

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 пневмосепаратора з
обґрунтуванням його параметрів»**

Виконав здобувач вищої освіти ІІ курсу,
групи ГМ-23М-1.1

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____Глапшун Валентин Юрійович

« ____ » _____ 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 пневмосепаратора з обґрунтуванням його параметрів»
післязбиральне очищення, пневматичний сепаратор, параметри

В роботі проаналізовано недоліки пневматичних зернових сепараторів та запропоновано використання інерційних сил. Удосконалено відцентрово-пневматичний сепаратор шляхом заміни решета на пруткове, що теоретично та експериментально довело підвищення продуктивності в 1,2-1,4 рази без зміни габаритів та енергоспоживання. Визначено раціональні параметри роботи оновленої системи для досягнення високої якості очищення. Проведено розрахунки для оптимізації металомісткості та собівартості.

Abstract

Topic: «Improving efficiency of the pneumatic separator with explanation of its parameters»
post-harvest cleaning, pneumatic separator, parameters

The paper analyzes the shortcomings of pneumatic grain separators and proposes the use of inertial forces. The centrifugal-pneumatic separator was improved by replacing the sieve with a bar one, which theoretically and experimentally proved an increase in productivity by 1.2-1.4 times without changing the dimensions and energy consumption. Rational parameters of the updated system operation have been determined to achieve high quality purification. Calculations have been made to optimize metal content and cost.

1. Вступ

Історично Україна має високий агропотенціал, оскільки володіє високопродуктивним земельним фондом, тому впродовж багатьох років спостерігається значний темп росту обсягів виробництва продукції агровиробництва. При цьому, останніми роками спостерігається поступовий перехід господарювання від екстенсивного до інтенсивного, що вимагає все більшого залучення у виробництво с.-г. продукції як інтенсивних технологій землеробства, так і автоматизованих, а в наш час і інтелектуалізованих засобів виробництва, а крім того і високопродуктивного та якісно підготовленого посівного матеріалу. Саме з якісно підготовленим посівним матеріалом, незважаючи на застосовані системи землеробства, сьогодні пов'язують потенційні можливості у врожайності культур.

Серед найбільш відповідальних агротехнічних прийомів, які здатні забезпечити найоптимальнішу якість посівного матеріалу, виділяють очищення насіння від шкідливих домішок та фракціонування за комплексними фізико-механічними властивостями. Сьогодні виробники с.-г. обладнання пропонують досить значний спектр машин, які дозволяють очистити і відсортувати зерновий матеріал за комплексом ознак: аспіраційні властивості, розмірні характеристики, магнітні і оптичні властивості, щільність тощо.

Але, все більш зростаючі світові вимоги до якості продукції, пов'язані, в тому числі і з енергетичними витратами на підготовку матеріалу, потребують проведення подальших досліджень та удосконалення технологічного обладнання, яке використовується при очищенні і сортуванні зернових матеріалів. Саме тому робота має спрямування на дослідження технологічних особливостей розділення матеріалу з розробкою конструкції ЗОМ, яка забезпечує техніко-технологічні можливості підвищення якісно-енергетичних показників даного процесу.

					ПС 00.000 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	Глапшун				Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>	Петренко							
<i>Н.контр.</i>	Мачок							
<i>Затв.</i>	Васильковський							
						ЦНТУ, гр. ГМ-23М-1.1		

(важку і легку) за так званим способом «зважування». Дані типи каналів використовуються в схемах як окремих пневмосепараторів, так і в складі комбінованих решітно-пневматичних ЗОМ у вигляді окремих модулів перед і (або) після решітної сепарації.

Натомість класичні канали похилого виконання реалізують розділення зернового матеріалу за так званим методом «відхилення», при цьому одночасно можливо виділити декілька фракцій відповідно їх густини. Даний тип каналів також набув широкого використання і у вигляді самостійних пневмосепаруючих систем і в складі комбінованих зерноочисних машин, які реалізують комплексне очищення зернової суміші за різноманітними фізико-механічними ознаками.

