

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:**

«Вдосконалення конструкції та дослідження параметрів повітряної
системи пневмосепаратора АСХ-5»

Виконав здобувач вищої освіти ІІ курсу,

групи ГМ-23М-1.2

ОНП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве

машинобудування»

_____ Удовенко Юрій Вікторович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Володимир ОНОПА

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Кирил ЩЕРБИНА

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Зміст

1. Вступ.....	6
2. Інженерна частина	8
3. Наукова частина	27
4. Охорона праці	52
5. Економічна частина	55
6. Висновок	58
Список використаної літератури	59
Додатки	62

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП

Сприятливі умови для розвитку зернового господарства в Україні зумовлені вигідним географічним розташуванням країни та її ґрунтово-кліматичними особливостями. У регіонах лісостепу та степу переважає вирощування зернових і технічних культур, що особливо характерно для малих і середніх фермерських господарств, де основна частина сільськогосподарських угідь задіяні під посіви зернових культур.

Рівень урожайності та загальна якість зібраного зерна багато в чому визначаються ефективністю післязбиральної обробки. Саме своєчасне та якісне очищення врожаю забезпечує належні умови для його подальшого зберігання, а також доведення до відповідних стандартів продовольчого або посівного матеріалу.

Сучасні зерноочисні машини, які використовуються для очисних робіт за своїм конструктивним виконанням поділяються на повітряні, решітні та повітряно-решітні. Останнім часом усе ширше застосовуються повітряні сепаратори та аспіратори, які працюють за принципом розподілу домішок відповідно до аеродинамічних властивостей часток. Ці агрегати поступово замінюють застарілі моделі, такі як ОВС-25, ОВП-20, ЗАВ-10 тощо.

До головних переваг повітряних сепараторів відносять простоту конструкції (особливо в порівнянні з вібраційними решетами та трієрами), а також їхню здатність ефективно відокремлювати легкі й дрібні домішки, що стало актуальним на тлі вдосконалення систем очищення зернозбиральних комбайнів. Крім того, при проходженні зерна через повітряний потік у сепараторі відбувається не лише очищення, а й часткове зниження вологості зібраного врожаю.

					<i>ВКПС 00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Удовенко</i>				<i>Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Онопа</i>						6	
<i>Реценз.</i>						<i>ЦНТУ, гр. ГМ-23М-1.2</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Мачок</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Васильковський</i>							

Завдяки своїй універсальності, повітряні сепаратори також знаходять застосування у переробній галузі, зокрема для очищення продуктів переробки круп'яних культур, де інші способи розподілу сумішей є малоефективними або взагалі неможливими.

На території нашої держави виготовляються та активно експлуатуються сепаратори таких моделей, як АСХ-2,5, АСХ-5, БСХ-50, БСХ-100, А1-БДЗ-6, А1-БДЗ-12, СП-5 тощо. Незважаючи на подібність їх конструкції та принципу роботи, між окремими моделями існують відмінності у геометрії повітряних каналів та конструкції повітряних систем, що формують робочий потік повітря. Аналіз результатів випробувань та практичного застосування цих машин у господарствах вказує на наявність проблем із узгодженістю роботи пневмосистем, особливо при збільшенні зернового навантаження на одиницю площі пневмосепаруючого каналу.

Виходячи з чого, метою даного дослідження є вдосконалення конструкції та дослідження параметрів повітряної системи пневмосепаратора АСХ-5.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

2.1. Загальний опис об'єкту вдосконалення та напрямки інтенсифікації роботи пневмосепаратора

Пневмосепаратор моделі АСХ-5, оснащений замкнутою системою циркуляції повітря та діаметральним вентилятором, який призначений для очищення зібраного врожаю зернових, круп'яних культур та насіння від легких домішок, що мають відмінності за аеродинамічними властивостями, а також для розподілу продуктів лушення круп'яних культур. Цей аспіратор є стаціонарним агрегатом і приводиться в дію за допомогою електродвигуна, що обертає вентилятор та шнек для видалення домішок.

Зерноочисний агрегат оптимально підходить для застосування у дрібних та середніх приватних і фермерських господарствах. Окрім того, він може бути складовою частиною технологічного обладнання млинових підприємств, олійниць або круп'яних заводів. Сепаратор може експлуатуватися як на відкритому повітрі, так і в приміщеннях із добре обладнаною і працюючою системою вентиляції.

Повітряний сепаратор АСХ-5 зазвичай монтують у луцильних цехах підприємств з переробки круп, при обладнанні зерноочисних зон млинів, а також у складі зерноочисно-сушильного обладнання на токах господарств.

Виробництво сепараторів здійснюється згідно з вимогами третьої категорії стандарту ДСТУ 15150-98 у кліматичному варіанті виконання «У», що призначене для використання на внутрішньому ринку України та експорту до країн із помірними кліматичними умовами. Агрегат забезпечує стабільну роботу в температурному діапазоні від -10 до +40 °С при відносній вологості повітря до 80% атмосферному тиску в межах 650...800 мм рт. ст. та за середньорічної температури +15 °С.

Зовнішній вигляд повітряного сепаратора АСХ-5 представлений на рис. 1, а його основні характеристики подано в таблиці 1.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1

Зведені технічні показники повітряного сепаратора АСХ-5

№	Найменування показників	Значення
1	2	3
1	Продуктивність технічна, т/год, не менше: на виділенні <u>мучки</u> і лузги із продуктів <u>шелушіння</u> круп'яних культур риса гречки вівса	3,75±0,5 3,0±0,5 2,5
2	Продуктивність технічна, т/год, не менше: на очищенні зерна пшениці, рису, ячменя від аеродинамічних домішок	6,0
3	Технологічна ефективність, %, не менше 1. Виділення лузги при розділення продуктів <u>шелушіння</u> круп'яних культур 2. При виділенні аеродинамічних домішок із зерна пшениці чи рису	85 60
4	Вміст повноцінного продукту у відходах осадової камери, %, не більше	2
5	Розміри <u>пневмосепаруючого</u> каналу, мм довжина ширина	600±10 140±5
6	Шнек для виведення відходів діаметр шнека, мм частота обертання <u>вала</u> шнека, об/хв	140±3 150
7	Потужність електродвигуна, кВт	1,1

Продовження таблиці 1

1	2	3
8	Діаметральний вентилятор діаметр ротора, мм кількість лопатей вентилятора, <u>шт</u> частота обертання ротора (регулюється змінними шківками), об/хв для риса для гречки для вівса для очистки зерна пшениці	200±2 29 920 750 750 850 935
9	Габаритні розміри, мм довжина ширина висота	1031 1205 1860
10	Маса, кг	430
11	Витрати повітря, м ³ /год	250

Сепаратор (рис. 1) включає в себе приймальний патрубок 1 та корпус, виготовлений з листової сталі у вигляді пустотілої звареної конструкції. Внутрішній простір корпусу за допомогою перегородок і стінок поділений на кілька функціональних зон: приймальну камеру 2, вертикальний канал пневмосепарації 3, осадову камеру 4 і рециркуляційний канал 6. Вгорі осадової камери змонтовано діаметральний вентилятор (ротор) 5 та шнековий транспортер 7, який відповідає за виведення із машини домішок, які виділилися повітряним потоком. В нижній частині пневмосепаруючого каналу виготовлено вихідний патрубок 12, через який відбувається виведення очищеного зернового матеріалу із зерноочисної машини.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

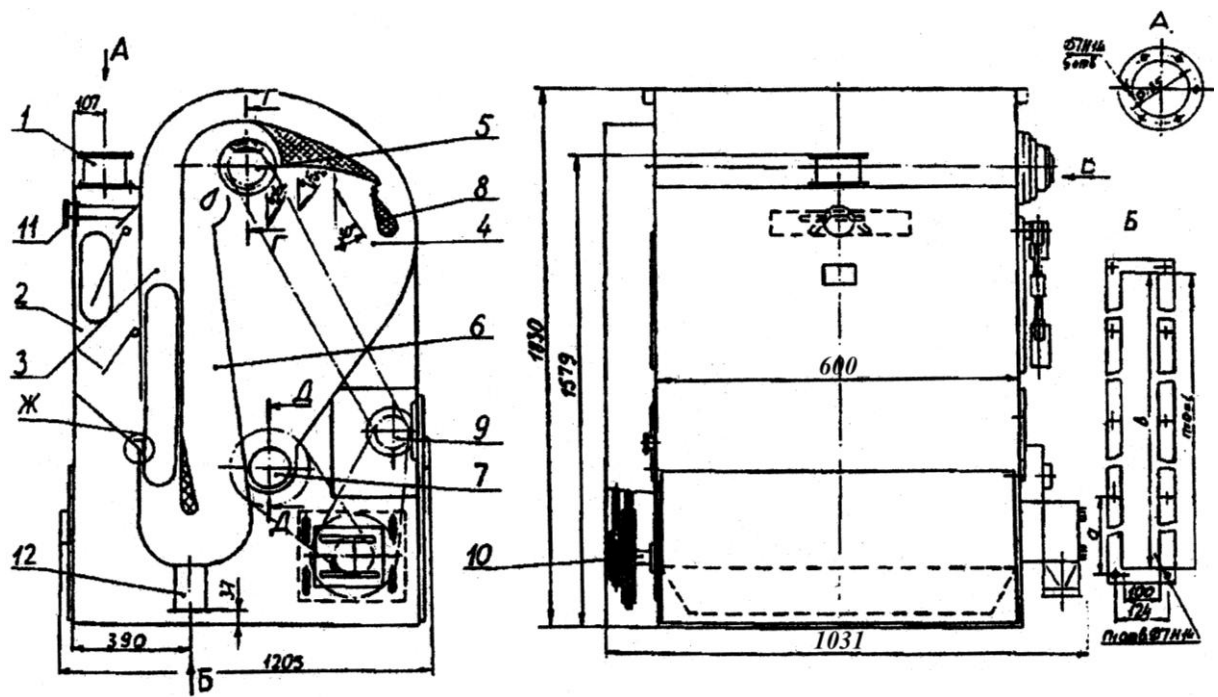


Рис. 1. Функціональна схема та фото пневмосепаратора АСХ-5

Вгорі приймальної камери пневмосепаратора розташований двоклапанний механізм із змонтованим в ньому вантажними клапанами, які пов'язані між собою тягою, а також регульований розподільник 11. Положення цього розподільника 11 змінюється відносно осі приймального

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВКПС 00.000 ПЗ

Арк.

11

патрубка, що дозволяє оптимізувати розподіл потоку матеріалу, який подається на очищення в пневмосистему по всій довжині приймальної зони та пневмосепаруючого каналу. Завдяки автоматичній дії клапанів механізм стабілізує рівень завантаження зерна незалежно від інтенсивності подачі продукту на обробку.

