

Формування і аналіз кадрових зображень в пристроях реєстрації потоку зернин виключається, внаслідок ускладнення методики автоматичної ідентифікації об'єктів від кадру до кадру. Замість лінійок ОП в пристрої реєстрації можна використовувати лінійку приладів із зарядним зв'язком (ПЗЗ), а зі сторони випромінювачів – освітлену щілину з матовим склом, яка б виконувала роль екрану (фону) з розсіяним потоком світла. До недоліків цієї конструкції слід віднести: необхідність неперервної підтримки рівня яскравості «білого» фону; не визначена і можливість сканування лінійки ПЗЗ з заданою для реєстрації пролітаючих об'єктів частотою ($f \geq 5\text{кГц}$). При реєстрації відображених променів розміри зображень об'єктів будуть залежати від координат місця перетину ними площини контролю, що ускладнює алгоритм їх ідентифікації.

Обґрунтування типу променевих перетворювачів потребує вивчення умов роботи багатопроменевої системи в посівному агрегаті, характеру впливу на неї сторонніх збурюючих факторів та можливостей використання променевих перетворювачів різних видів випромінювання. Метою даної публікації є теоретичне обґрунтування типу променевих перетворювачів призначених для реєстрації та ідентифікації потоку зернин, що формується висівними апаратами зернових сівалок.

Серед сторонніх збурюючих факторів необхідно відмітити вібрацію та зміну температури навколишнього середовища. Вібрація однаково діє на будь-який тип променевого перетворювача. Якщо рамка з вмонтованими в неї променевими перетворювачами виконана достатньо жорстко і жорстко не зв'язана з корпусними деталями сівалки, то при вібрації вона не деформується і на результати вимірювання це не впливає. Зміна температури навколишнього середовища приводить до певних коливань відстаней між парами "випромінювач-приймач", але їх осі у просторі не зміщуються і це також не впливає на функціонування променевих перетворювачів. Певна зміна густини повітря при цьому також не змінює стан перетворювачів. Сказане не стосується інших збурюючих факторів, серед яких слід розглянути саме випромінювання.

Повітря у зоні роботи сівалки є запиленим і задимленим. Трактор, рухаючись по поверхні сухого ґрунту відриває від нього частинки твердого. Частинки твердого, крім того піднімаються у повітря і рухомими сошниками та вітром. Значна частка пилу

присутня у самому посівному матеріалі і виділяється у будь-яких умовах при посіві безпосередньо у зоні контролю. Запилене повітря являє собою аерозоль, у якому дисперсним середовищем є саме повітря, а дисперсною фазою – тверді частинки пилу різного розміру. Частинки пилу у повітрі можуть знаходитись у зваженому стані впродовж достатньо тривалого часу. Крупність частинок пилу коливається у достатньо широких межах – від 0,001 до 0,1мм. Такі частинки не дифундують у спокійному повітрі і осідають у ньому з сталою швидкістю, підпорядковуючись закону Стокса. Пил володіє властивостями, характерними для аеролоїдних систем: великою поверхнею, здібністю адсорбувати пару з навколишнього середовища. Запиленість повітря визначається вагою частинок твердого у одиниці його об'єму. У процесі посіву створюється вибухобезпечний пил [7].

Задимленість зони посіву утворюється викидними газами двигуна внутрішнього згоряння трактора. Вихлопні гази двигунів відносять до димів. Вони утримують зважені у повітрі тверді частинки розміром 0,1 до 0,001мк.

Крім твердих частинок і доданих газів повітря вміщує пару води. Оскільки водяна пара і повітря за атмосферних умов унаслідок великих міжмолекулярних відстаней не взаємодіють один з одним, кожен з газів веде себе у об'ємі тіла, як би інший газ був відсутнім. Кількість молекул води у насиченій водяній парі зростає з підвищенням температури по експоненціальній залежності. Звичайно водяна пара являє собою зовсім прозорий газ. У повному об'ємі повітря може утримуватися обмежена кількість води, яка визначає абсолютну вологість насичення. У жаркі літні дні повітря може містити у 30 разів більше вологи, ніж у холодні зимові дні [8]. Вологість можна виражати як відношення маси води до маси сухого повітря – це абсолютна вологість. Більш вживаним є поняття відносної вологості, що визначається відношенням абсолютної вологості повітря до максимально можливого вмісту вологи при даній температурі. Гігроскопічність об'єкта у вологому повітрі визначається адсорбцією молекул води поверхнею, після чого вона надходить всередину об'єкта під дією капілярних сил і дифузії. Між вологістю тіл і вологістю повітря встановлюється рівновага, яка описується характерними для кожної речовини ізотермами сорбції. Рівновага вмісту води у об'єкті визначається відносною вологістю повітря, у той час коли температура і абсолютна вологість повітря мало впливають на цю рівновагу. При роботі сівалок особливо висока вологість повітря у весняний період або після сильних злив. Сівалки виконують свої функції інколи в туман, який не є водяною парою. Туман вміщує воду у вигляді зважених дрібних крапель води і являє собою пересичену водяну пару.

Забрудненість середовища в зоні контролю датчика частинками пилу, газами та парою впливає на якість роботи променевих перетворювачів. Запиленість і задимленість приводить до розсіювання і ослаблення світлового потоку. Забруднення оптичних систем пилом і кіптявою також може сильно змінювати їх стан [9]. В представленій вище оптико-електронній реєструючій рамці лінійки випромінювачів і фотоприймачів в зоні контролю захищені від пилу прозорим склом товщиною $d \leq 1,5\text{мм}$, яке також є фактором впливу на інтенсивність світлового потоку.

