

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 сепаратора турбінного типу з
обґрунтуванням його параметрів»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,

групи ГМ-23М-1.1

ОНП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве

машинобудування»

_____ Проценко Данило Русланович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Дмитро ПЕТРЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Володимир ЯЦУН

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Анотація

Тема: «Підвищення ефективності роботи сепаратора турбінного типу з обґрунтуванням його параметрів»

післязбиральне очищення, пневматичний сепаратор, турбінного типу

З метою підвищення ефективності очищення зерноsumішей у пневмосепараторі турбінного типу запропоновано удосконалений живильний механізм з пасивним конусним розподільником, який в нижній частині виготовлений перфорованим у вигляді ділильників. За результатами теоретичних досліджень обґрунтовані параметри пневмосепаратора, що дозволило підвищити ефективність сепарації, зменшити матеріало- та енергоємність на 13% та 14% відповідно.

Abstract

Topic: «Increasing the efficiency of the turbine-type separator with rationalization of its parameters»

post-harvest cleaning, pneumatic separator, turbine-type

In order to increase the efficiency of cleaning grain mixtures in a turbine-type pneumatic separator, an improved feeding mechanism with a passive conical distributor, which is perforated in the lower part in the form of dividers, has been proposed. Based on the results of theoretical research, the parameters of the pneumatic separator were justified, which allowed to increase the separation efficiency and reduce material and energy consumption by 13% and 14%, respectively.

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

Однією з визначальних задач нашої державної політики є забезпечення продовольчої безпеки. Незважаючи на той факт, що наша держава є одним з найвагоміших в Європі виробників агропродукції, проте можемо спостерігати доволі значний обсяг імпортованих продуктів харчування на своїх полицях. Цю дилему багато дослідників пов'язують з відсутністю достатньої потужності переробної галузі. Крім того, доволі часто фермери зустрічаються з проблемою збереження вирощеного врожаю, що викликано не лише відсутністю місць для зберігання, а й застарілим фондом токів, зерноочисних і сушильних комплексів тощо. Тому виникають ситуації продажу збіжжя «від комбайна» трейдерам, які намагаються одразу експортувати його.

Для покращення існуючого становища необхідним є як інвестування в зерносушильні комплекси і агрегати різної потужності, доступні, в тому числі, і середнім та дрібним господарствам, так і будівництва нових, сучасних підприємств переробної галузі, або ж модернізація існуючих.

Однією з найважливіших ланок у процесі підготовки збіжжя до зберігання чи подальшої переробки є його післязбиральна обробка, яка полягає в очищенні від домішок та нормалізації вологості зерноsumіші. Якісно і своєчасно виконане очищення зерноматеріалів дозволяє підвищити їх класність, а якісна підготовка посівного матеріалу дозволяє зменшити його витрати при посіві, сприяє зниженню рівня засміченості полів, підвищенню польової схожості культур та врожайності [1].

Зважаючи на вищенаведене, в роботі нами розглядається актуальна задача підвищення якісних показників післязбирального очищення зерноsumішей шляхом удосконалення пневмосепаратора турбінного типу, що передбачає дослідження якісних показників функціонування його аспіраційної системи.

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

КЛАСИФІКАЦІЯ ПНЕВМАТИЧНИХ СЕПАРАТОРІВ

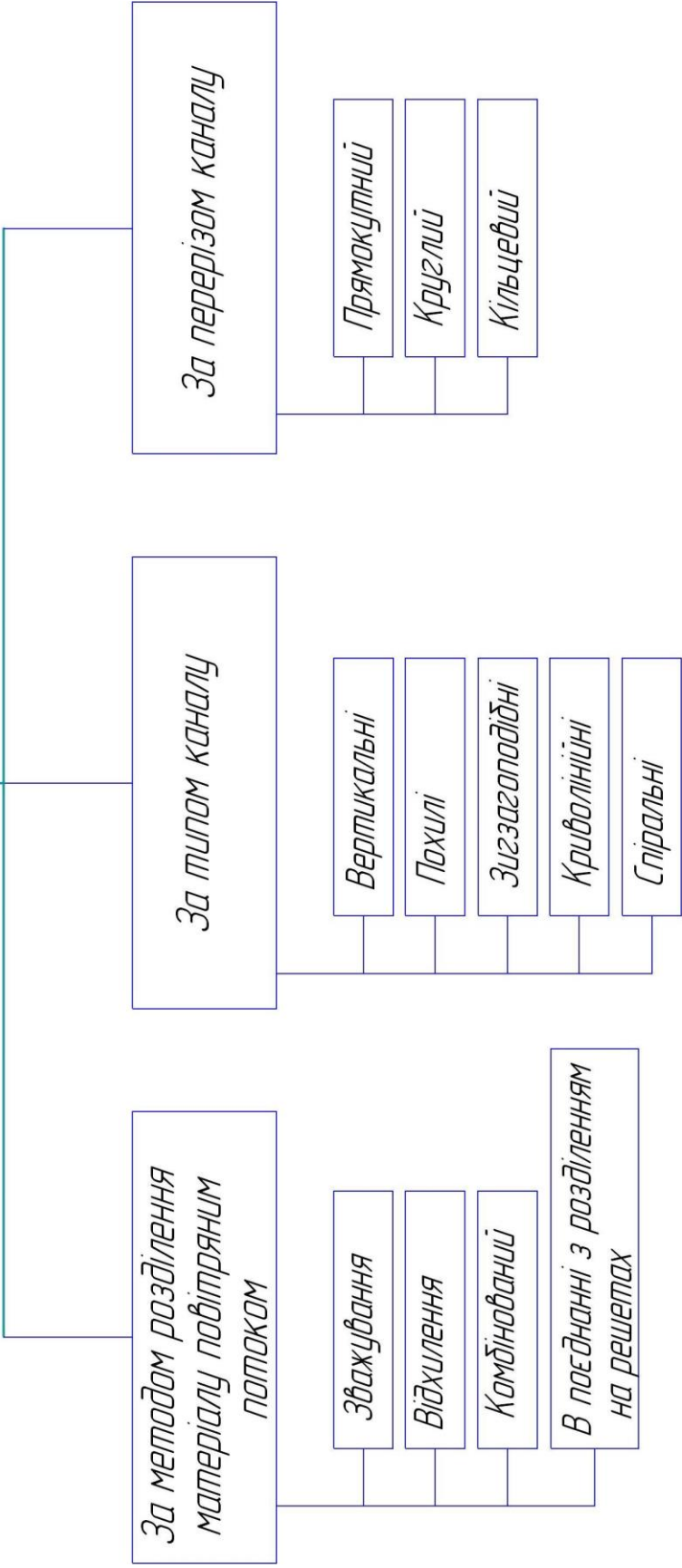


Рис. 2.1 – Класифікація пневмосепараційних

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

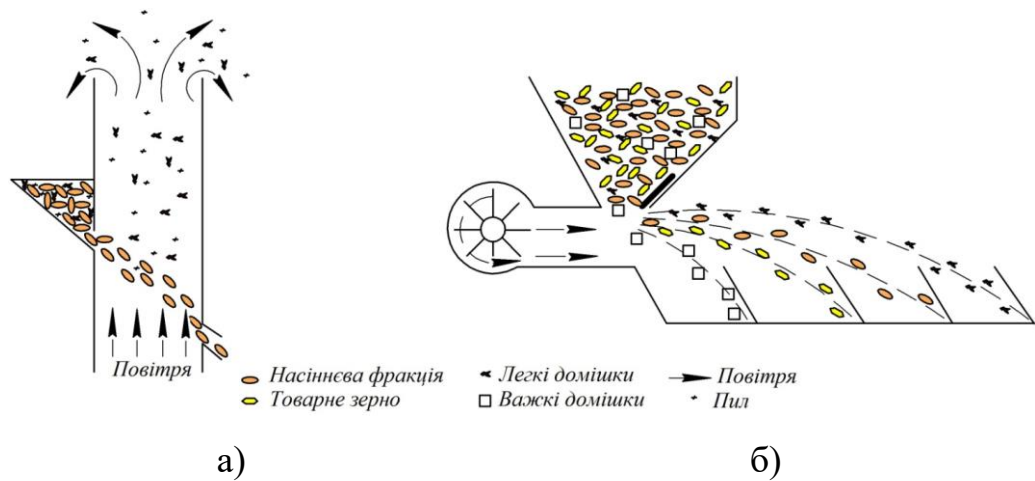
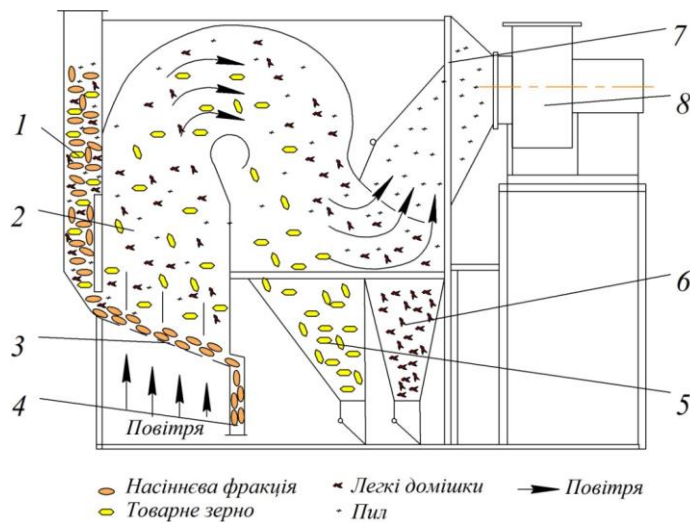


Рис. 2.2 – Класичні методи розділення матеріалу повітряним потоком:

а) – «зважування»; б) – «відхилення»

В деяких конструктивних схемах (ПСМ (рис. 2.3), К-560 «Petkus» [3, 5, 8]) застосовуються обидва зазначені методи сепарації зерноsumіші, тому такі системи дозволяють як виконати очищення повітряним потоком від легких домішок, так провести й сепарацію зерноматеріалу [4, 5]. Головною проблемою таких пневмосепараторів є відносно великі показники енергоємності формування повітряного потоку.



