

УДК 361.363.3

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.95-103>

**П.Г. Лузан**, доц. канд. техн. наук, **Р.В. Кісільов**, доц. канд. техн. наук, **О.Р. Лузан**, канд. техн. наук, **О.А. Кислун**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна  
e-mail: luzanpg@gmail.com*

## Теоретичні аспекти розділення зерна на решеті інерційно-гравітаційного сепаратора

Виконано обґрунтування технологічної схеми решета інерційно-гравітаційного сепаратора з щілинами, що розширюються в напрямку руху оброблюваного матеріалу та встановлено вплив його основних параметрів на ефективність сепарації зернових сумішей. Встановлено закономірності руху зернової суміші по поверхні решета, коли створюються сприятливі умови для проходження крізь щілини часток, які можуть пройти крізь нього. Запропоновано методику розрахунку основних геометричних та кінематичних параметрів решета.

**сепарація, решето, енергоємність сепарації, зернова суміш, інерційно-гравітаційний сепаратор**

**Постановка проблеми.** Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва обумовлює необхідність створення і широкого використання принципово нової високопродуктивної техніки, яка б забезпечувала не тільки ріст продуктивності праці, але й суттєву економію матеріальних і енергетичних ресурсів, що в повній мірі відноситься і до техніки для сепарації різних зернових матеріалів [1, 2].

Україна у 2021 році отримала надзвичайно високий урожай зернових культур більше 70 млн. тонн, що найбільше за всі роки незалежності, а також є надія на зерновий рекорд в наступних роках – 100 млн. тонн і більше [3]. За такого великого врожаю перед агропромисловими підприємствами гостро постає питання його зберігання та переробки, що передбачає очищення від домішок, які негативно впливають на ефективність зберігання.

Враховуючи різноманітні властивості насіння сільськогосподарських культур, технічне забезпечення процесів сепарації налічує десятки різновидів зерноочисних машин, які в повній мірі вирішують питання зберігання врожаю, однак зростання вартості енергетичних ресурсів, що використовуються при очищенні, суттєво підвищують собівартість виробництва зерна, і їх зниження можливе тільки при використанні зерноочисних машин з низькими показниками енергоспоживання.

В сільському господарстві та в системі переробки хлібопродуктів для сепарації зернових матеріалів найбільш широко використовуються повітряно-решітні сепаратори, в яких як правило, встановлюються плоскі решета.

Зерноочисні машини, які працюють в даний час на сільськогосподарських та переробних підприємствах з плоскими решетами, використовуються протягом багатьох років, добре вивчені і удосконалені, їх техніко-економічні показники досягли максимальних значень.

Проблема полягає в тому, що для забезпечення нормальної роботи існуючих зерноочисних машин з традиційними плоскими решетами велика кількість енергетичних витрат припадає на додаткові операції, які безпосередньо не пов'язані з проходження процесу сепарації, але без їх неможлива нормальна робота самої машини. Безпосередньо це транспортування зерна та очищення решіт від зерен, які застрягли в щілинах і погіршують якість їх роботи.

Тема роботи пов'язана з тематичним планом НДДКР Центральноукраїнського національного технічного університету та «Національною програмою виробництва технологічних комплексів машин і устаткування для сільського господарства, харчової та переробної промисловості».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження витрат енергії в технологіях очищення та зберігання зернових культур та факторів, які їх визначають дозволили авторам отримати рівняння енергетичної характеристики зерноочисних машин з урахуванням їх конструктивних особливостей, культури зерна, вологості і засміченості. Цей показник автори вважають найбільш об'єктивним критерієм економічної роботи потокової лінії очищення та зберігання зерна [4].

На основі комп'ютерного моделювання процесу сепарації виконаний аналіз роботи зерноочисних машин та виявлені недоліки, що дало можливість підвищити ефективність їх роботи [5].

Проведені дослідження хоч і дозволили підвищити ефективність роботи зерноочисних машин та застосування таких машин в поточкових лініях, але вони не торкаються принципової зміни їх роботи, а направлені тільки на удосконалення окремих вузлів та механізмів.