Зміну променевих потоків можна виразити функціонально. Якщо, наприклад, тверді зважені частини непрозорі, однакові за розміром і мають сферичну форму, то світловий потік на виході з середовища у напрямі падаючих променів визначається виразом

$$\phi = \phi_0 e^{-\pi r^2 LC}, \quad (1)$$

де ϕ_0 – первинний світловий потік;

r – радіус частинок твердого;

C – концентрація частинок;

L – відстань від випромінювача до приймача [10].

Як видно з (1), ослаблення падаючого потоку ϕ_0 залежить не лише від відстані від випромінювача L , а й від розміру r і концентрації C частинок твердого. При розмірах частинок r менших довжини хвилі випромінювання величина розсіяного у напрямку перпендикулярному падаючому променю світлового потоку визначається виразом

$$\phi_p = \phi_0 \cdot k \cdot \frac{Nv^2}{\lambda^4}, \quad (2)$$

де v – об'єм частинки;

N – число частинок в одиниці об'єму простору;

λ – довжина хвилі;

k – коефіцієнт, що залежить від показників запилення частинок і навколишнього середовища, а також прийнятих одиниць вимірювання [11].

Відповідно залежності (2) розсіяний світловий потік ϕ_0 буде тим більшим при повних ϕ_0 і k , чим менша довжина хвилі λ і більший об'єм і концентрація частинок. Не виключено, що за умов роботи сівалок одночасно спрацьовують обидві залежності, ослабляючи вихідний потік ϕ_0 , що проходить через середовище у напрямку ϕ_0 . Відношення Nv^2/λ^4 дозволяє при певних середнь-статистичних параметрах середовища правильно підібрати довжину хвилі λ світлового потоку.

Основним джерелом енергії на землі є сонце яке формує неперервний спектр випромінювання. Найбільший відсоток цієї енергії, яка практично без втрат досягає Землі, припадає на ультрафіолетовий ($\lambda = 0.2 \dots 0.36$ мкм), видимий (від 0.36 мкм для фіолетового до 0.78 мкм для червоного кольорів) та інфрачервоний (від 0.78 мкм до 100 мкм) діапазони спектру сонячного випромінювання. менший відсоток – на гамма-промені ($\text{до } 10^{-5}$ мкм), рентгенівське випромінювання (від 10^{-5} до 0,2 мкм) та мікрохвилі (≤ 100 мкм). Усі означені типи променів можуть виступати в якості основних і фонових факторів впливу на роботу оптико-електронної реєструючої рамки.

Ультрафіолетові хвилі легко затримуються різними перепонами, в тому числі і склом, тому їх не беремо до уваги при визначенні джерела випромінювання в реєструючій рамці. Більша частина спектру ультрафіолетового випромінювання затримується земною атмосферою. Видиме та інфрачервоне випромінювання значно легше долає різні перепопи. В діапазоні інфрачервоного випромінювання земна атмосфера вибірково поглинає променевий потік. Наприклад, сонячне випромінювання з довжинами хвиль 1,2; 1,6; 2,0; 2,4 мкм практично повністю доходить до Землі, а з іншими довжинами поглинається. Видимий спектр сонячного випромінювання і близький до 1 мкм спектр інфрачервоного випромінювання земною атмосферою майже не затримується [12].

У природі практично все володіє інфрачервоним випромінюванням [13]. Нагріті вдень тіла випромінюють енергію у нічні години, хоча і з незначною інтенсивністю.

Інфрачервоне випромінювання (ІЧВ) утворюється в результаті коливальних і обертових рухів атомів і молекул речовини, температура якої вище абсолютного нуля (-273°C). За довжиною хвиль теплове випромінювання знаходиться в інфрачервоному діапазоні суцільного спектру $\lambda_{\text{ІЧВ}} \in 0,78 \dots 100$ мкм і умовно поділяється на три більш вузьких діапазони: довгий - $\lambda_{\text{ІЧВ}} \approx 100 \dots 5,6$ мкм в якому випромінюють «абсолютно

чорні» тіла температура яких не перевищує $T \leq 300^{\circ}C$; середній - $\lambda_{ГЧВ} \approx 5,6 \dots 1,5 \text{ мкм}$ при температурі випромінювача $300^{\circ}C < T \leq 800^{\circ}C$ в залежності від якої колір тіла змінюється від «абсолютно чорного» до червоного; короткий - $\lambda_{ГЧВ} \approx 1,5 \dots 0,78 \text{ мкм}$ який формується при зміні температури випромінювача від $800^{\circ}C$ до $1500^{\circ}C$, а колір – від червоного до оранжевого. ГЧВ не передається у середовище шляхом конвекції або теплопровідності подібно температурним хвилям, воно підпорядковується звичайним законам оптики і володіє майже всіма фізичними властивостями видимого світла, за винятком того, що невидиме для ока.

До основних показників, що визначають випромінювання нечорних тіл, відносять випромінювальну, відбивну, поглинаючу і пропускну здатність. Кількість енергії, що випромінюється, відбивається, поглинається і пропускається тілом залежать від температури, природи речовини, стану її поверхні, форми тіла і довжини хвилі. Випромінювання будь-якого джерела можна характеризувати інтегральною потужністю, спектром випромінювання і просторовою діаграмою спрямованості. У теорії випромінювання нагрітого тіла в основному розглядають абсолютно чорне тіло. Залежність спектральної інтенсивності випромінювання абсолютно чорного тіла $J_{\text{ол}}$ (Вт/м^2) від довжини хвилі випромінювання λ і абсолютної температури випромінювача T (К) (точка нуля якої дорівнює $-273,15^{\circ}C$) по закону Планка описується виразом

$$J_{\text{ол}} = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} = \frac{dE_e}{d\lambda}, \quad (3)$$

де $c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ Вт/м}^2$, $c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ м}\cdot\text{К}$.