Матеріал надходить у пневмосепаруючий канал через напрямну, яка формує горизонтальну ділянку шириною близько 20 мм, що покращує рівномірність розподілу в зоні сепарації компонентів суміші повітряним потоком. У випадках, коли сепаратор використовується для контролю за лузгою, подача здійснюється по похилій площині з її нахилом на рівні 50°.

На вході до осадової камери розміщена поворотна заслінка 8 з обтічною формою, яка забезпечує регулювання повітряного потоку. Її поперечний переріз має форму лемніскати, а регулювання здійснюється за допомогою гвинтового механізму. У середині осадової камери встановлено три регулювальні лопатки, які відповідають за напрям повітряного потоку; їх положення можна визначити по спеціальним міткам на вісі.

Ротор джерела повітряного потоку (вентилятора) має зварну конструкцію, а сам вентилятор оснащено 29 лопатками, закріпленими на дисках. Вентилятор обертається у підшипникових опорах, швидкість обертання змінюється за допомогою змінних шківів відповідно до типу оброблюваного матеріалу та необхідної продуктивності.

Вал шнеку домішок встановлюється на двох шарикових підшипниках. Для виведення відходів із сепаратора передбачено окреме вікно, а також протипідсосний клапан, що виготовляється із армованої гуми в якій чітко прослідковуються полоски, виконані із листового металу.

Для візуального моніторингу процесу подачі й сепарації зерна у торцевих частинах сепаратора виконано два оглядові вікна, які фіксуються до корпусу із гумовими ущільненнями. Доступ до внутрішніх частин корпусу для

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

очищення забезпечується за допомогою з'ємної кришки, яка теж виготовляється із ущільнювачем.

Привод вентилятора і шнека легких домішок відбувається через електродвигун 9, встановлений на плиті, який передає обертання через клинопасову передачу та контрпривід 10. Останній має можливість регулювання у вертикальній і горизонтальній площинах, що дозволяє точно налаштувати натяг приводного паса.

Вхідні патрубки сепаратора обладнані фланцями, а до вихідних під'єднуються спеціальні перехідники для з'єднання з самоплинними продуктопроводами.

Під час роботи обладнання особливу увагу слід приділяти таким аспектам:

- забезпеченню рівномірної подачі матеріалу на очищення без перевантаження (можна візуально контролювати через оглядове вікно приймальної камери);
- коректній роботі двоклапанного механізму та правильному положенню вантажів;
- рівномірному розподілу продукту по робочому перерізу пневмосепаруючого каналу;
- стабільній швидкості повітряного потоку по перерізу каналу, що не допускає винесення повноцінного зерна у відходи;
- герметичності конструкції, що проявляється у відсутності підсосу повітря через вікна, заслінки або клапан в зоні виходу домішок та очищеного збіжжя.

Незважаючи на технічні переваги пневмосепаратора моделі АСХ-5, під час її промислової експлуатації та інженерних перевірок випробувань якості роботи було виявлено декілька недоліків, зокрема:

1. Зміна частоти обертання вентилятора і робочих органів є трудомісткою через необхідність заміни шківів і подальшого налаштування механізму.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Аеродинамічні характеристики вентилятора та його обертова частота недостатньо узгоджені з режимами сепарації різних культур, що обмежує гнучкість використання агрегату.
3. Конструкція замкненої пневмосистеми недостатньо вивчена і вочевидь розроблена без повноцінних експериментальних досліджень.
4. Частота обертання шнека для виведення домішок перевищує необхідну продуктивність на цій операції, що призводить до зайвих витрат енергії.

У зв'язку з цим у межах даної роботи пропонується:

1. Створити модернізований привід із варіатором для плавного регулювання обертів вентилятора і зменшення часу переналаштування всього зерноочисного агрегату.
2. Провести розрахунки та вдосконалити конструкцію вентилятора для підвищення енергоефективності сепаратора.
3. Переробити привід і параметри шнека домішок із врахуванням характеристик домішок, які видаляються повітряним потоком та їх масою враховуючи загальну продуктивність машини.
4. Виконати експериментальні дослідження та провести розрахунок пневмосистеми і механізмів приводу, щоб визначити раціональні режими роботи машини та покращити її експлуатаційні характеристики.

2.2. Інженерні розрахунки пневмосепаруючого каналу

Обґрунтування параметрів пневмоканалу

Прийmemo для розрахунків, що аспіратор працює на зерні пшениці, при цьому видаляючи із зерна основної культури аеродинамічно легкі домішки. Врахуємо, що на етапі попереднього очищення пшениці пневмосепаратор забезпечує продуктивність агрегату на рівні 6 т/год, або в розрахунку на секундну продуктивність отримаємо:

$$Q_c = \frac{Q}{3600} = \frac{6000}{3600} = 1,67 \text{ кг/с.}$$

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Знайдемо розрахункову кількість домішок, що подається на очищення в активну зону пневмоканалу, враховуючи, що засміченість зернового матеріалу становить $b=15$ %. Враховуючи таку характеристику вихідної зерноsumіші розрахуємо кількість домішок, що становить:

$$q_{\partial} = \frac{b \cdot q}{100} = \frac{15 \cdot 1,67}{100} = 0,25 \text{ кг/с.}$$

Використовуючи стандартне рівняння можемо розрахувати значення ширини пневмоканалу, яка дорівнює:

$$B = \frac{Q}{q_B},$$

де Q – паспортна продуктивність пневмосепаратора, кг/год;

q_B – максимально можливе (допустиме) питоме навантаження, що припадає на ширину ПСК із врахуванням необхідності забезпечити задану якість процесу очищення, керуючись відомим даними для розрахунків приймемо $q_B = 1000$ кг/дм.

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$B = \frac{6000}{1000} = 6 \text{ дм} = 600 \text{ мм.}$$

Використовуючи проведені експериментальні дослідження, розміри серійного агрегату та рекомендації дослідників, що раніше вивчали подібні пневмосистеми, оберемо глибину пневмосепаруючого каналу, яка дорівнює $C = 120$ мм.

Для ефективного очищення повітряним потоком зерна пшениці, приймемо робочу швидкість повітряного потоку, яка є вищою за критичну швидкість витання легких домішок і некондиційного зерна та є, відповідно нижчою за критичну швидкість насіння основної культури. Під час практичного підбору необхідної швидкості повітряного потоку враховують аеродинамічні властивості конкретного збіжжя, що підлягає очищенню. Для розрахунків приймемо, що швидкість повітряного потоку дорівнює $V_{cp} = 8$ м/с.

					<i>ВКПС 00.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, маючи розрахункові значення швидкості повітряного потоку в пневмоканалі сепаратора та знаючи геометричний переріз цього пневмоканалу можемо визначити величину розрахункових витрат повітря крізь живий переріз пневмосистеми. Для цього скористаємося відомою формулою:

$$W = 3600 \cdot B \cdot C \cdot V_{cp},$$

де W – розрахункові витрати повітря в пневмосистемі сепаратора, м³/год.;

B, C – відповідно ширина та глибина пневмосепаруючого каналу сепаратора, м;

V_{cp} – середня швидкість повітряного потоку в робочому перерізі сепаратора, м/с.

Після підстановки цифрових значень маємо:

$$W = 3600 \cdot 0,6 \cdot 0,12 \cdot 8 = 2074 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Отже, в результаті проведених розрахунків встановлені основні конструктивні та швидкісні параметри повітряної системи сепаратора АСХ-5.

Обґрунтування параметрів джерела повітряного потоку

Джерелом потоку повітря у пневмосистемі сепаратора А1-БЛС-100 є вентилятор діаметрального типу, що монтується у верхній зоні зерноочисного агрегату (рис. 2). Для гарантованого ефективного перебігу процесу аеродинамічного очищення зерноsumішей сепаратором необхідно забезпечити задані витрати повітря вентилятором. З конструктивних міркувань слід щоб довжина джерела повітряного потоку була однаковою із шириною пневмоканалу сепаратора, що фактично становить $L = B = 600$ мм.

Щоб розрахунковим методом знайти масу повітря, що витісняється планками джерела повітряного потоку використаємо відому формулу:

$$m_n = \gamma \cdot S_{пл} \cdot i \cdot V_n,$$

де m_n – розрахункова вага повітря, що може витіснити вентилятор своїми планками, кг/с;

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

γ – розрахункова щільність повітряного потоку, $\gamma_{II} = 1,2$ кг/м³;

$S_{лн}$ – площа (лобова) кожної із планок вентилятора, м²;

i – дійсна кількість лопатей на джерелі повітряного потоку, шт.;

$V_{л}$ – значення лінійної швидкості центру лобової поверхні планки вентилятора, м/с.

Щоб фактично знайти площу кожної лопаті вентилятора скористаємося формулою:

$$S_{лн} = a \cdot L,$$

де a – висота лопаті (рис. 2) джерела повітряного потоку, м;

L – довжина лопаті джерела повітряного потоку (рис. 2), м.

Після підстановки цифрових значень отримаємо:

$$S_{лн} = 0,05 \cdot 0,6 = 0,03 \text{ м}^2.$$

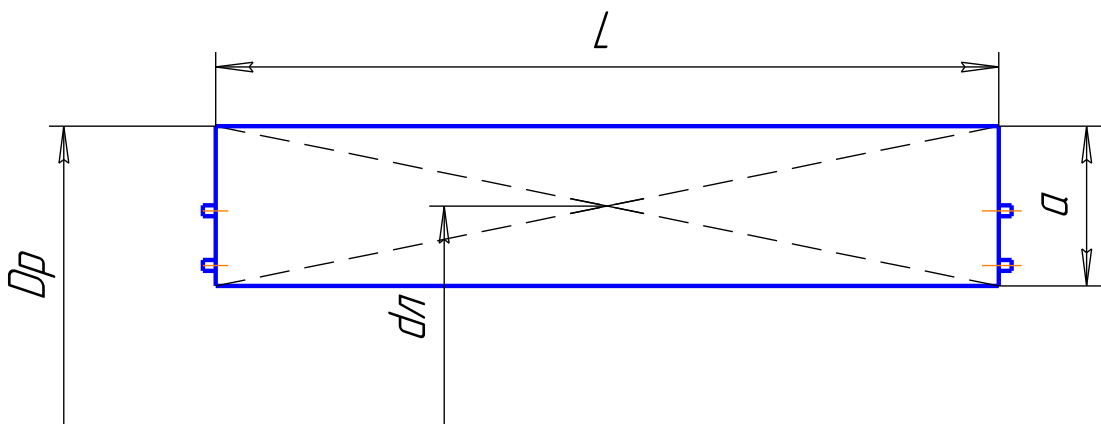


Рис. 2. Схема до розрахунку лопаті вентилятора сепаратора

Якщо оцінити процес роботи зерночисного агрегату із іншого боку, то можемо знайти ту масу повітря m_n яку має витіснити вентилятор враховуючи витрати цього повітря W щоб розділення компонентів суміші повітряним потоком відбувалося. Для цього скористаємося відомою залежністю:

$$m_n = \frac{W \cdot \gamma}{3600} = \frac{2074 \cdot 1,2}{3600} = 0,69 \text{ кг/с.}$$

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Проведемо визначення лінійної швидкості центру лобової поверхні кожної лопаті джерела потоку повітря (вентилятора) V_l , керуючись частотою обертання цього вентилятора n_p

$$V_l = \omega_p \cdot r_l,$$

де ω_p – величина кутової швидкості обертання вентилятора зерноочисного агрегату, рад/с;

Цю кутову швидкість визначимо керуючись залежністю:

$$\omega_p = \frac{\pi \cdot n_p}{30} = \frac{3,14 \cdot 700}{30} = 73,3 \text{ рад/с},$$

де n_p – значення частоти обертання джерела повітряного потоку, об/хв.;

r_l – фактична величина радіусу лобової площини планки вентилятора, м.

