

mixture flow trajectory along the designed helical plate of the vibro-friction separator feeder, the dependence of the total overlap area S_f of the component distribution across the width of the helical plate on the fractional content of the components in the mixture χ_n , χ_a , χ_b , and the feeding speed Q was determined. The evaluation criterion was that the total overlap area S_f should be minimal, and the feeding speed Q should be maximal. Solving the mathematically defined condition using the function ranking method and combining it into a single criterion allowed obtaining the optimal seed mixture feeding speed of $Q = 103$ units per second.

feed, pressing, compression, numerical modeling, laboratory research, mixing, pressure, parameters, physical and mechanical properties, efficiency

Одержано (Received) 16.10.2024

Прорецензовано (Reviewed) 25.11.2024

Прийнято до друку (Approved) 02.12.2024

УДК 631.362.32

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.93-105>

П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук, **А.Є. Грінчук**, аспі., **Р.В. Кісільов**, доц., канд. техн. наук, **О.Р. Лузан**, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: luzanpg@gmail.com

Теоретичне обґрунтування параметрів пруткового самоочисного решета

У статті наведено теоретичне обґрунтування параметрів пруткового самоочисного решета, яке використовується для очищення зернових мас. Розглянуто основні конструктивні особливості решета, його принцип роботи та механізм самоочищення. Розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити оптимальні параметри конструкції залежно від властивостей зернового матеріалу, режимів роботи та вимог до якості очищення. Проведено аналіз впливу питомого навантаження, швидкості руху, діаметру прутків на повноту виділення компонентів зернової суміші різних розмірів та мінімізацію забивання решета. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення конструкції зерноочисного обладнання, підвищення його продуктивності та зниження енерговитрат.

пруткове решето, зернова маса, сепарація, зерноочисне обладнання, самоочисне решето, решітний сепаратор, сепарування зерна

Постановка проблеми. У 2021 році Україна досягла історичних рекордів у сільському господарстві, зібравши понад 106 млн тонн зернових, зернобобових та олійних культур, що значно перевищило попередні прогнози. Це досягнення стало абсолютним максимумом за весь період незалежності України, зокрема, було отримано понад 84 млн тонн зернових та зернобобових, а також 22,6 млн тонн олійних культур. Серед зернових культур найбільше зібрано пшениці – 32,4 млн тонн, кукурудзи – 40 млн тонн і ячменю – 10 млн тонн. Крім того, урожай гречки склав 110 тис. тонн, проса – 191 тис. тонн, гороху – 581,5 тис. тонн. У сегменті олійних культур найбільші показники були у соняшника – 16,3 млн тонн, сої – 3,4 млн тонн, а ріпаку – 2,9 млн тонн [1–3].

Однак 2022 рік став для України одним із найскладніших в аграрній галузі. Урожай зернових скоротився до трохи більше ніж 50 млн тонн, що стало найнижчим рівнем за останні п'ять років. Головними причинами цього стали широкомасштабна війна, яка обмежила доступ до значної частини посівних та збиральних площ, порушила логістичні ланцюги і створила дефіцит ресурсів для агровиробників. До цього додалися несприятливі погодні умови – дощове літо й осінь, які ускладнили процеси збору врожаю, а також недоліки в забезпеченні добривами та недостатня кількість елеваторів для якісного зберігання зерна [4].

Незважаючи на виклики, Україна продовжує працювати над відновленням аграрного сектору. За прогнозами Міністерства аграрної політики та продовольства, у 2024 році очікується покращення ситуації: прогнозується збір близько 74 млн тонн нового врожаю. У глобальному масштабі також очікується рекордний рівень виробництва зернових – 2854 млн тонн, що свідчить про стабільне зростання світового аграрного ринку. Україна залишається важливим гравцем у забезпеченні продовольчої безпеки на світовій арені, попри всі труднощі та виклики [5–7].

Дослідження показують, що навіть за найбільш несприятливих природно-кліматичних умов Україна здатна забезпечити врожай зернових у межах 50–100 млн тонн на рік. На глобальному рівні ці показники сягають близько 3000 млн тонн, що свідчить про значний потенціал аграрного сектору. Однак, такі обсяги врожаю ставлять перед сільськогосподарськими виробниками серйозні виклики, пов'язані з організацією зберігання та переробки зернових. Одним із ключових завдань є оперативне очищення зерна від смітних домішок, які можуть значно знижувати якість і спричиняти втрати під час навіть короткотермінового зберігання. Наявність домішок також негативно впливає на технологічні процеси подальшої переробки, що робить очищення невід'ємною складовою обробки врожаю.

З урахуванням широкого спектра сільськогосподарських культур, які вирощуються в різних регіонах України, науковці спільно з фахівцями машинобудівної галузі розробили десятки типів зерноочисних машин. Ці машини здатні ефективно очищати врожай і готувати його до тривалого зберігання або транспортування. Розробки базуються на використанні сучасних технологій і враховують специфіку різних культур, що дозволяє забезпечити високу якість обробки зерна [8–10].

Проте, сучасні виклики, пов'язані зі стрімким зростанням вартості енергетичних ресурсів, накладають додаткове фінансове навантаження на аграріїв. Енергозатрати зерноочисних машин є одним із чинників, що суттєво впливають на собівартість виробництва зерна. Таким чином, одним із пріоритетів у подальшій розробці сільськогосподарської техніки стає зниження рівня енергоспоживання машин без втрати їх продуктивності. Впровадження енергоефективного обладнання дозволить не лише зменшити витрати на виробництво, а й зробити аграрний сектор більш стійким до змін на ринку енергоресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для того, щоб досягти сталого розвитку виробництва сільськогосподарської продукції, важливо створювати принципово нову високопродуктивну техніку, яка б відповідала сучасним викликам та потребам. Така техніка має не лише забезпечувати зростання продуктивності праці, а й сприяти раціональному використанню ресурсів. Упровадження інноваційних технологій і технічних рішень є важливим кроком для забезпечення конкурентоспроможності галузі та зміцнення економічного потенціалу аграрного сектору. Особливу увагу слід робити на зниженні витрат матеріальних та енергетичних ресурсів, мінімізації впливу на навколишнє середовище та підвищенні ефективності виробничих процесів [9–10].

