

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

\_\_\_\_\_ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти  
на тему:**

«Підвищення ефективності роботи гравітаційного сепаратора з  
обґрунтуванням його параметрів»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,

групи ГМ-23М-1.1

ОНП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве

машинобудування»

\_\_\_\_\_ Ботнар Євгеній Сергійович

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Дмитро ПЕТРЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Іван СКРИННІК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

м. Кропивницький

## **Анотація**

### **Тема: «Підвищення ефективності роботи гравітаційного сепаратора з обґрунтуванням його параметрів»**

післязбиральне очищення, гравітаційний сепаратор, параметри

В роботі встановлено, що найбільш перспективними для подальшого удосконалення є решітні гравітаційно-каскадні сепаратори.

Було запропоновано підвищити ефективність гравітаційно-каскадного сепаратора за рахунок використання решіт пруткового типу з забезпеченням їх самоочищення. Для запропонованої технологічної схеми проведено теоретичні дослідження, за результатами яких встановлено максимально можливу продуктивність сепаратора з врахуванням реальних умов сепарації.

## **Abstract**

### **Topic: «Increasing efficiency of the gravitational separator with the rationalization of its parameters»**

**post-harvest cleaning, gravitational separator, parameters**

The work found that the most promising for further improvement are sieve gravity cascade separators.

It was proposed to increase the efficiency of the gravity cascade separator by using bar-type sieves with their self-cleaning.

Theoretical studies were conducted for the proposed technological scheme, the results of which established the maximum possible separator productivity, taking into account real separation conditions.



# Зміст

Номер розділу	Структурна одиниця і розділ	Сторінка
1	Вступ	
2	Наукова частина	
3	Інженерна частина	
4	Охорона праці	
5	Економічна частина	
6	Загальні висновки	
-	Список використаної літератури	
-	Додатки	

## 1. Вступ

Агропромислове виробництво України є однією з найважливіших галузей економіки, на яку покладається стратегічне завдання забезпечення стійкого постачання населенню необхідних за кількістю і якістю продуктів харчування.

Зернові культури являються основними в структури виробництва продукції сільського господарства, оскільки зерно використовується для виготовлення доволі великої кількості важливих для раціону продуктів харчування, зокрема борошна, круп, хлібних й макаронних виробів тощо.

Одним з заключних етапів виробництва зернових є їх післязбиральний обробіток, який включає видалення із зернової маси домішок та встановлення необхідної для зберігання вологості. Аналізуючи забезпеченість вітчизняних господарств зерноочисною технікою [2] можемо прийти до висновку, що в переважній більшості наявні машини є морально застарілими й не відповідають сучасним умовам господарювання. Так, забезпеченість великих агровиробників сучасними зерноочисними машинами не перевищує 40%, а інші мають фізичну зношеність на рівня 70...80%. При цьому у дрібних фермерських господарствах практично зовсім відсутня необхідна техніка для післязбирального очищення.

Стримуючим фактором, який не дозволяє забезпечити виробників агропродукції необхідними засобами є відсутність пропозицій, які були б адаптовані під потужність виробництва. Для розвитку матеріально-технічної бази післязбирального обробітку необхідно проводити відповідні наукові і інженерні дослідження, на базі яких створювати ефективні малозатратні комплекси післязбирального обробітку широкого спектру продуктивності.

У зв'язку з цим актуальною задачею є розробка й обґрунтування нових робочих органів для сепарації зернових сумішей, які будуть адаптовані до умов господарювання.

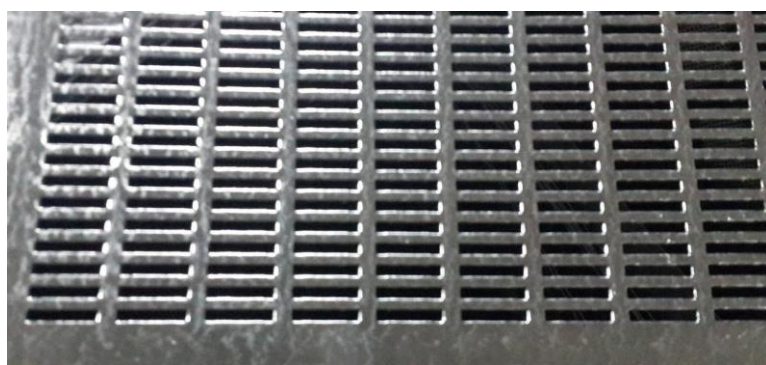
					ГС 00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Ботнар				<i>Пояснювальна записка</i>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Петренко							
Н. контр.	Мачок					ЦНТУ, гр. ГМ-23М-1.1		
Затверд.	Васильковський							



Якщо варіаційні властивості компонентів матеріалу не перекривають одна одну (рис. 2.1, а), тоді робиться висновок про можливість повного розділення даних компонентів за цією ознакою. Якщо ж спостерігається накладання варіаційних кривих (рис. 2.1, б), то робимо висновок про неможливість поділу за даною ознакою. Часткове накладання варіаційних кривих (рис. 2.1, в) свідчить про можливість поділу, але з певними втратами того чи іншого компоненту, н-д неповне виділення домішок чи втрати зерна у домішках при відповідних регулюваннях системи.

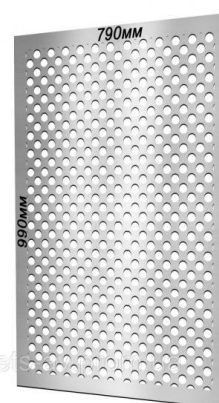
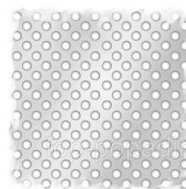
Найбільш поширеною ознакою подільності для зернових культур є розміри фракцій – товщина, ширина та довжина. Саме за цими ознаками розділяють зерноматеріал переважна більшість зерноочисних машин решітного типу, які є найбільш розповсюдженими, що пояснюється рядом їх переваг над іншими типами машин, а саме: відносна простота процесу, що відбувається на решетах та можливість його контролю; нескладна конструкція й різноманітність варіантів компонування таких систем; відносно невелика енергоємність процесу поділу.

Так, найбільш популярними і універсальними вважаються решітні ЗОМ, в яких в якості робочих органів використовуються решітні поверхні різноманітної конфігурації та форми отворів (рис. 2.2-2.3) [18, 19, 21].



а

**Решето  
ОВС**  
790x990мм  
Ø 4,0мм



б

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



























Таким чином, нами пропонується конструкція решітного сепаратора каскадного типу (рис. 2.13), в якому використані решета пруткового типу (рис. 2.14) інноваційної конструкції для забезпечення його самоочищення.