Запропоновано нові решета з **отворами п'ятипелюсткової епіциклоїдної форми, в яких як відмічають автори,** завдяки зменшенню площі контакту «зерно-кромка отвору» зерно швидше проходить крізь них. Такі решета не забиваються зернами, що підвищує їх активну площу «живого перетину» і збільшується просіюваність, однак їх можна використовувати тільки для зерен, що мають округлу чи близьку до неї форму [6].

Заслуговує на увагу створене сімейство вібраційних решіт, що дають можливість обчислювати кінематичні характеристики зернопотоку по плоских віброрешетах з урахуванням залежності пористості суміші та швидкості її руху [7]. В роботі [8] отримано диференціальні рівняння руху часток у вібророзрідженому шарі при дії відцентрової сили і аеродинамічного тиску.

Запропоновані математичні моделі технологічного процесу прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику за його аеродинамічними властивостями, геометричними розмірами, об'ємною масою та забарвленням поверхні сім'янок [9] можуть бути використані і для інших зернових матеріалів.

В технології підготовки корисних копалин замість традиційного розділення на ситових поверхнях розроблена і запропонована теорія вібраційного переміщення і транспортування сипких матеріалів в процесі чого проходить розділення вихідних продуктів на фракції за комплексними показниками, що характеризують різні фізико-механічні властивості компонентів [10].

Проведені дослідження показують ефективність процесу вібровідцентрового сепарування сипких матеріалів, але енергетичні витрати на роботу таких машин не тільки не знижуються, а дещо і підвищуються.

Як вважають автори [11] перспективними є гравітаційні сепаратори, оскільки в них додаткова енергія не витрачається на процес сепарування, а використовується енергія піднятого на деяку висоту зернового матеріалу, на основі чого запропонований сепаратор гравітаційно-каскадного типу. Не вирішеною в таких сепараторах залишається проблема очищення щілин від зерен, які застрягають в них.

Використовуючи ідеї побудови конструкції «ідеального сепаратора» [12] створено і запропоновано методику розрахунку інерційно гравітаційного сепаратора [13]. Встановлено, що застосуванням в зерноочисних машинах решіт з щілинами, що

розширюються в напрямку руху оброблюваного матеріалу, можна досягти значного зниження енергетичних витрат на їх роботу.

**Постановка завдання.** Таким чином метою даної статті є обґрунтування конструкції, виведення та апробація розрахунками формул для визначення параметрів решета з щілинами, що розширюються в напрямку руху оброблюваного матеріалу.

**Виклад основного матеріалу.** В якості основної конструктивної схеми вибрано решето з щілинами, що розширюються в напрямку руху оброблюваного матеріалу запропоноване на кафедрі сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ [14, 15]. Решето (рис. 1) складається з поздовжніх прутків 1 і 2, які в передній частині розміщені на вісі 3 і роз'єднані між собою шайбами 4 визначеної товщини. Ті ж прутки в задній частині решета почергово розміщені на нерухомій вісі 5 та рухомій вісі 6. Тут прутки розділені між собою шайбами 7 і 8. Рухоме решето регулюється відносно нерухомого гвинтом 9, закріпленим до корпусу 10. Регулювання відносного положення решіт забезпечується важелем 11. Робота решета відбувається таким чином. Зернова суміш падає на передню частину решета і рухаючись вздовж щілин, що розширюються в напрямку його руху розділяється на дві фракції.

Стосовно до вибраної схеми технологічного процесу теорія руху зерна по решету такої конструкції розроблена недостатньо повно. Використання в даному сепараторі решіт з щілинами, що розширюються в напрямку руху оброблюваного матеріалу ставить на першу чергу задачу встановлення закономірностей цього руху по їх поверхні.