Аналіз свідчить, що найпоширенішим методом обробки зерна та продуктів його переробки є розділення, очищення і сортування за допомогою зерноочисних машин, обладнаних решетами різних типів і конструкцій. Широке застосування цього способу зумовлене різноманіттям форм, розмірів і фізико-механічних властивостей насіння сільськогосподарських культур [11].

У роботі [12] проведено аналіз конструкцій зерноочисних машин із коливальним рухом решітних станів. Автори зазначають, що, попри широке використання щіток для очищення решіт, вони мають суттєві недоліки, що підкреслює необхідність вдосконалення очисних пристроїв. Запропоновано для очищення решет використовувати скребкові та планчасті транспортери, і очищення вже виконувати в процесі транспортування, при цьому авторами відмічається вища ефективність та продуктивність роботи решета.

В роботах [13–17] авторами рекомендується для забезпечення якісного очищення в зерноочисних машинах використовувати вібрацію, що підвищує ефективність і дещо знижує енергетичні витрати.

Цікавою є ідея застосування решет з щілинами непостійного розміру [18, 19], однак вони, хоч і показали кращі результати роботи, але широкого впровадження у виробництво вони не отримали.

Постановка завдання. Метою роботи є зменшення витрат енергії на роботу машин для очищення зерна шляхом обґрунтування параметрів плоского самоочисного пруткового решета.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз конструкцій зерноочисних машин та основних типів решіт для очищення зернових культур, які в них застосовуються;
- обґрунтувати та запропонувати перспективну конструкцію решета для зерноочисних машин;
- розробити математичну модель процесу роботи запропонованого решета для визначення основних його параметрів.

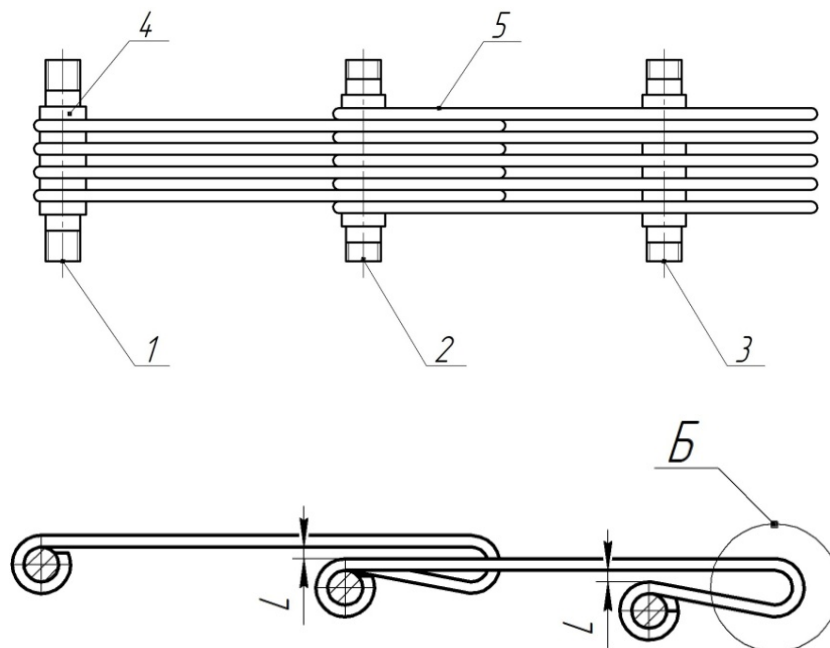
Виклад основного матеріалу. Проведений аналіз роботи сучасних конструкцій зерноочисних машин та решіт, які в них використовуються, показав, що велика кількість енергії витрачається на їх очищення від часток зерна, які застрягають в щілинах решета.

Для зниження енергетичних витрат під час обробки зернових матеріалів запропоновано використання пруткового самоочисного решета [20]. Основною особливістю цього решета є його конструкція, що забезпечує ефективне розділення частинок матеріалу з одночасним самоочищенням робочої поверхні. Решето виконано у вигляді набору поздовжніх стержнів, що утворюють кілька каскадів. Між цими каскадами створюються щілини, які розширюються у напрямку руху оброблюваного матеріалу. Розширення забезпечується спеціальним вигином стержнів у кінцевій частині, що створює розхил, необхідний для зміни ширини щілин (рис. 1).

Конструкція решета складається з кількох каскадів, кожен з яких формується поздовжніми прутками 5. Ці прутки мають вигин у кінцевій частині (ділянка **Б**) та скріплені між собою осями 1, 2, 3, з калібруючими шайбами 4. Завдяки наявності вигину, стержні можуть переміщуватися один відносно одного, що дозволяє змінювати ширину щілин у межах допустимого діапазону. При цьому максимальне розширення щілин **L** обмежується осями, що забезпечує стабільність роботи решета та запобігає перевищенню заданих параметрів.

Принцип роботи решета полягає у наступному. Матеріал, що підлягає розділенню, потрапляє на верхній каскад решета. Частинки зерна, розміри яких менші

за ширину щілин, проходять крізь них і потрапляють на наступні каскади, частинки, що не змогли пройти через жоден із каскадів, сходять з решета.