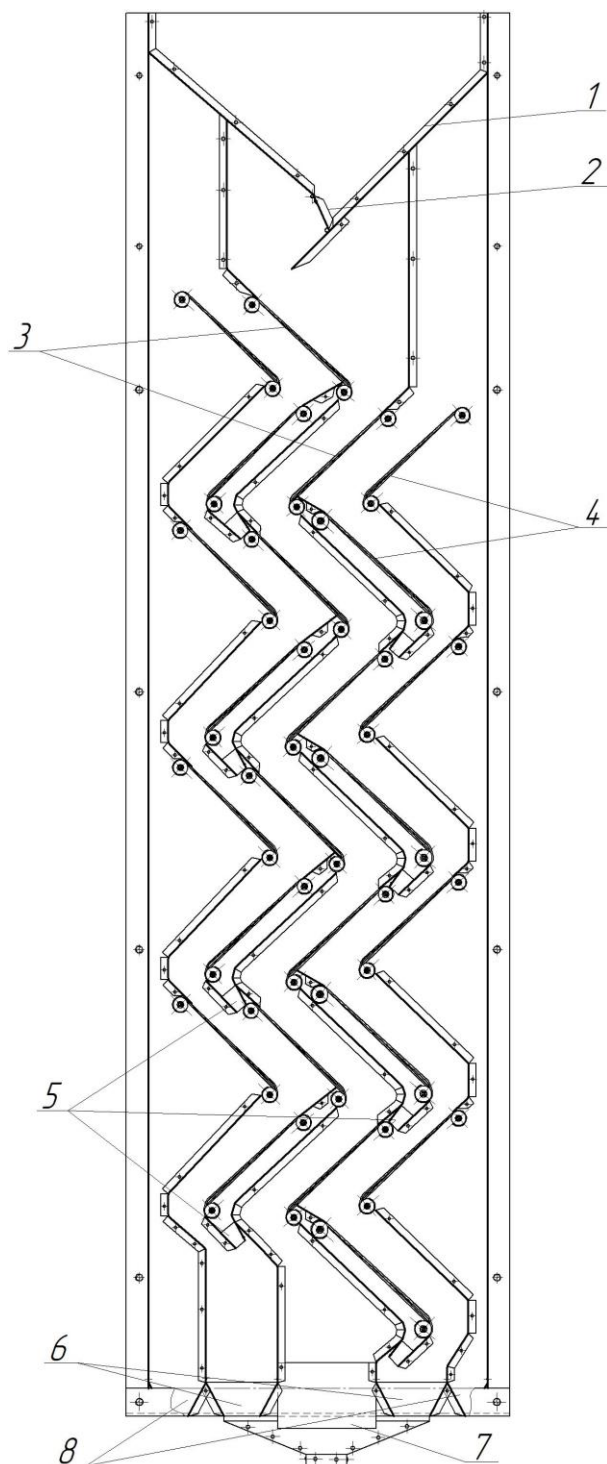


Рис. 2.13 – Запропонований решітний сепаратор каскадного типу:

1 – бункер; 2 – регулятор подачі; 3 – колосові решета; 4 – підсівні решета;  
5 – відвід дрібної фракції; 6, 7, 8 – приймальники відповідно основної, крупної і дрібної фракції

					ГС 00.000 ПЗ				Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

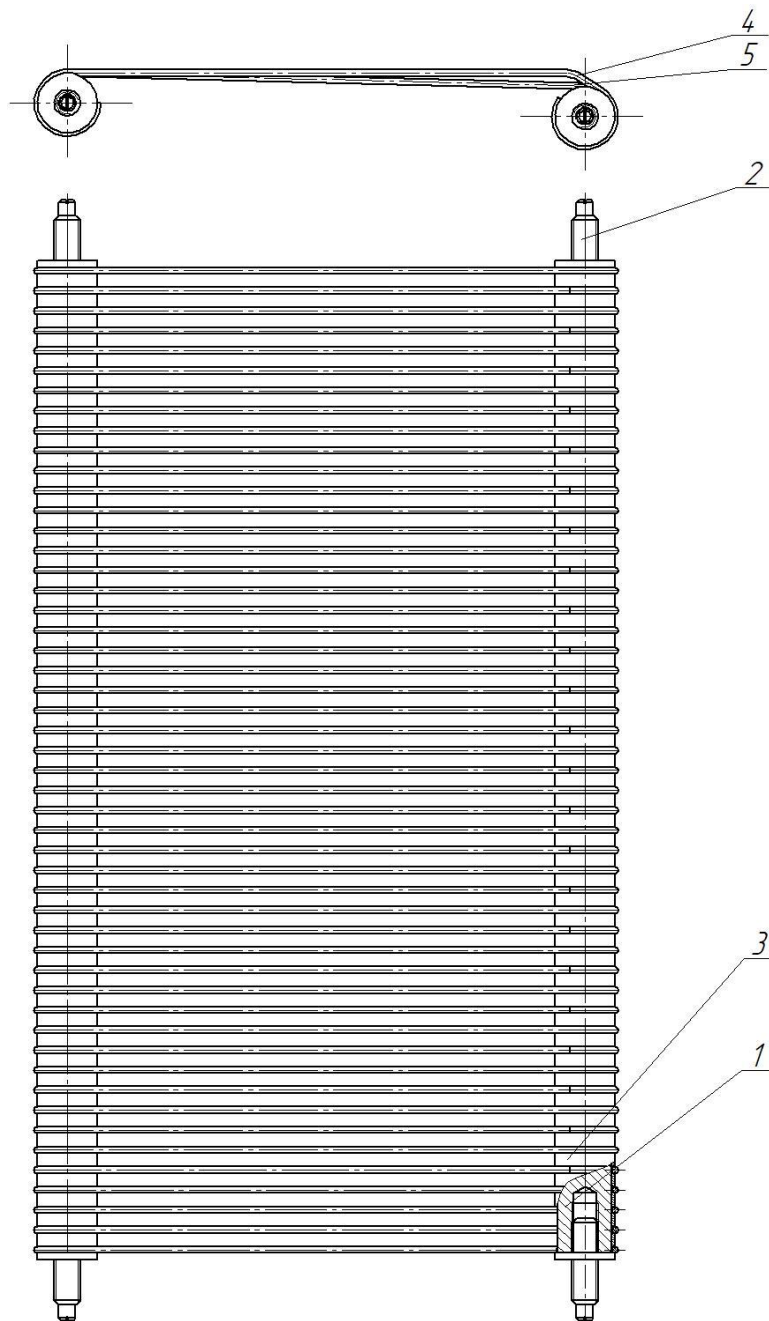


Рис. 2.14 – Колосове решето пруткового типу з розширенням

Загалом процес роботи запропонованого сепаратора подібний до очисників Magik kleener, але завдяки використанню пруткового профілю решіт має кращу просіювальну здатність, а використання клиноподібної конструкції з розширенням наприкінці полотна забезпечує умову самоочищення решіт.

Для підтвердження висунутої гіпотези виконаємо теоретичні дослідження стосовно гранично можливої продуктивності запропонованого рішення.

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2. Теоретичний аналіз роботи сепаратора

Розглянемо схему переміщення зерноsumіші по поверхні напрямної 1 та гравітаційного решета 2 (рис. 2.15). Як бачимо, при переміщенні по напрямній зернові частки спочатку набувають швидкість  $V_0$ , а потім при русі по решету швидкість під дією сил гравітації і сил опору середовища і поверхні решета змінюється до  $V_1$ . При переміщенні по решету завдяки силі тяжіння  $G$  відбувається проходження часток крізь отвори решета.