Зигзагоподібні пневмосепаруючі канали відзначаються періодичним змінням напрямку повітряного потоку, а процес сепарації в них реалізується відповідно до способу «зважування». В таких зигзагоподібних каналах кожній секції питаменно виникнення обертального відносно горизонтальної вісі вихрового повітряного потоку, і, відповідно, зерноsumіш, переміщуючись згори донизу, проходить обробку даним потоком повітря. За таких умов спостерігається збільшення часу взаємодії повітряного потоку з частками зерноsumіші, що, як відомо, сприяє покращенню якості пневмосепарації.

Спиральні пневмосепаруючі канали характеризуються дією на частки зерноsumіші, окрім сил аеродинамічної і тяжіння, й відцентрової сили, яка причиняє збільшення сили тертя часток об стінки каналу. За рахунок цього з'являється можливість комбінованого розділення елементів зерноsumіші як аеродинамічними властивостями, так і властивостями поверхневого покриття. Поте, дані канали за підвищених навантажень на канал не здатні забезпечити ідентичні умови обробітку всього зернового матеріалу, що не дозволило їм набути широкої популярності.

Аналогічні процеси спостерігаються і при використанні криволінійних каналів, які, на відмінну від попередніх, знайшли досить широкого

						ПС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			

відходів. У фронтальній площині спостерігається вирівнювання тисків відносно внутрішньої і зовнішньої сторін поверхні барабана, що є наслідком відокремлення часток відносно поверхні циліндра та видалення їх шнеком назовні.

Слід відмітити, що при використанні в конструкції пневмосепаратора активних інерційних сил, створених додатковим робочим органом у вигляді циліндричного барабану, який обертається, надає змогу щодо забезпечення, за інших «ідеальних» умов, практично необмеженої можливості проектувати продуктивність сепаруючої системи.

Серед недоліків наведеного сепаратора слід виділити:

- підвищення аеродинамічного спротиву барабана з сітчастою поверхнею та виникнення додаткового «вентилюючого» потоку повітря, який виникає за збільшення його частоти обертання, що викликає неякісне розділення фракцій зерноsumіші внаслідок погіршення умов взаємодії з потоком повітря;

- наявність поперечних перетинок, притаманних сітчастому профілю поверхні барабана, створює перешкоди стабільному переміщенню частинок вздовж напрямку пуху, що пов'язано з переміщенням матеріалу в такому ПСК з ковзанням [4, 14].

Для вирішення даних проблем пропонується використати в якості активного елемента циліндричне решето пруткового типу (рис. 2.3). Така конструкція барабана сприятиме зменшенню його аеродинамічного опору внаслідок меншої кількості елементів, які створюють власний «вентилюючий» потік, крім того, конструктивне виконання пруткової навивки сприятиме додатковому саморієнтуванню зернових часток вздовж каналів між прутками.

В зв'язку з цим виникає задача по дослідженню ефективності розділення зернових сумішей удосконаленим відцентрово-пневматичним сепаратором, що дозволить оптимізувати його параметри і режими роботи.