1 – приймальний бункер; 2 – ПСК; 3 – сітка; 4 – приймальник очищеного насіння; 5 – приймальник фуражного зерна; 6 – приймальник легких домішок; 7 – заслінка; 8 – вентилятор

Рис. 2.3 – Сепаратор пневматичний, що має комбіновану систему поділу зерноsumіші

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

Ще одним досить популярним технологічним рішенням є інтеграція аспіраційної системи в схему решітного очищення (рис. 2.4). Так, науковцями Центральноукраїнського національного технічного університету було розроблено конструкцію зерноочисної машини з обертальним пневморешітним сепаруючим модулем (рис. 2.4, а). В даній конструкції реалізована можливість одночасного обробітку зерноsumіші повітряним потоком під час її розділення на циліндричному решеті, що сприяє підвищенню загального рівня ефективності очищення. Схема реалізована наступним чином – зерноsumіш подається на внутрішню поверхню циліндричного решета, яке обертається з заданою частотою, одночасно до внутрішнього простору надходить потік повітря. При цьому частки матеріалу переміщуються вздовж осьової лінії барабану та по його поверхні, причому довжина шляху залежить від кінематичних параметрів руху решета. Для ефективної взаємодії повітряного потоку з зерноsumішшю встановлені скребки, при досягненні яких матеріал розсівається відносно цього потоку, створюючи умови для якісного проходження процесу пневмосепарації. Даний процес повторюється і біля інших скребоків.

Інтегровані схеми знайшли застосування і в конструкціях зерноочисних сепараторів KDC 4000 фірми Kongskilde [11] з горизонтальним розміщенням циліндричних решіт, а також вібровідцентрових сепараторах типу БЦСМ (рис. 2.4, б) [2, 3] і ін., що мають вертикально розміщені циліндричні решета.

Слід відзначити, що сепаратори, в яких використовуються циліндричні решета, характеризуються значною частотою їх обертання, що викликає притиснення зерноsumіші до їх стінок, при цьому суттєво погіршується ефективність взаємодії повітряного потоку з матеріалом.

Іншим типом інтегрованих схем є так звані гравітаційні сепаратори (рис. 2.4, в), в яких використано схему зигзагоподібного розміщення решіт плоскої чи криволінійної конфігурації. Решета таких машин формують зигзагоподібні канали, куди подається потік повітря [5]. Серед позитивних моментів такої схеми є можливість використання всього об'єму каналів, крім того,

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

відбувається постійне зменшення навантаження на повітряну систему, оскільки відбувається вихід крупних домішок. Однак, в такій схемі неможливо досягти структуризації повітряного потоку та стабілізації його руху, що не дозволяє забезпечити необхідну якість повітряної сепарації [4-6].

Таким чином, основними перевагами комбінованих систем сепарації є можливість зменшення масогабаритних параметрів зерноочисної машини, проте вони не здатні повноцінно реалізувати можливості пневмосепарації.

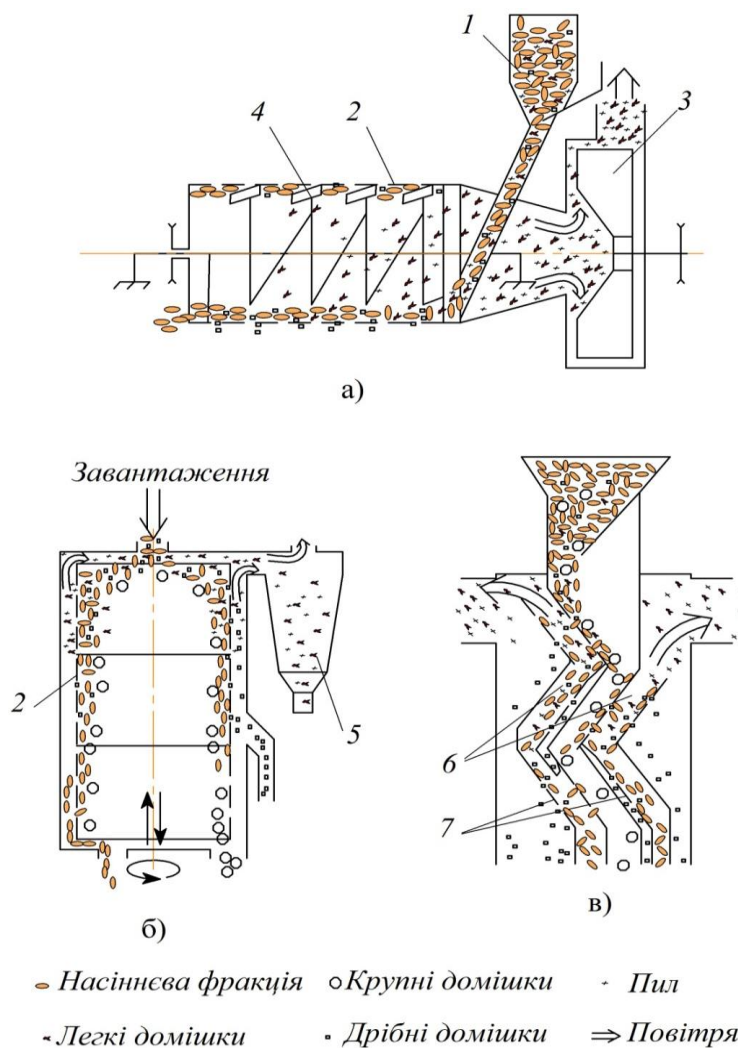


Рис. 2.4 – Схеми комбінованого застосування пневморешітної сепарації:
 а) активне горизонтальне циліндричне решето; б) активне вертикальне циліндричне решето; в) пасивне зигзагоподібне розташування решіт;
 1 – бункер; 2 – циліндричні решета; 3 – вентилятор; 4 – скребки; 5 – осадова камера; 6 – зигзагоподібні канали; 7 – решета плоскі.

Розрізняють п'ять основних типів конструктивного виконання пневмоканалів сепараторів: вертикального, похилого, зигзагоподібного, криволінійного і спірального типу.

Найбільш прості та розповсюджені у конструкціях зерноочисних машин різних видів канали вертикального типу, як забезпечують поділ зерносуміші за способом «зважування» (рис. 2.5, а). Вони знайшли застосування і в якості окремих пневмосепараторів, і як модульні системи комбінованих зерноочисних машин, які розміщують перед або ж після решітної системи, або в обох випадках.

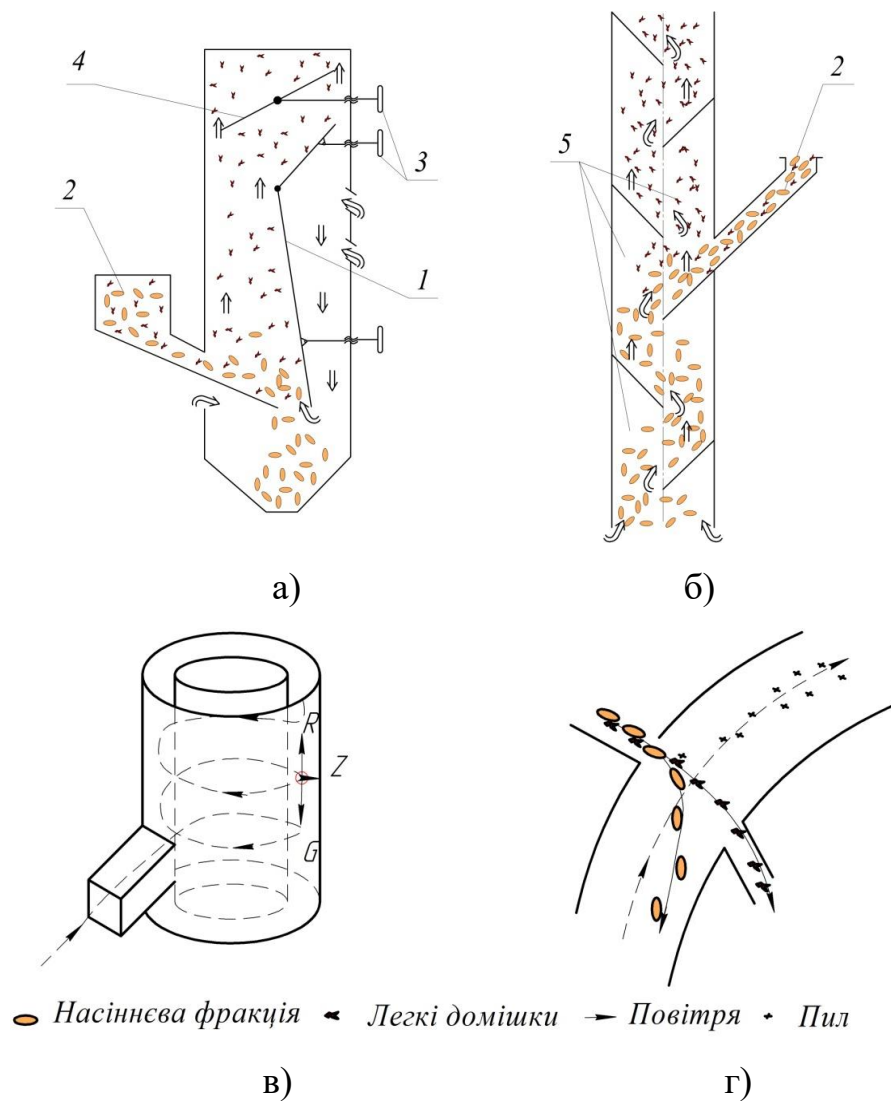


Рис. 2.5 – Найбільш популярні типи каналів: а) вертикальний зі змінною за висотою площею; б) зигзагоподібний; в) спіральний; г) криволінійний;

1 – стінка зі змінним положенням; 2 – бункер; 3 – регулювальні важелі; 4 – заслінка; 5 – пневмоканал.

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

Натомість, згідно досліджень [15, 17, 18], пневмоканали, що мають круглий переріз (рис.2.6, б) сприяють умовам формування більш рівномірного швидкісного поля потоку повітря відносно місця завантаження зерноsumіші. Однак, даному типу пневмоканалів також притаманний недолік нерівномірної взаємодії повітряного потоку з зерноsumішшю внаслідок тертя повітряних мас об стінки каналу, внаслідок чого спостерігається нерівномірність швидкісного поля повітряного потоку. Зокрема, в місцях, наближених до осі перерізу, швидкість потоку вища, ніж біля стінок каналу, що призводить до неможливості точного регулювання швидкості повітряного потоку.