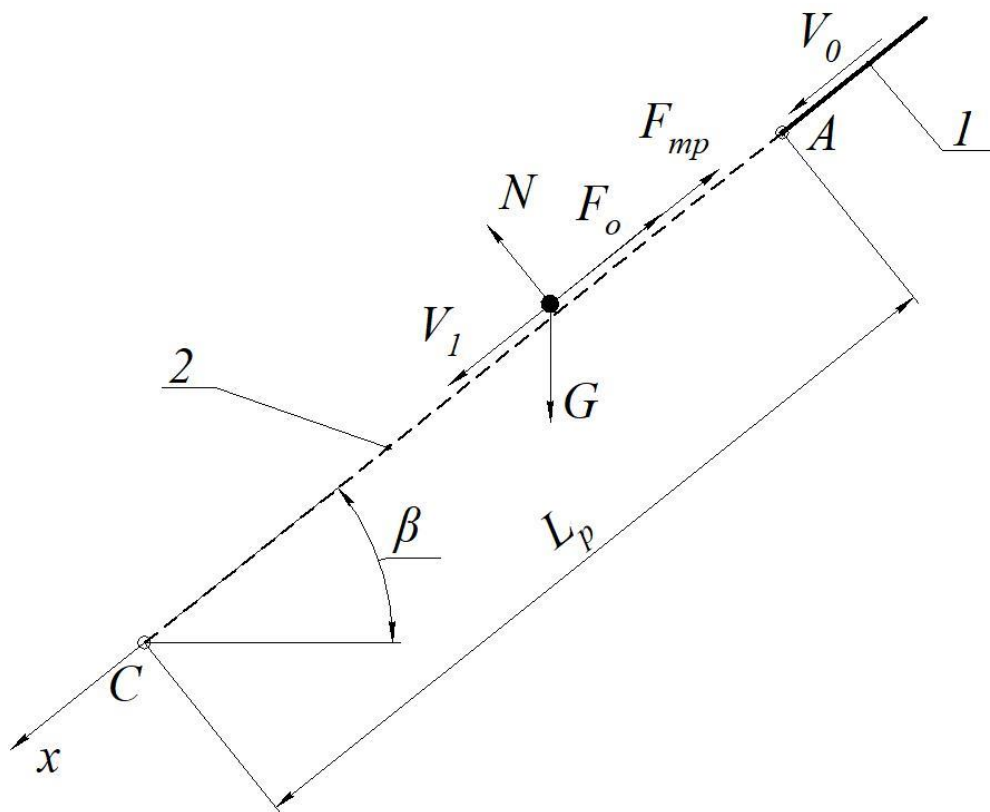


Рис. 2.15 – Схема до визначення швидкості переміщення часток

Задача, яка постає – обґрунтувати граничні межі питомої продуктивності одиниці ширини запропонованого решета.

Як відомо [4, 12, 14, 18], найвища ймовірність проходження часток крізь робочі канали решітної поверхні забезпечується за умови, що зерноsumіш переміщується по поверхні решета товщиною “в один шар”. При цьому величину питомої продуктивності одиниці ширини решета  $q_B$  можна визначити з умови

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_B = \rho_{zc} \cdot V_1 \cdot h_1, \quad (2.1)$$

де  $\rho_{zc}$  – щільність зернової суміші, кг/м<sup>3</sup>;

$V_1$  – швидкість переміщення зерносуміші по решету, м/с;

$h_1$  – товщина шару суміші, м.

Згідно даного виразу (2.1) очевидно, що величина питомої продуктивності даної системи напряду залежить від швидкості переміщення зерносуміші по сепаруючій поверхні.

Визначимо швидкість руху зерносуміші на відрізьку АС, врахувавши всі сили, що діють на частки при їх переміщенні по похилій площині решета (рис. 2.15). Для цього складемо класичне диференційне рівняння руху

$$m \cdot \frac{dV_1}{dt} = G \cdot \sin \beta - F_{mp} - F_o, \quad (2.2)$$

де  $G = m \cdot g$  – сила ваги зерносуміші, Н;

$m$  – вага зерносуміші, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$dt$  – час переміщення суміші по поверхні, с;

$\beta$  – кут, під яким розташовано решето до горизонталі, град.;

$F_{mp}$  – сила, що характеризує опір тертя поверхні, Н;

$$F_{mp} = f \cdot m \cdot g \cdot \cos \beta, \quad (2.3)$$

де  $f$  – коефіцієнт, що характеризує тертя по поверхні решета;

$F_o$  – сила опору середовища, Н. За відносно невеликих значеннях швидкості переміщення зерносуміші сила опору середовища буде приймати значення, пропорційні першій ступені швидкості її переміщення

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_o = \zeta \cdot V_1, \quad (2.4)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт, що характеризує опір середовища, кг/с.

Таким чином рівняння (2.2) набуде наступного вигляду

$$m \cdot \frac{dV_1}{dt} = \zeta \cdot (\lambda - V_1), \quad (2.5)$$

де введено позначення

$$\lambda = \frac{m \cdot g \cdot \sin(\beta - \varphi)}{\zeta \cdot \cos \varphi}, \quad (2.6)$$

$\varphi = \arctg f$  – кут тертя.

Розділивши в залежності (2.5) змінні, одержимо

$$\frac{dV_1}{\lambda - V_1} = \frac{\zeta}{m} \cdot dt. \quad (2.7)$$

Проінтегруємо дане рівняння

$$-\ln(\lambda - V_1) = \frac{\zeta}{m} t + C_1, \quad (2.8)$$

де  $C_1$  – константа інтегрування.

Визначимо величину постійної  $C_1$ , вирішивши залежність (2.8) при початкових умовах:  $t = t_0 = 0$ ,  $V_1 = V_0$  ( $V_0$  – швидкість надходження матеріалу на решето)

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_1 = -\ln(\lambda - V_0) \quad (2.9)$$

Враховуючи отримане значення (2.9) вираз (2.8) набуде наступного вигляду

$$\ln \frac{\lambda - V_0}{\lambda - V_1} = \frac{\zeta}{m} \cdot t \quad (2.10)$$

Отримане рівняння будемо вирішувати відносно швидкості переміщення частки на ділянці АС.

$$V_1 = V_0 \cdot e^{-\frac{\zeta}{m}t} + \lambda \cdot \left(1 - e^{-\frac{\zeta}{m}t}\right), \quad (2.11)$$

З врахуванням того, що  $V_1 = \frac{dx}{dt}$  отримаємо:

$$dx = \lambda \cdot dt - (\lambda - V_0) \cdot e^{-\frac{\zeta}{m}t} dt, \quad (2.12)$$

і провівши інтегрування відносно часу

$$x = \lambda \cdot t + \frac{m}{\zeta} \cdot (\lambda - V_0) \cdot e^{-\frac{\zeta}{m}t} + C_2, \quad (2.13)$$

де  $C_2$  – стала інтегрування, для визначення якої вирішимо зазначене рівняння при початкових умовах:  $t = t_0 = 0$ ,  $x = x_0 = 0$ . Тоді

$$C_2 = -\frac{m}{\zeta} (\lambda - V_0) \quad (2.14)$$

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином величина переміщення частки визначається умовою:

$$x = \lambda \cdot t + \frac{m}{\zeta} \cdot (\lambda - V_0) \cdot \left( e^{\frac{-\zeta}{m} t} - 1 \right). \quad (2.15)$$

Відповідно до отриманого рівняння руху визначимо час  $T$  переміщення зерноsumіші по похилому решету, враховуючи, що  $x = L$  ( $L$  – довжина решета):

$$T = \frac{L \cdot \zeta + m \cdot (\lambda - V_0) + m \cdot (V_0 - \lambda) \cdot e^{\frac{L \cdot \zeta + m \cdot (\lambda - V_0)}{\lambda \cdot m}}}{\lambda \cdot \zeta} \quad (2.16)$$

Таким чином, швидкість зернової суміші в т. С знайдемо, якщо підставимо значення часу (2.16) до залежності (2.11). Аналіз даної залежності дозволяє встановити, що при умові

$$\lambda \geq 0; (\lambda - V_0) > 0 \quad (2.17)$$

швидкість переміщення зерноsumіші буде збільшуватись до граничної межі

$$V_{\max} = \lambda \quad (2.18)$$

Проаналізуємо графічні залежності швидкості переміщення від довжини решітної поверхні при встановлення критичних значень кутів її нахилу (рис. 2.16).