1, 2, 3 – осі; 4 – калібруючі шайби; 5 – стержні

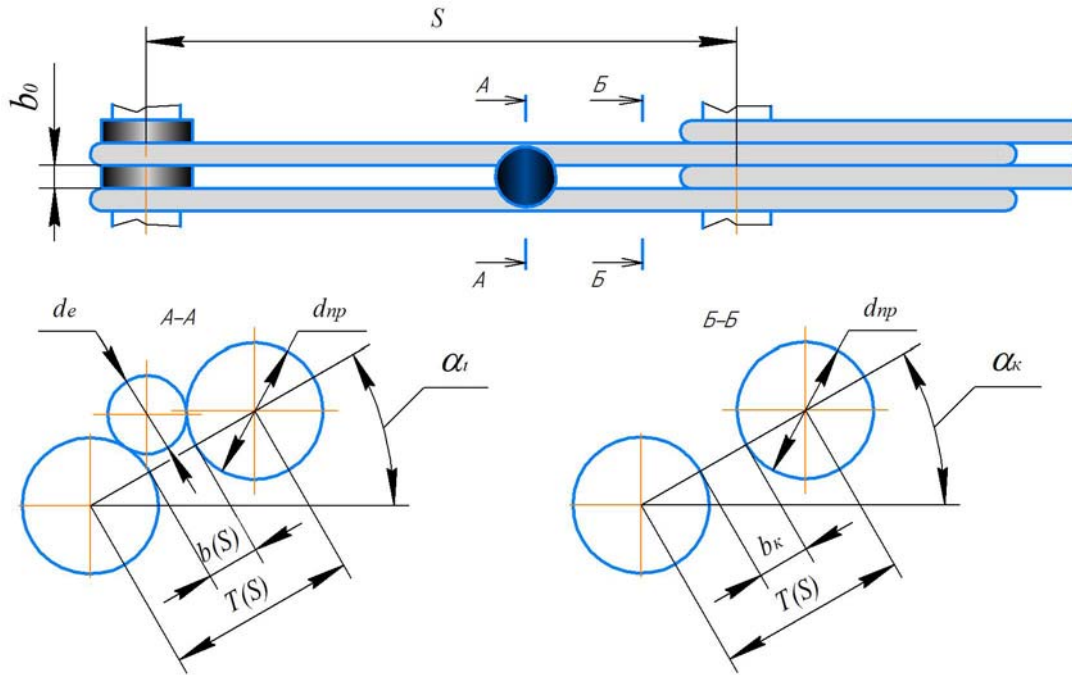
Рисунок 1 – Схема запропонованого решета

Джерело: розроблено авторами

Особливістю конструкції є здатність самоочищення. Під дією ваги оброблюваного матеріалу стержні, з яких складається решето, хаотично прогинаються у зоні згину **Б**. Це призводить до періодичного розширення щілин у напрямку руху матеріалу, що запобігає їх забиванню. Самоочищення забезпечує стабільну роботу решета протягом тривалого часу без необхідності ручного втручання або зупинки обладнання для очищення.

Таким чином, використання запропонованого пруткового самоочисного решета дозволяє не лише знизити енергетичні витрати, але й забезпечити високу ефективність процесу розділення матеріалу, зменшити витрати на обслуговування обладнання та підвищити його експлуатаційну надійність..

Для теоретичного обґрунтування конструктивних параметрів решета, його довжини – S , діаметра прутків – d_{np} , кроку їх розміщення – T розглянемо рух часток зерна кулеподібної форми по його поверхні між двома поряд розташованими прутками, (рис. 2). При цьому припустимо, що зернова маса складається з часток зерна однакового розміру d_e , і вони рухаються по поверхні решета з постійною швидкістю, без відривання і переміщення між сусідніми елементарними шарами, а в той час, коли частки із нижнього шару проходять крізь щілини, частки із верхніх шарів займають їх положення. Початкове положення розміщення центра маси будь-якої із часток зерна в довільній точці ширини решета $T(s)$ має однакову імовірність. Вважатимемо частки зерна такими, що пройшли крізь щілини, в тому випадку, коли вони своїм центром опускаються нижче середини площини прутків решета.



S – довжина решета; b_0, b_k – початкова й кінцева ширина щілини, відповідно; d_{np} – діаметр прутків;
 T – крок розміщення прутків; d_e – діаметр частки зерна кулеподібної форми

Рисунок 2 – Схема руху часток зерна по решету між двома поряд розташованими прутками
 Джерело: розроблено авторами

Розглянемо схеми положення зерна відносно прутків решета під час просіювання, (рис. 3). У випадку, коли центр тяжіння зернини розташований над прутком (рис. 3, а) проходження зерна крізь щілину не відбудеться. У випадку (рис. 3, б) зернина може пройти крізь щілину решета, але зернина нижнього шару ще не пройшла крізь неї. Коли розмір зерна більше розміру щілини, очевидно, що вона не зможе пройти (рис. 3, в). Враховуючи ці зауваження, проходження часток зерна крізь щілини решета можливе у випадку, коли центр їх маси буде знаходитися над щілиною решета, вона здатна пройти через щілину й щілина решета вільна від часток із нижніх шарів, які повинні пройти крізь неї.