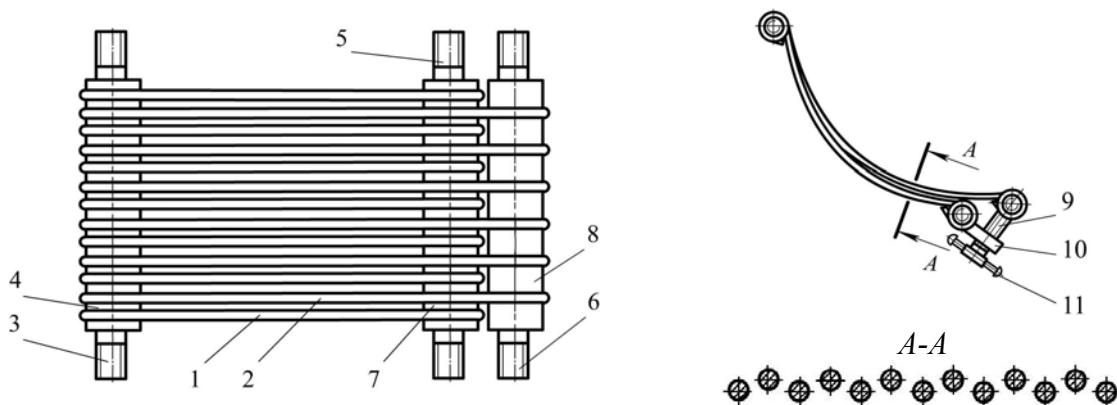


Рисунок 1 – Схема запропонованого решета

Джерело: розроблено автором

Для запропонованої схеми решета розглянемо випадок руху частки зернової суміші по решітковій поверхні, яка являє собою одну четверту дуги круга, створену прутками круглого профілю як показано на рис. 1. Рівняння руху в даному випадку матиме вигляд

$$m\ddot{S} + F_{\tau} = mg\cos(\Theta + \Theta_0), \quad (1)$$

де  $m$  – маса частки;

$S$  – шлях пройдений часткою;

$F_{\tau}$  – проекція сили тертя на дотичну вісь;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$\Theta$  – кут, який визначає положення частки в даний проміжок часу;

$\Theta_0$  – кут, що визначає початкове положення решета.

Проекцію сили тертя на вісь  $\bar{\tau}$  визначимо за формулою

$$F_{\tau} = (N_1 + N_2)f + fm \frac{\dot{S}^2}{R}, \quad (2)$$

де  $N_1, N_2$  – реакції прутків решітної поверхні;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$R$  – радіус кривизни решітної поверхні.

Реакції прутків решітної поверхні

$$N_1 = mg \cos(\alpha + \beta) \sin(\Theta + \Theta_0); \quad (3)$$

$$N_2 = mg \sin(\alpha + \beta) \sin(\Theta + \Theta_0), \quad (4)$$

де  $\alpha$  – кут, який визначає положення прутків решітної поверхні;

$\beta$  – кут, що визначає положення частки зернової суміші на решітній поверхні.

Враховуючи вище приведене, рівняння (1) можна записати у вигляді

$$m\ddot{S} + fmg \sin(\Theta + \Theta_0) (\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)) + mf \frac{\dot{S}^2}{R} = mg \cos(\Theta + \Theta_0). \quad (5)$$

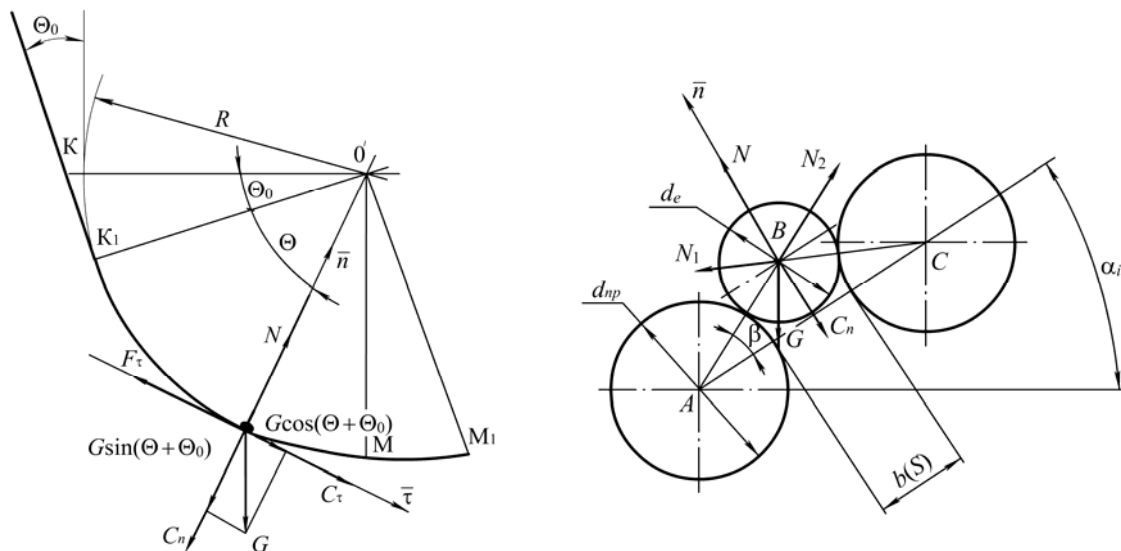


Рисунок 2 – Схема сил, які діють на частку на поверхні решета та у поперечному перерізі  
Джерело: розроблено автором