Як бачимо, величина швидкості переміщення зерноматеріалу є скінченною, а максимальних значень набуває при кутах встановлення решета, значення яких наближається до  $90^\circ$ . Але необхідною умовою є можливість ефективного просівання прохідних часток, яка забезпечується для решета пруткового типу при кутах  $30^\circ$ - $60^\circ$  [12, 16, 18].

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





## Висновки по розділу

У розділі було проведено критичний аналіз решітних сепаруючих систем, за результатами якого визначено напрямки найбільш перспективного їх удосконалення. Так встановлено, що використання площинних решіт призводить до збільшення габаритних розмірів сепараторів, а застосування циліндричних вимагає підвищених енергетичних витрат. Натомість гравітаційно-каскадні сепаратори мають ряд переваг, серед яких відсутність енергоприводу, мінімальні значення габаритів по площі, відносно невелика металоемність.

За результатами огляду технологічних схем таких сепараторів і конструктивних їх особливостей було запропоновано підвищити ефективність гравітаційно-каскадного сепаратора класичної схеми за рахунок використання решіт пруткового типу з забезпеченням їх самоочищення.

Для запропонованої технологічної схеми проведено теоретичні дослідження, за результатами яких встановлено максимально можливу продуктивність сепаратора з врахуванням реальних умов сепарації, що дозволило обґрунтувати і деякі параметри решіт, зокрема їх довжину.

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. Інженерна частина

#### Обґрунтування параметрів пруткового решета

Аналізуючи умови переміщення зернових часток по прутковій поверхні решета бачимо, що при русі між двох прутків, які мають круглий профіль, частки, розміри яких наближені до розмірів ширини зазору між прутками, під дією гравітаційних сил можуть защемлюватись внаслідок зростання величини сил реакції прутків (рис.3.1). При цьому, величина сил реакції зростає при наближенні розмірів частки до ширини зазору. Таким чином, частина зерноматеріалу може забивати решето, що зменшує його живий переріз, і, відповідно пропускну здатність, тобто продуктивність сепаратора.

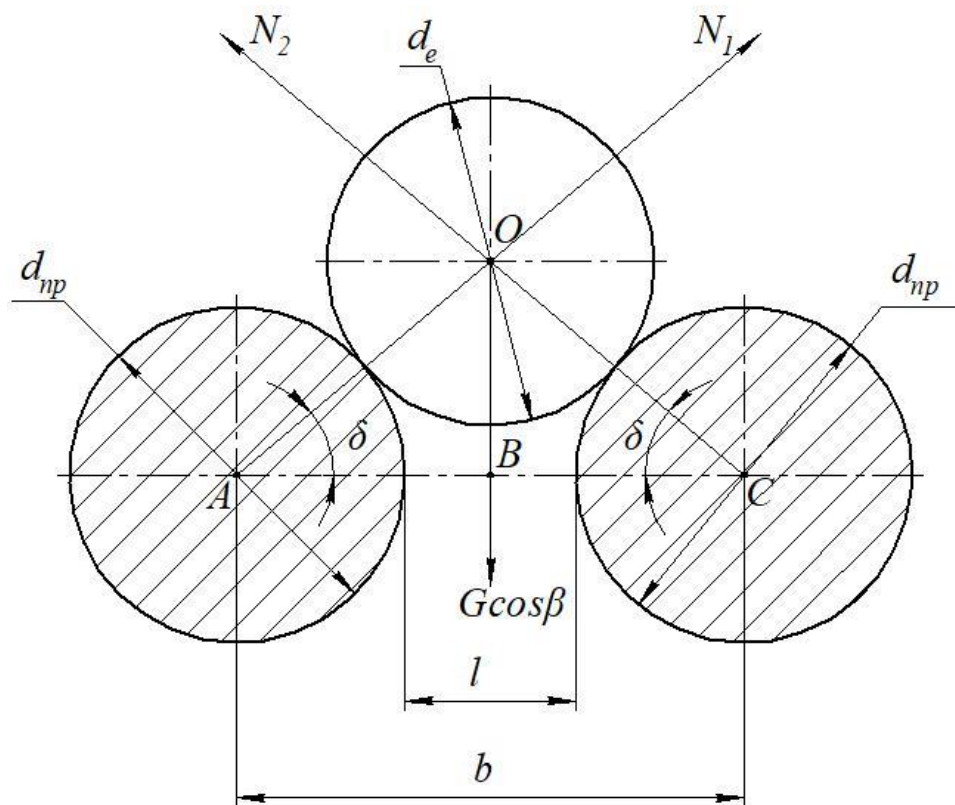


Рис.3.1 – Схема сил, що діють на частку при її взаємодії з прутками

З метою мінімізації можливості защемлення часток, логічним є зменшення ширини зазору між прутками до розміру  $l$ , за якого сила

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



сепаратора, виходячи з умови забезпечення відсутності защемлення частинок відповідного розміру  $d_e$  враховуючи реальні умови роботи решіт.

Далі необхідно вирішити задачу оптимізації параметрів гравітаційного сепаратора з каскадним розміщенням решіт, для чого представимо процес просівання у вигляді математичної моделі.

Для цього представимо процес гравітаційної сепарації зерноsumіші каскадним сепаратором, зробивши припущення, що зернова суміш містить три основні компоненти в наступній пропорції: основна зернова фракція становить 80% масового обсягу зерноматеріалу, а крупна і дрібна фракції складають 20%.

Згідно з технологічною схемою (рис. 2.13) гравітаційний сепаратор зернових сумішей в своєму складі містить:

- сформований колосовими решетами, розміщеними каскадно, центральний канал, в якому відбувається виділення проходом крупної фракції завдяки зазору між прутками, що перевищує товщину зернової фракції, але менший за розміри крупної, крім того тут проходить крізь отвори і дрібна фракція;

- сформовані підсівними решетами бічні канали, які завдяки встановленому зазору між прутками, що менший за розміри зернової фракції, дозволяє пройти крізь щілини дрібній фракції, а зернова йде сходом.

Введемо припущення, яке зумовлює однорідність умов просівання, відповідно частки зернової фракції мають ідентичні характеристики, при цьому використовуються й однотипні решета.

З цього випливає, що при переміщенні зернової суміші встановленим шаром заданої товщини повнота просіювання часток зернової фракції  $\chi_1^0$  на ділянці першого решета, яка має довжину  $x_1$  і

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлений зазор між прутками  $b$  має однаковий розмір й обраний з умови проходження часток зернової фракції крізь отвори решета, при цьому частки крупної фракції йдуть сходом, визначиться згідно умови:

$$\chi_1^0 = M^0(1 - e^{-\eta_0 x_1}),$$

де  $\eta_0$  – показник, що характеризує інтенсивність просівання часток проходу,  $\text{дм}^{-1}$ ;

$x_1$  – довжина першої гребінки центрального каналу,  $\text{дм}$ ;

$M^0$  – кількість основної фракції вихідна.