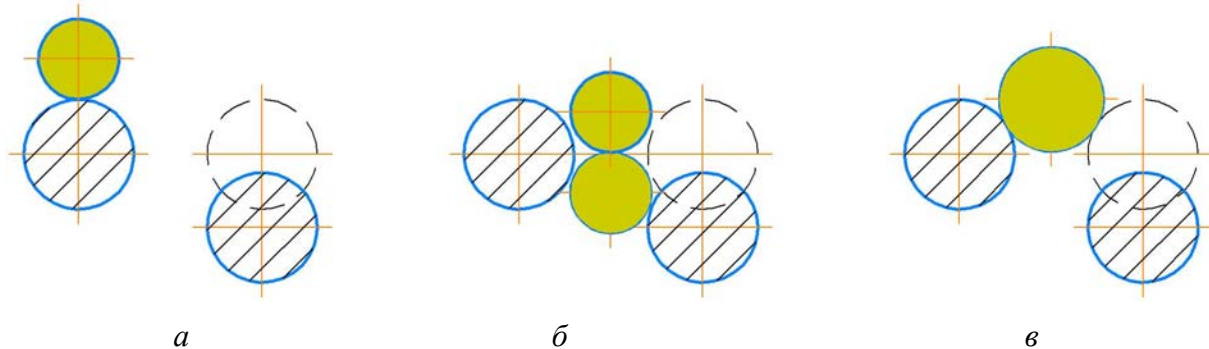


Рисунок 3 – Схеми положення часток зерна відносно прутків решета під час просіювання
 Джерело: розроблено авторами

На ймовірність того, що центр маси частки зерна виявиться над щілиною решета, будуть впливати її геометричні параметри

$$P_1^i = \frac{b(s)_i}{T(s)_i}, \quad (1)$$

де $b(s)_i$ – ширина щілини решета для будь-якого i -го шару часток зерна, на деякій довжині решета S , (рис. 4).

$$b(s)_i = b_0 + \frac{2(b_k - b_0)S_i}{V_3}, \quad (2)$$

де $T(s)$ – відстань між поряд розташованими прутками, $T(s) = b(s) + d_{np}$;

V_3 – швидкість руху зерна по поверхні решета.

Ймовірність того, що частка зерна може пройти крізь щілину решета, буде залежати від співвідношення діаметра частки зерна d_e й ширини щілини решета $b(s)_i$.

$$P_2^i = \frac{b(s)_i - \frac{2}{\pi} d_e}{b(s)_i}. \quad (3)$$

Ймовірність того, що щілина решета вільна від часток із нижніх шарів, які повинні пройти крізь неї, визначається добутком ймовірності виділення через решето часток зерна нижніх шарів

$$P_3^i = \prod_{a=1}^{i-1} P_2^a. \quad (4)$$

Загальна ймовірність просіювання часток діаметром d_e із i -го елементарного шару буде рівна добутку ймовірностей всіх випадків

$$P^i = P_1^i P_2^i P_3^i. \quad (5)$$

З урахуванням попередніх зауважень для i -го елементарного шару, коли ($i > 1$), отримаємо

$$P^i = \frac{1}{T} \left(b(s)_i - \frac{2d_e}{\pi} \right) \prod_{a=1}^{i-1} \left(\frac{b(s)_a - \frac{2d_e}{\pi}}{b(s)_a} \right). \quad (6)$$

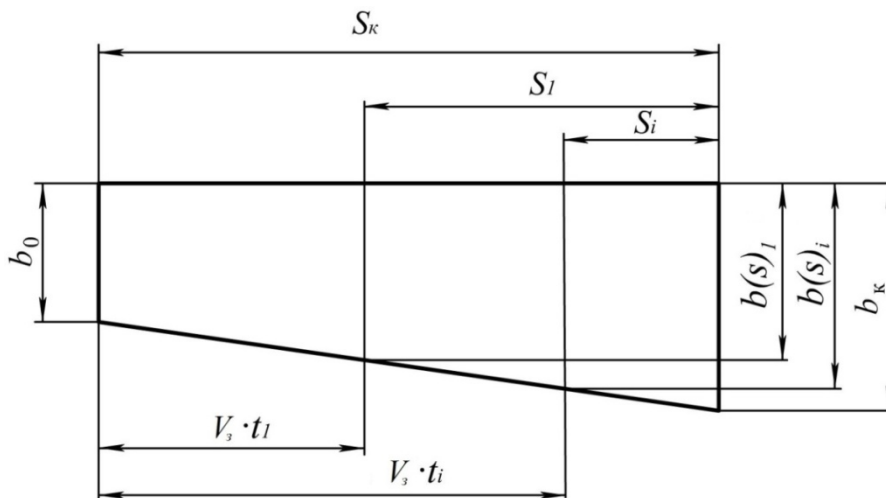


Рисунок 4 – Схема до визначення ширини клиноподібної щілини

Джерело: розроблено авторами

З аналізу (6) випливає, що ймовірність виділення часток зерна з будь-якого i -го шару можна звести до визначення оптимальної ширини щілини для кожного окремого елементарного шару. Це означає, що процес виділення часток залежить від фізичних параметрів решета та характеристик зернового матеріалу, який утворює шар.

Зокрема, виділення часток із першого елементарного шару через щілину решета завершується після певного проміжку часу t , який починає відраховуватися з моменту, коли складаються умови для початку виділення. Під умовами виділення мається на увазі досягнення частками певного положення та взаємодії, яке забезпечує їх проходження через щілини решета.

Для визначення часу t було зроблено припущення, що частки, для яких склалися умови виділення, рухаються крізь щілину решета під дією сили тяжіння. Зважаючи на це, час t буде залежати від кількох ключових факторів: висоти шару зерна над щілиною, яка визначає початкове положення часток, розмірів щілини, які впливають на швидкість імовірності проходження часток, властивостей часток зерна, таких як розмір, форма, щільність, а також коефіцієнт тертя між частками та поверхнею решета. Враховуючи наведене вище, отримаємо

$$t = \sqrt{\frac{2d_e}{g \sin(\Theta + \Theta_0)}}. \quad (7)$$

Так само визначимо час t_i для будь-якого i -го шару часток зерна

$$t_i = \sqrt{\frac{2id_e}{g \sin(\Theta + \Theta_0)}}. \quad (8)$$

Із першого шару часток зерна виділяться тільки ті частки, для яких склалися умови виділення на довжині щілини $S_1 \leq (S_k - V_3 \cdot t_1)$

$$b(s)_1 = b_0 + \frac{2(b_k - b_0)V_3 t_1}{\pi}, \quad (9)$$

а для часток будь якого i -го шару, розташованого вище

$$b(s)_i = b_0 + \frac{2(b_k - b_0)V_3 t_i}{\pi}. \quad (10)$$

Записуючи рівняння (8) з урахуванням (10), отримаємо

$$b(s)_i = b_0 + \frac{2(b_k - b_0) \sqrt{\frac{2id_e}{g \sin(\Theta + \Theta_0)}}}{\pi}. \quad (11)$$

Отримані формули дійсні для однокомпонентних сумішей, що складаються з часток однакового діаметра d_e , що дозволяє спростити математичні розрахунки та зробити їх більш зручними для використання в теоретичних моделях. У реальних умовах розміри часток можуть варіюватися, тому для врахування розмірної характеристики зерна доцільно ввести коефіцієнт приведення.