Згідно закону Стефана–Больцмана, визначеного на підставі закону Планка (3), щільність потоку інтегрального випромінювання E_0 абсолютно чорного тіла по всім довжинам хвиль збільшується на абсолютну температуру T в четвертій ступені $E_0 = \sigma \cdot T^4$, де: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-5} \text{ ерг см}^{-2} \text{ С}^{-1} \text{ град}^{-4}$. Якщо температура чорного тіла подвоюється, то енергія його випромінювання збільшується в 16 разів. Щільність потоку інтегрального випромінювання сірого тіла визначається за співвідношенням $E = \varepsilon \cdot E_0$, де ε - коефіцієнт випромінювання сірого тіла.

Згідно залежності Віна довжина хвилі λ_m максимального випромінювання зв'язана з температурою T випромінюючої поверхні рівнянням $\lambda_m T = \text{const} = 2896 \text{ мкм} \cdot \text{К}$, звідки $\lambda_m = 2896 / (T^{\circ}C + 273) \text{ мкм}$. При роботі сівалки в польових умовах в якості факторів впливу на якість реєстрації зернового потоку слід вважати нагрівання на сонці металевих конструкцій посівного агрегату і вихлопи працюючого двигуна внутрішнього згорання трактора. Згідно закону Планка при температурах нагрітих агрегатів до $30, 40, 50, 60, 70$ і $80^{\circ}C$ вони можуть випромінювати хвилі інфрачервоного діапазону максимальної довжини $9,5, 9,2, 9,0, 8,7, 8,4$ і $8,2 \text{ мкм}$. [Шрайбер4].

Як при видимому так і при інфрачервоному випромінюванні опромінюваний предмет частину падаючої енергії ($E_{\text{пад}}$) поглинає ($E_{\text{погл}}$), в результаті чого нагрівається, частину відбиває ($E_{\text{відб}}$) і частину пропускає ($E_{\text{прон}}$). У залежності від властивостей межі розділу розрізняють два види відбивання світла. Якщо поверхня на яку падають промені має нерівності (шорсткості) менше довжини хвилі ($\lambda < 1 \text{ мк}$), то відбувається дзеркальне відбивання при якому падаючі і відбиті промені залишаються

паралельними. Якщо ж нерівності розташовані на плоскій поверхні хаотично і мають розміри порівняні з довжиною хвилі світла або більші за неї, то відбувається дифузне (розсіяне) відбивання. Зерна пшениці мають ділянки поверхні, наближені до дзеркальних. Оскільки їх поверхня опукла, то паралельні світлові промені розсіюються в різні сторони. Коефіцієнт відбивання $R = E_{\text{відб}} / E_{\text{над}}$ залежить як від матеріалу поверхні, так і від довжини хвилі. Для зерна в видимому спектрі він коливається в інтервалі $R = 0.36 \dots 0.43$ [14]. Біле тіло має коефіцієнт відбивання близький до одиниці для усіх довжин хвилі видимого та ІЧ спектру. Тіло здається чорним тому, що його коефіцієнт відбивання для усіх довжин хвиль близький до нуля $R \approx 0$, а коефіцієнт поглинання близький до одиниці $A = E_{\text{погл}} / E_{\text{над}} \approx 1$. Тіла, що мають певний кольоровий окрас, відбивають світлові промені, які за довжиною хвилі належать саме цьому кольору, завдяки чому їх так сприймає зір людини. Зерна пшениці мають окрас від жовтого до світло-коричневого кольору, а гороху – жовтий, світло-зелений або навіть червоний. Тому відбиті промені таких довжин хвиль будуть мати місце у зоні контролю.

Непрозорим вважається об'єкт коефіцієнт пропускання світла у якого близький до нуля $D = E_{\text{проп}} / E_{\text{над}} \approx 0$. При цьому падаючі на нього промені відображаються і поглинаються об'єктом. Прямолінійність розповсюдження світла приводить до створення за непрозорим об'єктом тіні - області, у яку світло не проникає. У випадку точкового джерела світла зернина, що перетинає цей потік створює різко окреслену тінь. Фотоприймальний пристрій, встановлений у напрямку такого падаючого променя, не буде освітленим, що може слугувати ознакою наявності зернини у зоні контролю. Світлові промені при перетині не збурюють один одного. Оскільки у випадку кількох незалежних джерел світла освітленість будь-якої поверхні дорівнює сумі освітленостей створюваних кожним окремим джерелом, то прямі та розсіяні промені можуть формувати зони зі значними освітленостями на різних частотах і суттєво впливати на показники контролю навіть в області окресленої тіні. В розглянутій вище оптико-електронній скануючій рамці вплив випромінювачів сторонніх оптронних пар на фотоприймач реєструючої ОП виключено фізично, шляхом зустрічного розміщення та поодинокого підключення ОП. Проте на глибину затемнення в зоні контролю ОП може впливати відображення променів від сторонніх об'єктів, що необхідно враховувати.

Такі оптичні властивості речовин, як: коефіцієнт відбивання A , пропускання D , поглинання A (Сивухин7), зв'язані співвідношенням $A + R + D = 1$, та заломлення n в інфрачервоній області спектра значно відрізняються від тих же властивостей у звичній для нас видимій області спектра. Значення цих показників залежать від природи речовини і довжини хвилі. Тому при оцінці матеріалу по відношенню до інфрачервоних променів не можна керуватися властивостями цього матеріалу по відношенню до видимого світла. Багато речовин, прозорих для видимого світла, не пропускають інфрачервоні (ІЧ) промені і навпаки. Приміром, у видимому діапазоні спектру ми можемо розпізнавати предмети розміром у кілька сантиметрів на глибині в декілька метрів, в той час як в ІЧ діапазоні з $\lambda = 0,8 \div 1 \text{ мкм}$ доступна для розпізнавання глибина залягання цього ж предмету не повинна перевищувати $30 \div 45 \text{ мм}$ (у зв'язку з чим вода часто використовується як теплозахисний фільтр). Особливо сильне поглинання тонких шарів води припадає на довжини хвиль 2; 3; 4,7; і 6,1 мкм. З іншої сторони, пластини кремнію, непрозорі у видимій області, прозорі в інфрачервоній [6].