					ПС 00.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			

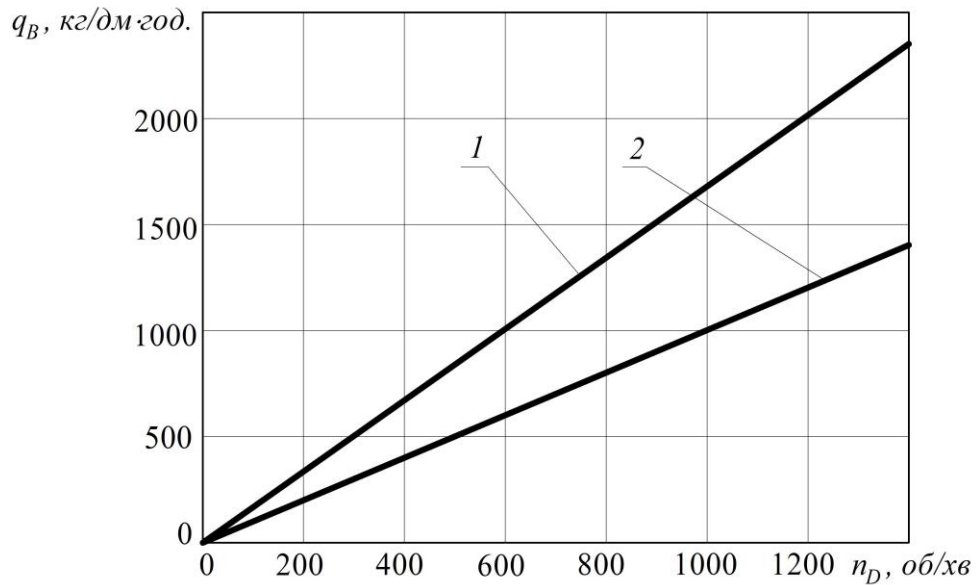


Рис. 2.6 – Залежності величини питомої продуктивності q_B від частот обертання циліндричного решета:

1 – об’ємна маса зерноsumіші $\rho = 460$ кг/м³; 2 – об’ємна маса зерноsumіші $\rho = 750$ кг/м³.

Так можемо спостерігати (рис. 2.7), що за зменшення діаметра прутка відбувається зростання питомої продуктивності ширини сепаратора, що пояснюється збільшенням «живого» перерізу ПСК.

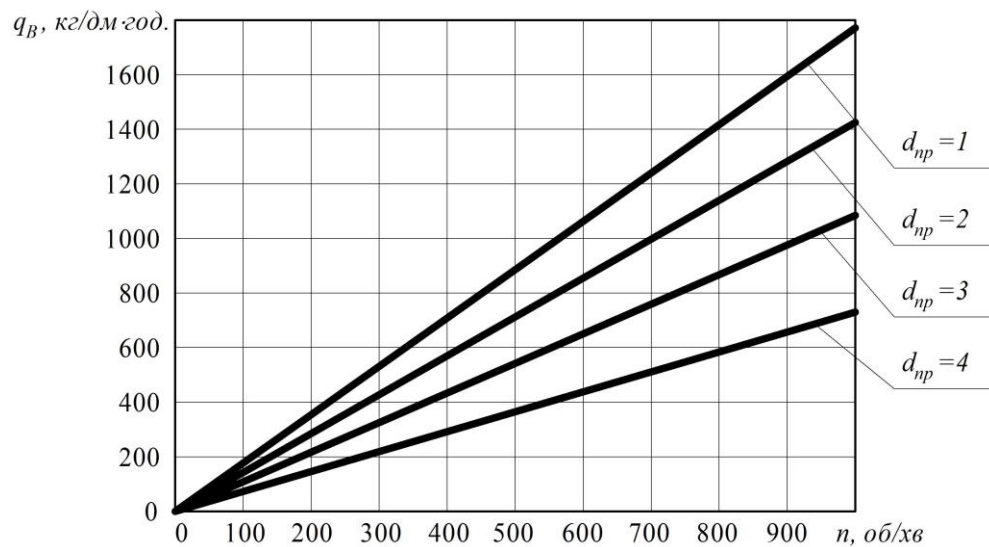


Рис. 2.7 – Залежності питомої продуктивності ширини сепаратора від величини діаметра прутка навивки за різної частоти обертання циліндричного решета

2.4. Експериментальні дослідження

За мету проведення серії емпіричних досліджень було обрано встановлення аеродинамічних параметрів сепаратора відцентрово-пневматичного типу. Для реалізації зазначеної мети використовувалась діюча лабораторно-експериментальна установка кафедри СГМ ЦНТУ (рис.2.8, 2.9).