З урахуванням того, що  $\omega = \sqrt{\frac{g}{R}}$ , а також домноживши праву і ліву частини рівняння (5) на  $\frac{1}{mR}$  отримаємо

$$\frac{\ddot{S}}{R} + f\omega^2 \sin(\Theta + \Theta_0) (\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)) + f \frac{\dot{S}^2}{R} = \omega^2 \cos(\Theta + \Theta_0). \quad (6)$$

Введемо безрозмірний коефіцієнт  $\psi$  і покладемо  $\psi = \frac{S}{R} = \Theta$ . Тоді рівняння руху частки зернової суміші буде мати вигляд

$$\ddot{\psi} = \omega^2 \cos(\Theta + \Theta_0) - f\omega^2 \sin(\Theta + \Theta_0) (\cos(\alpha + \beta_0) + \sin(\alpha + \beta_0)) - f\dot{\psi}^2. \quad (7)$$

Розглянемо щілину створену двома прутками (рис. 3). Ширина щілини в будь-якому перерізі

$$l(s) = l_1 + \frac{2(l_k - l_1)}{\pi} \psi, \quad (8)$$

де  $l_1$  – початкова ширина щілини;

$l_k$  – кінцева ширина щілини.

Для визначення кута  $\alpha$  розглянемо рис. 3. Звідки

$$\alpha = \frac{2\alpha_k}{\pi} \psi. \quad (9)$$

Нехай  $\frac{2\alpha_k}{\pi} = \mu$ , тоді

$$\alpha = \mu \psi. \quad (10)$$

Розглянемо  $\triangle ABC$  (рис. 2.). Кут  $\beta$  створений прямими  $|AB|$  і  $|AC|$ , які з'єднують центри прутків і частки зернової суміші. Тоді

$$\cos \beta = \frac{r + \frac{l(s)}{2}}{r_0 + r}, \quad (11)$$

де  $r$  – радіус прутка решітної поверхні;

$r_0$  – еквівалентний діаметр частки зернової суміші.

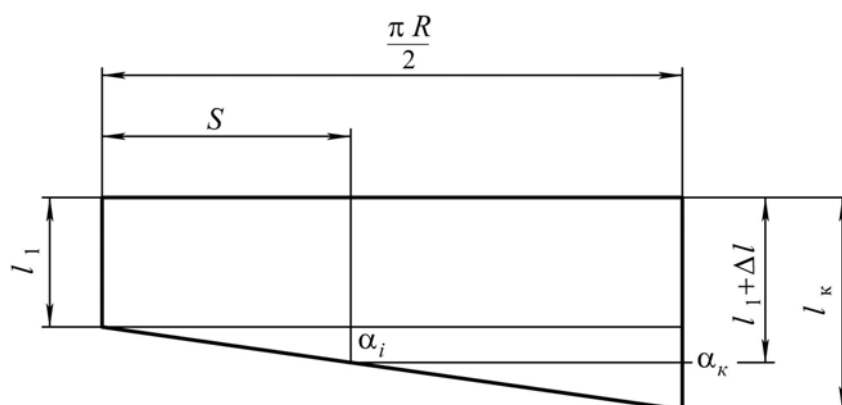


Рисунок 3 – Схема до визначення кута, який визначає положення прутків решітної поверхні  
Джерело: розроблено автором

Прийmemo  $\frac{r + \frac{l_1}{2}}{r_0 + r} = a$ ;  $\frac{l_k - l_1}{\pi(r_0 - r)} = b$ , тоді формулу (11) запишемо у вигляді

$$\cos \beta = a + b\psi, \text{ очевидно що } \sin \beta = \sqrt{1 - (a + b\psi)^2}.$$

Виконаємо перетворення

$$\varphi(\alpha, \beta) = \cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta) = \cos \alpha (\cos \beta + \sin \beta) + \sin \alpha (\cos \beta + \sin \alpha).$$