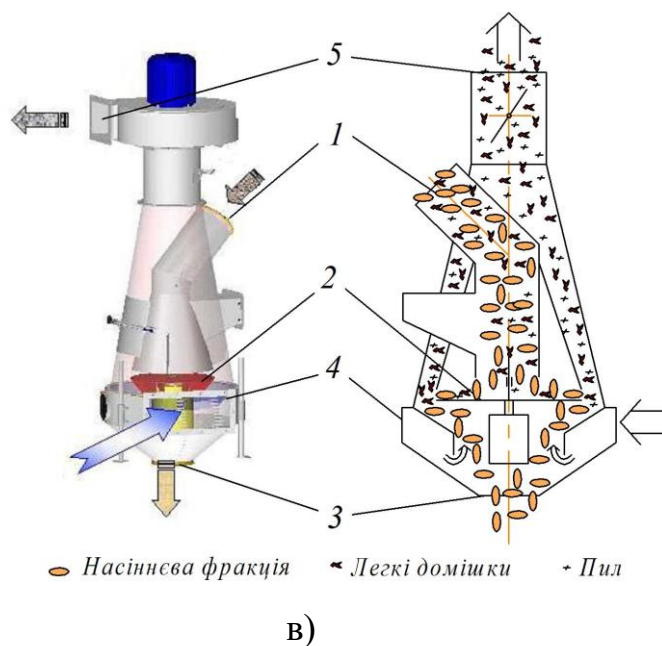
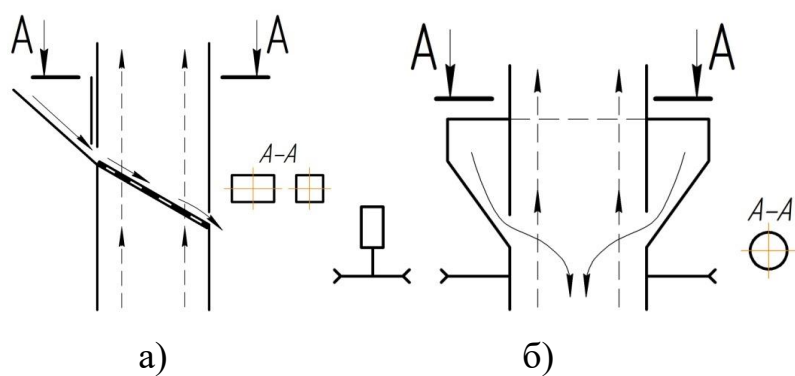


Рис. 2.6 – Види форм поперечних перерізів пневмоканалів:

а) прямокутна; б) кругла; в) кільцева

Пневмоканали, що мають кільцеву форму перерізу (рис 2.6, в), знайшли широкого застосування як в зерноочисних машинах закордонних виробників,

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

так і вітчизняних як окремі сепаратори або ж модульні системи. Вони володіють властивістю формування найбільш раціонального завантаження пневмоканалу, забезпечуючи відносно вирівняне швидкісне поле повітряного потоку [18].

Пневмосепаратори, що мають вертикальний пневмоканал кільцевого перерізу мають у своєму складі безпосередньо пневмоканал, вентилятор і його привод, механізм введення зерноsumіші до каналу та виведення фракцій, пристрій очищення повітря. Працюють дані сепаратори за методом зважування, коли легка фракція підіймається повітряним потоком догори, а важка фракція падає донизу.

Проаналізувавши конструктивні особливості повітряних сепараторів та їх технологічну ефективність можемо констатувати, що саме пневмосепаратори турбінного типу, які мають пневмоканал кільцевого перерізу, є перспективними для удосконалення, зважаючи на їх позитивне співвідношення продуктивності і енергоємності при забезпеченні заданої ефективності сепарації.

Технологічний процес роботи даних сепараторів (рис. 2.6, в) при очищенні зерноsumіші від легких домішок містить наступні етапи.

Зерноsumіш завантажується через вхідний отвір 1 і надходить до поверхні активного розподільника 2. При обертанні розподільника відбувається рівномірне розподілення зерноsumіші відносно перерізу вертикального пневмоканалу кільцевого перерізу. Пневмоканал поєднано з вхідним раструбом вентилятора 5, який створює в пневмоканалі всмоктуючий повітряний потік, забір якого здійснюється крізь повітрязабірники 4. Регулювання швидкості повітряного потоку у повітряному каналі здійснюється заслінкою, розміщеною у вихідному патрубку.

Таким чином, під дією повітряного потоку здійснюється відокремлення легких домішок від зернової фракції в пневмоканалі. Легка фракція проходить крізь вентилятор до циклону, який здійснює очищення повітря від легких часток, а важка компонента потрапляє до розміщеного внизу вивідного патрубка 3.

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

Повітря після циклону може надходити назовні при відкритій повітряній системі, або ж спрямовуватись до повітрязбірників 4, пройшовши попередню фільтрацію при замкненій пневмосистемі.

Одним з недоліків турбінних сепараторів є підвищення енергоємності процесу розділення зерноsumіші при збільшених навантаженнях на пневмоканал, оскільки таке збільшення потребує активізації розподільника з метою забезпечення рівномірного розподілу матеріалу відносно перерізу каналу. Проведений аналіз досліджень [4, 5, 16] дозволив запропонувати вирішення даної проблеми за рахунок встановлення пасивного розподільчого конуса 3 (рис. 2.7) оригінальної конструкції, що сприяє формуванню струменевого потоку зерноsumіші при завантаженні. Дане конструктивне рішення сприятиме більш якісному продуванню зернової суміші внаслідок більш рівномірного розподілу її у вертикальній площині пневмоканалу.

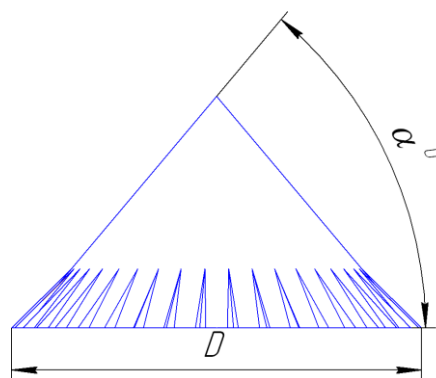


Рис. 2.7 – Запропонована конструкція розподільника

Запропоноване удосконалення потребує проведення обґрунтування ефективності роботи з визначенням параметричних і режимних характеристик системи введення зерноsumіші до пневмоканалу сепаратора.

2.2. Загальна характеристика досліджень.

Метою даних досліджень визначено підвищення ефективності поділу зерноsumішей за аеродинамічними властивостями у пневмоканалі турбінного сепаратора шляхом удосконалення його механізму завантаження.

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

Об'єкт дослідження – процес поділу зерноsumішей у пневмоканалі кільцевого перерізу, працюючим за методом зважування.

Предмет дослідження – параметричні і режимні характеристики системи введення зерноsumіші до пневмоканалу кільцевого перерізу.

Згідно наведеної мети поставлено задачі досліджень:

1. Дослідження умов введення зерноsumіші до вертикального пневмоканалу (ПСК).
2. Визначення ефективності використання пасивної системи завантаження оригінальної конструкції.

Ефективність процесу поділу зерноsumіші на фракції є залежним від декількох факторів, зокрема: властивостей зерноматеріалу, який підлягає обробітку, конструктивного виконання та способу завантаження матеріалу до ПСК, його типу і форми тощо. Дослідниками [4-6, 16-18] окрема увага приділяється умовам введення до пневмоканалу, оскільки це дозволяє потенційно забезпечити можливість підвищення ефективності сепарації з одночасним забезпеченням її якісних показників. Так відомо, що збільшення питомих показників навантаження на пневмоканали призводить до суттєвого зменшення ефекту очистки. Це пояснюється тим, що при збільшенні питомого навантаження відбувається збільшення товщини шару зерноматеріалу, який надходить на очищення до ПСК, а це негативно впливає на умови виділення легкої фракції, частки якої перебувають в нижніх шарах зернової маси.

Як зазначалось, переважна більшість існуючих сьогодні пневмосепараторів, що мають пневмоканали кільцевого перерізу, здатні забезпечити рівномірність розподілу зерноsumіші відносно перерізу ПСК лише за рахунок застосування активних розподільників, які підвищують рівень енергетичних затрат та негативно впливають на габарити обладнання. Дані розподільники вирішують питання забезпечення необхідної товщини шару зерноматеріалу, яка надходить до пневмоканалу і має пряму залежність від швидкості, яку надають розподільники при введенні матеріалу, яка корелюється з кількістю зерноsumіші при введенні.

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

Згідно з експериментальними даними [4, 16, 18], величина кута введення зерноматеріалу $\alpha_0 = \alpha_k$ до повітряного потоку за інших ідентичних умов не здійснює значного впливу на «віяло розсіювання», тому його значення можна обирати конструктивно, а отже, відповідно до рекомендацій [18] можемо прийняти $\alpha_k = 50^\circ$.

Натомість, довжину ділянки розгону зерноsumіші S_k необхідно обґрунтувати, оскільки в цьому випадку саме цей параметр буде забезпечувати виконання умови формування раціональної швидкості ведення V_{02} зернового матеріалу до пневмоканалу.

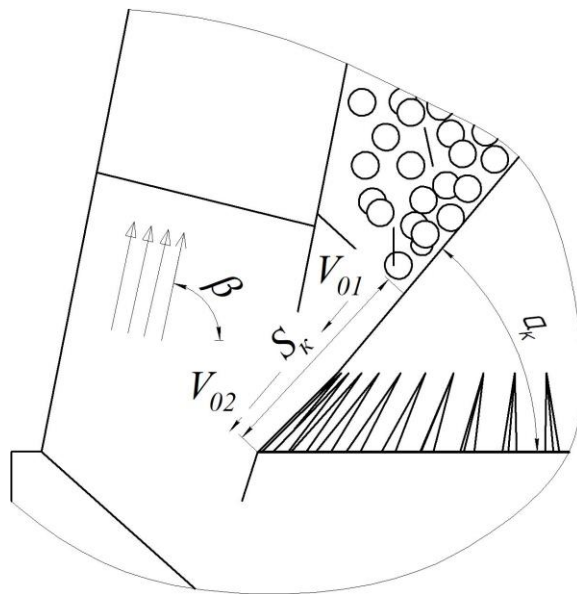


Рис. 2.8 – Схема теоретичного дослідження розгінної ділянки

Диференційну залежність переміщення часток зерноsumіші вздовж поверхні твірної конуса при рівноприскореному русі представимо у вигляді [4, 16]:

$$m \cdot \frac{dV_0}{dt} = m \cdot g \cdot \sin \alpha_k - f_m \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha_k, \quad (2.1)$$

де f_m – коефіцієнт, що характеризує тертя часток об поверхню конуса;

m – усереднена маса довільної частки зерноsumіші, кг;

V_0 – швидкість переміщення частки у момент t по поверхні конуса, м/с;

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

α_k – кут нахилу твірної площини конуса, град;

Виконавши інтегрування зазначеної залежності (2.1) за початкових умов, тобто $V_0 = V_{01}$; $S_k = 0$; $t = 0$, одержимо:

$$V_{02} = V_{01} + \frac{\sin(\alpha_k - \varphi)}{\cos \varphi} g \cdot t, \quad (2.2)$$

та

$$S_k = V_{01} \cdot t + \frac{\sin(\alpha_k - \varphi)}{2 \cos \varphi} g \cdot t^2. \quad (2.3)$$

Після перетворення

$$S_k = \frac{\cos \varphi}{2g \cdot \sin(\alpha_k - \varphi)} (V_{02}^2 - V_{01}^2), \quad (2.4)$$

де φ – характерна величина кута тертя.