Через повітря ІЧ-промені проходять безперешкодно. Тобто, молекули азоту і кисень самі по собі ІЧ-випромінювання (ІЧВ) не поглинають, а лише ослаблюють в

результаті розсіювання. А ось пари води, озон і інші домішки, наявні в повітрі, селективно поглинають інфрачервоне випромінювання. Найбільш інтенсивні смуги поглинання водяної пари досягають максимуму при хвилях довжиною 1,4; 1,85; 2,4 і 3,5 мкм, а для вуглекислоти – при хвилях довжиною 1,5; 1,7; 2,1 і 2,7 мкм [11]. Величина коефіцієнтів поглинання зростає при збільшенні товщини шару та концентрації (1). Наявність у повітрі зважених часток диму і пилу також призводить до ослаблення інфрачервоного випромінювання внаслідок його розсіювання на цих частках, причому величина розсіювання залежить від співвідношення розмірів часток і довжини хвилі (2). При малих розмірах часток (повітряний серпанок) ІЧВ розсіюється менше, ніж видиме випромінювання (що використовується в інфрачервоній фотографії), а при великих розмірах крапель (густий туман) ІЧВ розсіюється так само сильно, як і видиме.

Коефіцієнт прозорості скла для видимого спектру близький до одиниці – $0,92 \div 0,94$, а для ІЧВ з $\lambda \leq 2,7 \text{ мкм}$ скло прозоре до товщини $30 \div 60 \text{ мм}$. Коефіцієнт переломлення ІЧ променів у склі менше ніж для видимих променів $n_{\text{ІЧВ}} < n_{\text{ВВ}}$. Захисні екрани скануючої рамки мають товщину скла $\Delta d = 1 \div 1,5 \text{ мм}$, тому ІЧ промені при проходженні через нього мало поглинаються, і практично не відхиляються [11].

Коефіцієнт блиску є дисперсною характеристикою просторового розподілу відбитого випромінювання зернин. За наявності округлих форм відображення від зернин є розсіяним.

Коефіцієнт відображення ІЧ променів від алюмінію та міді вище ніж видимих променів $R_{\text{ІЧВ}} \geq R_{\text{ВВ}}$ ($R_{\text{ІЧВ}} \approx 0,98$). Оскільки рейки скануючої рамки з розміщеними в них лінійками оптронних пар виготовлені з алюмінію, то для виключення впливу відбитих від поверхні рейок променів в зоні дії фотоприймачів рейки необхідно зачорнити. Як було відмічено вище, при ідентифікації зернового потоку в процесі посіву рівнозначно можуть діяти в якості додаткових впливових факторів червоні, оранжеві, жовті та зелені промені, а також інфрачервоне випромінювання. Так як коефіцієнт поглинання ІЧ променів зерном $A_{\text{ІЧВ}} \approx 0,86 \div 0,92$, а коефіцієнт відображення знаходиться в межах $R_{\text{ІЧВ}} \approx 0,08 \div 0,14$ і $R_{\text{ІЧВ}} \geq R_{\text{ВВ}}$ [14], то вплив розсіяних зерном променів буде незначним.

Визначення типу багатопроменевої системи. Сівалки працюють за умов достатньо високих концентрацій запилення і кіптяви які попадають в зону контролю датчика. Світлові промені відповідно залежностям (1) і (2) втрачають частину енергії первинного світлового потоку, що суттєво зменшує сигнал на вході фотоприймального пристрою. Завислі у повітрі частинки води при тумані також ослаблюють світловий потік. Оскільки частинки пилу, води в основному є діелектричними, то вони мало впливають на інфрачервоне випромінювання. Забруднення оптичної системи пилом може зробити пристрій на світлових променях непрацездатним. Інфрачервоне випромінювання легко долає такі перепони. Встановлено, що засоби на інфрачервоних випромінювачах зберігають працездатність при запиленості до 75% [13]. Доведено експериментально, що туман перешкоджає інфрачервоному випромінюванню менше, ніж видимому світлу [9]. Вплив водяної пари і вуглекислоти на видиме світло не встановлено, однак достеменно встановлено поглинання інфрачервоного випромінювання на певних фіксованих частотах.

На вхід фото приймальних пристроїв діють як корисний сигнал, так і перешкоди. Вплив перешкод буде залежати від типу пристрою і довжини хвиль діючих променів. В існуючих випромінювачах світла не більше 10% підведеної електричної енергії можна виділити у вигляді світлового потоку, решта енергії перетворюється в тепло. Коефіцієнт корисної дії (ККД) світлодіода тим нижчий, чим коротша довжина

випромінюваної хвилі [15]. Тому самим яскравим є червоний колір, меншим ККД буде відрізнятися діод з зеленим світінням. Світлодіоди синього кольору у теперішній час масово не випускаються, оскільки їх ККД занадто низький, а виготовлення складне. ККД світлодіодів інфрачервоного діапазону може досягати 10% для деяких досить вартісних дослідних зразків і близько 5% - для світлодіодів масового використання. Це привело до того, що нині найбільш масово випускаються світловипромінюючі діоди інфрачервоного і червоного випромінювання. Достатньо широко випускаються світло випромінюючі діоди жовтого, оранжевого та зеленого кольорів [16].