Скориставшись рис. 2 можемо отримати, що

$$r_l = \frac{d_l}{2} = \frac{1}{2} \cdot \left(D_p - \frac{a}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(0,2 - \frac{0,05}{2} \right) = 0,087 \text{ м}.$$

Після підстановки знайдених величин у формулу для визначення лінійної швидкості отримаємо:

$$V_l = 73,3 \cdot 0,087 = 6,38 \text{ м/с}.$$

Враховуючи проведені розрахунки, потрібна кількість лопатей для створення необхідного повітряного потоку в пневмосистемі зерноочисної машини може бути вирахована наступним чином:

$$i = \frac{m_n}{\gamma \cdot S_{лн} \cdot V_l} = \frac{0,69}{1,2 \cdot 0,03 \cdot 6,38} = 25 \text{ лопатей}.$$

Враховуючи той факт, що для того, щоб створити необхідний тиск повітря в пневмосистемі сепаратора слід знайти втрати статичного тиску, що будуть мати місце по пневмоканалах системи аспірації. Відомо, що ці втрати будуть залежати від значення втрат, що потрібні для подолання місцевих отворів та втрат на силу тертя. Врахуємо, що пневмосистема сепаратора (рис. 1) має в нижній зоні яскраво виражений перегин та має місце додаткове

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

розширення ПСК враховуючи можливі втрати статичного тиску варто збільшити частоту обертання вентилятора до 800 об/хв.

Розрахуємо ту потужність, що потрібно затратити для приведення в дію вентилятора сепаратора щоб він міг створювати повітряний потік із заданими характеристиками та достатній запас для подолання усіх можливих шкідливих опорів. Для цього використаємо відому формулу:

$$N = A \cdot \omega + B \cdot \omega^3.$$

У останньому рівнянні перша складова $A \cdot \omega$ фактично визначає ту потужність, яка витрачається системою для подолання шкідливих опорів. Друга складова $B \cdot \omega^3$ є чинником, що дозволяє врахувати величину тієї потужності, яку слід затратити для створення потрібного повітряного потоку для роботи системи аспірації.

Розрахуємо величину коефіцієнта A за формулою:

$$A = R \cdot \psi \cdot \rho,$$

де R – фактична сума реакцій в опорах вентилятора, Н;

ψ – величина коефіцієнту тертя;

ρ – радіус цапфи вентилятора, м.

Якщо врахувати, що вентилятор працює із опорами, що встановлені на підшипниках кочення є правомірним припущення, що $\rho \cdot \psi = 0,00015$ та відповідно $R = 400$ Н.

Підставивши цифрові значення маємо:

$$A = 0,00015 \cdot 400 = 0,06 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Розрахуємо за нижче наведеною формулою значення коефіцієнту B

$$B = \frac{\gamma_{II} \cdot F \cdot i \cdot \varepsilon^2 \cdot r_{л}^3}{2g} = \frac{1,2 \cdot 0,03 \cdot 25 \cdot 0,58^2 \cdot 0,087^3}{2 \cdot 9,81} = 0,2 \cdot 10^{-5}$$

Враховуючи проведені розрахунки і обґрунтування маємо:

$$N = 0,06 \cdot 157 + 0,2 \cdot 10^{-5} \cdot 157^3 = 350 \text{ Вт}.$$

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення параметрів шнека-відвантажувача аеродинамічних домішок

Враховуючи те, що аеродинамічно легкі домішки після їх виділення із загальної маси потрапляють до осадової камери із якої їх потрібно виводити за межі агрегату забезпечуючи транспортування цих домішок горизонтально. Для проведення такого горизонтального переміщення домішок у сепараторі використаємо тихохідний шнековий транспортер, для визначення продуктивності якого скористаємося залежністю:

$$Q_{\text{шт}} = 3600 \cdot F_0 \cdot V_n \cdot \gamma,$$

де F_0 – фактична площа перетину легких домішок, що в даному випадку є вантажем для цього транспортеру, м²;

$$F_0 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \psi \cdot C}{4},$$

D – значення діаметру шнека-транспортера, м;

ψ – коефіцієнт, який відображає повноту заповнення жолобів шнека, для аеродинамічно легких домішок $\psi \approx 0,2$;

C – коефіцієнт, що демонструє зменшення площі перетину легких домішок, які транспортуються із врахуванням нахилу шнека-транспортера до горизонталі $C = 1$;

$$F_0 = \frac{3,14 \cdot 0,14^2 \cdot 0,2 \cdot 1}{4} = 0,003 \text{ м}^2;$$

V_n – величина швидкості переміщення вантажу, м/с;

$$V_n = \frac{S \cdot n}{60},$$

S – величина кроку шнека домішок, м;

n – значення частоти обертання шнека домішок, об/хв;

γ – об'ємна вага легких домішок, $\gamma = 0,4 \text{ т/м}^3$.

Для того щоб розрахувати крок тихохідного шнека у горизонтальному напрямку роботи цього шнека можна скористатися залежністю:

$$S = (0,5 \dots 2) \cdot D = 1,5 \cdot 0,14 = 0,21 \text{ м.}$$

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи проведені розрахунки знайдемо швидкість переміщення вантажу після підстановки даних маємо:

$$V_n = \frac{0,21 \cdot 150}{60} = 0,52 \text{ м/с.}$$

Після наведених розрахунків отримаємо продуктивність шнека домішок:

$$Q_{\text{шт}} = 3600 \cdot 0,003 \cdot 0,52 \cdot 0,4 = 2,25 \text{ т/год.}$$

Знайдена продуктивність шнека легких домішок забезпечує виведення домішок навіть за умови, що засміченість вихідної суміші легкими домішками складає 40%. Цієї продуктивності шнека є достатнім для того, щоб всі виділені домішки виводилися з агрегату після процесу очищення суміші. Визначимо ту потужність, що потрібно затратити на переміщення шнека вивантажувача домішок. Для цього скористаємося залежністю:

$$N_1 = \frac{V_o \cdot G (\sin \beta + \mu_2 \cos \beta) \operatorname{tg} (\alpha_0 + \varphi_2)}{102},$$

де V_o – швидкість переміщення шнека по колу, що проходить крізь центр тиску домішок, м/с;

G – вага тих домішок, що перебувають у жолобі шнека, кг;

β – кут з яким шнековий транспортер нахилено до горизонту, град;

μ_2 – коефіцієнт тертя домішок по внутрішній поверхні жолоба шнека;

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{S}{\pi \cdot D_0}; \operatorname{tg} \varphi_2 = \mu_1,$$

де μ_1 – коефіцієнт тертя легких домішок по гвинтовій поверхні шнека транспортера.

З іншої сторони, для визначення швидкості шнека скористаємося відомою формулою:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_0 \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,098 \cdot 150}{60} = 0,77 \text{ м/с.}$$

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де D_0 – діаметр кола, який проходить крізь центр ваги тиску легких домішок на гвинт шнекового транспортера, м.

Відомо, що

$$D_0 = (0,7...0,8)D.$$

Щоб розрахувати вагу легких домішок, які знаходяться у жолобі шнека використаємо відому залежність:

$$G = q_b \cdot L = \frac{Q \cdot L}{3,6 \cdot V_n} = \frac{2,25 \cdot 0,6}{3,6 \cdot 0,52} = 0,72 \text{ кг.}$$

де q_b – погонна маса легких домішок, що можна розрахувати за залежністю

$$q_b = \frac{Q}{3,6 \cdot V_n};$$

L – довжина на яку відбувається транспортування легких домішок шнеком, м.

Враховуючи наведені розрахунки і обґрунтування можемо визначити потужність, яка становить:

$$N_1 = \frac{0,77 \cdot 0,72(0 + 0,4 \cdot 1) \cdot (0,677 + 2,16)}{102} = 0,6 \text{ кВт.}$$

Далі можемо розрахувати величину потужності на валу шнека легких домішок за формулою;

$$N_0 = N_1 \cdot \frac{K_0}{\eta_n},$$

де K_0 – коефіцієнт, що дозволяє врахувати переміщення та подрібнення матеріалу, який транспортується, для роботи із легкими домішками прийmemo $K_0 = 1,3$;

η_n – коефіцієнт корисної дії підшипників, що встановлені на валу шнека.

Підставивши дані маємо:

$$N_0 = 0,6 \cdot \frac{1,3}{0,99 \cdot 2} = 0,4 \text{ кВт.}$$

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кінематичний розрахунок приводного механізму сепаратора

Керуючись технологічними розрахунками які проведені вище можемо обрати, що вентилятор обертається із частотою $n = 800$ об/хв а потужність, яка має бути забезпечена для роботи вентилятора, тобто та, що передається на його вал складає $N = 0,35$ кВт., і відповідно частота обертання валу двигуна повинна складати $n = 1420$ об/хв. Кінематична схема приводу робочих органів сепаратора АСХ-5 на рис. 3.