Лабораторне обладнання для досліджень має у своєму складі установку (рис. 2.8), до складу якої входить бункер 2, обладнаний пристроєм дозування 8, циліндричне решето 3, привід якого здійснюється від електродвигуна 7, повітряний канал горизонтального типу, приймальники фракцій 4 і 5, вентиляторну установку 1, привід якої відбувається від електродвигуна 6.

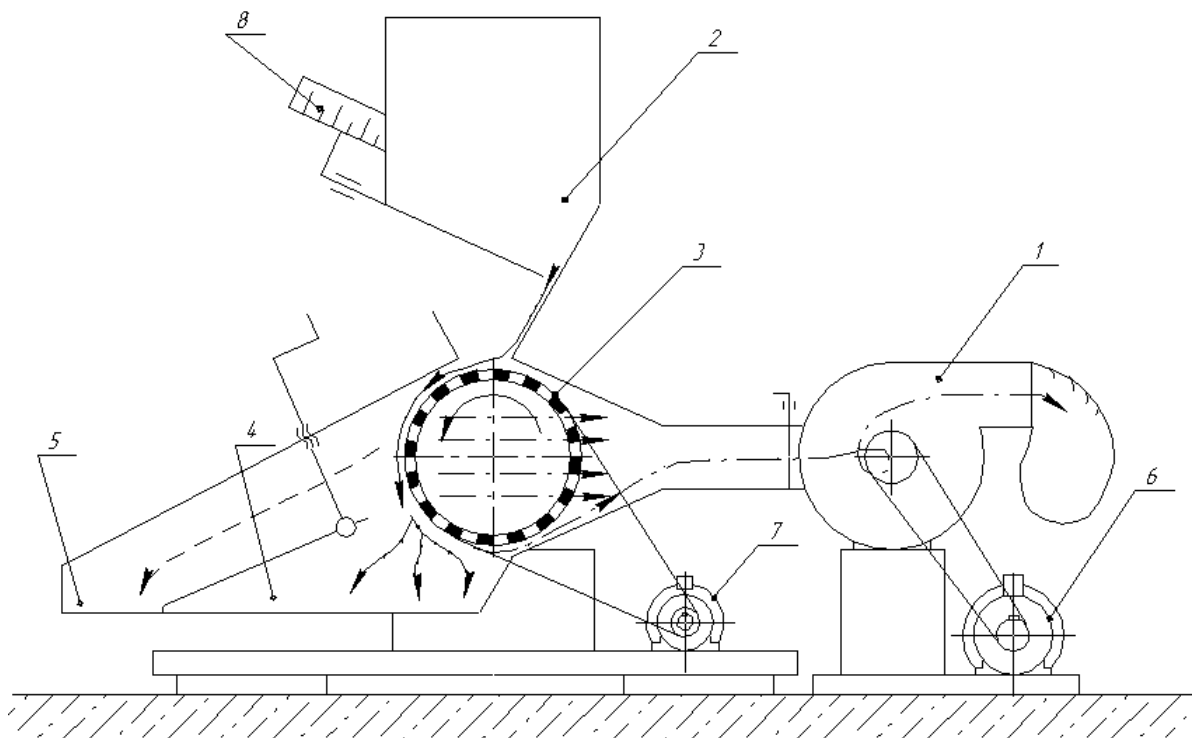


Рис.2.8 – Схематичне зображення дослідної установки

Робота дослідної установки полягає в наступному.

Бункер 2 заповнюється дослідною партією зерноsumіші. Регулятором 8 встановлюється необхідний рівень подачі і після відкриття шибера зерноsumіш через подаючий лоток вводиться до пневмканалу на зовнішню поверхню

						ПС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			

Виконання експериментальної установки передбачає можливість виконання необхідних регулювань, зокрема.