Перетворення електричної енергії у світловий потік у діапазоні світлових хвиль менш ефективно порівняно з інфрачервоним випромінюванням. Нерозвиненість фотоприймальних пристроїв у діапазоні світлових хвиль (їх використовують в основному як індикатори) і низька їх чутливість порівняно з засобами інфрачервоного випромінювання не дозволяють широко використовувати відповідні оптронні пари. Тому перевагу слід віддати оптронним парам на інфрачервоному випромінюванні. Враховуючи великі базові відстані L (рис. 1), оптронні пари необхідно створювати на базі незалежних напівпровідникових випромінювачів та фотоприймачів. Діапазон їх спектру не повинен співпадати з смугами найбільшої інтенсивності поглинання водяної пари та вуглекислоти.

Так як фотоелектричні напівпровідникові приймачі випромінювання володіють селективною чутливістю, то для забезпечення прийому і реєстрації випромінювання використовують достатньо велику кількість напівпровідникових матеріалів з власною та домішковою фотопровідністю. Високим граничним значенням виявляючої здатності у діапазоні інфрачервоного спектру $0,75 \dots 1,1 \mu\text{м}$ володіє арсенід галію, однак даний показник у цьому діапазоні хвиль дещо вищий у напівпровідників на основі кремнію [5]. Тому доцільно застосовувати кремнієві фотоприймачі. На основі кремнію виготовляють фотодіоди та фототранзистори. Інтегральна чутливість фотодіодів достатньо висока (десятки міліампер на люмен). Інтегральна чутливість у фото транзисторів у десятки разів більша порівняно з фотодіодами. Фототранзистори працюють на частотах у сотні мегагерц [17]. Високі можливості фотоприймальних пристроїв можна отримати за умови, якщо їх спектральна чутливість буде повністю співпадати з спектральною випромінюючою здатністю світловипромінювача [18]. Зважаючи на можливий вплив променевих перешкод і яскравість випромінювання, надзвичайно високу чутливість у оптопарах забезпечувати не варто.

Висновки. В результаті проведеного аналізу умов ідентифікації зернового потоку при висіванні зернових культур приходимо до висновку, що в якості променевих перетворювачів доцільно використовувати оптопари з окремих елементів «джерело випромінювання»-«приймач випромінювання» інфрачервоного спектру які працюють у діапазоні $0,75 \dots 1,1 \mu\text{м}$. Виходячи з того, що пристрій реєстрації включає десятки дискретних оптопар, в якості випромінювачів і приймачів ІЧВ слід використовувати кремнієві світло і фотодіоди, як найбільш дешеві, простіші в схемному підключенні ніж фото транзистори і достатні для отримання необхідної дозвільної здатності при реєстрації та розпізнаванні потоку зернин.

На підставі аналізу геометричних і технічних параметрів існуючих джерел випромінювання та фотоприймальних пристроїв інфрачервоного спектру найбільш придатними для використання в оптико-електронній скануючій рамці датчика зернового потоку визначено світлодіоди АЛ-107Б] і фотодіоди ФД-256, ФД-265, відносні спектральні характеристики яких представлені на рис. 2.

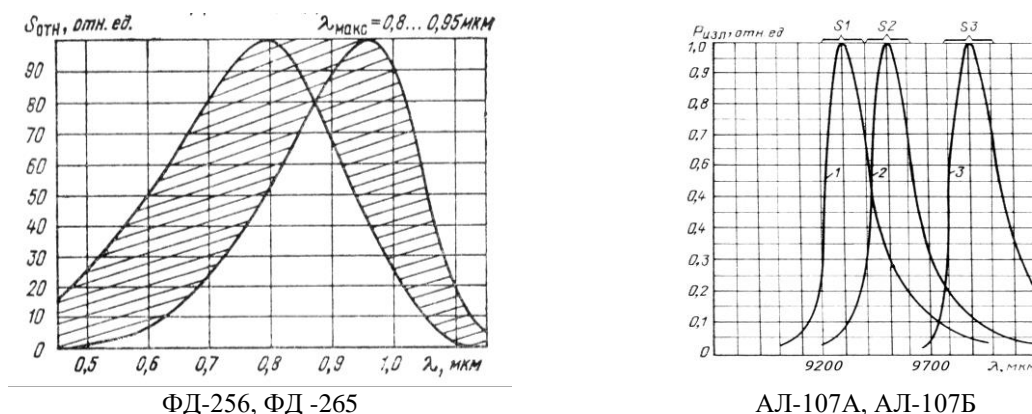


Рисунок 2 – Відносні спектральні характеристики фотодіодів ФД-256, ФД-265 та світло діодів АЛ-107А, АЛ-107Б

Джерело: [19]

З рис.2 видно, що при максимумах чутливості фотодіодів на різних довжинах хвиль кожна крива охоплює практично однаковий і достатньо широкий частотний діапазон випромінювання. Використання фотоприймальних пристроїв з кількома переходами, що мають максимум при різних довжинах хвиль, забезпечує розширення частотного діапазону максимальної чутливості, залишаючи достатньо широке поле впливу випромінювання з іншими частотами, але з меншою відносною чутливістю. Арсенідгалієві світло діоди АЛ-107А, АЛ-107Б призначені для роботи в якості джерела інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda_{max} = 0,95 \text{ мкм}$ [19].

Параметри світло діода АЛ-107Б: потужність випромінювання -10мВт; постійна пряма напруга при $I_{np} = 100 \text{ мА}$, $T = 25^{\circ} \text{C}$ - 2В; граничний постійний або імпульсний прямий струм - 100мА; довжина хвилі $\lambda_{max} = 0,95 \text{ мкм}$; апертура випромінювання - 40° ; зовнішній діаметр – 2,4мм. Параметри фотодіода ФД-256: діаметр фоточутливого елемента – 1,37мм; діапазон чутливості $\Delta\lambda = 0,4 \div 1,1 \text{ мкм}$; $\lambda_{max} = 0,75 \div 0,9 \text{ мкм}$; $S_{innt} = 0,6 \text{ А/Вт}$ при $\lambda_{max} = 0,9 \text{ мкм}$; час реакції - $\tau \leq 2 \cdot 10^{-9} \text{ с}$. В розглянутій вище оптико-електронній скануючій рамці лінійки ОП побудовані на базі визначених світло- і фотодіодів. Практика експлуатації вказаного датчика підтвердила правильність отриманих висновків і вказала на шляхи по подальших досліджень.