Ступінь розділення оброблюваного матеріалу

$$\varepsilon = 1 - e^{-\mu S}, \quad (12)$$

де μ – коефіцієнт сепарації;

S – довжина решета, необхідна для досягнення необхідної ступені розділення зернового матеріалу ε .

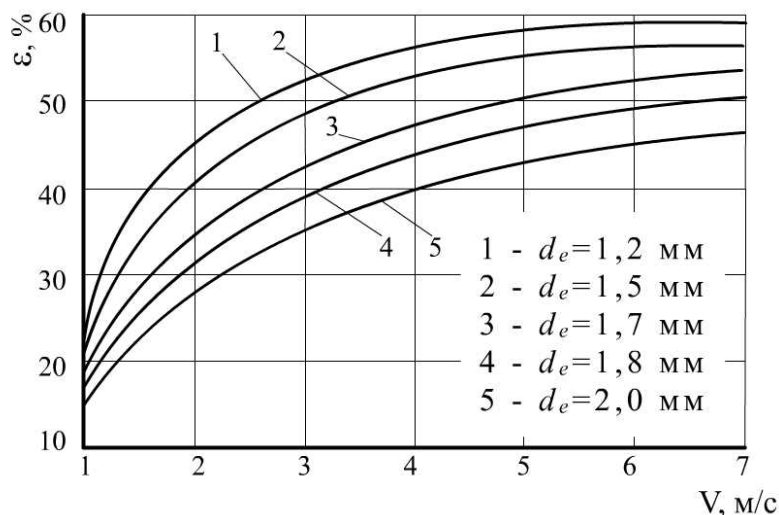
$$\mu = \frac{P^i}{V_s \cdot t_i} \quad (13)$$

Із формули (12) довжина решета

$$S = \frac{1}{\mu} \ln\left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right) \quad (14)$$

Запропоновані рівняння, сформульовані на основі прийнятих припущень, можуть бути використані як наближена математична модель для опису процесу сепарації зерна на самоочисних пруткових решетах з щілинами непостійного розміру. Ця модель дає змогу аналізувати процес сепарації та вплив різних факторів на ефективність виділення зернових часток.

Залежності, що відображають вплив швидкості руху часток на ефективність виділення різних проходових компонентів через щілини решета (рис. 5), були отримані за таких умов: $q_e = 6,4$ т/м·год, $\gamma = 700$ кг/м³, $b_0 = 5,0$ мм, $b_k = 6,0$ мм. Розміри часток варіювались від 4,0 до 6,0 мм (з кроком 0,5 мм), при цьому масова частка кожного компонента становила 20% від загальної маси матеріалу.



$$f = 0,35; b_0 = 5,0 \text{ мм}; b_k = 6,5 \text{ мм}; d_{np} = 4,0 \text{ мм};$$

$$1 - d_e = 4,0 \text{ мм}; 2 - d_e = 4,5 \text{ мм}; 3 - d_e = 5,0 \text{ мм}; 4 - d_e = 5,5 \text{ мм}; 5 - d_e = 6,0 \text{ мм}.$$

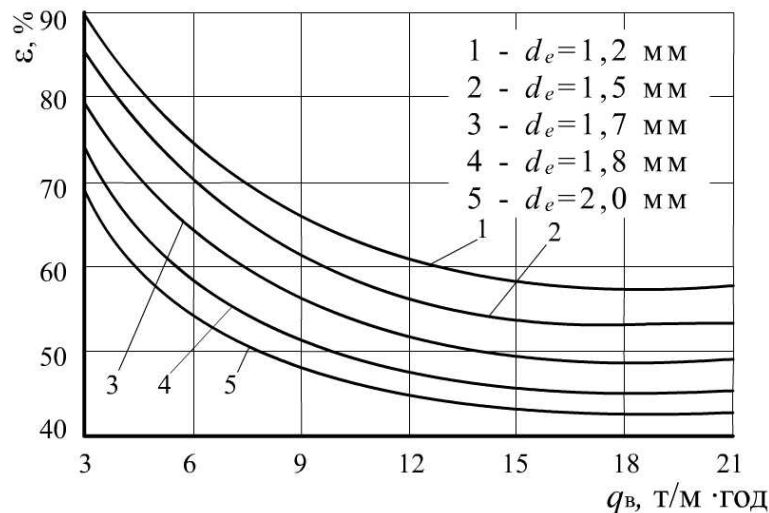
Рисунок 5 – Повнота виділення часток зерна при збільшенні швидкості

Джерело: розроблено авторами

Дослідження показали, що зі зміною швидкості руху матеріалу через решето повнота відокремлення часток зерна різних розмірів змінюється нерівномірно (рис. 6). При початковому підвищенні швидкості руху зернової маси, ефективність виділення часток зерна зростає завдяки зменшенню висоти шару зерна, що сприяє швидшому досягненню частками клиноподібної щілини. Це пояснюється скороченням часу перебування часток у верхніх шарах матеріалу, що пришвидшує їх рух до поверхні решета. Однак подальше підвищення швидкості призводить до зменшення

ефективності, оскільки частки не встигають пройти крізь щілини через зменшення часу їх контакту з поверхнею решета.