Величина початкової швидкості зерноsumіші V_{01} не дорівнює нулю, оскільки присутнє її переміщення у оперативному бункері, тому для її визначення скористаємось відомою формулою витікання зерноsumішей з отвору бункера прямокутного профілю [22]:

$$V_{01} = \zeta \cdot \sin \alpha_k \sqrt{2g \left(1,6R_{ум} - \frac{\tau_0}{\rho_{зсм} \cdot f_m} \right)}, \quad (2.5)$$

$R_{ум}$ – величина гідравлічного радіуса умовного отвору, з якого відбувається витікання зерноsumіші, який відображає проекцію реального вихідного отвору на площину, яка перпендикулярна переміщенню матеріалу, м;

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

ζ – коефіцієнт, що характеризує витікання зерноsumіші, який у випадку середньозернистих сумішей в сухому стані становить $\zeta = 0,48 \dots 0,62$ [22];

τ_0 – величина початкового опору зсуву, Па;

$\rho_{зсм}$ – об'ємна масова характеристика зерноsumіші, кг/м³.

Величину гідравлічного радіуса умовного отвору витікання зерноsumіші можна обґрунтувати згідно наступного співвідношення:

$$R_{ум} = \frac{S_{от.б}}{P_{от.б}} = \frac{(h_{зсм} - a')(\pi \cdot r_k - a')}{2(h_{зсм} + \pi \cdot r_k - 2a')}, \quad (2.6)$$

де $S_{от.б}$ – площа отвору (визначається з врахуванням розміру a' типових частин насипного матеріалу), м²;

$P_{от.б}$ – периметр отвору, м;

$h_{зсм}$ – товщина шару зернового матеріалу, що виходить з бункера, м.

$B_{от.б} = \pi \cdot r_k$ – величина, яка визначає ширину вихідного отвору бункера,

r_k – величина радіуса конуса розподільника в місці переходу матеріалу від вихідного вікна бункера до поверхні конуса, м.

Виконавши підстановку до залежності (2.4) значення величин (2.5) та (2.6), отримаємо рівняння по обґрунтуванню довжини ділянки розгону S_k в наступному вигляді:

$$S_k = \frac{\cos \varphi}{2g \cdot \sin(\alpha_k - \varphi)} \times \left(V_0^2 - \zeta^2 \cdot \sin^2 \alpha_k \cdot 2g \left(1,6 \left(\frac{(h_{зсм} - a')(\pi \cdot r_k - a')}{2(h_{зсм} + \pi \cdot r_k - 2a')} \right) - \frac{\tau_0}{\rho_{зсм} \cdot f_m} \right) \right), \quad (2.7)$$

або

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

Аналіз наведених залежностей швидкості, з якою зерноsumіш потрапляє до ПСК (рис.2.9) можемо відмітити, що при збільшенні довжини ділянки розгону конуса спостерігається зростання величини швидкості введення зерноматеріалу до активної зони пневмосепарації V_{02} і дане зростання характеризується параболічною закономірністю. Зростання величини швидкості, з якою вводиться зерноsumіш до ПСК також спостерігається і при збільшенні товщини шару зерноsumіші (на кожні 2 мм товщини зростання швидкості 0,02 м/с), що безпосередньо пов'язано зі збільшенням питомого зернового навантаження.

Проаналізуємо вплив швидкості, з якою зерноsumіш вводиться до пневмоканалу V_{02} , для чого розглянемо основне рівняння, яке характеризує кінетику сепарації повітряним потоком [3-5]:

$$\eta = 1 - e^{-kt}. \quad (2.8)$$

Представлена залежність вказує на асимптотичний характер процесу розділення зерноsumіші повітряним потоком, таким чином повного видалення домішок можливо досягти за умов $t \rightarrow \infty$, що вимагає максимального збільшення часу сепарації, що забезпечується або зменшенням продуктивності процесу або збільшенням габаритних розмірів пневмоканалу. З іншого боку, дану умову можливо забезпечити, якщо зернову суміш вводити до пневмоканалу зі швидкостями, що максимально наближені до нуля, тобто $V_{02} \rightarrow 0$. Дана умова взагалі призводить до унеможливлення протікання процесу сепарації, оскільки при цьому продуктивність наближаються до нуля, тобто $Q_{nb.cen} \rightarrow 0$.

Зважаючи на це, величину швидкості введення зерноsumіші, що в даному випадку пов'язано з геометричними параметрами живильника, необхідно обирати з міркувань врахування товщини зерноsumіші при введенні та глибини

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

пневмоканалу, що забезпечить достатній час для реалізації процесу пневмосепарації при заданих якісних показниках.

Висновки по розділу

За результатами огляду і критичного аналізу систем, які реалізують розділення зерноsumішей повітряним потоком, було встановлено, що пневмосистеми вертикального типу, що мають пневмоканал кільцевого перерізу, дозволяють забезпечити найбільш якісну взаємодію повітряного потоку з елементами зерноsumіші.

Було проведено аналітичні дослідження, які дозволили встановити, що досягти підвищення ефективності розділення зернових матеріалів на фракції у пневмоканалах вертикального типу кільцевого перерізу можливо за рахунок реалізації введення зерноsumіш струменевим потоком. Теоретично проаналізовано умови введення зернових матеріалів до зони пневмосепарації. Зокрема досліджено вплив удосконаленої системи багатоструменевого завантаження за допомогою пасивного конусного живильника з периферійними подільниками потоку на рівномірність завантаження аспіраційної системи в зоні введення до пневмоканалу. Відповідно до одержаних результатів зроблено наступні висновки та рекомендації.

Зернову суміш раціонально вводити до зони сепарації вертикальним повітряним потоком під кутом $\alpha_{\kappa} = 50^{\circ}$, при цьому швидкість при введенні становитиме $V_{02} = 0,3 \dots 0,5$ м/с. Формування наведених умов забезпечується довжиною ділянки розгону конусного живильника $S_{\kappa} = 150$ мм при товщині шару зерноsumіші в зоні введення $h_{зсм} = 6 \dots 10$ мм.

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

Глибину пневмоканалу $C_{пнев}$ розрахуємо з умови, яка визначає оптимальну подачу, що може забезпечити задану якість і розраховується згідно до емпіричної залежності [3, 22]:

$$C_{пнев} = \frac{q_{пл} + 1350 \cdot \eta - 1135}{22,7 - 27 \cdot \eta} ; \quad (3.1)$$

де $q_{пл}$ – планова величина питомого завантаження, приведена до одиниці ширини пневмоканалу, кг/ дм·год;

$\eta > 0,6$ – показник повноти видалення легких домішок згідно агровимог до попереднього очищення.

Величина глибини пневмоканалу також може визначатися відповідно до графічної залежності, яка пов'язує питому величину навантаження пневмоканалу, його глибину та ефект очищення (рис. 3.1).

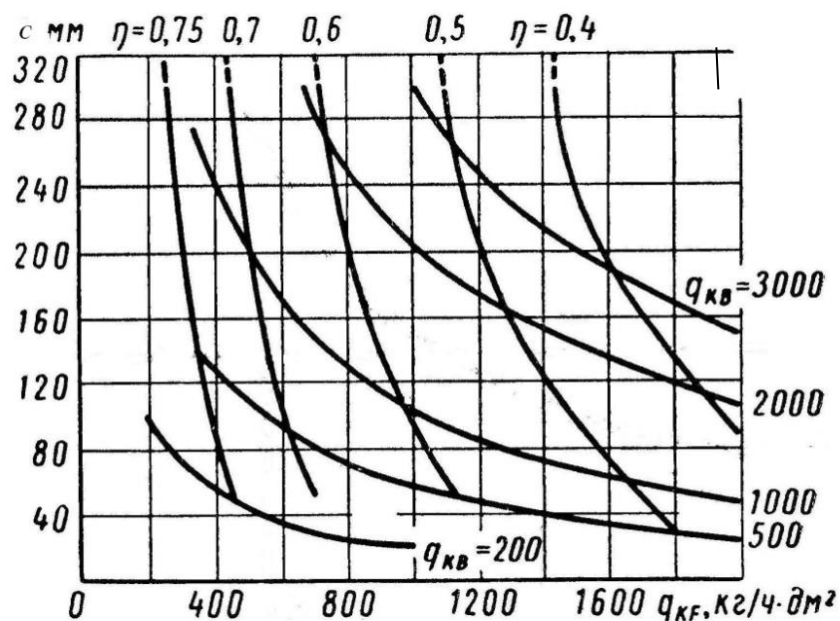


Рис. 3.1 – Графічні залежності глибини пневмоканалу $C_{пнев}$ та сепараційного ефекту η від величин навантажень по його ширині $q_{кв}$ і площі $q_{кф}$ [2].