Враховуючи попередні зауваження

$$\varphi(\alpha, \beta) = \cos \mu \psi (a + b\psi) + \sqrt{1 - (a + b\psi)^2} + \sin \mu \psi (a + b\psi - \sqrt{1 - (a + b\psi)^2}).$$

Остаточню рівняння (7) можна записати у вигляді

$$\ddot{\psi} = \omega^2 \cos(\psi + \Theta_0) - f \omega^2 \sin(\psi + \Theta_0) [\cos \mu \psi (a + b\mu + \sqrt{1 - (a + b\psi)^2} + \sin \mu \psi (a + b\psi - \sqrt{1 - (a + b\psi)^2}) - f \dot{\psi}^2. \quad (12)$$

В рівнянні (12) до коефіцієнтів  $\mu, a, b$  входять всі змінні, необхідні для визначення основних параметрів решета інерційно-гравітаційного сепаратора.

Для реалізації запропонованої методики розрахунку розроблено програмне забезпечення, що вміщує дві основні частини. Перше з них дозволяє здійснювати перетворення блоків розробленої в аналітичному вигляді методики розрахунку у вигляд, що відповідає вимогам архітектури математичних моделей. Друга частина реалізує чисельні методи Рунге-Кутта та Нелдера-Міди і служить для оптимізації математичної моделі розрахунку параметрів решета інерційно-гравітаційного сепаратора у відповідності з конкретними вихідними даними.

Для виявлення впливу факторів на процес руху частки по поверхні решета був виконаний аналіз детермінованої математичної моделі (12) в пакеті Mathcad за методом Рунге Кута (рис.4-5). На початку руху частки по поверхні решета її швидкість зростає, потім при переході визначеної точки починає зменшуватися і при досягненні критичної – зупиняється та починає ковзати вниз, про що свідчать від'ємні значення швидкості (рис. 4). Найбільший практичний інтерес має відрізок шляху руху частки на відстані  $0 \leq S \leq \pi R/2$ , тому в подальшому аналізі необхідно розглядати тільки цю ділянку.

Виходячи із того, що проходження процесу сепарації в запропонованій конструкції можливе тільки на 1/4 довжини кола, то значення кута  $\Theta$  може змінюватися в межах  $0 < \Theta \leq \pi/2$ . При значеннях  $\Theta > \pi/2$  проходження процесу неможливо внаслідок зменшення щілини між прутками, що приведе до заклинення зерен між ними.

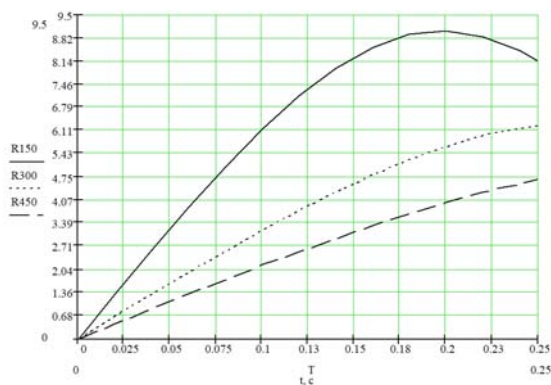


Рисунок 4 – Зміна кутової швидкості руху частки  $\omega$  протягом часу при значеннях радіуса  $R = 150, 300, 450$  мм:  $\Theta_0 = 0$  град,  $d_{np} = 1,5$  мм,  $\omega_0 = 0$  с-,  $f = 0,35$

Джерело: розроблено автором

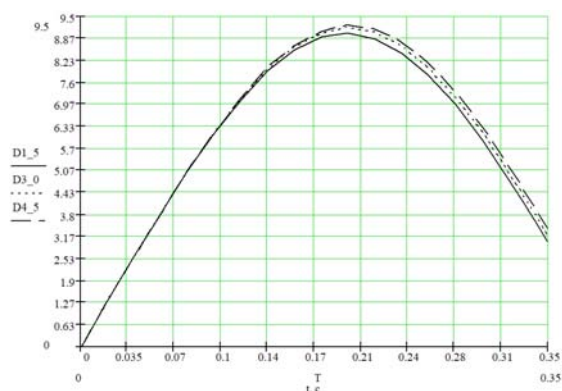


Рисунок 5 – Зміна кутової швидкості руху частки зернової суміші  $\omega$  протягом часу  $t$  при різних значеннях діаметру прутків:  $\Theta_0 = 0$  град.,  $R = 150$  мм,  $\omega_0 = 0$  с-,  $f = 0,35$