Можливість формування необхідної подачі матеріалу реалізується за допомогою пристрою дозування 8, який розміщено на вихідному вікні бункера 2. Для можливості зміни величини швидкості потоку повітря у ПСК передбачена заслінка, вмонтована до всмоктувального патрубку вентилятора 1. Для зміни частоти обертання циліндричного решета 3 необхідно відрегулювати передаточне відношення його приводу.

Для контролю частоти обертання використовується тахометр ІО-30 годинникового типу, що має похибку $\pm 1\%$, а діапазон вимірів становить 30...30000 об/хв.

Вимірювання потужності, необхідної для приводу робочих органів відцентрово-пневматичного сепаратора, проводили з використанням приладу К-50, який вимірює напругу, силу струму та потужність мереж.

Методика емпіричних досліджень

Дослідження питомого навантаження на ПСК.

Величина питомої продуктивності q_B встановлювали за рахунок вимірювання часу t , протягом якого встановлена маса суміші m здійснить проходження через вікно бункера, ширина якого співпадає з шириною повітряного каналу $B_{ПСК}$:

$$q_B = \frac{m}{B_{ПСК} \cdot t} \quad (2.7)$$

З цією метою навіска зерноsumіші вагою $m = 10$ кг завантажувалась до бункера експериментальної установки та з відкриванням заслінки пристрою дозування на фіксовану величину, реєстрували час t [с], протягом якого відбувалось спорожнення бункера. При відомій величині ширини каналу $B_{ПСК}$

									ПС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата						

[дм] здійснювали розрахунки дійсного значення питомої продуктивності відносно одиниці ширини q_B [кг/дм·с]. Дослідження реалізували з п'ятикратною повторюваністю, що дозволило забезпечити величину допустимої похибки до $\pm 5\%$. В подальшому за результатами замірів на заслінці пристрою дозування проводилось нанесення шкали, яка градує відповідну шкалу питомого навантаження (подачі).

Дослідження аеродинамічних параметрів ПСК

При визначенні аеродинамічних параметрів ПСК сепаратора виконували вимірювання параметрів швидкісного поля повітряного потоку, яке здійснювали в місці ПСК, де відбувався процес сепарації. Для цих цілей застосовували мікроманометр ММН-1, обладнаний комплектом комбінованих пневмометричних трубок Піто-Прандля.

Величину середньої швидкості аеропотоку в каналі розраховували як середньоарифметичну величину швидкостей відповідно точок замірів (рис. 2.10) [21–23]:

$$U_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}, \quad (2.8)$$

де i – точка заміру;

n – число точок замірів.

Величину коефіцієнта, який характеризує нерівномірність швидкісного поля потоку розраховували згідно

$$\alpha = \frac{U_{cp}}{U_{max}} \quad (2.9)$$

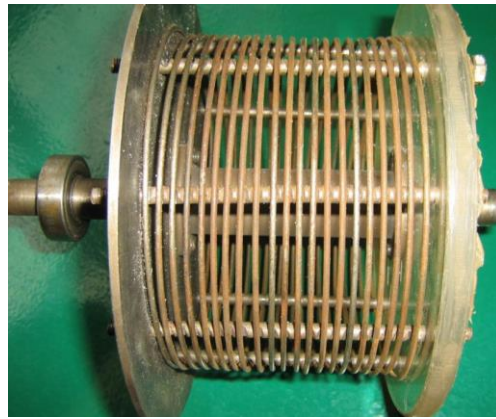
					ПС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



а)



б)



в)

Рис. 2.11 – Форми досліджуваних поверхонь циліндричного решета:
 а) сітчаста з ячейками 1x2 мм; б) пруткова з діаметром прутка $d_{np} = 4$ мм;
 в) пруткова з діаметром прутка $d_{np} = 3$ мм.