Інтенсивність просівання, яку характеризує показник  $\eta$ , є залежним від різноманітних факторів, серед яких основними є розмірні параметри часток проходу, встановлений зазор між прутками, характер розподілення зерноsumіші при переміщенні по решету, властивості фракцій проходу, параметри і стан поверхні решета, серед яких матеріал прутків, кут встановлення решіт відносно горизонту, довжина сепаруючої секції тощо [3, 4, 19, 21].

Повноту просіювання зернової фракції при переміщенні по другому решету визначимо з умови:

$$\chi_2^0 = (M^0 - M^0 e^{-\eta_0 x_1})(1 - e^{-\eta_0 x_2}),$$

де  $x_2$  – відповідно довжина другого решета,  $\text{дм}$ .

Відповідно, величина повноти просівання при переміщенні зерноsumіші по третьому решету довжиною  $x_3$  визначається наступним виразом:

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\chi_3^0 = [(M^0 - M^0 e^{-\eta_0 x_1})(1 - e^{-\eta_0 x_2})] \cdot (1 - e^{-\eta_0 x_3}).$$

Таким чином, значення повноти просіювання зернової фракції на  $k$ -решеті довжиною  $x_k$ , розміщеному у центральному каналі, можна визначити з умови:

$$\chi_n^0 = \left\{ \left[ (M^0 - M^0 e^{-\eta_0 x_1})(1 - e^{-\eta_0 x_2}) \right] \cdot (1 - e^{-\eta_0 x_3}) \right\} \cdot \dots \cdot (1 - e^{-\eta_0 x_k}).$$

Як зазначалось, проходові фракції, серед яких зернова й дрібна, після сепарації на решетах центрального каналу потрапляють до першого підсівного решета бічного каналу. Тут встановлені решета у яких зазор між прутками повинен забезпечити проходження дрібної фракції, а зернова повинна переміщуватись сходом з решета.

Визначимо величину повноти просіювання дрібної фракції при переміщенні по першому підсівному решету одного бічного каналу:

$$\chi_1'^{(\partial p)} = (M^{(\partial p)} - M^{(\partial p)} e^{-\eta'_{\partial p} x_1})(1 - e^{-\eta'_{\partial p} x_1}),$$

де  $M^{(\partial p)}$  – кількість дрібної фракції у зерноsumіші;

$\eta'_{\partial p}$  – величина інтенсивності просіювання часток дрібної фракції крізь отвори підсівного решета пруткового типу,  $\text{дм}^{-1}$ ;

$x_1'$  – довжина першого підсівного решета,  $\text{дм}$ .

Відповідно, кількість дрібної фракції, яка не змогла просіятись при переміщенні по першому підсівному решету, становитиме:

$$M_{c1}'^{(\partial p)} = (M^{(\partial p)} \cdot e^{-\eta'_{\partial p} x_1})(e^{-\eta'_{\partial p} x_1}).$$

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величина повноти просіювання часток дрібної фракції при сепарації на другому підсівному решеті першого каналу становитиме:

$$\chi_2'^{(\partial p)} = (M'_{c1}{}^{(\partial p)} \cdot (1 - e^{-\eta'_{\partial p} x_2'})).$$

Величина повноти просіювання часток дрібної фракції при сепарації на третьому підсівному решеті довжиною  $x_3'$  першого каналу становитиме:

$$\chi_3'^{(\partial p)} = (M'_{c2}{}^{(\partial p)} + M_{np3}{}^{(\partial p)}) \cdot (1 - e^{-\eta'_{\partial p} x_3'}),$$

де  $M'_{c2}{}^{(\partial p)}$  – кількість дрібної фракції, яка не сепарувалась через друге підсівне решето першого бічного каналу;

$M_{np3}{}^{(\partial p)}$  – кількість дрібної фракції, яка пройшла через отвори третього решета центрального каналу.

Повноту просіювання дрібної фракції на  $k$ -му підсівному решеті довжиною  $x_k'$  першого бічного каналу визначимо з умови:

$$\chi_k'^{(\partial p)} = (M'_{c(k-1)}{}^{(\partial p)} + M_{np(k)}{}^{(\partial p)}) \cdot (1 - e^{-\eta'_{\partial p} x_k'}),$$

де  $M'_{c(k-1)}{}^{(\partial p)}$  – кількість дрібної фракції, яка не просіялась крізь  $k-1$  підсівне решето першого бічного каналу;

$M_{np(k)}{}^{(\partial p)}$  – кількість дрібної фракції, яка просепарувалась крізь непарне колосове решето у центральному каналі й потрапила до  $k$ -го підсівного решета першого бічного каналу.

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частки проходових фракцій, які просепарувались крізь отвори першого колосового решета у центральному каналі, потрапляють до першого підсівного решета першого бічного каналу. При цьому певна кількість проходових фракцій, яка не встигла просіятись крізь отвори першого колосового решета потрапляє до другого колосового решету у центральному каналі, де процес сепарації повторюється і частки проходової фракції, які тут просіялись потрапляють до першого підсівного решета другого бічного каналу.

Повнота сепарації дрібної фракції на першому підсівному решеті другого бічного каналу визначається з умови:

$$\chi_1^{(\partial p)} = \left[ (M^{(\partial p)} \cdot e^{-\eta_{\partial p} x_1}) (1 - e^{-\eta_{\partial p} x_2}) \right] \cdot (1 - e^{-\eta_{\partial p} x_1''}),$$

де  $x_1''$  – довжина першого підсівного решета другого бічного каналу, дм;

$\eta_{\partial p}''$  – показник, що характеризує інтенсивність просіювання дрібної фракції крізь перше підсівне решето другого бічного каналу, дм<sup>-1</sup>.

Повноту сепарації дрібної фракції крізь 2-е підсівне решето другого бічного каналу визначаємо аналогічно.

Таким чином, повнота сепарації дрібної фракції для  $k$ -го підсівного решета другого бічного каналу становитиме:

$$\chi_k^{(\partial p)} = (M_{c(k-1)}^{(\partial p)} + M_{np(k)}^{(\partial p)}) \cdot (1 - e^{-\eta_{\partial p} x_k''}),$$

де  $M_{c(k-1)}^{(\partial p)}$  – кількість дрібної фракції, яка не встигла просіятись крізь отвори  $k-1$  підсівного решета другого бічного каналу;

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$M_{np(k)}^{(\partial p)}$  – кількість дрібної фракції, яка пройшла крізь отвори парного колосового решета, розташованого у центральному каналі, й потрапила до  $k$ -го підсівного решета;

$x_k''$  – довжина  $k$ -го підсівного решета, розміщеного у другому бічному каналі, дм.