Розрахуємо передаточне відношення для приведення в дію джерела повітряного потоку за відомою формулою:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1420}{800} = 1,77.$$

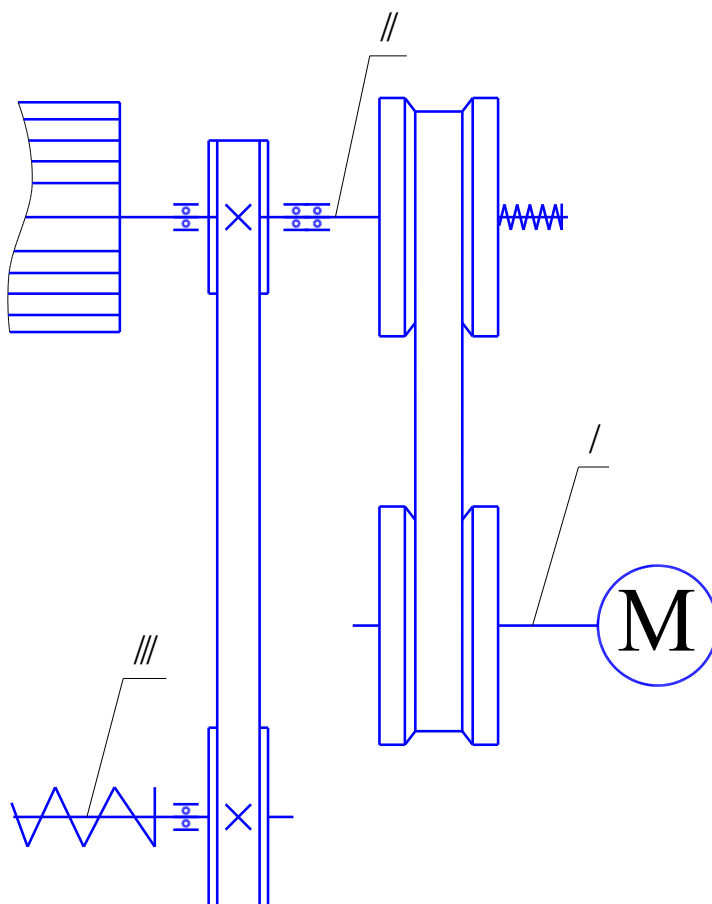


Рис. 3. Кінематична схема привідного механізму пневмосепаратора АСХ-5

Проведемо визначення діапазону регулювання вентилятора пневмосепаратора. Для цього скористаємося залежністю:

									Арк.
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$i_o = \frac{n_{2\max}}{n_{2\min}} = \frac{1000}{600} = 1,67.$$

Для швидкого і безступінчастого регулювання механізму приводу вентилятора оберемо класичний механічний варіатор у якого один ведучий шків постійного діаметру та один підпружинений регульований шків змінного діаметру. Під час роботи даного варіатора регулювання натягу приводного пасу клинопасової передачі реалізується шляхом зміни відстані між осями шківів за рахунок переміщення привідного шківів і руху рамки електродвигуна у вертикальній площині. Під час цього процесу клиновий пас тисне на підпружинений шків і відбувається зміна діаметру цього шківів і, відповідно – зміна загального передаточного відношення механізму приводу. Загальна розрахункова схема запропонованого механічного варіатора приводу наведена на рис. 4.

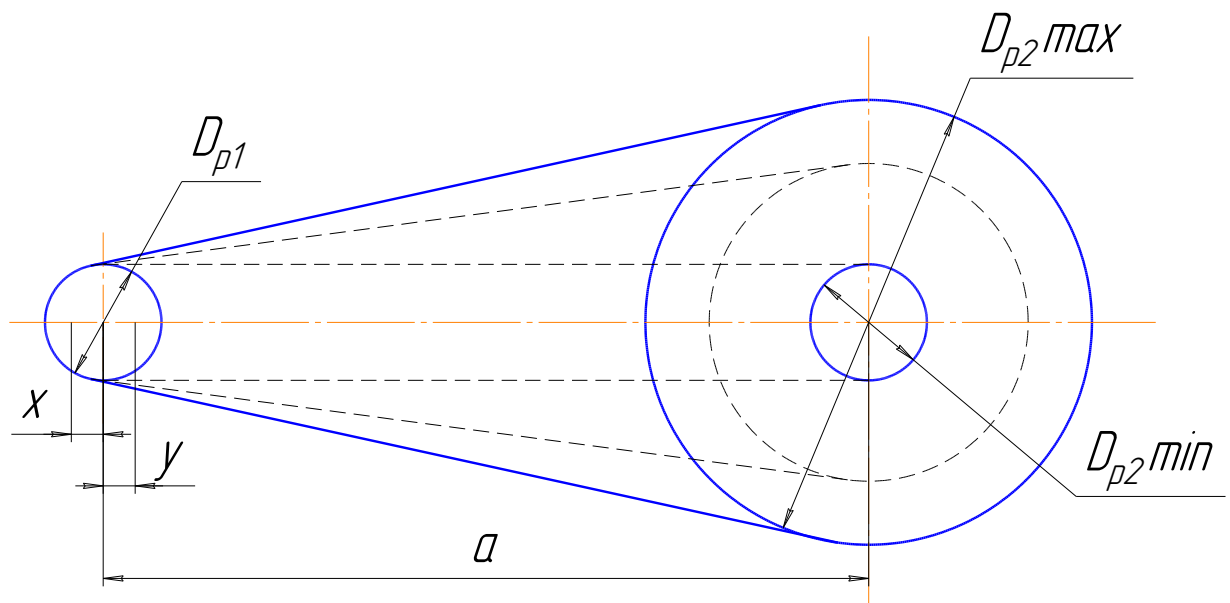


Рис. 4. Розрахункова схема механічного клинопасового варіатора механізму приводу

Щоб забезпечити роботу запропонованого безступінчастого механізму приводу оберемо для приведення в дію клиновий пас СВ-38-1500Ш, що характеризується такими вихідними параметрами:

$$B_p=32 \text{ мм};$$

$$b=38 \text{ мм};$$

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$b_1=27,6 \text{ мм};$$

$$h=17 \text{ мм};$$

$$F=5,95 \text{ см}^2.$$

Основні параметри клинового пасу механізму приводу відображені на рис. 5.

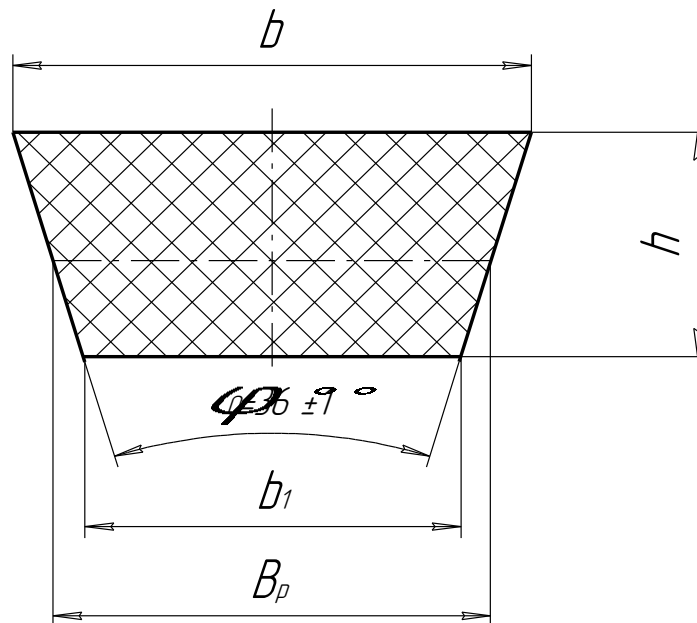


Рис. 5. Основні конструктивні параметри клинового пасу механізму приводу

Далі врахуємо наступну формулу:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \approx \frac{D_2}{D_1},$$

де n_1, n_2 – фактичне значення частоти обертання ведучого та веденого шківів механізму приводу сепаратора, об/хв;

D_1, D_2 – встановлені діаметри ведучого та веденого шківів механізму приводу, мм.

Розрахуємо дійсне мінімальне та максимальне передаточне відношення які має забезпечувати запропонований механічний клинопасовий варіатор, отримаємо:

$$i_{\min} = \frac{n_1}{n_{2\min}} = \frac{1420}{600} = 2,4;$$

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_{\max} = \frac{n_1}{n_{2\max}} = \frac{1420}{900} = 1,6.$$

Прийmemo значення мінімального розрахункового діаметра ведучого шківa, $D_{p1} = 160$ мм.

Враховуючи проведені розрахунки визначимо мінімальне та максимальне значення фактичного діаметру веденого шківa механізму привода, щоб забезпечувалися необхідні передаточні відношення. Маємо:

$$D_{p2\min} = D_{p1} \cdot i_{\min} = 160 \cdot 2,4 = 384 \text{ мм};$$

$$D_{p2\max} = D_{p1} \cdot i_{\max} = 160 \cdot 1,6 = 256 \text{ мм}.$$

Визначимо розрахункове значення довжини паса механізму привода:

$$\begin{aligned} L_p &= 2a + 1,57(D_{p1} + D_{p2\max}) + \frac{(D_{p2\max} - D_{p1})^2}{4a} = \\ &= 2 \cdot 0,5 + 1,57(0,16 + 0,384) + \frac{(0,384 - 0,16)^2}{4 \cdot 0,5} = 1,87 \text{ м} \end{aligned}$$

Отже, прийmemo довжину паса $L_p = 2$ м.

Проведемо визначення міжосьової відстані

$$a = p + \sqrt{p^2 - q},$$

$$p = 0,25 \cdot L_p - 0,393(D_1 + D_2) = 0,25 \cdot 2 - 0,393(0,16 + 0,384) = 0,286;$$

$$q = 0,125(D_1 - D_2)^2 = 0,125(0,16 - 0,384)^2 = 0,006.$$

Враховуючи розрахунки дійсна міжосьова відстань становить:

$$a = 0,286 + \sqrt{0,286^2 - 0,006} = 0,561 \text{ м}.$$

Отже, можемо розрахувати колову швидкість пасу враховуючи мінімальне та максимальне значення передаточного відношення, що має забезпечувати клинопасовий варіатор привода. Отримаємо:

$$V_{\kappa} = \frac{\pi \cdot D_{p1} \cdot n_1}{60} = \frac{\pi \cdot D_{p2} \cdot n_2}{60};$$

$$V_{\kappa\min} = \frac{3,14 \cdot 0,384 \cdot 600}{60} = 12 \text{ м/с};$$

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{k \max} = \frac{3,14 \cdot 0,384 \cdot 900}{60} = 18 \text{ м/с.}$$

Таким чином, проведені розрахунки і обґрунтування дозволили отримати основні параметри механічного клинопасового варіатора механізму приводу вентилятора сепаратора, що забезпечить безступінчасте регулювання частоти обертання, а отже і швидкості повітряного потоку в пневмосистемі залежно від налаштувань цього варіатора.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Характеристика наукової роботи, предмет і об'єкт досліджень

В умовах сучасного агровиробництва підвищення якості та ефективності післязбиральної обробки зерна та насіння сільськогосподарських культур є однією з головних проблем завершення вирощування сільськогосподарських культур, що вимагає ґрунтового наукового дослідження та практичного вдосконалення. Очищення зернового матеріалу від домішок залишається важливим технологічним процесом, який безпосередньо впливає на подальшу переробку, зберігання та якість кінцевого продукту. Особливу роль у цьому процесі відіграють пневматичні системи сепарації, принцип дії яких базується на різниці аеродинамічних властивостей компонентів зернової суміші.