Зниження ефективності виділення крупних домішок обумовлено зменшенням імовірності проходження крізь щілини решета під час процесу сепарації. Це можна пояснити тим, що деякі частинки, навіть перебуваючи в нижньому шарі зернового матеріалу, не встигають потрапити в щілину, залишаються в загальній масі і не виділяються, що негативно впливає на якість очищення зерна.



$$V_0 = 4 \text{ м/с}; d_{np} = 6,0 \text{ мм}; f = 0,35; b_0 = 5,0 \text{ мм}; b_k = 6,5 \text{ мм};$$

$$1 - d_e = 4,0 \text{ мм}; 2 - d_e = 4,5 \text{ мм}; 3 - d_e = 5,0 \text{ мм}; 4 - d_e = 5,5 \text{ мм}; 5 - d_e = 6,0 \text{ мм}$$

Рисунок 6 – Повнота виділення компонентів з різними розмірами у випадку збільшення питомого навантаження
Джерело: розроблено авторами

Тому, якщо в зерновій масі переважають дрібні домішки, необхідно забезпечити підвищені значення швидкості руху зернового потоку. Це дозволить дрібним часткам швидше досягати поверхні решета, що підвищить ефективність їх виділення. А якщо в масі збільшується частка крупних домішок, швидкість сепарації потрібно знижувати. У такому випадку крупні частки матимуть більше часу для взаємодії з поверхнею решета, що сприятиме їх ефективному виділенню. Оптимальний підхід до налаштування процесу сепарації повинен враховувати склад зернової маси й регулювання швидкості руху зернового потоку залежно від переважаючого розміру домішок.

Висновки:

1. Проведеним аналізом роботи сучасних зерноочисних машин, які використовуються для очищення і сортування зерна, встановлено, що решета, які в них використовуються, не в повній мірі відповідають вимогам до зменшення енергетичних витрат, тому нами була запропонована нова конструкція решета з щілинами, що розширюють в напрямку руху оброблюваного матеріалу, та запропонована математична модель для визначення основних його параметрів.

2. Запропонована математична модель для визначення необхідної довжини удосконаленого решета для забезпечення необхідної ефективності очищення.

3. Ефективність запропонованої конструкції решета забезпечується тим, що збільшенням ширини щілин в напрямку руху матеріалу, що обробляється,

забезпечується його самоочищення, чим зменшуються витрати на приведення в дію очисних пристроїв.

4. Результати проведених випробувань експериментального самоочисного пруткового решета підтвердили його високу ефективність і надійність при різноманітних робочих навантаженнях, що дозволяє рекомендувати його для застосування в зерноочисних машинах. Використання пруткового самоочисного решета підтвердило здатність зберігати стабільну продуктивність і високу якість сортування матеріалів навіть у складних умовах експлуатації. Враховуючи ці характеристики, було запропоновано нову технологічну схему зерноочисної машини, яка використовує це решето. Завдяки цій схемі вдалося досягти підвищення питомої продуктивності на 18–20% порівняно з аналогічними машинами, що значно збільшує ефективність зерноочисного процесу.

Серед основних переваг запропонованої конструкції:

– спрощення конструкції та зменшення металоємності зерноочисних та інших подібних машин, створених на основі цього решета. Це призводить до зниження вартості виробництва та спрощення обслуговування обладнання, що є важливим економічним фактором;

– можливість інтеграції решета в традиційні зерноочисні машини без необхідності значних змін в їх конструкції. Така універсальність дозволяє швидко адаптувати нову технологію для існуючих моделей машин, що забезпечує легкість впровадження нових розробок на ринку.

– підвищення якості процесу розділення матеріалів, що обробляються. Нове решето здатне забезпечити точніше сортування зерна, що, в свою чергу, підвищує якість готової продукції, зменшує втрати матеріалів та забезпечує кращу ефективність очищення.

Список літератури

1. Солонина Є. Україна зібрала історичний максимум зерна: що стоїть за рекордом? *Радіо свобода*: веб-сайт. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/ukrayina-vrozhay-zerno-tsiny-fermery-kytay/31497112.html> (дата звернення 07.10.2021).
2. Лещенко Р. Аграрії зібрали рекордний урожай зерна. *МінАП Аналітичний портал «Слово і діло»*: веб-сайт. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/09/03/novyna/-suspilstvo/ahrariyi-zibraly-rekordnyj-urozhaj-zerna-minap> (дата звернення 03.09.2021).
3. Лещенко Р. 106 млн. тонн: В Україні зібрано рекордний врожай зернових, зернобобових та олійних культур / Роман Лещенко. *Міністерство аграрної політики та продовольства України*: веб-сайт. URL: <https://minagro.gov.ua/ua/news/106-mln-tonn-v-ukrayini-zibrano-rekordnij-vrozhaj-zernovih-zernobobo-vih-ta-olijnih-kultur-roman-leshchenko> (дата звернення 11.02.2022).
4. Сирота М. Урожай-2022 зернових в Україні найменший за останні 5 років. *Головний сайт для агрономів*: веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/news/16602-urojay-2022-zernovih-v-ukrayini-naumenshiy-za-ostanni-5-rokiv> (дата звернення: 20.01.2023).
5. Соломчук Д. Жнива-2024: зібрано 72,9 млн тонн нового врожаю зернових та олійних. *Пропозиція*: веб-сайт. URL: <https://propozitsiya.com/ua/zhnyva-2024-zibrano-729-mln-tonn-novogo-vrozhayu-zernovyh-ta-oliynuh> (дата звернення 29.11.2024).
6. Лещенко Р. Урожай пшениці за 2024 та 2023 роки в Україні по всіх регіонах. *Superagronom*: веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/multimedia/infographics/92-urojay-pshenitsi-za-2024-ta-2023-roki-v-ukrayini-po-vsım-regionam> (дата звернення 25.09.2024).
7. Кристофер Е. Світовий урожай зерна 2024 року сягне рекорду. *AgroPortal*: веб-сайт. URL: <https://agroportal.ua/news/mir/svitoviy-urozhaj-zerna-u-2024-roci-syagne-rekordu> (дата звернення 09.07.2024).
8. Сало В., Лузан П., Богатирьов Д. Технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання: монографія. Кіровоград : СПД ФО Лисенко В.Ф., 2014. 148 с.