Величину повноти сепарації дрібної фракції крізь  $k$ -е підсівне решето, розміщене у першому бічному каналі гравітаційного сепаратора визначимо згідно виразу:

$$\sum \chi_k'^{\partial p} = \chi_1'^{\partial p} + \chi_2'^{\partial p} + \chi_3'^{\partial p} + \dots + \chi_k'^{\partial p},$$

аналогічно і для другого бічного каналу

$$\sum \chi_k''^{\partial p} = \chi_1''^{\partial p} + \chi_2''^{\partial p} + \chi_3''^{\partial p} + \dots + \chi_k''^{\partial p},$$

і відповідно загальна повнота сепарації дрібної фракції гравітаційного сепаратора становитиме:

$$\sum \chi_k^{\partial p} = \sum \chi_k'^{\partial p} + \sum \chi_k''^{\partial p}.$$

Повнота сепарації для крупних часток для  $k$  решіт, розміщених у центральному каналі, становитиме:

$$\chi_k^{kp} = \left\{ \left\{ \left[ (M^{kp} - M^{kp} e^{-\eta_{kp} x_1}) (1 - e^{-\eta_{kp} x_2}) \right] \cdot (1 - e^{-\eta_{kp} x_3}) \right\} \cdot \dots \cdot (1 - e^{-\eta_{kp} x_k}) \right\},$$

(5.29)

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$M^{кр}$  – кількість крупних домішок в зерносуміші, яка надходить на сепарацію;

$\eta_{кр}$  – показник інтенсивності сепарації крупної фракції на пруткових колосових решетах,  $дм^{-1}$ .

Відповідно до методу, запропонованого Г.В. Ньютоном і Н.В. Ньютоном, встановимо технологічну ефективність видалення дрібних домішок із зернового матеріалу запропонованим сепаратором:

$$E_{\phi} = \sum \chi_k^{dp} - \sum \chi_k^0.$$

Наведені вирази з певними припущеннями описують процес сепарації гравітаційним сепаратором з каскадним розташуванням решіт, що дозволяє обґрунтувати необхідну кількість решіт, враховуючи їх параметри, зокрема довжину і ширину, шляхом обчислення повноти сепарації кожної фракції зерносуміші. Це дозволяє також оптимізувати параметри запропонованого сепаратора, який використовує для процесу очищення зерносуміші сили гравітації.

Згідно з дослідними даними [12, 16, 17] підвищення ефективності виділення проходових фракцій зерноматеріалу спостерігається при збільшенні довжини сепаруючої поверхні решіт. Але при цьому інтенсивність просіювання дрібних фракцій має суттєве підвищення до довжини решіт 1,55 дм, а далі спостерігається стабілізація цього показника, що пов'язано зі збільшенням швидкості переміщення зерносуміші і, відповідно, зменшенням часу, необхідного на самосепарацію самого зерноматеріалу. Тобто частки, які мають ймовірність пройти крізь отвори, не встигають досягти поверхні решета, щоб відбулась сепарація. Натомість зменшення швидкості переміщення

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

по решету досягається зменшенням кута встановлення решіт до горизонту, але це негативно впливає на продуктивність сепаратора.

Найбільш ефективна решітна сепарація відбувається при встановленні решіт під кутом  $40^{\circ}$  –  $50^{\circ}$ , тому найбільш раціональним є використання кута  $50^{\circ}$ , який при довжині решіт 1,55 дм забезпечить допустимий ступінь сепарації при максимальній пропускній здатності сепаратора.

Для вказаних параметрів встановлення решіт, використовуючи одержані вирази для повноти сепарації, необхідно обґрунтувати раціональну кількість каскадно розміщених решіт. Для цього виконаємо побудову графічних залежностей, які визначають вплив кількості решіт на ступінь повноти виділення проходових фракцій крізь отвори пруткових решіт (рис. 3.2, рис. 3.3).

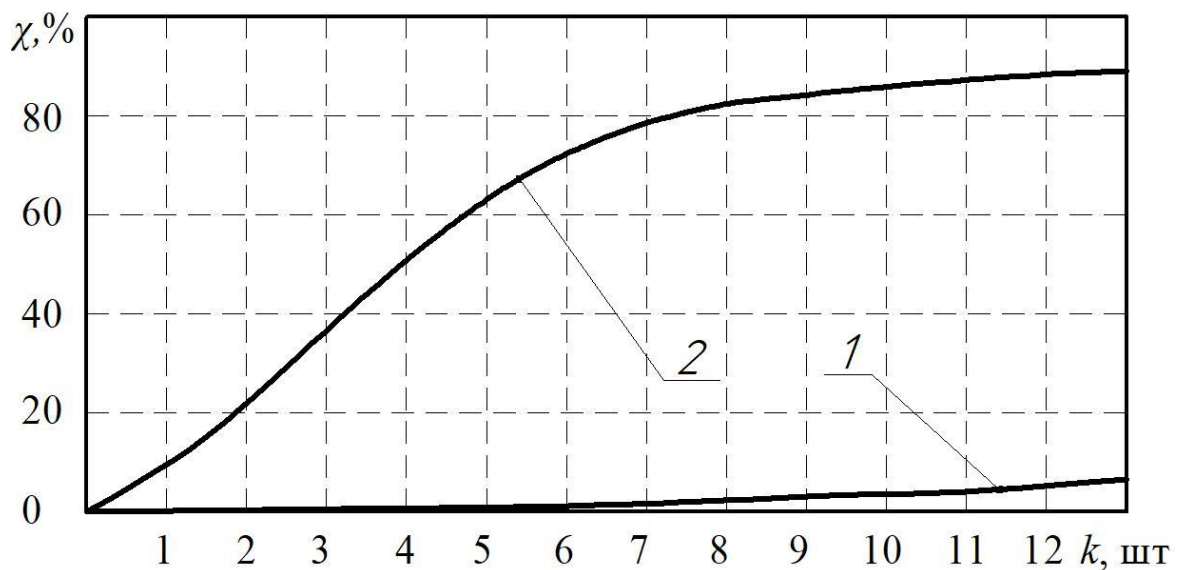


Рис. 3.2 – Вплив кількості підсівних решіт на повноту сепарації при зазорі між прутками  $b=2,0$  мм: 1 – зернова фракція; 2 – дрібна фракція.

Аналізуючи залежності (рис.3.2) приходимо до висновку, що при збільшенні кількості підсівних решіт зростає загальна повнота сепарації дрібної фракції, але зростають і можливі втрати зернової фракції внаслідок проходу між прутками. При цьому інтенсивність цих втрат

починає збільшуватись і досягає максимально допустимих значень при задіянні більше 8 решіт. Тому раціональним є обмеження застосування послідовно розміщених підсвічних решіт не більше восьми.