Предметом даного дослідження є процес пневмосепарації зернових матеріалів в аспіраторі АСХ-5, зокрема, закономірності формування та розподілу повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі. **Об'єктом дослідження** виступає пневматична система аспілятора АСХ-5 та її конструктивно-технологічні параметри, що визначають ефективність роботи цього обладнання.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю удосконалення існуючих технічних рішень для забезпечення високої якості очищення зерна

										Арк.
										27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВКПС 00.000 ПЗ					

при зменшенні енергетичних витрат. Сучасні тенденції розвитку зерноочисних машин спрямовані на створення багатофункціональних агрегатів із високим рівнем автоматизації та контролю технологічних процесів. При цьому особлива увага приділяється оптимізації режимів роботи обладнання, що неможливо без глибокого розуміння фізичних процесів, які відбуваються під час сепарації.

Наукова новизна дослідження полягає у розробці та обґрунтуванні математичних моделей руху повітряних потоків у пневмосепаруючому каналі аспірації АСХ-5, виявленні закономірностей впливу конструктивних елементів на рівномірність розподілу швидкості потоку, а також у встановленні взаємозв'язку між параметрами роботи системи та якісними показниками очищення зернового матеріалу.

Практична значимість роботи визначається можливістю використання отриманих результатів для модернізації конструкції аспірації АСХ-5, зниження енергетичних витрат на процес сепарації та підвищення ефективності видалення легких домішок із зернового матеріалу.

3.2. Сучасний стан техніки для розділення зерна повітряним потоком

Класифікація пневмосепараторів та аналіз досліджень процесів пневмосепарації зерноsumішей

Сучасні пневмосепаратори за конструктивним виконанням можна класифікувати на кілька основних типів: пневмоканали прямокутного перерізу з вертикальним та похилим рухом повітря, пневмосепаратори з замкненою та розімкненою системою повітряного потоку, пристрої з повітряно-решітним сепаруванням та інші [19]. Класифікація пневмосепаруючих пристроїв зерноочисних агрегатів за [25] наведена на рис. 6.

Аналіз конструктивних рішень показує, що найбільш поширеними є пневмосепаратори з вертикальним повітряним потоком, які забезпечують високу якість очищення при відносно простій конструкції. Серед таких пристроїв окреме місце займають аспіратори серії АСХ, зокрема модель АСХ-

										Арк.
										28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Дослідження В.Ф. Сторожука присвячені вивченню впливу конструктивних параметрів повітряних каналів на якість сепарації. Автором встановлено, що створення рівномірного поля швидкостей є однією з ключових умов підвищення ефективності розділення зернових сумішей [21].

У роботах О.М. Васильковського розглядаються питання моделювання процесів переміщення частинок у повітряному потоці та обґрунтування раціональних параметрів сепаруючих каналів. Запропоновано методику розрахунку траєкторій руху компонентів зернової суміші з урахуванням їх аеродинамічних характеристик [15].

Важливими для розуміння процесів пневмосепарації є дослідження В.М. Дрінчі, які стосуються аналізу впливу турбулентності повітряного потоку на якість розділення зернових матеріалів. Автором запропоновано комплексний підхід до оцінки ефективності роботи пневмосепараторів, який включає визначення ступеня рівномірності поля швидкостей та коефіцієнтів турбулентності [16].

Сучасні тенденції розвитку пневмосепаруючих систем

Аналіз сучасних тенденцій розвитку пневмосепаруючих систем свідчить про спрямованість на створення енергозберігаючих технологій з високою ефективністю очищення зернових матеріалів. Особлива увага приділяється розробці систем із замкненим циклом циркуляції повітря, які дозволяють зменшити енергетичні витрати та знизити запиленість виробничих приміщень.

Перспективним напрямком є впровадження автоматизованих систем контролю та регулювання параметрів повітряного потоку в залежності від характеристик зернового матеріалу та вимог до якості очищення. Такі системи дозволяють адаптувати режими роботи обладнання до конкретних умов експлуатації та забезпечити стабільно високі показники ефективності сепарації.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значна увага приділяється також удосконаленню конструкції пневмосепаруючих каналів шляхом встановлення додаткових елементів, які сприяють формуванню рівномірного повітряного потоку. Серед таких елементів можна відзначити направляючі жалюзі, розподільні решітки, дифузори та конфузори [22].

3.3. Теоретичні дослідження процесів розділення зерноsumішей

Фізичні основи пневмосепарації зернових матеріалів

Процес розділення зернових сумішей у повітряному потоці базується на відмінностях аеродинамічних властивостей компонентів. Основним параметром, що характеризує ці властивості, є критична швидкість витання (швидкість спадання), яка залежить від розмірів, форми та густини частинок.

При взаємодії частинки з повітряним потоком на неї діють такі сили: сила тяжіння, підйомна сила (аеродинамічна сила), сила опору середовища та інерційні сили. Рівняння руху частинки в повітряному потоці можна записати у вигляді:

$$m \frac{d\bar{v}}{dt} = m\bar{g} + \bar{F}_a + \bar{F}_c,$$

де m – маса частинки зерноsumіші, кг;

$\frac{d\bar{v}}{dt}$ – вектор швидкості частинки, м/с;

\bar{F}_a – аеродинамічна сила, Н;

\bar{F}_c – сила опору середовища, Н.

Аеродинамічна сила, може бути знайдена використовуючи закон Бернуллі, що можемо описати виразом:

$$\bar{F}_a = C_a \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot S,$$

де C_a – аеродинамічний коефіцієнт, який залежить від форми частинки зерноsumіші та числа Рейнольдса;

ρ – густина повітря, яким відбувається розділення компонентів суміші, кг/м³;

v – швидкість повітряного потоку в ПСК, м/с;

S – площа проекції частинки зернової суміші на площину, перпендикулярну до напрямку руху повітряного потоку, м².

Сила опору середовища для частинок, що рухаються в повітряному потоці під час їх розділення, визначається за формулою:

$$\bar{F}_c = C_c \cdot \frac{\rho \cdot v_g^2}{2} \cdot S,$$

де C_c – коефіцієнт опору, який залежить від форми частинки зернової суміші та режиму обтікання цієї частинки повітрям;

v_g – відносна швидкість частинки суміші щодо повітряного потоку, м/с.

Аналіз рівнянь руху доводить, що для ефективного розділення зернових сумішей повітрям необхідно забезпечити такі умови його роботи, при яких швидкість повітряного потоку була б достатньою для виносу легких домішок, але недостатньою для виносу повноцінного зерна. При цьому важливо враховувати нерівномірність поля швидкостей по перерізу пневмосепаруючого каналу, яка може призводити до зниження якості очищення чи винесення повноцінного зерна у відходи внаслідок перевищення швидкості витання повноцінного зерна в окремих зонах каналу.

Математичне моделювання руху повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі

Для опису руху повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі можна використовувати рівняння Нав'є-Стокса та рівняння нерозривності. У загальному вигляді рівняння Нав'є-Стокса для нестисливої рідини мають вигляд:

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{g};$$

Рівняння нерозривності запишемо у вигляді:

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0,$$

де ρ – густина повітря у пневмосистемі, кг/м³;

$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$ – локальне прискорення потоку повітря, зміна швидкості з часом у

фіксованій точці простору;

$(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v}$ – конвективне прискорення, що зумовлене зміною швидкості при переміщенні частинки повітря в просторі;

∇p – градієнт тиску, що характеризує зміну тиску в просторі та напрямок його найшвидшого зростання;

μ – динамічна в'язкість робочого середовища, в даному випадку – повітря, Па×с;

$\nabla^2 \vec{v}$ – лапласіан швидкості, відображає в'язкісну складову повтряного потоку;

$\rho \vec{g}$ – об'ємна сила тяжіння;

$\nabla \cdot \vec{v} = 0$ – умова нерозривності (дивергенція швидкості дорівнює нулю), що виражає закон збереження маси для нестисливого повітряного середовища.

Для повноти аналізу потоку в пневмосепаруючому каналі варто також врахувати:

1. Граничні умови на стінках каналу (умова прилипання або ковзання).
2. Параметри вхідного потоку (швидкість, тиск, температура).
3. Умови на виході з пневмоканалу

При моделюванні реальних пневмосепараторів часто потрібно враховувати:

- Турбулентність потоку (використовуючи k-ε, k-ω або інші моделі турбулентності).
- Взаємодію частинок матеріалу з повітряним потоком.
- Можливі температурні впливи (якщо вони є значущими).

										Арк.
										33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Ця модель є спрощеним аналітичним розв'язком, який добре працює для усталеного руху повітря у прямокутних каналах при помірних швидкостях потоку та за відсутності інших суттєвих збурень (наприклад, значної турбулентності або нерівномірного розподілу тиску вздовж каналу). Графіки розподілу швидкостей повітряного потоку за моделлю Заїки наведено на рис. 7, 8.

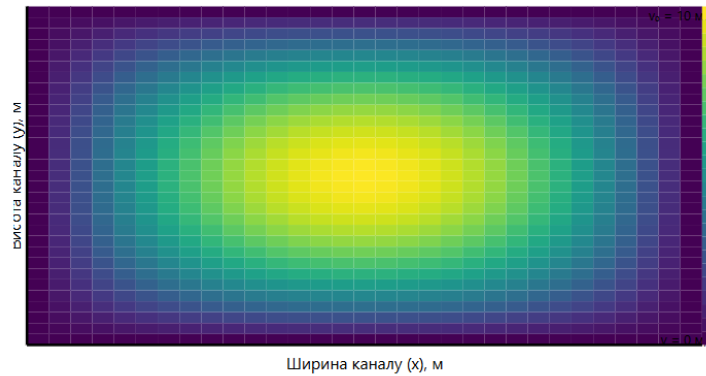


Рис. 7. Теплова карта розподілу швидкостей (вид зверху)
Кольорова шкала: від темного (мінімальна швидкість) до світлого (максимальна швидкість)

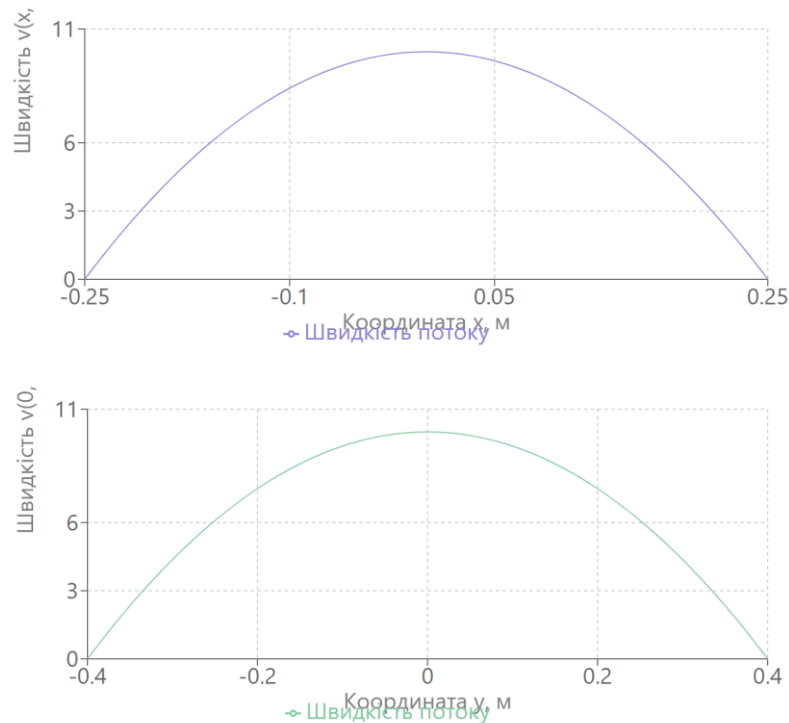


Рис. 8. Розподіл швидкості повітряного потоку вздовж осі X при $Y = 0$ та вздовж осі Y при $X = 0$

Як видно з візуалізації (рис. 7, рис. 8), модель представляє параболічний розподіл швидкості повітряного потоку із максимумом у центрі каналу та нульовою швидкістю на стінках, що відповідає фізичним принципам руху повітря в прямокутних каналах з урахуванням тертя об їх стінки.