Джерело: розроблено автором

Значення кута  $\Theta_0$  впливає на характер проходження процесу як перед решетом, так і на ньому, та може змінюватися в межах  $90^\circ - \varphi \geq \Theta_0 \geq 0$ , де  $\varphi$  – кут тертя. Зміна кута  $\Theta_0$  в той чи інший бік впливає на початкову швидкість подачі зернової суміші на решето, а як наслідок і на його габаритні розміри. З іншого боку, зміна кута  $\Theta_0$  впливає

на нормальний тиск частки зернової суміші на розподільну поверхню. При граничних значеннях кута  $\Theta_0$ ,  $\Theta_0 = \varphi$ , і  $\Theta_0 = 0$  в першому випадку рух зерна відсутній, у другому – внаслідок того, що зернова суміш практично не торкається направляючого лотка, в результаті чого тиск на решітку на її початку мінімальний – можливе відскакування зерен від решета. Тому, найбільш доцільно встановити такий кут  $\Theta_0$ , при якому прискорення частки збільшується на всьому шляху її руху з максимальним тиском на решітну поверхню, коли забезпечуються необхідні умови для проходження процесу сепарації. Загальний характер руху частки по решету в даному випадку (рис. 5) такий, що по при збільшенні кута  $\Theta_0$  швидкість зменшується, але при цьому збільшується час її перебування на решеті.

**Висновки.** Аналіз рівняння руху частки зернової суміші по поверхні решета, з щілинами, що розширюються в напрямку руху оброблюваного матеріалу показує, що кінцева ширина щілини решітки  $l_k$  залежить від початкової ширини  $l_0$ , діаметру прутків та кута їх розхилу  $\alpha_k$ . Від величини розхилу прутків  $\alpha$  залежить довжина робочої частини решітки. Із збільшенням кута  $\alpha$  робоча довжина зменшується, тобто зміною кута  $\alpha$  можна ефективно керувати процесом сепарації.

Зміна радіусу решета при однакових значеннях початкової кутової швидкості  $\omega_0$  в бік зменшення приводить до її збільшення, що позитивно впливає на процес сепарації, бо підвищується нормальний тиск частки зернової суміші на решето. Однак при цьому також зменшується час її перебування на ньому, що приводить до зниження ефективності сепарації.

Зміна діаметра прутків решета на початку руху частки зернової суміші впливає незначно, однак по мірі руху при збільшенні їх діаметра швидкість збільшується. З іншого боку збільшення діаметру приводить до зменшення корисної площі решітки та до підвищення металоємності самого решета.

При впровадженні решіт запропонованої конструкції не вирішеним залишається питання впливу на якість сепарації величини розхилу прутків в кінцевій частині та їх граничні межі для різних сільськогосподарських культур.

Випробування показали, що якість сепарації зерна пшениці на запропонованому решеті підвищується на 12-14 % порівняно з існуючими.

## Список літератури

1. Сало В.М., Лузан П.Г., Богатирьов Д.В. Технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання: монографія. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2014. 148 с.
2. Олексієнко В.О., Петриченко С.В., Радев С.Ю. Аналіз конструкцій зерноочисних машин. *Праці ТДАТУ*. 2010. Вип. 10, т. 3. С. 176-183.
3. ТОП-10 стран-производителей пшеницы в 2020/21 МГ. Главный сайт об агробизнесе: веб-сайт. URL: <https://latifundist.com/rating/top-10-stran-proizvoditelej-pshenitsy-v-202021-mg> (дата звернення 27.06.2021).
4. Постнікова М.В., Петров В.О. Дослідження енергоємності процесу очищення зерна на зерноочисних машинах. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2018. Вип. 8. Т2. С. 238-245. DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-33.
5. Самчук Ю.Ю., Стельмах В.М., Тростенюк Ю.І. Дослідження можливості застосування комп'ютерного моделювання в процесі оптимізації конструкторських рішень при проектуванні зерноочисних машин. *Інженерія природокористування*. 2018. № 1(9). С. 71-78.
6. Тищенко 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: 29.11.2021).
7. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. Виброрешетная сепарация зерновых смесей: монографія. Харків: «Міськдрук», 2011. 280 с.