Список літератури

1. Євген Солонина. Україна зібрала історичний максимум зерна: що стоїть за рекордом. 07.10.2022. URL: <https://bit.ly/3C90lsq>. (дата звернення: 09.09.2022)
2. Система контролю высева RECORD. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Херсон, ТОВ «ТРАК», 2016., 27с. URL: <http://seeding.com.ua>.
3. Система контроля высева MONADA. Документация, паспорта, инструкции, программное обеспечение. НПФ «МОНАДА. », г. Херсон, URL: <http://www.monada.ks.ua>.
4. Руденко В.П. Полтавская технология посева. Пособие для агрономов, инженеров с/х производства, конструкторов. Полтава: ООО «Копи-Центр», 2013. 54с.
5. Пархоменко Ю.М. Дослідження підходів до реалізації пристрою реєстрації та ідентифікації зернового потоку. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. 2007. Вип.37. С. 126–131.
6. Кондратець В.О., Ю.М. Пархоменко. Підвищення дозволяючої здатності пристрою ідентифікації потоку насіння в зернових сівалках. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. 2011. Вип. 117. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С. 47–49.

7. Белокур И.П. Дефектология и неразрушающий контроль. К.: Выща школа, 1990. 207с.
8. Чистяков С.Ф., Радун Д.В. Теплотехнические измерения и приборы. М.: Высшая школа, 1972. 392с.
9. Канарчук В.Е. Деркачев О.Б., Чигринец А.Д. Термометрическая диагностика машин. К.: Выща школа, 1985. 168с.
10. Бастив В., Бендит Г., Берветер П. Измерения в промышленности: Справ. изд. в 3-х кн.; пер. с нем. под ред.. Д.И. Агейкина. М.: Metallurgia, 1990. Т.3: Способы измерения и аппаратура. 1990. 344с.
11. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320с.
12. Сивухин Д.В. Общий курс физики. М; Физиздат, 2005. Т.IV. 836с.
13. Шрайбер Г. Инфракрасные лучи в электронике.: пер. с франц. К.О. Сомова. М.: ДМК Пресс, 2001. 240с.
14. Ермилова Н.В. Автоматическая очистка семян сахарной свеклы: дис. на соиск. уч. степени канд.. техн. наук: 05.13.07. Киев, 1993. 169с.
15. Логин В.В. Динамика работы фотоэлектрических датчиков контроля высева. М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1979. 73с. (Серия “Сельскохозяйственные машины и орудия”, Вып. 9).
16. Алексеева И.Н. Замятин В.В. В помощь радиолюбителю: сборник . М.: Патриот, 1991. 80с
17. Аксененко М.Д., Бараночников М.Л. Приёмники оптического излучения: Справочник. М.: Радио и связь, 1987. 296с.
18. Бараночников М.Л. Приёмники инфракрасного излучения. Состояние разработок и промышленного выпуска, перспективы развития и прогнозы. Аналитический обзор. М. URL: www.radioliga.com/Books/, 1985. 94 с.
19. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам. Под общей редакцией Н.Н. Горюнова. Изд. 4-е перер. и доп. М.: Энергия, 1977. 744с.

References

1. Yevhen Solonyna. Ukraina zibrala istorychnyj maksimum zerna: scho stoit' za rekordom [Ukraine collected a historic maximum of grain: what is behind the record]. (07.10.2021). *bit.ly*. Retrieved from: <https://bit.ly/3C90lsq> [in Ukrainian].
2. Sistema kontrolja vyseva RECORD. Tehnicheskoe opisanie i instrukcija po jekspluataciji [RECORD sowing control system. Technical description and instructions for use]. Herson. (2016). TOV «TRAK». *seeding.com.ua*. Retrieved from: <http://seeding.com.ua> [in Russian].
3. Sistema kontrolja vyseva MONADA.. Dokumentacija, pasporta, instrukcii, programmnoe obespechenie [The MONADA sowing control system. Documentation, passports, instructions, software]. NPF «MONADA. », g. Herson, *monada.ks.ua*. Retrieved from: <http://www.monada.ks.ua>[in Russian].
4. Rudenko. V.P. (2013). Poltavskaja tehnologija poseva. Posobie dlja agronomov, inzhenerov s/h proizvodstva, konstruktorov [Poltava sowing technology. Manual for agronomists, engineers of agricultural production, designers]. Poltava: ООО «Копи-Сентр» [in Ukrainian].
5. Parkhomenko, Yu.M. (2007). Doslidzhennia pidkhodiv do realizatsii prystroiu reiestratsii ta identyfikatsii zernovoho potoku [Study of approaches to the implementation of the grain flow registration and identification device]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil'skohospodars'kykh mashyn: zahal'nodierzh. mizhvidomch. nauk. – tekhn. zbirnyk – Design, manufacture and operation of agricultural machiner. Issue.37*. 126–131 [in Ukrainian].
6. Kondratets', V.O. & Parkhomenko, Yu.M. (2011). Pidvyschennia dozvoliaiuchoi zdatnosti prystroiu identyfikatsii potoku nasinnia v zernovykh sivalkakh [Increasing the resolution of the seed flow identification device in grain drills]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva im. Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky. — Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasilenko. Technical sciences, Vol.117*, “Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy”. 47–49 [in Ukrainian].
7. Belokur, I.P. (1990). *Defektologija i nerazrushajushij kontrol'* [Defectology and non-destructive testing]. Kyiv: Vyshha shkol [in Ukrainian].
8. Chistjakov, S.F. & Radun, D.V. (1972). *Teplotekhnicheskie izmerenija i pribory* [Thermotechnical measurements and devices]. Moscow: Vysshaja shkola [in Russian].
9. Kanarchuk, V.E. Derkachev, O.B. & Chigrinec, A. D (1985). *Termometricheskaja diagnostika mashin* [Thermometric diagnostics of machines]. Kyiv: Vyshha shkola
10. Bastiv, V., Bendit, G. & Berveter, P. (1990). *Izmerenija v promyshlennosti: Sprav. izd. v 3-h kn.; per. s nem. pod red.. D.I. Agejkina. M.: Metallurgija, 1990. Vol. 3: Spособy izmerenija i apparatura. 344.*