За отриманими результатами можемо спостерігати збільшення опору решета при збільшенні частоти обертів (рис. 2.12) і питомого навантаження ПСК (рис. 2.13). Це можливо пояснити створенням формуючими елементами поверхні решета та частками зерноsumіш «власного вентиляючого потоку».

Натомість, при інших ідентичних умовах при застосуванні пруткового профілю поверхні решета спостерігається зменшення, у порівнянні з сітчастою поверхнею, його загального опору повітряному потоку в межах 15...20%.

Згідно знайдених значень витрат повітря та втрат повного тиску в аспіраційній системі обираємо серійний вентилятор низького тиску ВР 88-75 №6,3, який характеризується наступними параметрами [1, 3]:

- величина частоти обертання вала вентилятора $n_{вент} = 1000$ об/хв;
- продуктивність створення повітряного потоку $V_n = 4000 \dots 10000$ м³/год;
- величина створюваного тиску $p = 250 \dots 550$ Па;
- діаметр робочого колеса $D_{р.к.} = 630$ мм;
- потужність приводу $N_{вст} = 1,1$ кВт.

3.4. Вибір системи пилоочищення

Одна з найбільш ефективних систем пилоочищення є жалюзійні інерційні системи (рис.3.1). Виконаємо розрахунки системи пилоочищення.

Величина опору жалюзійного пилоочисника інерційного типу визначається з залежності [1, 3]:

$$P_{ж.п.} = \xi \cdot \frac{\rho_n \cdot g^2}{2 \cdot g}, \quad (3.6)$$

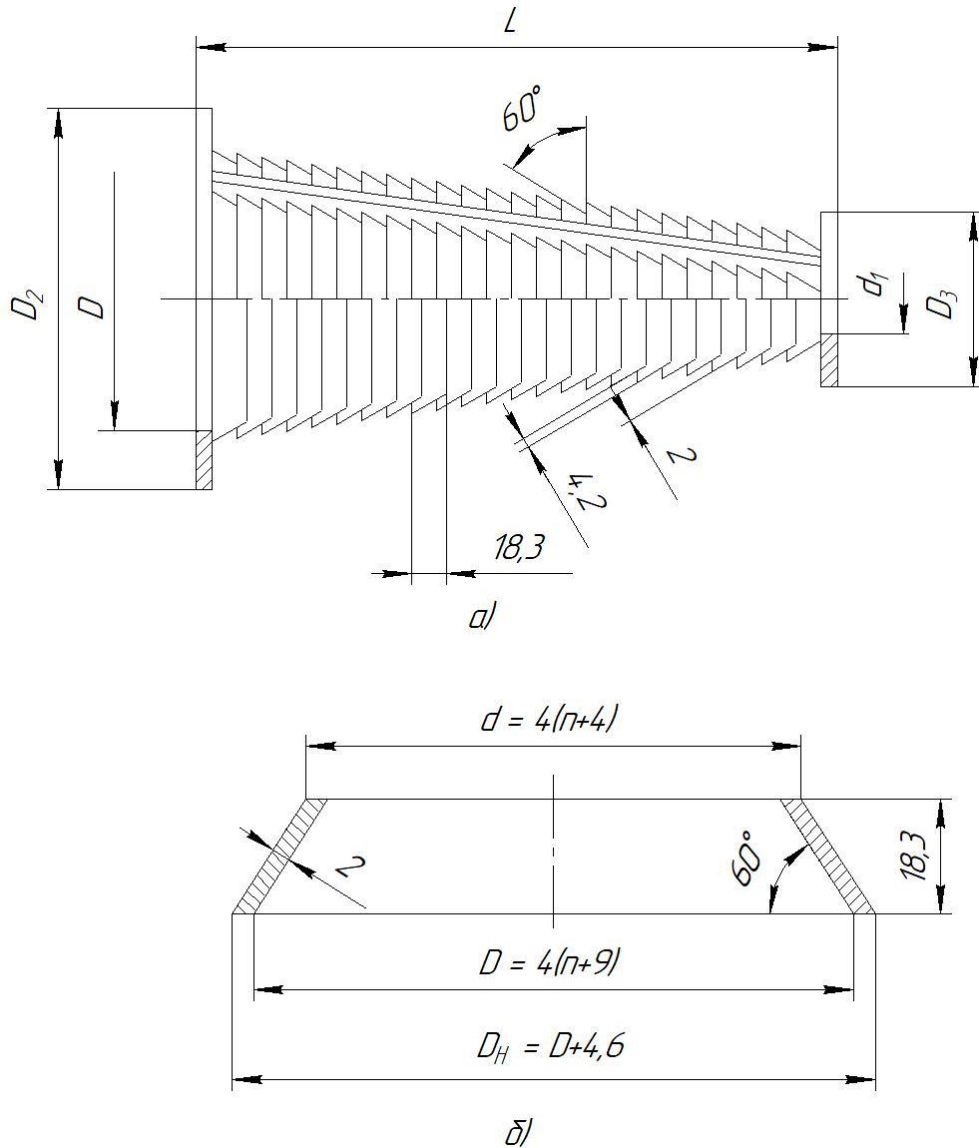
де ξ – коефіцієнт, що характеризує опір системи пилоочищення, який для усіх розмірних рядів жалюзійних пилоочисників становить $\xi = 2$ [3];