Згідно емпіричної залежності величина глибини пневмоканалу становитиме:

$$C_{пнев} = \frac{2200 + 1350 \cdot 0,6 - 1135}{22,7 - 27 \cdot 0,6} = 288 \text{ мм.}$$

Ширину пневмоканалу $B_{рац}$ визначимо відповідно до рівня оптимального питомого навантаження $q_{пл} = 2200$ кг/дм·год та величини планової продуктивності $Q_{пл} = 12000$ кг/год

$$B_{рац} = \frac{Q}{q} = \frac{12000}{2200} = 5,5 \text{ дм.} \quad (3.2)$$

Зважаючи на необхідність зробити запас продуктивності з врахуванням можливого зниження ефективного рівня навантаження при збільшених засміченості та вологості, фактичну ширину пневмоканалу приймемо $B_{пл} = 600$ мм і виконаємо розрахунки його.

Величина внутрішнього діаметра пневмоканалу в місці подачі зерноsumіші (рис. 3.2) становитиме:

$$D_{вн} = 2 \cdot \frac{B_{пл}}{\pi}; \quad (3.3)$$

$$D_{вн} = 2 \cdot \frac{600}{3,14} = 382 \text{ мм.}$$

Величину зовнішнього діаметра пневмоканалу в місці подачі знаходимо з врахуванням знайденого значення глибини каналу:

$$D_{зов} = D_{вн} + 2C_{пнев} \quad (3.5)$$

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

$$D_{306} = 382 + 2 \cdot 288 = 958 \text{ мм.}$$

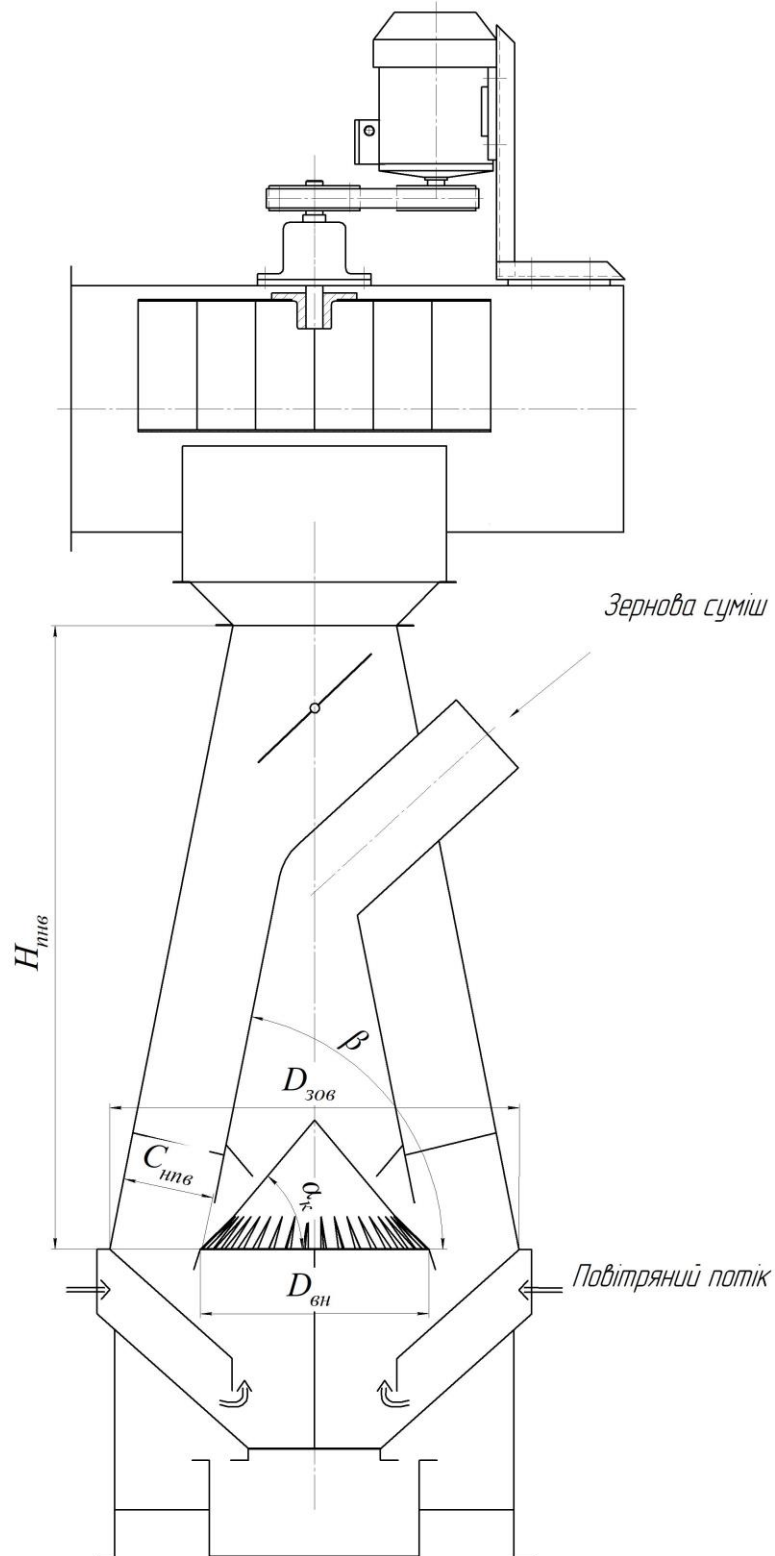


Рис. 3.2 – Геометричні параметри кільцевого пневмоканалу

Зернова суміш вводиться до зони активної взаємодії з повітряним потоком під кутом α_k зі швидкістю V_{02} . При цьому, як зазначалось, величина

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

кута завантаження формується нахилом твірної поверхні живильного конуса відносно горизонту, а кут нахилу повинен забезпечувати умови руху зерноsumіші по конусу, тобто $\alpha_k \geq \varphi$. Згідно попередніх досліджень, величина кута введення зерноматеріалів до повітряного потоку за інших незмінних умов, рекомендовано обрати в межах $\alpha_k = 50^\circ \dots 55^\circ$.

На ефективність сепарації здійснює вплив і величина висоти пневмоканалу, зокрема при збільшенні $H_{пнев}$ до критичної межі у 15 дм спостерігається підвищення рівня ефективності процесу сепарації, зменшення ж призводить до зниження в межах 2% на кожен дм. Однак збільшення висоти каналу призводить до зростання масогабаритних параметрів сепаратора, тому згідно рекомендацій приймемо висоту пневмоканалу $H_{пнев} = 15$ дм.

Швидкість, з якою зерноsumіш подається до пневмоканалу, обираємо в зоні раціональних значень 0,3...0,5 м/с. За цих значень, як засвідчують дослідні дані, можливо досягти найбільш оптимальної ефективності сепарації [4, 17, 18].

3.1.2 Визначення рівня витрат повітря в пневмоканалі.

Величину витрат повітря в пневмоканалі розрахуємо згідно формули:

$$V_{пнев} = 3600 \cdot S_{пнев} \cdot g_{сеп} \quad (3.6)$$

де $S_{пнев}$ – площа пневмоканалу кільцевого перерізу;

$$S_{пнев} = \pi R_{зов}^2 - \pi R_{вн}^2 \quad (3.7)$$

де $R_{зов}$ – величина зовнішнього радіуса пневмоканалу;

$R_{вн}$ – величина внутрішнього радіуса пневмоканалу;

$$S_{пнев} = 3,14 \cdot (0,479^2 - 0,191^2) = 0,61 \text{ м}^2.$$

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

\mathcal{G}_{cen} – швидкість повітряного потоку в місці сепарації, м/с;

$$\mathcal{G}_{cen} = 0,8 \cdot \mathcal{G}_{кр} = 0,8 \cdot 8 = 6,4 \text{ м/с.}$$

$\mathcal{G}_{кр}$ – значення критичної швидкості зерноматеріалу, м/с;

Таким чином, величина витрат повітря в пневмоканалі, що має кільцевий переріз, становитиме

$$V_{пнев} = 3600 \cdot 0,61 \cdot 6,4 = 14,05 \cdot 10^3 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

3.1.3 Розрахунок параметрів пиловідокремлювача.

З метою очищення повітряного потоку від пилових часток і легких домішок в конструкції удосконаленого пневмосепаратора застосуємо жалюзійний інерційний пиловідокремлювач. Даний тип пиловідокремлювачів забезпечує, залежно від типу часток, ступінь очищення повітряного потоку на рівні 73...94%, працюючи з вхідними швидкостями потоку повітря $V_{вех} = 15...25$ м/с.

Зважаючи на отримані витрати повітря в пневмоканалі та його геометричні параметри, швидкість повітряного потоку на вході до пиловідокремлювача буде становити $V_{вех} = 20$ м/с.

Встановимо величину опору інерційного пиловідокремлювача:

$$N_{нул} = \xi_{жін} \cdot \frac{\rho \cdot V_{вех}^2}{2g} \quad (3.8)$$

де $\xi_{жін}$ – коефіцієнт, що характеризує опір жалюзійного пиловідокремлювача $\xi_{жін} = 2$;

ρ – величина густини повітря за нормальних умов.

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

Таким чином, величина опору інерційного пиловідокремлювача становитиме:

$$N_{mul} = 2 \cdot \frac{1,2 \cdot 20^2}{2 \cdot 9,81} = 48,9 \text{ кг/м}^2.$$

Встановимо типаж пиловідокремлювача.

Типаж пиловідокремлювача раціонально встановлювати, керуючись величиною діаметра вхідного отвору [3]:

$$D_1 = 1,13 \sqrt{\frac{V_{жін}}{V_{пех}}}$$

де $V_{жін}$ – значення секундної продуктивності, яку повинен забезпечити пиловідокремлювач, м³/с,

$$V_{жін} = \frac{V_{пнв}}{3600} = 3,9 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Величина діаметра вихідного отвору матиме значення:

$$D_1 = 1,13 \sqrt{\frac{3,9}{20}} = 0,5 \text{ м}.$$

За знайденим значенням обираємо жалюзійний інерційний пиловідокремлювач ИП–6-500, що має наступні параметри:

- діаметр отвору на вході: $D_1 = 500$ мм;
- діаметр вихідного отвору: $d_1 = 335$ мм;
- чисельність кілець: $z = 65$;

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

- діаметр великого фланця: $D_2 = 586$ мм;
- діаметр малого фланця: $d_2 = 367$ мм;
- висота пиловідокремлювача: $L_{\text{жсн}} = 1042$ мм;
- номери кілець: $n = 12 \dots 76$.

3.1.4 Визначення втрат тиску у пневмоканалі.