8. Котов Б.І., Деревенко І.А., Степаненко С.П. Дослідження ефективності сепарації зернових матеріалів на ступінчасто-колінчастому решеті вібровідцентрових машин. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. № 2 (85). С. 99-102.
9. Алієв, Е.Б. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Запоріжжя: СТАТУС, 2019. 196 с.
10. Сергиев А.П., Макаров А.В., Журавлев А.В. К вопросу бесситной сепарации сипучих многокомпонентных материалов. *Фундаментальные исследования: технические науки*. 2015. № 2, ч.2. С. 4871-4875.
11. Igor Dudarev et al. Research on seed separation process on a gravity-cascade separator / Дослідження процесу сепарування насіння на сепараторі гравітаційно-каскадного типу. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 62, no.3. Pp. 173-180. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-62-18>.
12. Авдеев Н.Е. Принципы построения модели идеального сепаратора. *Докл. ВАСХНИЛ*. 1978. №11. С. 38-40.
13. Лузан П.Г. Кісільов Р.В., Лузан О.Р. Обґрунтування параметрів решета з щілинами непостійного розміру. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж.міжвід.наук.-техн. зб.*. 2019. Вип. 49. С. 147-154. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.147-154>.
14. Решето: пат. на корисну модель 23532 Україна, МПК В07В 13/07. №u200700920; Заявл. 29.01.07; Опубл. 25.05.07. Бюл. №7.
15. Решето: пат. на корисну модель 105854Україна, МПК В07В 13/07. №u2015 08835; Заявл. 14.09.15; Опубл. 11.04.16. Бюл. №7.

## Referencis

1. Salo, V.M., Luzan, P.H., & Bohatyrov D.V. (2014). *Tekhnichne zabezpechennia pidhotovky zerna do zberihannia [Technical support for grain preparation for storage]*. Kirovohrad: SPD FO Lysenko V.F. [in Ukrainian].
2. Oleksiienko, V.O., Petrychenko, S.V., & Radiev, S.Yu. (2010). Analiz konstruksii zernoochysnykh mashyn [Analysis of grain cleaning machine designs.]. *Pratsi TDAT – Works of TSATU, Vol. 10, 3*, 176-183 [in Ukrainian].
3. TOP-10 stran-proyzvodytelei pshenytsy v 2020/21 MH [TOP-10 wheat-producing countries in 2020/21 MY]. *Hlavnyi sait ob ahrobyznese. – The main site about achrobusiness*. Retrieved from: <https://latifundist.com/rating/top-10-stran-proizvoditelej-pshenytsy-v-202021-mg> [in Ukrainian].
4. Postnikova, M.V., & Petrov, V.O. (2018). Doslidzhennia enerhoiemnosti protsesu ochyshchennia zerna na zernoochysnykh mashynakh [Investigation of energy intensity of grain cleaning process on grain cleaning machines]. *Naukovyi visnyk TDATU – Scientific Bulletin of TSATU, Vol. 8, 2*, 238-245 [in Ukrainian].
5. Samchuk, Yu.Yu., Stelmakh, V.M., & Trosteniuk, Yu.I. (2018). Doslidzhennia mozhyvosti zastosuvannia komp'uternoho modeliuвання v protsesi optymizatsii konstruktorskykh rishen pry proektuvanni zernoochysnykh mashyn [Research of possibility of application of computer modeling in the process of optimization of design decisions at designing of grain cleaning machines]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia - Environmental engineering, Vol. 1(9)*. 71-78. [in Ukrainian].
6. Tishchenko, L., Kharchenko, S., & Vasylenko, O. Separatsiia horokhu ta nutu [Separation of peas and chickpeas] . The Ukrainian Farmer: Retrieved from: <https://agrotimes.ua/article/separaciya-gorohu-ta-nutu/> [in Ukrainian].
7. Tyshchenko, L.N., Olshansky,i V.P., & Olshanskyi, S.V. (2011). *Vybroreshetnaia separatsiia zernovykh smesei[Vibrating sieve separation of grain mixtures: monograph]*. Kharkov: Miskdruk [in Ukrainian].
8. Kotov, B.I., Derevenko, I.A., & Stepanenko, S.P. (2017). Doslidzhennia efektyvnosti separatsii zernovykh materialiv na stupinchasto-kolinchastomu resheti vibrovidtsentrovnykh mashyn [Research of efficiency of separation of grain materials on a step-cranked sieve of vibrocentric machines]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Vibrations in engineering and technology, Vol. 2(85)*, 99-102. [in Ukrainian].
9. Aliiev, E.B. (2019). *Fizyko-matematychni modeli protsesiv pretsyziinoi separatsii nasinnievoho materialu soniashnyku [Physical and mathematical models of processes of precision separation of sunflower seed material: monograph.]*. Zaporizhzhia: STATUS [in Ukrainian].
10. Serhyev, A.P., Makarov, A.V., & Zhuravlev, A.V. (2015). K voprosu bessytnoi separatsyy sypuchykh mnohokomponentnykh materyalov [On the issue of insatiable separation of bulk multicomponent materials]. *Fundamentalnye yssledovaniya: tekhnicheskyye nauky - Basic research: technical sciences, Vol. 2, 2*, 4871-4875. [in Ukrainian].