9. Основи сталого розвитку аграрного сектора: Досвід та знання Франції, Чеської республіки, України / За заг. ред. Я. Сансебе, Т.М. Димань. Біла Церква : ТОВ «Офсет», 2006. 304 с.
10. Думич В., Ролько Т. Сучасні зерноочисні машини. *Пропозиція*: веб-сайт. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/8931-suchasni-zernoochysni-mashyny.html> (дата звернення 20.10.2017).
11. Тіщенко Л., Харченко С., Василенко О. Нові можливості сепарації та калібрування зерна. *Пропозиція*: веб-сайт. URL: <https://propozitsiya.com/ua/novi-mozhливosti-separaciyi-ta-kalibruvannya-zerna> (дата звернення 09.11.2015).
12. Задорожній О., Мороз С.М., Васильковський О.М. Аналіз конструкцій очисних пристроїв гравітаційних решіт з коливальним рухом решітного стану зерноочисних машин загального призначення. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2023. Вип. 53. С. 237–246. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.237-246>.
13. Котов Б.І., Деревенько І.А., Степаненко С.П. Теоретичні аспекти сепарації зернових матеріалів на ступінчатоколічному решітці вібровідцентрових машин. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2016. Вип. 3. С. 175–180.
14. Алієв Е.Б., Яропуд В.М. Техніко-технологічне забезпечення прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшника. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2019. Вип. 1 (92). С. 40–47.
15. Бредихін В.В. Теоретичні основи вібропневмодіцентрального розділення насіннєвих матеріалів за густиною насіння : монографія. Харків, 2017. 81 с.
16. Богомолов О.В., Брагінець М.В., Богомолов О.О. Питання розвитку зернопереробної галузі агропромислового комплексу України. *Інженерія переробних і харчових виробництв*. 2017. №2 (1). С. 8–11.
17. Тіщенко Л., Харченко С., Василенко О. Сепарація гороху та нуту. *The Ukrainian Farmer*: веб-сайт. URL: <https://agrotimes.ua/article/separaciya-gorohu-ta-nutu/> (дата звернення: 29.11.2022).
18. Сало В.М., Лузан П.Г., Богатирьов Д.В. Наукові основи сепарації зерна на решетах з клиноподібною формою отворів : монографія. Кіровоград : СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013. 148 с.
19. Лузан П.Г. Кісільов Р.В., Лузан О.Р. Обґрунтування параметрів решета з щілинами непостійного розміру. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2019. Вип. 49. С. 147–154. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.147-154>.
20. Решето: пат. 138274 У Україна: МПК В07В 13/07 / Лузан П.Г., Постернак В.П., Лузан О.Р., Лещик А.В. (Україна); заявник і патентовласник ЦНТУ. №u201904666; заявл. 02.05.2019; опубл. 25.11.2020, Бюл. №22. 3 с.

References

1. Solonina, E. (2021, October 7). Ukraine reaped a historic maximum of grain: what is behind the record? *Radio svoboda*. <https://www.radiosvoboda.org/a/ukrayina-vrozhay-zerno-tsiny-fermery-kytay/31497112.html> [in Ukrainian].
2. Leshchenko, R. (2021, September 3). Farmers harvested a record grain harvest. *MinAP Analitichnyi portal «Slovo i dilo»*. <https://www.slovoidilo.ua/2021/09/03/novyna/-suspilstvo/ahrariyi-zibraly-rekordnyj-urozhaj-zerna-inap> [in Ukrainian].
3. Leshchenko, R. (2022, February 11). Ukraine harvests record harvest of grains, legumes and oilseeds. *Ministerstvo ahrarnoi polityky ta prodovolstva Ukrainy*. <https://minagro.gov.ua/ua/news/106-mln-tonn-v-ukrayini-zibrano-rekordnij-vrozhaj-zernovih-zernobobo-vih-ta-olijnih-kultur-roman-leshchenko> [in Ukrainian].
4. Syrota, M. (2023, January 20). The 2022 grain harvest in Ukraine is the smallest in the last 5 years. *Holovnyi sait dlia ahronomiv*. <https://superagronom.com/news/16602-urojay-2022-zernovih-v-ukrayini-naymenshiy-za-ostanni-5-rokiv> [in Ukrainian].
5. Solomchuk, D. (2024, November 11). Harvest 2024: 72.9 million tons of new grain and oilseed crops harvested. *Propozytsiia*. <https://propozitsiya.com/ua/zhnyva-2024-zibrano-729-mln-tonn-novogo-vrozhayu-zernovyh-ta-oliynyh> [in Ukrainian].
6. Leshchenko, R. (2024, September 25). Wheat harvest for 2024 and 2023 in Ukraine by all regions. *Superagronom*. <https://superagronom.com/multimedia/infographics/92-urojay-pshenitsi-za-2024-ta-2023-roki-v-ukrayini-po-vsiam-regionam> [in Ukrainian].
7. Krystofer, E. (2024, July 09). World grain harvest to hit record in 2024. *AgroPortal*. <https://agroportal.ua/news/mir/svitoviy-urozhay-zerna-u-2024-roci-syagne-rekordu> [in Ukrainian].