Загальна величина витрат тиску у пневмоканалі кільцевого перерізу становитиме:

$$\Delta N_1 = N_{\text{т.пов}} + N_{\text{зсм}} + N_{\text{під}} \quad (3.9)$$

де $N_{\text{т.пов}}$ – складова втрат тиску, які виникають при терті повітря об стінки пневмоканалу та при подоланні місцевих опорів, як то при розширенні, звуженні, повороті, кг/м²;

$N_{\text{зсм}}$ – складова втрат тиску, який необхідний для забезпечення подолання опору зерноsumіші, кг/м²;

$N_{\text{під}}$ – втрати тиску, які виникають при підйомі легкої фракції у вертикальному каналі, кг/м².

Знайдемо значення кожної складової загальних втрат тиску, користуючись рекомендаціями [23].

Втрати тиску, які виникають при терті повітря об стінки пневмоканалу та при подоланні місцевих опорів знайдемо з залежності:

$$N_{\text{т.пов}} = \left(\lambda \cdot \frac{l_{\text{пнв}}}{d_{\text{пнв}}} + \sum \xi \right) \cdot \rho \cdot \frac{g_{\text{сеп}}^2}{2 \cdot g} \quad (3.10)$$

де λ – коефіцієнт Блесса, який характеризує опір тертя повітряного потоку, який можна наближено розрахувати як:

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

$$\lambda = 0,0125 + \frac{0,0011}{d_{пнев}}$$

$l_{пнев}$ – довжина пневмоканалу, $l_{пнев} = 1,50$ м;

$d_{пнев}$ – величина еквівалентного діаметра пневмоканалу, $d_{пнев} = 0,72$ м;

ξ – коефіцієнт, що характеризує місцевий опір, залежно від його виду (розгалуження, поворот тощо), зважаючи на наявність в схемі пневмоканалі одного переходу з кільцевого перерізу до круглого, приймаємо $\xi = 1,2$;

$\rho = 1,2$ кг/м³ – густина повітря;

$\mathcal{G}_{сен}$ – величина швидкості повітряного потоку в пневмоканалі, м/с.

Величина коефіцієнта опору тертя має значення:

$$\lambda = 0,0125 + \frac{0,0011}{0,72} = 0,014,$$

а величина втрат тиску, які виникають при подоланні місцевих опорів руху повітря:

$$N_{т.пов} = \left(0,014 \cdot \frac{1,5}{0,72} + 1,2 \right) \cdot 1,2 \cdot \frac{6,4^2}{2 \cdot 9,81} = 3,1 \text{ кг/м}^2.$$

Складову втрат тиску, яка необхідна для забезпечення подолання опору зерноsumіші визначимо за формулою:

$$N_{зсм} = N_{т.пов} \cdot (1 + \kappa_{зсм} \cdot \mu_{зсм}) \quad (3.11)$$

де $\kappa_{зсм}$ – коефіцієнт, який характеризує якісний і кількісний склад зерноsumіші, зокрема тип і розмірність фракцій, концентрацію фракцій у зерноsumіші тощо, згідно рекомендацій приймемо $\kappa_{зсм} = 0,82$ [22];

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

$\mu_{зсм}$ – коефіцієнт, який характеризує концентрацію зерноsumіші у повітряному каналі і розраховується як відношення маси суміші, що переміщується потоком повітря до його маси в одиницю часу:

$$\mu_{зсм} = \frac{G_{зсм}}{G_{пов}}$$

де $G_{зсм}$ – величина подачі зерноsumіші в одиницю часу, кг/год;

$G_{пов}$ – величина подачі повітря в одиницю часу, кг/год.

Величину подачі повітря в одиницю часу встановимо як:

$$G_{пов} = V_{пов} \cdot \rho$$

де $V_{пов}$ – витрати повітря в каналі, $V_{пов} = 14050 \text{ м}^3/\text{год}$;

тоді

$$G_{пов} = 14050 \cdot 1,2 = 16860 \text{ кг/год.}$$

Величина коефіцієнта концентрації зерноsumіші становитиме:

$$\mu = \frac{12000}{16860} = 0,71.$$

Складова втрат тиску, яка необхідна для забезпечення подолання опору зерноsumіші матиме значення:

$$N_{зсм} = 3,1 \cdot (1 + 0,82 \cdot 0,71) = 4,9 \text{ кг / м}^2.$$

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

Втрати тиску, які виникають при підйомі легкої фракції у вертикальному пневмоканалі визначимо за формулою:

$$N_{нід} = g \cdot l_{пнев} \cdot \mu_{л.ф} \cdot \sin \beta \quad (3.12)$$

де β – кут, під яким нахилено пневмоканал відносно горизонту, $\beta = 75^\circ$;

$\mu_{л.ф}$ – концентрація легкої фракції, яка видаляється повітряним потоком:

$$\mu_{л.ф} = \mu \cdot \varepsilon = 0,71 \cdot 0,6 = 0,43,$$

ε – коефіцієнт, що характеризує концентрацію потенційно видаленої легкої фракції у зерноsumіші.

Таким чином, складова втрат тиску, які приходяться на підйом легкої фракції у вертикальному пневмоканалі матиме значення

$$N_{верт} = 1,2 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot 0,43 \cdot \sin 75^\circ = 7,3 \text{ кг / м}^2.$$

Підставивши отримані значення складових до рівняння (3.9), отримаємо значення загальних втрат повного тиску у пневмоканалі:

$$\Delta N_1 = 3,1 + 4,9 + 7,3 = 18,94 \text{ кг/м}^2.$$

Величина сумарних втрати тиску пневмосистемою буде мати вигляд як сума опорів пиловідокремлювача і пневмоканалу:

$$N_{\Sigma} = \Delta N_1 + N_{мл} \quad (3.13)$$

$$N_{\Sigma} = 18,94 + 48,9 = 67,84 \text{ кг/м}^2.$$

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

Відповідно до знайдених значень витрати повітря та втрат тиску пневмосистемою сепаратора турбінного типу необхідно обрати вентилятор, який би задовольняв параметрам системи.

3.1.5 Розрахунок параметрів вентилятора.

При визначенні типу і основних параметрів вентилятора використаємо відповідні номограми [23], для яких визначальними є дані про потрібну витрату повітря та втрати повного тиску, які визначені попередньо.

У відповідності до результатів розрахунків та отриманих значень витрат повітря та необхідного напору повітря номограмою [23] найбільш близьким є вентилятор серії ВЦ 14-46, що має частоту обертання робочого колеса $n = 1200$ об/хв та величину об'ємного коефіцієнта корисної дії $\approx 65\%$.

Оскільки стандартні вентилятори, що відповідають заданим параметрам відсутні в каталозі, найближчі стандартні мають суттєво завищені показники продуктивності, що викличе надлишкове зростання масогабаритних параметрів сепаратора, то доцільним є проектування оригінальної конструкції вентилятора, що буде використовуватись на удосконаленій машині.

Проектний розрахунок вентилятора.

Проектні розрахунки вентиляторної системи будемо виконувати відповідно до рекомендацій, які визначають співвідношення усіх розмірів згідно з діаметром робочого колеса $D_k=680$ мм (рис. 3.3).

Розмір ширини горловини:

$$B_{горл} = D_k \cdot 0,7 = 680 \cdot 0,7 = 476 \text{ мм};$$

величина висоти горловини:

$$H_{горл} = D_k \cdot 0,135 = 680 \cdot 0,135 = 91,8 \text{ мм};$$

розмір ширини кожуха:

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

$$B_{зая.кр} = D_k \cdot 0,37 = 680 \cdot 0,37 = 251,6 \text{ мм};$$

величина зазору між крильчаткою і кожухом:

$$\Delta_1 = D_k \cdot 0,04 = 680 \cdot 0,04 = 27,2 \text{ мм};$$

величина зазору між лопатками робочого колеса і вихідним вікном:

$$\Delta_2 = D_k \cdot 0,01 = 680 \cdot 0,01 = 6,8 \text{ мм};$$

розмір сторони квадрата, який є основою для побудови спіралі кожуха:

$$B_{кв.сп} = D_k \cdot 0,12 = 680 \cdot 0,12 = 81,6 \text{ мм};$$

значення довжини лопатки робочого колеса:

$$L_{л.к} = D_k \cdot 0,25 = 680 \cdot 0,25 = 170 \text{ мм};$$

величина радіусів спіралі:

$$R_{1сп} = D_k \cdot 0,7 = 680 \cdot 0,70 = 476 \text{ мм};$$

$$R_{2сп} = D_k \cdot 0,82 = 680 \cdot 0,82 = 557,6 \text{ мм};$$

$$R_{3сп} = D_k \cdot 0,94 = 680 \cdot 0,94 = 639,2 \text{ мм};$$

величина відстані від робочого колеса до остаточного розміру спіралі:

$$B_{сп.ост} = D_k \cdot 0,50 = 680 \cdot 0,50 = 340 \text{ мм}.$$

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

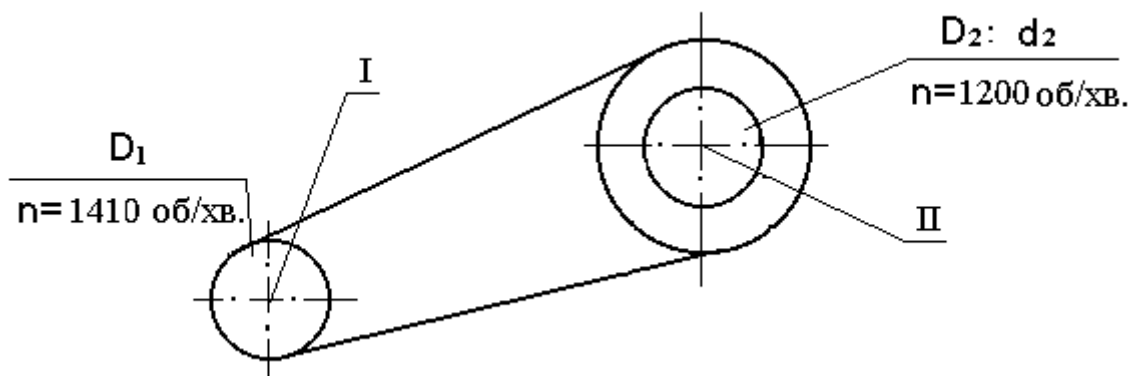
3.2. Кінематичні розрахунки

Виконаємо кінематичні розрахунки механізму приводу вентилятора, який реалізовано через пасову передачу від електродвигуна до вала вентилятора (рис. 3.4).