11. Dudarev, I. et al. (2020). Research on seed separation process on a gravity-cascade separator [Doslidzhennia protsesu separuvannia nasinnia na separatori hgravitatsiino-kaskadnoho typu]. *INMATEH – Agricultural Engineering, Vol. 62, 3*, 173-180. [in English].
12. Avdeev, N.E. (1978). Pryntsyvy postroenyia modely ydealnoho separatora [Principles of building a model of an ideal separator]. *Dokl. VASKhNIL - Dokl. VASKHNIL, Vol. 11*, 38-40 [in Russian].
13. Luzan, P.H. Kisilov, R.V., & Luzan, O.R. (2019). Obgruntuvannia parametriv resheta z shchilynamy nepostiinoho rozmiru [Determination of sieve parameters with non-standard size slits]. *Konstruiuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Vol. 49*, 147-154 [in Ukrainian].
14. Shmat, S.I., e.a. Resheto [Sieve]. Patent UA, no. 23532, 2007 [in Ukrainian].
15. Luzan, P.H. e.a. Resheto [Sieve]. Patent UA, no. 105854, 2016 [in Ukrainian].

**Petro Luzan**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ruslan Kisilyov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Olena Luzan**, PhD tech. sci., **Oleh Kyslun**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Theoretical Aspects of Grain Separation on an Inertial-gravity Separator Sieve**

The aim of the article is to substantiate the design, derivation and approbation by calculations of formulas for determining the parameters of the sieve with slits that expand in the direction of movement of the processed material.

It is established that grain cleaning machines, which currently work on agricultural and processing enterprises with flat sieves, have been used for many years, are well studied and improved, their technical and economic indicators have reached maximum values. The problem is that to ensure the proper operation of existing grain cleaning machines with traditional flat sieves, a large amount of energy costs are spent on additional operations that are not directly related to the separation process, but without them the normal operation of the machine is impossible. This is directly the transportation of grain and cleaning the sieves from grains that are stuck in the cracks and degrade the quality of their work. The substantiation of the technological scheme of the inertial-gravity separator sieve with slits expanding in the direction of movement of the processed material is performed and the influence of its main parameters on the efficiency of separation of grain mixtures is established. The regularities of the movement of the grain mixture on the surface of the sieve are determined, when favorable conditions are created for the passage through the slits of particles that can pass through it. The method of calculation of the basic geometrical and kinematic parameters of a sieve is offered. To implement the proposed calculation method developed software that allows you to convert blocks developed in analytical form of the calculation method in a form that meets the requirements of the architecture of mathematical models and implements the numerical methods of Runge-Kutt and Nelder-Mead.

Tests have shown that the quality of separation of wheat grain on the proposed sieve increases by 12-14% compared to existing ones. When implementing the sieves of the proposed design, the issue of influencing the quality of separation of the magnitude of the bar deflection in the end part and their limits for different crops remains unresolved.

**separation, sieve, energy separation, grain mixture, inertial gravity separator**

*Одержано (Received) 02.11.2021*

*Прорецензовано (Reviewed) 10.11.2021*

*Прийнято до друку (Approved) 29.11.2021*