ρ_n – величина щільності повітря, $\rho_n = 1,2$ кг/м³.

Отже, матимемо:

$$P_{ж.п.} = 2 \cdot \frac{1,2 \cdot 15^2}{2 \cdot 9,81} = 27,5 \text{ кгс/м}^2.$$

						ПС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			



а) загальний вигляд; б) розріз кільця (n – номер кільця)
 Рис. 3.1 – Конструктивно-розрахункова схема жалюзійного пилоочисника

Розрахуємо величину діаметра вхідного отвору згідно заданої продуктивності та швидкості повітряного потоку [3]:

$$D_{ж.п.} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_n}{g_{асн}}}, \quad (3.7)$$

де $D_{ж.п.}$ – величина діаметра вхідного отвору пилоочисника, м;

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{p.б.}}{30} = \frac{3,14 \cdot 675}{30} = 70,65 \text{ с}^{-1}.$$

Величину коефіцієнта Ω знаходимо згідно залежності [24]:

$$\Omega = R_{on} \cdot \psi \cdot \rho \quad (3.9)$$

де R_{on} – сумуюча реакцій в опорах, Н;

ψ – коефіцієнт тертя в опорах;

ρ – величина радіуса цапфи, м.

У випадку застосування в опорах підшипників кочення при $\rho = 0,02$ м і величині реакцій в опорах $R_{on} = 920$ Н, матимемо тертя кочення, коефіцієнт якого становить $\psi = 0,025$ [24].

Отже,

$$\Omega = 920 \cdot 0,025 \cdot 0,02 = 0,46 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Таким чином, величина потужності, яка необхідна для подолання опорів складатиме:

$$N_{\omega} = 0,46 \cdot 70,65 = 32,5 \text{ Вт}.$$

Циліндричне решето здійснює робочий процес з переміщення зернового шару від точки А до точку Б (рис.3.2). На виконання цієї роботи витрачається наступна потужність:

$$N_A = \frac{A}{t}, \quad (3.10)$$

					ПС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$v_k = v_{p.б.} = \omega \cdot R_{p.б.} = 70,65 \cdot 0,075 = 5,3 \text{ м/с}; v_n = 0,95 \text{ м/с.}$$

t – тривалість переміщення порції зерноsumіші, с:

$$t = \frac{L_{p.б.}}{v_k - v_n}, \quad (3.16)$$

$$t = \frac{0,34}{5,3 - 0,95} = 0,078 \text{ с.}$$

Таким чином, прискорення матиме величину

$$a = \frac{5,3 - 0,95}{0,078} = 55,77 \text{ м/с}^2,$$

величина сили дії зерноматеріалу

$$F_{zc} = 0,25 \cdot 55,77 = 13,94 \text{ Н,}$$

а робота по переміщенню порції зерноматеріалу

$$A = 13,94 \cdot 0,34 \cdot 1 = 4,74 \text{ Дж.}$$

Підставивши отримані величини до рівняння (3.10), розраховуємо потужність, яка припадає на виконання корисної роботи:

$$N_A = \frac{4,74}{0,078} = 60,8 \text{ Вт} = 0,061 \text{ кВт.}$$

					ПС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- глибина пазу під шпонку у валу $t_1 = 3,5$ мм;
- глибина пазу під шпонку у маточині шківу $t_2 = 2,8$ мм.

Характерною деформацією у шпонок є зминання, що виникає від дії крутного моменту, який через неї передається і визначається як [24]:

$$\sigma_{зм} = \frac{4 \cdot T}{d_e \cdot l_{п.шп.} \cdot h_{шп.}} \leq [\sigma_{зм}],$$

звідки

$$l_{п.шп.} \geq \frac{4 \cdot T}{d_e \cdot [\sigma_{зм}] \cdot h_{шп.}},$$

де $l_{п.шп.}$ – величина робочої довжини шпонки, мм;

d_e – діаметр валу, мм;

T – величина крутного моменту, Н·мм;

$[\sigma_{зм}]$ – значення допустимої напруження на змин, для сталі 45, $[\sigma_{зм}] = 50$ МПа [24];

$$l_{п.шп.} = \frac{4 \cdot 9,7 \cdot 10^3}{20 \cdot 50 \cdot 6} = 6,5 \text{ мм},$$

Перевіряємо загальну величину довжини шпонки з умови:

$$l_{п.шп.} = l - b \quad \text{звідки}$$

$$l = l_{п.шп.} + b = 6,5 + 6 = 12,5 \text{ мм}.$$

Таким чином, обрані параметри шпонкового з'єднання відповідають умовам міцності на змин.

						ПС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			

6. Загальні висновки

За результатами виконаної магістерської кваліфікаційної роботи можемо зробити наступні висновки.

1. За результатами проведеного аналізу сучасних технологічних рішень для післязбирального очищення зернових сумішей повітряним потоком, встановлено, що існуючі системи, побудовані на гравітаційних силових полях не дозволяють забезпечити сучасні вимоги до процесу сепарації. Було запропоновано шляхи подальшого розвитку таких систем із застосуванням інерційних силових полів.

2. Запропоновано удосконалення сепаратора відцентрово-пневматичного типу ЗАВ 40.02.000, який номенклатурно входить до комплексів типу ЗАВ, але не знайшов широкого застосування внаслідок низького рівня питомої продуктивності. З метою підвищення технологічної ефективності даного сепаратора запропонована заміна циліндричного решета серійної машини, що має сітчасту поверхню, на поверхню пруткового профілю.

3. Для обґрунтування ефективності удосконалення і встановлення конструктивних параметрів удосконаленої системи виконано теоретичні дослідження процесу завантаження пневмосепараційного каналу сепаратора з врахуванням одношарового розміщення зерноsumіші в ПСК для забезпечення якісної взаємодії елементів зерноsumіші з повітряним потоком.

4. Шляхом проведення експериментальних досліджень на лабораторній установці встановлено наступне. З рахунок заміни у відцентрово-пневматичному сепараторі циліндричного решета з сітчастою поверхнею на решето циліндричного виконання, що має пруткову поверхню вдається досягти підвищення продуктивності в 1,2...1,4 рази без зміни габаритних і енергетичних параметрів системи. Встановлені раціональні діапазони зміни параметрів удосконаленої системи наступні: величина питомої продуктивності

					ПС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТКИ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ПС 00.000 ПЗ	Арк.