Вихідними даними є частота обертання валу електродвигуна $n_{1\text{дв}} = 1410$ об/хв та необхідна частота обертання робочого колеса вентилятора $n_{2\text{кр}} = 1200$ об/хв.

Величина передаточного відношення буде мати значення:

$$i_{1-2} = n_{1\text{дв}} / n_{2\text{кр}} = 1410 / 1200 = 1,175.$$



1 – вал електродвигуна; 2 – приводний вал вентилятора

Рис. 3.4 – Схема кінематична приводу вентилятора

Визначимо величину діаметра веденого шківа:

$$D_{2\text{кр}} = D_{1\text{дв}} \cdot i_{1-2} = 128 \cdot 1,175 = 150,4 \text{ мм};$$

де $D_{1\text{дв}} = 128$ мм – величина діаметра ведучого шківа, встановленого на валу електродвигуна, який вибрано зі стандартного ряду конструктивно.

Приймаємо величину діаметра веденого шківа зі стандартного ряду $D_{2\text{кр}} = 150$ мм та перерахуємо фактичне значення передаточного відношення:

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

$$i_{\phi.1-2} = D_{2кр} / D_{1\delta\phi} = 150 / 128 = 1,172.$$

Тоді фактична частота обертання крильчатки вентилятора становитиме:

$$n_{\phi.2кр} = n_{1\delta\phi} / i_{\phi.1-2} = 1410 / 1,172 = 1203 \text{ об/хв.}$$

3.3. Енергетичні розрахунки

Розрахуємо потужність, необхідну для приводу запроєктованого вентилятора згідно залежності:

$$N_{пр.вент} = \frac{V_{пнев} \cdot N_{\Sigma}}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{вент}}$$

де $V_{пнев} = 14050 \text{ м}^3/\text{год}$ – величина витрат повітря пневмосистемою;

$N_{\Sigma} = 67,84 \text{ кг/м}^2$ – величина втрат повного тиску пневмосистеми;

$\eta_{вент} = 0,65$ – ККД вентилятора.

Отже:

$$N_{пр.вент} = \frac{14050 \cdot 67,84}{3600 \cdot 102 \cdot 0,65} = 3,99 \text{ кВт.}$$

Для приводу вентилятора обираємо електродвигун асинхронний АІР 100 L4, який має наступні характеристики:

- потужність 4 кВт
- частота обертання $n_{\delta\phi} = 1500$ (1410) об/хв;
- к.к.д. 84,2 %;
- співвідношення крутних моментів $M_{пуск} / M_{ном} = 2,3$;
- співвідношення крутних моментів $M_{макс} / M_{ном} = 2,3$.

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

3.4. Розрахунки на міцність

Виконаємо міцнісні розрахунки пасової передачі приводу вентилятора (рис. 3.5).

Вихідні дані:

- величина потужності електродвигуна $N_{дв} = 3$ кВт;
- значення передаточного відношення $i_{ф.1-2} = 1,172$;
- частота обертання веденого валу $n_{2кр} = 1203$ об/хв;
- характер навантаження спокійний двозмінний.

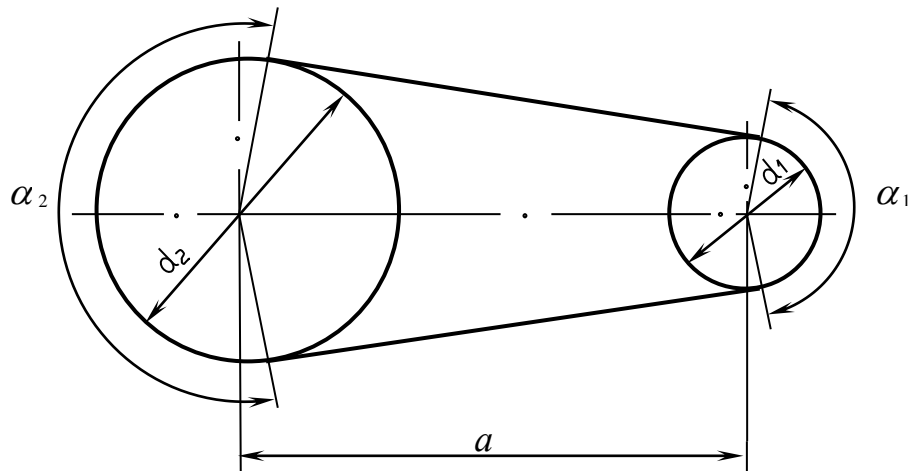


Рис. 3.5 – Кінематична схема клинопасової передачі

Розрахуємо величину крутного моменту згідно залежності:

$$M_{ш} = 9550 \cdot N_{дв} / n_{2кр} = 9550 \cdot 3 / 1203 = 23,7 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Обираємо згідно рекомендацій [24] переріз паса типу “Б” (рис. 3.6), що має розміри:

$$A = 138 \text{ мм}; b_p = 14 \text{ мм}; h = 10,5 \text{ мм}; b_0 = 17 \text{ мм}; y_0 = 2,8 \text{ мм}; d_{\min} = 128 \text{ мм.}$$

Величина швидкості паса становитиме:

$$v_n = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60000} = \frac{3,14 \cdot 128 \cdot 1410}{60000} = 9,44 \text{ м/с.}$$

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

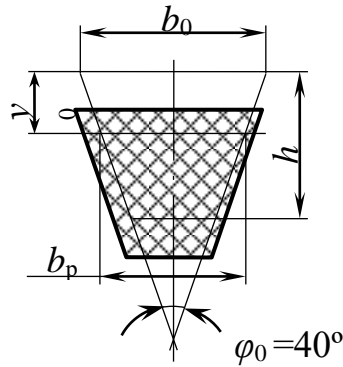


Рис. 3.6 – Характерні розміри паса перерізу “Б”

Величина міжосьової відстані матиме значення:

$$a_{min} \geq 0,95d_2 = 0,95 \cdot 150 = 142,5 \text{ мм}$$

З метою можливості компоновки робочих елементів приводу приймаємо $a_p = 160 \text{ мм}$.

Розрахуємо довжину паса згідно формули:

$$L_{розр} = 2 \cdot a_p + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \cdot a_p},$$

$$L_{розр} = 2 \cdot 160 + \frac{3,14}{2}(128 + 150) + \frac{(128 - 150)^2}{4 \cdot 160} = 757,2 \text{ мм.}$$

Відповідно до стандартних рядів приймаємо $L_\phi = 800 \text{ мм}$.

Проводимо уточнення дійсної міжосьової відстані:

$$a_\phi = \frac{2L_\phi - \pi(d_1 + d_2) + \sqrt{(2L_\phi - \pi(d_1 + d_2))^2 - 8 \cdot (d_2 - d_1)^2}}{8};$$

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

$$a_{\phi} = \frac{(2 \cdot 800 - 3,14(128 + 150)) + \sqrt{(2 \cdot 800 - 3,14(128 + 150))^2 - 8 \cdot (150 - 128)^2}}{8} = 181,4 \text{ мм.}$$

Величина кута обхвату на ведучому шківі буде мати значення:

$$\alpha_1 = 180 - \frac{(d_2 - d_1) \cdot 57}{a_{\phi}},$$

$$\alpha_1 = 180 - \frac{(150 - 128) \cdot 57}{181,4} = 173^\circ.$$

Встановимо кількість пробігів паса за секунду, при цьому повинна дотримуватись умова

$$\omega_{\phi} \leq \omega_0 = 15 \text{ с}^{-1};$$

$$\omega_{\phi} = \frac{g_n}{L_{\phi} \cdot 10^{-3}},$$

$$\omega_{\phi} = \frac{9,44}{800 \cdot 10^{-3}} = 11,8 \text{ с}^{-1},$$

що свідчить про виконання умови.

Вихідна величина потужності за значень $d_1 = 128$ мм та $g_n = 9,44$ м/с [24]:

$$N_0 = 4,2 \text{ кВт.}$$

Значення коефіцієнта кута обхвату визначимо згідно формули:

$$C_{\alpha_1} = 1 - 0,003 \cdot (180 - \alpha_1),$$

$$C_{\alpha_1} = 1 - 0,003 \cdot (180 - 173) = 0,979.$$

Величину коефіцієнта швидкості розрахуємо як:

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

$$C_g = 1,05 - 0,0005 \cdot g_n^2$$

$$C_g = 1,05 - 0,0005 \cdot 9,44^2 = 1,005.$$

Величина коефіцієнта динамічності навантаження становить $C_p = 1$.

Величина корисного напруження визначається згідно значення $\sigma_0 = 1,2$ Н/мм² та табличного допустимого напруження $\sigma_{t0} = 1,78$ Н/мм² як:

$$\sigma_{dt} = \sigma_{t0} \cdot C_{\alpha 1} \cdot C_g \cdot C_p$$

$$\sigma_{dt} = 1,78 \cdot 0,979 \cdot 1,005 \cdot 1 = 1,75 \text{ Н/мм}^2.$$

Величину колового зусилля визначимо по формулі:

$$F_t = \frac{1000 \cdot N_{ds}}{g_n}$$

$$F_t = \frac{1000 \cdot 4}{9,44} = 423,7 \text{ Н.}$$

Розрахуємо кількість пасів:

$$Z_n = \frac{F_t}{\sigma_{dt} \cdot A} = \frac{423,7}{1,75 \cdot 138} = 1,75,$$

приймаємо $Z_n = 2$.

Встановимо значення сили, яка чинить дію на вали приводу:

$$Q = 2 \cdot \sigma_{dt} \cdot Z_n \cdot A \cdot \sin(\alpha_1 / 2)$$

$$Q = 2 \cdot 1,75 \cdot 2 \cdot 138 \cdot \sin(173 / 2) = 964 \text{ Н.}$$

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

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Наведемо заходи, які будуть сприяти усуненню шкідливих і небезпечних явищ, які можуть виникати при експлуатації турбінного сепаратора.

Небезпеку запылення робочої зони учувати шляхом використання вентиляції, за неможливості забезпечення комфортних умов для працівників потрібно використовувати засоби індивідуального захисту у вигляді спецодягу, окулярів, респіраторів.