11. Chistjakov, V.S. (1990). *Kratkij spravochnik po teplotehničeskim izmerenijam [Quick Reference for Thermal Measurements]*. Moskow: Jenergoatomizdat [in Russian].
12. Sivuhin, D.V. (2005). *Obshhij kurs fiziki [General physics course]*. Moskow: Fizizdat Vol. 836, 836 [in Russian].
13. Shrajber, G. (2001). *Infrakrasnye luchi v jelektronike [Infrared rays in electronics]*. (K.O. Somova Trans.). Moskow: DMK Press [in Russian].
14. Ermilova, N.V. (1993). Avtomatičeskaja očištka semjan saharnoj svekly [Automatic cleaning of sugar beet seeds]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kiev 169s. [in Russian].
15. Login, V.V. (1979). *Dinamika raboty fotojelektričeskikh datchikov kontrolja vyseva [Dynamics of operation of photoelectric sensors for seeding control]*. Moskow: CNITJeItraktoroseI'hoz mash [in Russian].
16. Alekseeva, I.N. & Zamjatin, V.V. (1991). *V pomoshh' radioljubitelju [Help for a radio amateur]*. Moskow: Patriot [in Russian].
17. Aksenenko, M.D. & Baranočnikov M.L. (1987). *Prijomniki optičeskogo izlučeni ja [Optical radiation receivers]*. Moskow: Radio i svjaz' . [in Russian].
18. Baranočnikov, M.L. (1985). Prijomniki infrakrasnogo izlučeni ja. Sostojanie razrabotok i promyšlennogo vypuska, perspektivy razvitija i prognozy. Analitičeskij obzor [Infrared receivers. The state of development and industrial output, development prospects and forecasts. Analytical review]. Moskow . Retrieved from www.radioliga.com/Books [in Russian].
19. Gorjunova, N.N. (Eds.) (1977). *Handbook of semiconductor diodes, transistors and integrated circuits* . (4d ed.) . Moskow: Jenergija [in Russian].

Vasyl Kondratets, Prof., DSc., **Yuriy Parkhomenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mihailo Parkhomenko**, Assoc. Prof., **Andriy Boki y**, postgraduate

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

The Theoretical Justification of Radiation-type Transformers in the Identification of the Grain Flow

The article is devoted to the theoretical substantiation of the type of beam converters in the identification of grain flow in planters. The working conditions of beam transducers in the process of sowing grain crops, types and characteristics of such transducers are considered. It is shown that the best characteristics are possessed by optocouples created on the basis of independent sources and receivers of infrared radiation in the form of silicon diodes operating in the range of 0.75...1.1 μm .

This publication is aimed at the implementation of means of control during the sowing of grain crops, its topic is relevant. It is directed to the implementation of the program "Technical means of the new generation for agricultural production", included in the list of State targeted scientific and scientific and technical programs, defined by the law of Ukraine "On priority areas of development of science and technology".

The publication examines the theoretical justification of the type of beam transducers in devices for identifying the grain flow formed by seeding devices of seed drills, in order to increase their resolution and quality of registration of discrete objects in the flow.

As a result of the analysis of the conditions for identifying the grain flow when sowing grain crops, we come to the conclusion that it is advisable to use optocouplers from separate elements "radiation source"- "radiation receiver" of the infrared spectrum that work in the range of as beam converters. Based on the fact that the registration device includes dozens of discrete optocouplers, silicon light and photodiodes should be used as IR emitters and receivers, as they are the cheapest, simpler in circuit connection than photo transistors and sufficient to obtain the necessary resolution when registering and recognizing the flow of grains.

ray converters, optocoupler, grain stream identification, infrared radiation

Одержано (Received) 19.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 25.10.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

ЗМІСТ

АГРОІНЖЕНЕРІЯ

А.С. Лімонт, З.А. Лімонт

Маса коріння рослин і прогнозування продуктивності льону-довгунця та якості волокна 3

Д.Ю. Артеменко, В.А. Онопа

Дослідження і обґрунтування конструкції пружинного загортача просапної сівалки 12

А.С. Лімонт, З.А. Лімонт

Маса і габаритні розміри кузовних машин для внесення твердих органічних добрив 25

В.А. Онопа, Д.Ю. Артеменко

Результати експериментальних досліджень пневматичного збирання шкідників сільськогосподарських культур 32

В.А. Дейкун, Д.Г. Жук

Огляд способів внесення та ефективності застосування мінеральних добрив 41

Р.Б. Кудриницький, В.І. Днесь, С.О. Крупич

Методичний підхід до обґрунтування експлуатаційних показників машинно-тракторного агрегату за енергоощадних технологій 48

Б. І. Котов, С. П. Степаненко, Р. А. Калініченко

Теоретичне дослідження поділу насінневого матеріалу за густиною зернівок конічною вібропневмоцентрифугою 55