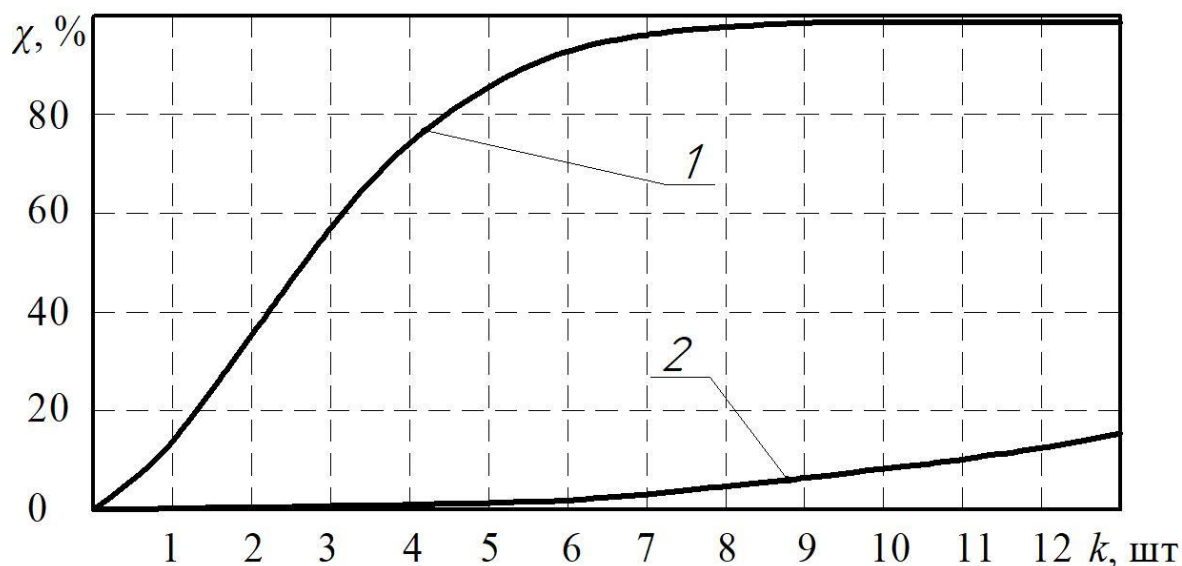


Рис. 3.3 – Вплив кількості колосових решіт на повноту сепарації при зазорі між прутками  $b=3,8$  мм: 1 – прохідова фракція; 2 – крупна фракція.

Залежності (рис.3.3) свідчать про те, що збільшення кількості колосових решіт позитивно впливає на загальну повноту виділення прохідових фракцій, але при досягненні восьми послідовно встановлених колосових решіт досягається гранично допустима кількість крупної фракції, яка потрапляє до зернової фракції. Тому тут також раціонально застосувати 8 колосових решіт.

### Висновки по розділу

В розділі, зважаючи на попередньо проведений теоретичний аналіз роботи решіт пруткового типу, було виконано інженерне обґрунтування параметрів пруткової поверхні з огляду на забезпечення відсутності защемлення сходових часток. Крім того, було проведено обґрунтування кількості послідовно встановлених каскадних решіт з умови забезпечення максимального ефекту сепарації зерноsumіші від дрібних і крупних домішок.

					ГС 00.000 ПЗ			Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

## 4. Охорона праці

Особи, які виконують обслуговування гравітаційного сепаратора повинні чітко виконувати правила з охорони праці та вимоги безпечної експлуатації. До роботи і обслуговування машини не допускаються особи молодше вісімнадцяти років.

Роботи, пов'язані з прийманням, завантаженням, розвантаженням сепаратора, підготовкою його до роботи, а також обслуговування під час постановки і зняття зі зберігання виконувати під керівництвом механіка чи бригадира. При здійсненні монтажних робіт не допускається підняття вручну вантажів масою більше 50 кг, а також переміщення їх на відстань, що перевищує 60 метрів.

Допуск працівників до роботи з зерноочисною машиною, її налагодження і ремонту виконується лише після ознайомлення з інструкцією по експлуатації та проходження інструктажу з охорони праці, пожежної безпеки, а також освоєння правил першої допомоги при ураженні електрострумом та інших нещасних випадках.

Перед початком експлуатації необхідно:

- упевнитись, що сепаратор працює правильно, перевірити наявність та кріплення захисних огорожень;
- перевірити присутність та комплектність протипожежного реманенту та засобів надання першої домедичної допомоги.

Оскільки при роботі сепаратора використовуються засоби завантаження і вивантаження матеріалу, які мають електропривод, необхідно контролювати стан і справність заземлення та занулення. Заборонено виконувати роботи при відсутності заземлення та занулення, або при їх несправності.

Під час виконання робіт заборонено:

- присутність поблизу працюючого сепаратора сторонніх осіб;
- зняття захисних огорожень та запобіжних пристосувань;
- виконання огляду, очищення, змащування та регулювання механізмів.

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Роботи, пов'язані з технічним обслуговуванням, чищенням, налагодженням виконувати лише після зупинки обладнання та зняття напруги з електрообладнання. Для зняття напруги виконується відключення рубильника, який відповідає за подачу напруги на ящик керування; відключення пакетного вимикача ящика керування. На важіль рубильника або над ним, а також на ящик управління необхідно розмістити попереджувальну інформацію „Не вмикати – працюють люди”.

Під час роботи сепаратора необхідно уникати потрапляння сторонніх предметів. При виникненні в машині сторонніх шуму чи вібрації необхідно провести зупинку сепаратора і транспортерів, виявити причини шумів та усунути їх.

Ввімкнення сепаратора після монтажних чи ремонтних робіт або довгої зупинки виконується тільки з дозволу головного інженера після перевірки технічного стану.

Під час роботи зерноочисної машин в приміщенні може відбуватися накопичення пилових часток, що може призвести до виникнення пожежі, тому заборонено використовувати відкрите полум'я в приміщенні, де працює сепаратор.

Персонал, який працює з зерноочисною машиною повинен мати захисний одяг, окуляри та засоби захисту органів дихання. Для чищення сепаратора використовувати спеціальні щітки з довгими ручками, при обслуговуванні і налагодженні використовувати справний інструмент.

Приміщення закритого типу, де працює сепаратор повинно бути обладнано приточно-витяжною вентиляцією та засобами пожежогасіння.

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. Економічна частина

В процесі виконання роботи було запропоновано модернізувати гравітаційний решітний сепаратора каскадного типу шляхом використання в пруткових решіт. Внаслідок цього було збільшено сепарувальну здатність решіт, що сприяє підвищенню їх питомої продуктивності. За рахунок використання оригінальної конструкції решіт, що мають розширюваний клин до кінця решітного полотна, вдалось вирішити проблему забивання решіт частками матеріалу. Це дозволить збільшити коефіцієнт використання експлуатаційного часу зміни. Техніко-економічні показники гравітаційного сепаратора до і після модернізації наведені в таблиці.

Техніко-економічні показники порівнюваних машин

Показники	Один. виміру	Машина	
		Базова	Після модернізації
1	2	3	4
1. Спосіб застосування		стаціонарна	
2. Маса машини	кг	300	287
3. Оптова ціна машина	грн.	46400	44000
4. Собівартість машини	грн.	36500	32800
5. Продуктивність	т/год	12	17
6. Коефіцієнт використання часу зміни – -робочого -експлуатаційного		0,82 0,76	0,86 0,82
7. Кількість комплектувань оригінальних деталей, розроблених в процесі модернізації	шт.		14

Розрахунки, виконанні за стандартними методиками [25, 26], дозволяють констатувати, що як виробник, так і споживач модернізованого сепаратора зможуть отримати позитивне економічну ефективність за рахунок запропонованих удосконалень. Це дозволяє говорити про ефективність проведених розробок, які виконані в дипломній роботі, та рекомендувати розробку впровадити у виробництво.

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6. Загальні висновки

Провівши аналіз найбільш поширених конструкцій зерноочисних машин решітного типу було встановлено, що найбільш перспективними для подальшого удосконалення є решітні гравітаційно-каскадні сепаратори, які мають ряд переваг, зокрема відсутність енергоприводу, мінімальні значення габаритів по площі, відносно невелику металоємність.

За результатами огляду технологічних схем таких сепараторів і конструктивних їх особливостей було запропоновано підвищити ефективність гравітаційно-каскадного сепаратора класичної схеми за рахунок використання решіт пруткового типу з забезпеченням їх самоочищення. Сепаратор має загзагоподібний центральний канал, утворений каскадами колосових решіт, й паралельні йому дві бічні зигзагоподібні канали, які утворені каскадом підсівних решіт. У центральному каналі відбувається сепарація з виведенням крупних домішок із зернового матеріалу, а в бічних з зернового матеріалу видаляються дрібні домішки. Таким чином запропонована конструкція забезпечує за один прохід розділити зерносуміш на три фракції.