Така форма представлення дозволяє наочно оцінити характер розподілу швидкостей потоку повітря в робочій зоні для різних конфігурацій пневмосепаруючих каналів сепараторів.

Ця, наведена вище модель дозволяє визначити коефіцієнт нерівномірності поля швидкостей, що характеризує ступінь відхилення реального розподілу швидкостей повітряного потоку від ідеального (рівномірного). Коефіцієнт нерівномірності повітряного потоку можна розрахувати за формулою:

$$k_{\text{нер}} = \frac{v_{\text{max}} - v_{\text{min}}}{v_{\text{cp}}},$$

де v_{max} та v_{min} – відповідно максимальна та мінімальна швидкості потоку повітря за перерізом пневмосепаруючого каналу сепаратора, м/с;

v_{cp} – середня швидкість робочого повітряного потоку у ПСК, м/с.

Для забезпечення ефективного розділення зернових сумішей сепараторами необхідно прагнути до мінімального значення коефіцієнта нерівномірності, яке в ідеальному випадку має наближатися до нуля.

Аналіз впливу нерівномірності повітряного потоку на якість сепарації

Нерівномірність повітряного потоку є одним із основних факторів, що негативно впливають на якість пневмосепарації зернових матеріалів. Дослідження, проведені різними авторами [16, 21], підтверджують, що збільшення коефіцієнта нерівномірності призводить до зниження ефективності видалення легких домішок та підвищення втрат повноцінного зерна.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Вплив нерівномірності повітряного потоку на якість сепарації можна оцінити за допомогою коефіцієнта ефективності, який розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% ,$$

де m_1 – маса легких домішок у вихідному матеріалі, кг;

m_2 – маса легких домішок у очищеному матеріалі, кг.

Експериментальні дослідження показують, що залежність коефіцієнта ефективності від коефіцієнта нерівномірності має нелінійний характер і може бути апроксимована виразом:

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{-\alpha \cdot k_{\text{нер}}} ,$$

де η_0 – максимальний коефіцієнт ефективності при ідеально рівномірному потоці, %;

α – емпіричний коефіцієнт, який залежить від характеристик зернового матеріалу та конструктивних особливостей пневмосепаратора.

Згідно з даними В.М. Дрінчі [16], зменшення коефіцієнта нерівномірності з 0,5 до 0,2 дозволяє підвищити ефективність очищення на 15...20% без збільшення енергетичних витрат. Це підтверджує важливість розробки та впровадження технічних рішень, спрямованих на формування рівномірного повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі.

3.4. Теоретичні дослідження роботи пневмосистеми сепаратора АСХ-5 та вплив його параметрів на рівномірність повітряного потоку

Конструктивні особливості пневмосистеми аспіратора АСХ-5

Аспіратор АСХ-5 є однією з найбільш поширених машин для очищення зерна від легких домішок. Пневмосистема даного аспіратора складається з наступних основних елементів: пневмосепаруючого каналу, осаджувальної камери, вентилятора, системи трубопроводів і регулювальних пристроїв.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пневмосепаруючий канал аспіратора АСХ-5 має прямокутний переріз розміром 400×150 мм, що забезпечує пропускну здатність на зернових до 5 т/год. Подача зернового матеріалу здійснюється через завантажувальний пристрій, розташований у верхній частині каналу. Для регулювання швидкості повітряного потоку в каналі передбачена заслінка, яка дозволяє змінювати площу перерізу каналу і, відповідно, швидкість повітря в робочій зоні розділення.

Осаджувальна камера виконана у формі розширювального бункера, в якому відбувається уловлювання виділених домішок та пилу. Камера обладнана шлюзовим затвором для періодичного вивантаження накопичених домішок.

Вентиляційна установка складається з відцентрового вентилятора середнього тиску, який забезпечує створення необхідного розрідження в системі. Продуктивність вентилятора регулюється зміною частоти обертання робочого колеса вентилятора або положення заслінки на всмоктувальному патрубку пневмосистеми.

Система трубопроводів з'єднує основні елементи пневмосистеми і забезпечує циркуляцію повітряного потоку. Конфігурація трубопроводів (діаметр, кути поворотів, довжина прямих ділянок) суттєво впливає на гідравлічний опір системи та рівномірність повітряного потоку.

Математичне моделювання роботи пневмосистеми аспіратора АСХ-5

Для аналізу роботи пневмосистеми аспіратора АСХ-5 розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити розподіл швидкостей повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі з урахуванням конструктивних особливостей машини та режимів її роботи.

Модель базується на розв'язанні системи рівнянь, яка включає:

- рівняння Нав'є-Стокса для опису руху повітряного потоку;
- рівняння нерозривності для забезпечення умови збереження маси;

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- рівняння енергії для врахування теплових ефектів (у спрощеному вигляді).

Для розв'язання цієї системи рівнянь використовується метод скінченних елементів, який дозволяє врахувати складну геометрію пневмосистеми та граничні умови на поверхнях каналу.

Модель дозволяє визначити вплив таких параметрів як:

- продуктивність вентилятора;
- положення регулювальної заслінки;
- геометричні розміри пневмосепаруючого каналу;
- конфігурація вхідного та вихідного патрубків;
- наявність додаткових елементів для формування потоку.

Результати моделювання показують, що в стандартній конфігурації пневмосистеми аспірація АСХ-5 коефіцієнт нерівномірності поля швидкостей у перерізі пневмосепаруючого каналу складає 0,35...0,45, що негативно впливає на якість сепарації. Основними причинами нерівномірності є:

- різка зміна напрямку потоку при вході в пневмосепаруючий канал;
- недостатня довжина заспокійливої ділянки перед зоною сепарації;
- вплив вхідного патрубка на структуру потоку;
- утворення вихрових зон у кутах каналу.

Аналіз впливу конструктивних параметрів на рівномірність повітряного потоку

На основі розробленої математичної моделі проведено аналіз впливу різних конструктивних параметрів на рівномірність повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі аспірація АСХ-5.

Вплив форми вхідного патрубка

Дослідження показують, що форма вхідного патрубка суттєво впливає на структуру потоку в початковій ділянці пневмосепаруючого каналу. При

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

різкій зміні напрямку потоку виникають вихрові зони, які порушують рівномірність розподілу швидкостей.

Для оцінки впливу форми вхідного патрубка розглянуто три варіанти: прямий вхід, вхід під кутом 90° та вхід із плавним переходом (конфузор). Результати моделювання показують, що використання плавного переходу дозволяє зменшити коефіцієнт нерівномірності на 15...20% порівняно з прямим входом і на 25...30% порівняно з входом під кутом 90° .

Вплив додаткових елементів для формування потоку

Для підвищення рівномірності повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі можуть використовуватися різні додаткові елементи: вирівнювальні решітки, направляючі жалюзі, перфоровані пластини тощо.

Моделювання показує, що встановлення вирівнювальної решітки на вході в пневмосепаруючий канал дозволяє зменшити коефіцієнт нерівномірності до 0,15...0,20. При цьому оптимальними є решітки з круглими отворами діаметром 8...10 мм, розташованими в шаховому порядку з кроком 15...20 мм. Такі решітки забезпечують необхідну рівномірність потоку при допустимому гідравлічному опорі.

Використання направляючих жалюзі у вхідній частині каналу також сприяє формуванню рівномірного потоку. Оптимальний кут встановлення жалюзі становить $45...60^\circ$ відносно осі каналу, що забезпечує плавний поворот потоку без утворення значних вихрових зон.

Вплив геометричних розмірів пневмосепаруючого каналу

Аналіз впливу геометричних розмірів пневмосепаруючого каналу на рівномірність повітряного потоку показує, що співвідношення сторін перерізу каналу має важливе значення. В аспіраторі АСХ-5 використовується канал з прямокутним перерізом зі співвідношенням сторін 8:3 (400×150 мм).

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Моделювання показує, що зменшення цього співвідношення до 2:1 дозволяє підвищити рівномірність потоку на 10...15%. Однак при цьому зменшується пропускна здатність каналу, що потребує збільшення його висоти для збереження продуктивності машини.

Важливим параметром є також довжина сепаруючої зони каналу. Збільшення довжини каналу сприяє формуванню більш стабільного потоку, але призводить до зростання габаритів машини та її матеріалоемності. Оптимальне співвідношення довжини каналу до його ширини становить 3:1–4:1.

3.5. Розробка технічних рішень для підвищення рівномірності повітряного потоку

На основі проведених теоретичних досліджень розроблено комплекс технічних рішень, спрямованих на підвищення рівномірності повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі аспіратора АСХ-5.

Модифікація вхідного патрубка

Запропоновано модифікацію вхідного патрубка шляхом встановлення конфузора з кутом розкриття 30...40°. Таке рішення забезпечує плавний вхід повітряного потоку в пневмосепаруючий канал і зменшує утворення вихрових зон.

Математичне моделювання показує, що використання конфузора дозволяє зменшити коефіцієнт нерівномірності з 0,40 до 0,25, що відповідає підвищенню якості сепарації на 10...12%.

Встановлення вирівнювальних елементів

Розроблено конструкцію вирівнювальної решітки, яка встановлюється на вході в пневмосепаруючий канал і забезпечує формування рівномірного повітряного потоку. Решітка складається з перфорованої пластини товщиною 2 мм з круглими отворами діаметром 8 мм, розташованими в шаховому порядку з кроком 18 мм.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підвищення ефективності вирівнювання потоку запропоновано використання двох послідовно встановлених решіток з відстанню між ними 80...100 мм. Такий підхід дозволяє зменшити коефіцієнт нерівномірності до 0,12...0,15, що забезпечує високу якість сепарації.