Р.В. Кісільов, П.Г. Лузан, Д.В. Богатирьов, О.В. Нестеренко

Дослідження процесу сумішоутворення лопатевим змішувачем для ВРХ 66

*О.М. Васильковський, С.М. Леценко, Д.І.Петренко, С.М.Мороз,**О.В. Нестеренко*

Попередні дослідження пасивного струнного решета 73

К.В. Васильковська, М.М.Ковальов, О.О. Андрієнко, Г.І. Корнічева

Технічне забезпечення гідропоніки, як прогресивного виду вирощування овочевих культур 81

Е. Б. Алієв, П. Є. Безверхній

Чисельне моделювання сповільнювача насіння пневматичної сівалки точного висіву 86

В.В. Амосов, М.О. Свірень, О.М. Васильковський

Підвищення надійності причіпного пристрою бункера-накопичувача перевантажувального 98

<i>С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.М. Васильковський, Д.І. Петренко</i> Визначення параметрів та ефективність роботи додаткових робочих органів глибокорозпушувачів.....	108
---	-----

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Ю.В. Кулешков, М.І. Черновол, М.В. Красота, Т.В. Руденко, Р.А. Осін</i> Підвищення довговічності шестеренного насоса гідросистеми автотракторної техніки шляхом зниження зносів деталей, що утворюють радіальний зазор	118
---	-----

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

<i>В. М. Боков, О. Ф. Сіса, В. Я. Мірзак, В.В. Свяцький, В.М. Шмельов</i> Фізичні особливості процесу багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки.....	135
---	-----

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<i>І.В. Шепеленко, А.М. Кириченко, С.О. Магопець, М.В. Красота, І.Ф. Василенко</i> Зміна шорсткості поверхні при нанесенні антифрикційних покриттів	156
--	-----

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Н.О. Матлах, Д.В. Трушаков, О.А. Козловський, М.О. Федотова</i> Створення багатосекційного фільтру очищення води з автоматизованим контролем забруднення мембран	166
<i>В.О. Кондратець, Ю.М. Пархоменко, М.Д. Пархоменко, А.Р. Бокій</i> Теоретичне обґрунтування типу променевих перетворювачів при ідентифікації зернового потоку	177

CONTENT

AGROENGINEERING

<i>Anatoliy Limont, Zlata Limont</i> Plant Root Mass and Prediction of Long Flax Productivity and Fiber Quality	3
<i>Dmytro Artemenko, Volodymyr Onopa</i> Research and Substantiation of the Design Spring Wrapper of the Precision Seed Drill.....	12
<i>Anatoliy Limont, Zlata Limont</i> The Mass and Clearance Dimensions of Body Machines for Applying Solid Organic Fertilizers.....	25
<i>Volodymyr Onopa, Dmytro Artemenko</i> Results of Experimental Studies Pneumatic Harvesting of Pests Agricultural Crops	32
<i>Viktor Deikun, Dmytro Zhuk, Yurii Machok</i> Overview of Application Methods and Application Efficiency Mineral Fertilizers.....	41
<i>Rostyslav Kudrynetskyi, Viktor Dnes, Stepan Krupych</i> A methodical Approach to Substantiating the Performance Indicators of the Machine-Tractor Unit Using Energy-saving Technologies	48
<i>Borys Kotov, Serhiy Stepanenko, Roman Kalinichenko</i> Theoretical Study of the Separation of Seed Material According to the Density of Grains by a Conical Vibro-pneumocentrifuge	55
<i>Ruslan Kisilyov, Dmytro Bohatyrov, Olexsander Nesterenko</i> Study of the Mixing Process With a Paddle Mixer for Cattle.....	66
<i>Oleksii Vasylovskyi, Serhii Leshchenko, Dmytro Petrenko, Serhii Moroz, Olexsandr Nesterenko</i> Preliminary Studies of Passive String Sieve	73
<i>Kateryna Vasylovska, Mykola Kovalov, Olha Andriienko, Halina Kornicheva</i> Technical Support of Hydroponics as a Progressive Type of Growing Vegetable Crops	81
<i>Elchyn Aliiev, Petro Bezverkhniy</i> Numerical Simulation of a Pneumatic Precision Seed Drill	86
<i>Volodymyr Amosov, Mykola Sviren, Oleksii Vasylovskyi</i> Increasing the Reliability of the Trailer of the Loader-Accumulator of the Transshipment.....	98
<i>Serhii Leshchenko, Vasyly Salo, Olexiy Vasylovskyi, Dmytro Petrenko</i>	

Determination of Parameters and Efficiency of Additional Operating Parts of Deep Tillers.....	108
--	-----

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING

*Yuriy Kuleshkov, Mykhailo Chernovol, Mykhailo Krasota, Timofey Rudenko,
Ruslan Osin*

Increasing gear Pump Hydraulic Systems of Car and Tractor Machinery Durability by Decreasing Details Attrition, Which Create Radial Clearance.....	134
---	-----

APPLIED MECHANICS

*VictorBokov, Oleh Sisa, Volodymyr Mirzak, Volodymyr Sviatskyi,
Vitaliy Shmelyov*

Physical Features of The Process of Multi-operation Extraction of Cylindrical Parts From a Metal Mesh	135
--	-----

MATERIALS SCIENCE

*Ihor Shepelenko, Andrii Kyrychenko, Sergii Mahopets, Michael Krasota,
Ivan Vasylenko*

Change in Surface Roughness When Applying Anti-friction Coatings.....	156
---	-----

AUTOMATION AND COMPUTER INTEGRATED TECHNOLOGIES

Nikita Matlakh, Dmytro Trushakov, Oleksandr Kozlovskyi, Marianna Fedotova

Creation of a Multi-section Water Purification Filter With Automated Control of Membrane Pollution.....	166
--	-----

Vasyl Kondratets, uriy Parkhomenko, Mihailo Parkhomenko, Andriy Boki

The Theoretical Justification of Radiation-type Transformers in the Identification of the Grain Flow	177
---	-----