Для запропонованої технологічної схеми проведено теоретичні дослідження, за результатами яких встановлено максимально можливу продуктивність сепаратора з врахуванням реальних умов сепарації, що дозволило обґрунтувати і деякі параметри решіт, зокрема їх довжину. Так встановлено, що питома продуктивність решітного сепаратора без використання додаткових інтенсифікаторів обмежується максимально можливою швидкістю переміщення часток під дією гравітаційних сил. Забезпечити необхідну задану продуктивність сепаратора можливо при довжині решітної поверхні близько 1,2 м, що викличе збільшення габаритних розмірів сепаратора. При розбитті суцільного решета на каскади, робоча довжина одного решета пруткового типу становитиме близько 0,150 м.

У інженерній частині обґрунтовано конструктивні параметри модернізованого гравітаційного решітного сепаратора, зокрема встановлено

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

геометричні і конструктивні параметри пруткових решіт, що дозволить знизити металомісткість і собівартість його виготовлення та забезпечити необхідну якість сепарації. Найбільш ефективна решітна сепарація відбувається при встановленні решіт під кутом  $40^{\circ}$  –  $50^{\circ}$ , тому найбільш раціональним є використання кута  $50^{\circ}$ , який при довжині решіт 1,55 дм забезпечить допустимий ступінь сепарації при максимальній пропускній здатності сепаратора. Встановлена ефективна кількість решіт при цьому становить 8 штук.

У розділі Охорона праці наведено заходи з забезпечення безпечної експлуатації і обслуговування гравітаційного сепаратора каскадного типу, враховуючи і наявність додаткового обладнання у вигляді транспортерів. Запропоновані заходи в тому числі дозволять і зменшити чи усунути дію шкідливих факторів на працівників.

У економічній частині проведено техніко-економічне обґрунтування наведених в роботі розробок, що підтверджують доцільність використання модернізованого гравітаційного сепаратора з каскадним розташуванням пруткових решіт.

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список використаної літератури

1. Методичні рекомендації до оформлення випускної кваліфікаційної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» : освітньо-професійна програма «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва», освітньо-наукова програма «Галузеве машинобудування» / [уклад. : О. М. Васильковський, Д. І. Петренко, К. В. Васильковська, С. М. Лещенко, С. М. Мороз] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 38 с.
2. Очищення зерна як одна із передумов його якісного і довготривалого зберігання / М. Занько // Пропозиція. 2015. URL: <https://propozitsiya.com/ua/ochishchennya-zerna-yak-odna-iz-peredumov-yogo-yakisnogo-i-dovgotrivalogo-zberigannya>.
3. Сисолін П.В., Петренко М.М., Свірень М.О. Сільськогосподарські машини. Кн. 3. К. : Фенікс, 2007. 432 с.
4. Вдосконалення технологічного процесу очищення зерна зерноочисними машинами загального призначення. – Механізація і автоматизація технологічних процесів у молочному скотарстві. – Агроінженерні дослідження / М.І. Васильковський, І.М. Осипов, О.М. Васильковський, С.М. Мороз // Вісник ЛДАУ №3 – Львів, 1999. – С. 102-107.
5. Strong Seed. Healthy Grain. PETKUS. Сайт виробника. URL: <http://www.petkus.com/>.
6. Зберігання та очищення зерна. Каталог продукції Хорольського механічного заводу. URL: <https://mehzavod.com.ua/ua/catalog/khranenie-i-ochistka-zerna/>.
7. Зернові сепаратори БЦС-25, БЦС-50, БЦС-100. Каталог продукції компанії БЦС-СЕПАРАТОР. URL: <https://bcs-separator.com.ua/ua/index.php>.
8. Damas Sigma Cleaner. Каталог продукції компанії Damas. URL: <https://www.damasseed.com/sigma-section1/>.
9. KDC 4000. Каталог продукції компанії Kongskilde. URL: <https://www.kongskilde-lat.com/img/grano/02/3.pdf>.
10. Magik kleener. Каталог продукції компанії Magik Kleener Sales, Inc. URL: <https://www.machinerypete.com/details/grain-cleaners/2024/magik-kleener/1500lp/20682268>.

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Патент №139435 Україна, МПК В07В1/00, В07В13/00. Сепаратор гравітаційно-каскадного типу / Дударев І.М.; Заявлено 20.05.2019; Опубл. 10.01.2020; Бюл. № 1.
12. Dudarev I., Zabrodotska L., Satsiuk V., Taraymovich I., Olkhovskyi V. Research on seed separation process on a gravity-cascade separator. INMATEH – Agricultural engineering. Vol. 62, No. 3. 2020, Bucharest 2020. Pp. 173–180.
13. Обґрунтування параметрів відцентрово-пневматичного сепаратора зерна [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Петренко Дмитро Іванович ; Кіровогр. нац. техн. ун-т. - Кіровоград, 2011. - 20 с.
14. Котов Б. І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, М. Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград. – 2003. – Вип. 33. – С. 53–59.
15. Лещенко С.М. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючої системи інерційного прямоточного сепаратора зерна: дис. ... кандидата техн. наук : 05.05.11 / Сергій Миколайович Лещенко. – Кіровоград, 2010. – 192 с.
16. Розробка нової конструкції пневморешітної зерноочисної машини. Том 1. Обґрунтування параметрів транспортера-сепаратора : монографія / В. М. Сало, С. М. Мороз, О. М. Васильковський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : Лисенко В.Ф., 2014. – 108 с.
17. Стаценко Д.І. Куянов Ю.Ю., Кошулько В.С., Олексієнко В.О., Сепарування зернових сумішей з використанням сил гравітації / Збірник наукових праць магістрантів та студентів. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. С. 69-70.
18. Підручник дослідника : навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. - Кіровоград : Мачулін, 2016. - 204 с.
19. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки : навч. посіб. для студент. агротехн. спец. / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. - Харків, 2019. - 164 с. : іл.
20. Назаренко І.І. Основи проектування і конструювання машин та обладнання переробних виробництв // І.І. Назаренко, І.М. Берник – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 544 с.

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин / П.М. Заїка. – Харків: Око, 2006. – 407 с.
22. Амосов, В. В. Математичне моделювання процесів і машин : навч. посіб. : [для студентів агротехнічних спеціальностей] / В. В. Амосов, В. М. Сало, М. О. Свірень. – Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2022. – 218 с.
23. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
24. Охорона праці у сільському господарстві. – ТОВ «ТЕХ МЕДІА ГРУП», 2019 р. URL: [https://techmedia.com.ua/sites/default/files/online\\_version/ECO\\_SX/files/assets/basic-html/toc.html](https://techmedia.com.ua/sites/default/files/online_version/ECO_SX/files/assets/basic-html/toc.html).
25. Єрмаков О.Ю., Організація сільськогосподарського виробництва. Навч. метод. посібник– 2 –ге вид., доп. і перер. - К.: НАУ, 2007. – 266 с.
26. Ільчук М.М., Зрібняк Л.Я., Мельник С.І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник - К.: Вища освіта, 2013. – 535 с.

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ДОДАТКИ

					ГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





