З метою захисту органів слуху від шумів використовувати протишумові навушники за стандартом не нижче CE EN 352-1, SNR: 32 dB. Для зниження шкідливої дії шумів і вібрацій на працівників потрібно передбачити організаційно-технічні заходи:

- виконання чергувань часу роботи і відпочинку, проведення медичних обстежень;
- проведення періодичних експлуатаційних перевірок рівнів вібрацій і шумів;
- своєчасне проведення планових і запобіжних ремонтів машин і механізмів.

Під час роботи з токсичними речовинами (мастило, очисні рідини тощо) необхідно використовувати спецодяг, спецвзуття, респіратори, рукавички захисні та ін. засобами особистого захисту.

Гама, яка використовується в кольоровому оформленні пневмосепаратора має відповідати наступним вимогам:

- зовнішні поверхні сепаратора, які під час експлуатації перебувають в полі постійного нагляду, мають покриття фарбою з матовою фактурою, що убезпечує від відблисків;
- панель пульта керування, яка перебуває у постійному полі зору операторів, пофарбована контрастно відносно загальної колірної гами сепаратора.

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

Компоновка турбінного сепаратора загалом, а також механізмів приводу та інших складальних елементів відповідає антропологічним і ергономічним вимогам за зручністю, доступністю, безпекою як під час виконання монтажних робіт, так і при експлуатації, ТО і ремонтах.

Виконання робочих органів, які під час технологічного процесу можуть забиватися технологічним матеріалом, забезпечує легку доступність для очищення. Механізми, які потребують періодичного змащування, розташовані з врахуванням забезпечення зручного і безпечного доступу до них. Для важкодоступних місць виконання одноразового мащення.

Виконання електроприводу і електрообладнання пневмосепаратора відповідає вимогам електробезпеки, відповідає параметрам мікроклімату приміщення. Електрична схема сепаратора передбачає захист від перевантажень.

З метою захисту працівників від ураження електричним струмом, що може відбутись внаслідок пошкодження робочої ізоляції дротів передбачено виконання захисного вимкнення і організація заземлення.

Огородження механізмів, які потребують виконання щозмінного огляду, налагоджень і ремонту, з'єднанні з нерухомими частинами сепаратора петлями, надійно фіксуються у відкритому положенні. Зусилля для відкривання вручну та на важелях керування не перевищують значень у 60 Н. Огородження небезпечних робочих зон і механізмів сепаратора оснащені блокуванням, яке зупиняє роботу приводу при відкритих огороженнях чи лючків огляду.

У випадку спрацювання засобів екстреної зупинки для повторного вмикання в роботу необхідно привести параметри даної екстреної зупинки до початкового положення.

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

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В якості мети кваліфікаційної роботи було визначено підвищення ефективності очищення зерносумішей від легких домішок повітряним потоком в пневмосепараторі турбінного типу. Згідно з метою були поставлені задачі дослідження та запропоновано технічне рішення, що дозволило досягти визначених задачами цілей.

Серед головних особливостей технічного вирішення задачі підвищення ефективності очищення є удосконалення живильного механізму, за допомогою якого зерносуміш вводиться до пневмоканалу кільцевого перерізу. Зокрема запропоновано використати пасивний розподільчий пристрій у вигляді конуса, який в нижній частині виготовлений перфорованим у вигляді ділильників.

З метою обґрунтування параметрів і режимів роботи удосконаленого пневмосепаратора, які задовольняли б умовам якості протікання процесу пневмосепарації, проведено теоретичні дослідження. За результатами проведених досліджень можемо зробити наступні висновки.

1. За рахунок використання запропонованого технологічного рішення по введенню зерносуміші до пневмоканалу кільцевого перерізу вдалося досягти підвищення ефективності процесу сепарації повітряним потоком, що пов'язано з формуванням більш рівномірного розташування матеріалу відносно перерізу пневмоканалу у вигляді зернових струменів у зоні введення.

2. Інженерні розрахунки параметрів і режимів роботи удосконаленої пневмосистеми сепаратора дозволили досягти зменшення матеріалоємності машини на 13%, що пов'язано зі зменшенням габаритних розмірів пневмоканалу – його ширини, глибини і висоти за рахунок більш ефективного розміщення зерноматеріалу по всьому об'єму вертикального кільцевого пневмоканалу.

3. Внаслідок змін, внесених до конструкції пневмосепаратора, отримали можливість усунути активний привод розподільчого механізму та оптимізувати

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

параметри вентилятора і пиловідокремлювача, що сприяло зменшенню енергоємності на 14%.

4. Теоретично встановлено, що раціональним є введення зернового матеріалу до зони дії повітряного потоку у пневмоканалі кільцевого перерізу під кутом $\alpha_k = 50^\circ$, формуючи швидкість потоку зерноsumіші $V_{02} = 0,3...0,5$ м/с. Дані режими швидкості введення потоку зерноsumіші при вказаному куті нахилу твірної конуса-розподільника забезпечуються довжиною розгінної до ділильників $S = 150$ мм, при цьому буде формуватися товщина шару зерноматеріалу в місці введення на рівні $h_{зсм} = 6...10$ мм.

З метою забезпечення безпечної експлуатації удосконаленої зерноочисної машини турбінного типу було запропоновано заходи по зменшенню впливу шкідливих і небезпечних факторів, які можуть проявитись під час виконання технологічного процесу очищення. Зокрема розроблено основні інструкційні заходи з охорони праці при виготовленні і експлуатації зерноочисної машини, що дозволить забезпечити безпечні умови праці операторів.

Виконано техніко-економічний аналіз виконаних розробок стосовно доцільності впровадження удосконаленого пневмосепаратора у виробництво за результатами якого можемо констатувати, що запропоновані зміни до пневмосистеми сепаратора турбінного типу дозволять одержати і позитивну економічну ефективність, зокрема ефект виробника може скласти 5429,3 грн., а споживача – 34981,2 грн. на одну машину за рік.

Зазначені результати роботи дозволяють рекомендувати запропоновані удосконалення до впровадження.

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

Список використаної літератури

1. Зберігання і переробка продукції рослинництва: Навч. посібник / Г. І. Подпряттов, Л. Ф. Скалецька, А. М. Сеньков, В. С. Хилевич. К.: Мета, 2002. 495 с.
2. Сисолін П.В., Петренко М. М., Свірень М. О. Сільськогосподарські машини. Теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 3: Машини та обладнання для переробки зерна та насіння. За ред. М.І. Черновола. К., 2007.
3. Машини і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна. А.С. Кобець, Ю.О. Чурсінов, С.А. Черних, М.П. Сабадаш, Н.В. Грекова, В.П. Канунніков. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2013. 766 с.
4. Лещенко С.М. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючої системи інерційного прямоточного сепаратора зерна : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11. Кіровоград, 2010. 21 с.
5. Обґрунтування параметрів відцентрово-пневматичного сепаратора зерна [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Петренко Дмитро Іванович ; Кіровоград. нац. техн. ун-т. Кіровоград, 2011. 154 с.
6. 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. 53-61.
7. Каталог продукції «Оріхівський Завод Сільгоспмашин». Очисники вороху ОВУ-25. URL: <https://ua.orehovselmash.com/>.
8. Каталог продукції фірми PETKUS. Сортування. URL: <https://www.petkus.de/>.
9. Каталог продукції АТ «Хорольський механічний завод». Сепаратори повітряні. URL: <https://mehzavod.com.ua/ua/>.
10. Каталог продукції компанії «Olis». Зерноочисне обладнання. URL: <https://www.olis.com.ua/>.
11. Каталог продукції фірми Kongskilde. Dual Cleaners – KDC PLUS. URL:

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

- <https://kongskilde-industries.com/grain/usa/product/dual-cleaners-kdc-plus/>.
12. Каталог продукції ТОВ «НВП Аеромех». Зернові сепаратори. URL: <https://ua.aeromeh.com.ua/catalog/zernovye-separatory/>.
13. Каталог продукції фірми Schule. URL: <https://www.schulefood.com/en/machines/de-awner>.
14. Damas Sigma Cleaner: Каталог продукції фірми Damas. URL: <https://www.damaseed.com/sigma-section1/>.
15. Підвищення ефективності повітряного очищення зерна. О. М. Васильковський, Д. І. Петренко. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 35. Кіровоград : КНТУ, 2005. С. 286–288.
16. Підвищення ефективності попереднього очищення зернових сумішей. С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, М.І. Васильковський, В.В. Гончаров. Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. Вип. 18. Луцьк: ред. вид. відділ ЛНТУ, 2009. С. 230-234.
17. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream. M. Kroulik, A. Rybka, J. Hula, I. Honzík. Research in Agricultural Engineering (2016). 62(2). P. 56-63. DOI: 10.17221/32/2014-RAE.
18. Nesterenko, A.V., Leshchenko, S.M., Vasytkovskyi, O.M., Petrenko, D.I. Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding, 2017, INMATEH - Agricultural Engineering, 53(3), pp. 65-70.
19. 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.
20. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки : навч. посіб. для студ. агротехн. спец. О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. Харків. 2019. 164 с.

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

21. 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.
22. Теорія і розрахунки параметрів процесів і робочих органів сільськогосподарських машин: Практикум. Морозов І.В., Бакум М.В., Пастухов В.І., Горбатовський О.М., Кириченко Р.В., Козій О.Б., Леонов В.П., Нікітін С.П.; за редакцією проф. І.В. Морозова. Харків: ХНТУСГ, 2011.
23. Розрахунок системи вентиляції і підбір її складових: Методичні вказівки до виконання практичного заняття з навчального курсу: Кондиціонування та холодозабезпечення переробних і харчових виробництв. Х.: ДБТУ, 2023. 20 с.
24. Деталі машин. Розрахунок та конструювання [Текст] : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов [та ін.]. Київ : Талком, 2014. 684 с.
25. В. С. Хмельовський, Є. І. Марчишина, Т. О. Білько, М. М. Мотрич, В. І. Скібчик. Охорона праці. Навчальний посібник. К.: Центр учбової літератури, 2023. 594 с.
26. Економічні та організаційно-планові розрахунки при обґрунтуванні доцільності розробки нових виробів. [уклад.: І. В. Журило, М. М. Полтавець]; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2017. 40 с.
27. Єрмаков О.Ю., Організація сільськогосподарського виробництва. Навч. метод. посібник. 2-ге вид., доп. і перер. К.: НАУ, 2007. 266 с.
28. Ільчук М. М., Зрібняк Л. Я., Мельник С. І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник К.: Вища освіта, 2013. 535 с.

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