Оптимізація геометрії пневмосепаруючого каналу

Запропоновано оптимізовану геометрію пневмосепаруючого каналу, яка характеризується змінним перерізом по висоті. У верхній частині каналу, де відбувається введення зернового матеріалу, переріз має розширену форму, що забезпечує зменшення швидкості потоку і запобігає виносу повноцінного зерна. У нижній частині каналу переріз поступово звужується, що призводить до збільшення швидкості потоку і підвищення ефективності видалення легких домішок.

Математичне моделювання показує, що оптимальний профіль пневмосепаруючого каналу може бути описаний функцією:

$$S(h) = S_0 \cdot \left(1 + \alpha \cdot \left(1 - \frac{h}{H} \right)^2 \right),$$

де $S(h)$ – площа перерізу каналу на висоті h від основи, вимірюється в м². Це функція, що показує, як змінюється площа на різних рівнях висоти каналу;

S_0 – площа перерізу у верхній частині каналу (коли $h = H$), вимірюється в м². Це фіксований параметр, який встановлюється при проектуванні каналу;

h – поточна висота від основи каналу, на якій розраховується площа перерізу, вимірюється в м. Змінюється від 0 (основа) до H (верх);

H – загальна висота каналу, вимірюється в м. Це константа для конкретного каналу;

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

α – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує ступінь зміни перерізу каналу. Рекомендоване значення $0,15 \dots 0,25$. Чим більше значення α , тим сильніше розширюється канал донизу.

З цього рівняння можна помітити декілька важливих особливостей:

1. За умови, коли $h = H$ (тобто у верхній частині каналу), множник $\left(1 - \frac{h}{H}\right)$ дорівнює нулю, і формула дає $S(H) = S_0$, що відповідає заданій площі перерізу у верхній частині.

2. Коли $h = 0$ (на дні каналу), маємо $S(0) = S_0 \cdot (1 + \alpha)$, тобто площа на дні більша, ніж угорі.

3. Параметр α ($0,15 \dots 0,25$) визначає, наскільки сильно змінюється переріз вздовж висоти каналу.

Такий профіль, що розширюється донизу, створює поступове зменшення швидкості повітряного потоку при русі вниз, що покращує процес сепарації матеріалів різної щільності або аеродинамічних властивостей.

Це дозволяє ефективно розділяти частинки за їх швидкістю витання – легші частинки рухатимуться вгору з потоком повітря, а важчі опускатимуться донизу, забезпечуючи якісну сепарацію.

Графічна інтерпретація наведеної математичної моделі, що оптимальний профіль пневмосепаруючого каналу наведена на рис. 9, 10.

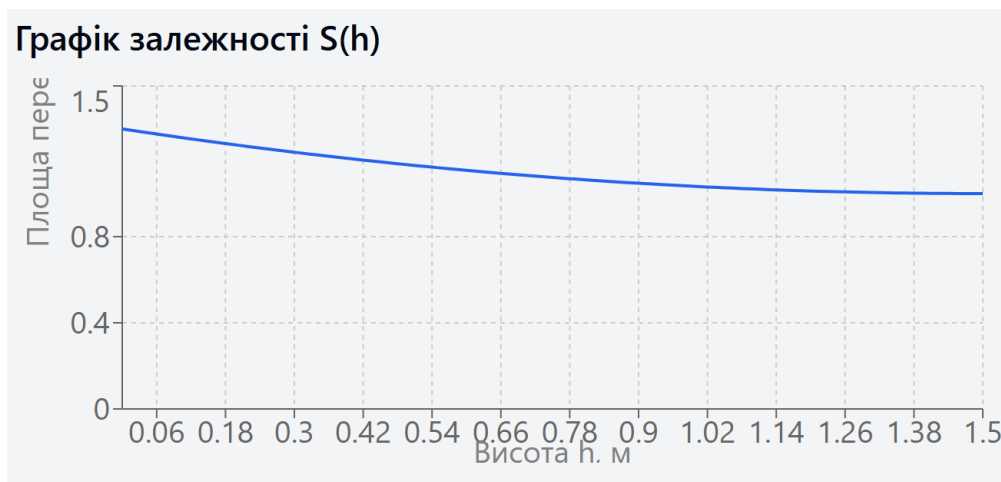


Рис. 9. Графік залежності площі перерізу від висоти ПСК $S(h)$

1.5 м
1.2 м
0.9 м
0.6 м
0.3 м
0.0 м

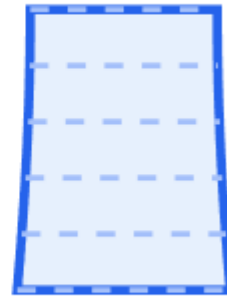


Рис. 10. Візуалізація профілю пневмосепаруючого каналу

Представлений профіль пневмосепаруючого каналу розширюється донизу, що забезпечує поступове зниження швидкості повітряного потоку при русі вниз. Такий профіль оптимальний для сепарації матеріалів різної щільності, оскільки дозволяє розділяти частинки за їх швидкістю витання. Легші частинки підніматимуться з потоком повітря, а важчі опускатимуться донизу.

Рекомендовані значення коефіцієнта α знаходяться в діапазоні 0,15...0,25, що забезпечує оптимальне співвідношення швидкостей потоку для ефективної сепарації більшості матеріалів.

Використання каналу зі змінним перерізом дозволяє зменшити коефіцієнт нерівномірності повітряного потоку на 18...22% порівняно з каналом постійного перерізу, що сприяє підвищенню якості сепарації.

Удосконалення системи регулювання повітряного потоку

Для забезпечення оптимальних режимів роботи пневмосистеми аспіратора АСХ-5 розроблено удосконалену систему регулювання повітряного потоку, яка включає:

- електронний регулятор частоти обертання вентилятора;
- автоматичну систему підтримання заданої швидкості повітряного потоку;

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

- датчики швидкості потоку, встановлені в різних точках пневмосепаруючого каналу.

Система дозволяє в реальному часі контролювати параметри повітряного потоку та автоматично коригувати режим роботи вентилятора для забезпечення необхідної швидкості та рівномірності потоку. При цьому враховуються зміни вологості та температури навколишнього середовища, які впливають на густину повітря та, відповідно, на параметри потоку.

Використання удосконаленої системи регулювання дозволяє підвищити якість сепарації на 8...10% при одночасному зниженні енергетичних витрат на 12...15%.

3.6. Обґрунтування доцільності використання замкненого повітряного потоку та його вплив на якість очищення зерна

Порівняльний аналіз систем із замкненим та розімкненим повітряним потоком

Сучасні пневмосепаратори можуть працювати як із розімкненим, так і з замкненим циклом циркуляції повітря. При розімкненому циклі повітря після проходження пневмосепаруючого каналу та осаджувальної камери викидається в атмосферу. У системах із замкненим циклом повітря очищається від пилу та інших дрібних частинок і повертається в пневмосепаруючий канал.

Проведений порівняльний аналіз цих систем дозволяє виділити наступні переваги замкненого циклу циркуляції повітря:

1. Зниження енергетичних витрат на процес сепарації (на 20...30% порівняно з розімкненим циклом).
2. Зменшення запиленості виробничих приміщень та покращення умов праці.
3. Можливість підтримання стабільних параметрів повітряного потоку незалежно від зовнішніх умов.
4. Зниження втрат тепла в опалювальний сезон.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним недоліком систем із замкненим циклом є їх конструктивна складність та необхідність використання додаткових пристроїв для очищення повітря. Однак, як показують розрахунки, економічний ефект від зниження енергетичних витрат перевищує додаткові капітальні вкладення вже через 1,5...2 роки експлуатації.

Математичне моделювання роботи аспіратора АСХ-5 із замкненим повітряним потоком

Для аналізу роботи аспіратора АСХ-5 із замкненим повітряним потоком розроблено математичну модель, яка враховує циркуляцію повітря в системі та зміну його параметрів у процесі роботи.

Модель базується на системі рівнянь, яка включає:

- рівняння руху повітряного потоку в окремих елементах системи;
- рівняння теплового балансу;
- рівняння масового балансу для пилових частинок.

Розв'язання цієї системи рівнянь дозволяє визначити розподіл швидкостей, тиску та температури в різних точках пневмосистеми, а також концентрацію пилових частинок у повітряному потоці.

Результати моделювання показують, що при використанні замкненого циклу циркуляції повітря відбувається поступове підвищення температури потоку (на 3-5°C за годину роботи) та збільшення концентрації дрібнодисперсного пилу. Ці фактори впливають на аеродинамічні характеристики системи та якість сепарації.

Для підтримання стабільних параметрів повітряного потоку в системі із замкненим циклом необхідно забезпечити ефективне очищення повітря від пилу та його охолодження. З цією метою запропоновано використання циклонів для грубого очищення повітря та фільтрів для тонкого очищення, а також встановлення теплообмінника для відведення надлишкового тепла.

Система рівнянь, що описує роботу аспіратора, включає:

1. Рівняння руху повітряного потоку в окремих елементах системи:

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$\frac{dp_i}{dx} = -\lambda_i \cdot \frac{\rho \cdot v_i^2}{2 \cdot D_i} - \rho \cdot g \cdot \sin \alpha_i,$$

де p_i – тиск повітря в i -му елементі системи, Па;

x – координата вздовж шляху руху повітряного потоку, м;

λ_i – коефіцієнт гідравлічного опору i -го елемента;

ρ – густина робочого повітря, кг/м³;

v_i – швидкість повітря в i -му елементі, м/с;

D_i – гідравлічний діаметр i -го елемента, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

α_i – кут нахилу i -го елемента до горизонту, рад

2. Рівняння теплового балансу:

$$\rho \cdot C_p \cdot V \cdot \frac{dT}{dt} = Q_{ex} - Q_{вих} + Q_{дис} - Q_{втр},$$

де C_p – питома теплоємність повітря при постійному тиску, Дж/(кг·К);

V – об'єм системи, м³;

T – температура повітря, К;

t – час, с;

Q_{ex} – тепловий потік, що входить в систему, Вт;

$Q_{вих}$ – тепловий потік, що виходить із системи, Вт;

$Q_{дис}$ – тепло, що виділяється внаслідок дисипації енергії, Вт;

$Q_{втр}$ – теплові втрати через стінки системи, Вт.

3. Рівняння масового балансу для пилових частинок:

$$\frac{dC_j}{dt} = \frac{G_{j,ex} - G_{j,вих} - G_{j,ос}}{V},$$

де C_j – концентрація пилових частинок j -ої фракції в повітрі, кг/м³;

$G_{j,ex}$ – масова витрата пилових частинок j -ої фракції, що надходять у систему, кг/с;

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$G_{j,вих}$ – масова витрата пилових частинок j -ої фракції, що виходять із системи, кг/с;

$G_{j,ос}$ – масова витрата пилових частинок j -ої фракції, що осідають у системі, кг/с

4. Рівняння стану повітря:

$$p = \rho \cdot R \cdot T,$$

де p – тиск повітря, Па;

R – газова стала для повітря, Дж/(кг·К).