8. Salo, V., Luzan, P., & Bohatyrov, D. (2014). *Technical support for grain preparation for storage*. Kirovograd: SPD FO Lysenko V.F. [in Ukrainian].
9. Sansebe, Ya, & Dyman, T.M. (2006). *Dreams of sustainable development of the agricultural sector: Experience and knowledge of France, the Czech Republic, Ukraine*. Bila Tserkva: TOV «Ofset» [in Ukrainian].
10. Dumych, V., & Rolko, T. (2017 October 20). Modern grain cleaning machines. *Propozytsiia - Holovnyi zhurnal z pytan ahrobiznesu*. <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/8931-suchasni-zernoochysni-mashyny.html> [in Ukrainian].
11. Tishchenko, L., Kharchenko, S., & Vasylenko, O. (2015 November 09). New possibilities for grain separation and calibration. *Propozytsiia - Holovnyi zhurnal z pytan ahrobiznesu*. <https://propozitsiya.com.ua/novi-mozhlyvosti-separaciyi-ta-kalibruvannya-zerna> [in Ukrainian].
12. Zadorozhnii, O., Moroz, S.M., & Vasylykovskiy, O.M. (2023). Analysis of Designs the Cleaning Devices of Gravity Sieves With Oscillating Movement of the Sievestate of General-Purpose Graincleaning Machine. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil'skohospodars'kykh mashyn: zahal'nodierzh.mizhvid.nauk.-tekhn. zb.*, 53, 237-246 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.237-246>.
13. Kotov, B.I., Derevenko, I.A., & Stepanenko, S.P. (2016). Theoretical aspects of separation of grain materials on a step-conical grid of vibrocentres machines. *Vibrations in technology and technologies: All-Ukrainian scientific and technical journal*, 3, 175–180. [in Ukrainian].
14. Aliiev, E.B., & Yaropud, V.M. (2019). [Technical and technological support for precision separation of sunflower seed material. *Vibratsii v tekhniiti ta tekhnolohiiakh. Vseukrainskyi naukovu-tekhnichnyi zhurnal*. 2019. 1, (92). 40–47 in Ukrainian].
15. Bredykhin, V.V. (2017). *Theoretical foundations of vibro-pneumatic centrifugal separation of seed materials by seed density*. Kharkiv [in Ukrainian].
16. Bohomolov, O.V., Brahinets, M.V., & Bohomolov, O.O. (2017). Issues of development of the grain processing industry of the agro-industrial complex of Ukraine. *Inzheneriia pererobnykh i kharchovykh vyrobnytstv*, 2 (1), 8–11 [in Ukrainian].
17. Tishchenko, L., Kharchenko, S., & Vasylenko, O. (2022, December 29). Separation of peas and chickpeas. *The Ukrainian Farmer*. <https://agrotimes.ua/article/separaciya-gorohu-ta-nutu/> [in Ukrainian].
18. Salo, V.M., Luzan, P.H., & Bohatyrov, D.V. (2013). *Scientific basis of grain separation on sieves with wedge-shaped holes*. Kirovograd: SPD FO Lysenko V.F. [in Ukrainian].
19. Luzan, P.H., Kisilov, R.V., & Luzan, O.R. (2019). Substantiation of Sieve Parameters with Slits of Unstable Size. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil'skohospodars'kykh mashyn: zahal'nodierzh.mizhvid.nauk.-tekhn. zb*, 49, 147–154. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.147-154>.
20. Pat. № 138274 U Ukraina, B07B 13.07. Resheto [Sieve]: / Luzan P.H., Posternak V.P., Luzan O.R., Leschuk A.V. (Ukraina); zaiavnyk i patentovlasnyk CNTU. №u201904666; zaiavl. 02.05.2019; opubl. 25.11.2020, Biul. №22. 3 [in Ukrainian].

Petro Luzan, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Hrinchuk Andrii**, post-graduate, **Ruslan Kisilov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Olena Luzan**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Theoretical Justification of the Parameters of a Self-Cleaning Bar Screen

The aim of the work is to reduce energy costs for the operation of grain cleaning machines by substantiating the parameters of a flat self-cleaning bar sieve. Special attention is paid to the optimization of sieve parameters to ensure high-quality separation of grain masses with different physical and mechanical properties. The relevance of the study is due to the need to increase the efficiency of grain cleaning equipment, ensure high quality cleaning and reduce energy consumption in the processing of agricultural products.

The article provides an analysis of modern designs of grain cleaning machines and the use of sieves of various types. The analysis of the operation of modern designs of grain cleaning machines and sieves used in them showed that a large amount of energy is spent on their cleaning from grain particles that get stuck in the slits of the sieve. To reduce energy costs, a self-cleaning bar sieve is proposed, made of a set of longitudinal bars in the form of several cascades, between which gaps are formed that expand in the direction of the processed material, and the expansion of the gaps is created by the opening of the bars bent in the end part. A mathematical model of the separation process has been developed, which takes into account such parameters as the diameter of the bars, the width of the gaps and the step of their placement. The probability of grain particles passing through the sieve depending on the speed of material movement and load has been calculated. The influence of various parameters on the completeness of grain particle separation, in particular the size of the components, the specific load and the speed of movement of the grain mass layer, has been studied. The modeling results are presented,

which show the optimal conditions for reducing sieve clogging, ensuring effective self-cleaning and determining its length.

The proposed design of the self-cleaning bar sieve allows you to reduce energy consumption and increase the efficiency of grain mass cleaning. The simulation results confirm that the use of such sieves provides better separation of grain mixtures due to reduced material losses and improved process productivity. The model can be used to develop new grain cleaning machines that meet modern requirements for energy efficiency and productivity.

bar screen, grain mass, separation, grain cleaning equipment, self-cleaning screen, screen separator, grain separation

Одержано (Received) 02.11.2024

Прорецензовано (Reviewed) 26.11.2024

Прийнято до друку (Approved) 02.12.2024