5. Рівняння витрати повітря через вентилятор:

$$Q = f(p_e, n),$$

де Q – об'ємна витрата повітря, м³/с;

p_e – тиск, створюваний вентилятором, Па;

n – частота обертання вентилятора, об/хв;

f – функціональна залежність (характеристика вентилятора).

6. Рівняння ефективності уловлювання пилу:

$$\eta_j = 1 - \exp\left(-\frac{k_j \cdot L}{v}\right),$$

де η_j – ефективність уловлювання частинок j -ої фракції;

k_j – коефіцієнт осадження частинок j -ої фракції, 1/м;

L – довжина сепараційної камери, м;

v – швидкість повітря в пневмосепаруючому каналі, м/с.

Експериментальна перевірка ефективності використання замкненого повітряного потоку

Для підтвердження теоретичних висновків проведено експериментальні дослідження роботи аспіраатора АСХ-5 із замкненим повітряним потоком. Експерименти проводилися на спеціально розробленій лабораторній установці, яка дозволяла змінювати режими роботи

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

пневмосистеми та вимірювати основні параметри процесу: швидкість повітряного потоку, продуктивність машини, якість очищення зерна, енергетичні витрати.

Результати експериментів підтверджують високу ефективність використання замкненого повітряного потоку. Зокрема, встановлено, що при оптимальних параметрах роботи системи (швидкість повітряного потоку 6...8 м/с, продуктивність 3...4 т/год) забезпечується висока якість очищення зерна (коефіцієнт ефективності 85...90%) при зниженні енергетичних витрат на 25...30% порівняно з розімкненим циклом.

Важливим результатом експериментальних досліджень є визначення оптимальних параметрів системи очищення повітря для забезпечення стабільної роботи аспірації із замкненим циклом. Встановлено, що ефективність очищення повітря повинна бути не менше 95...97%, що дозволяє забезпечити допустиму концентрацію пилу в повітряному потоці протягом тривалого часу роботи машини.

3.7. Короткі висновки за розділом

На основі проведених досліджень роботи пневмосистеми аспірації АСХ-5 можна зробити наступні висновки:

1. Ефективність роботи пневмосепаратора суттєво залежить від рівномірності розподілу швидкостей повітряного потоку по перерізу пневмосепаруючого каналу. Зменшення коефіцієнта нерівномірності з 0,4 до 0,15 дозволяє підвищити якість очищення зерна на 15...20%.
2. Основними факторами, що впливають на рівномірність повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі, є: форма вхідного патрубку, геометричні розміри каналу, наявність додаткових елементів для формування потоку, режим роботи вентилятора.
3. Розроблені математичні моделі дозволяють визначити розподіл швидкостей повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі та оцінити вплив різних факторів на якість сепарації зернових матеріалів.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

4. Запропоновані технічні рішення (модифікація вхідного патрубку, встановлення вирівнювальних решіток, оптимізація геометрії каналу, удосконалення системи регулювання) дозволяють суттєво підвищити рівномірність повітряного потоку та якість очищення зерна.
5. Використання замкненого циклу циркуляції повітря в аспіраторі АСХ-5 є економічно доцільним і забезпечує зниження енергетичних витрат на 25...30% при підвищенні якості очищення зерна на 3...5%.

На основі результатів досліджень розроблено наступні рекомендації для підвищення ефективності роботи пневмосистеми аспіратора АСХ-5:

1. Для забезпечення рівномірного розподілу швидкостей повітряного потоку по перерізу пневмосепаруючого каналу рекомендується:
 - встановити конфузор на вхідному патрубку з кутом розкриття 30-40°;
 - використовувати дві послідовно встановлені вирівнювальні решітки з відстанню між ними 80-100 мм;
 - оптимізувати геометрію пневмосепаруючого каналу згідно з запропонованим профілем.
2. Для підвищення ефективності роботи аспіратора АСХ-5 із замкненим циклом циркуляції повітря необхідно:
 - забезпечити ефективне очищення повітря від пилу (не менше 95-97%);
 - використовувати автоматичну систему підтримання заданої швидкості повітряного потоку.
3. Оптимальні параметри роботи пневмосистеми аспіратора АСХ-5:
 - швидкість повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі: 6-8 м/с;
 - продуктивність машини: 3-4 т/год;
 - частота обертання вентилятора: 1400-1600 об/хв;
 - коефіцієнт рециркуляції повітря: 0,85-0,90.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Для забезпечення стабільної роботи пневмосистеми в різних умовах експлуатації рекомендується використовувати автоматичну систему контролю та регулювання основних параметрів процесу, яка включає:

- датчики швидкості повітряного потоку;
- датчики температури та вологості;
- електронний регулятор частоти обертання вентилятора;
- мікропроцесорний блок керування.

Впровадження розроблених технічних рішень та рекомендацій дозволить підвищити ефективність роботи аспіратора АСХ-5, зменшити енергетичні витрати на процес сепарації та покращити якість очищення зернових матеріалів.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

У процесі вдосконалення конструкції та експлуатаційного дослідження повітряної системи пневмосепаратора АСХ-5 виникає необхідність дотримання комплексу заходів щодо охорони праці. Це забезпечує не лише збереження життя і здоров'я працівників, а й стабільну роботу обладнання. Згідно з чинним законодавством України, охорона праці є невід'ємною частиною виробничого процесу, яка охоплює правові, організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні та соціально-економічні аспекти безпеки.

Аналіз умов праці на дослідній дільниці

В умовах проведення досліджень на лабораторно-дослідній базі можуть виникати такі основні небезпеки:

- механічні ушкодження через обертіві та рухомі частини обладнання;
- вплив електричного струму через неправильне підключення чи пошкодження ізоляції;
- запиленість повітря в зоні сепарації, що впливає на органи дихання;
- підвищений рівень шуму від вентилятора та руху повітряних потоків.

Для виявлення цих чинників проводиться оцінка умов праці, яка дозволяє визначити рівень ризиків і вжити запобіжних заходів.

Електробезпека при роботі з пневмосистемою сепаратора

Сепаратора АСХ-5 живиться від мережі змінного струму напругою 380 В. Для забезпечення безпеки персоналу під час роботи з електрообладнанням:

- використовується автоматичний захист з пристроями захисного відключення;
- корпус електродвигуна заземлюється відповідно до вимог ПУЕ;
- встановлюються ізоляційні покриття на робочому місці;
- заборонено виконання ремонтних робіт без попереднього знеструмлення установки.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Періодично здійснюються перевірки електрообладнання, заміри опору ізоляції та наявності контуру заземлення.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Особи, що виконують обслуговування або налаштування пневмосепаратора, повинні бути забезпечені такими засобами індивідуального захисту:

- захисними окулярами – для попередження потрапляння часток пилу;
- респіраторами – для фільтрації пилових часток у повітрі;
- шумозахисними навушниками – для зниження впливу акустичного навантаження;
- діелектричними рукавичками – при роботі з електричною частиною сепаратора.

Вимоги до вентиляції і мікроклімату

Оскільки в процесі сепарації утворюється значна кількість пилу, необхідна ефективна припливно-витяжна вентиляція. Рівень концентрації пилу не повинен перевищувати ГДК (гранично допустиму концентрацію), встановлену санітарними нормами. У приміщенні повинна підтримуватися температура в межах +18...+25 °С та вологість 40...60%.

Протипожежна безпека

Сепаратора АСХ-5 містить елементи, що можуть нагріватися, а також пил, який у певних умовах може бути вибухонебезпечним. З метою запобігання пожежі:

- поруч з установкою розміщуються порошкові або вуглекислотні вогнегасники;
- проводиться регулярне прибирання пилу;
- електрообладнання відповідає вимогам пожежної безпеки;
- заборонено паління або використання відкритого полум'я в зоні сепарації.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інструктажі та навчання персоналу

Перед допуском до експлуатації обладнання працівники проходять вступний, первинний і цільовий інструктажі з охорони праці. Працівники повинні знати:

- порядок роботи з електроустановками;
- правила користування ЗІЗ;
- дії у разі аварійних ситуацій;
- методи надання першої домедичної допомоги.

Періодично проводяться повторні інструктажі та навчання з пожежної безпеки. Усі дані щодо подібних навчань фіксуються в журналі обліку інструктажів.

Освітлення та організація робочого місця

Робоче місце повинно бути організовано відповідно до ергономічних вимог:

- забезпечено рівномірним освітленням з інтенсивністю не менше 300 лк;
- підлога має бути неслизька, рівна, очищена від сміття та пилу;
- наявність попереджувальних знаків і маркувань на обладнанні.

Заходи у разі виникнення аварійної ситуації

У разі виходу обладнання з ладу або появи диму персонал зобов'язаний:

- негайно вимкнути сепаратор;
- повідомити відповідальну особу;
- при необхідності викликати аварійні служби;
- забезпечити безпечну евакуацію із зони небезпеки.

На видному місці повинна бути розміщена схема евакуації, інструкції з пожежної безпеки та телефони екстрених служб.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Короткі висновки до розділу

Удосконалення конструкції повітряної системи пневмосепаратора АСХ-5 має супроводжуватися системними заходами з охорони праці. Забезпечення електробезпеки, санітарно-гігієнічних умов, протипожежної захищеності та застосування ЗІЗ – ключові елементи створення безпечного середовища при роботі з даним зерноочисним обладнанням. Дотримання вимог охорони праці дозволяє уникнути травматизму, підвищити продуктивність і подовжити строк служби техніки.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Загальні положення

У сучасних умовах господарювання головним критерієм доцільності впровадження нових технічних рішень є їх економічна ефективність. Вдосконалення конструкції повітряної системи пневмосепаратора АСХ-5 дозволяє не лише покращити якісні характеристики процесу сепарації, а й знизити витрати енергоресурсів, скоротити простой обладнання, зменшити обсяг втрат сировини, підвищити продуктивність праці персоналу.

Основні економічні вигоди від модернізації пневмосепаратора

Метою модернізації пневмосистеми є оптимізація розподілу повітряного потоку в робочому каналі, що забезпечує більш точне розділення компонентів зернової суміші. Це дозволяє зменшити кількість повторних циклів очищення та підвищити якість кінцевого продукту.

До основних позитивних наслідків упровадження оновленої конструкції пневмосепаратора належать:

- **зниження енерговитрат** за рахунок більш ефективного використання потужності вентилятора (економія електроенергії становить до 12%);
- **підвищення коефіцієнта корисної дії** сепаратора на 8...10% порівняно з базовим зразком;

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- **зменшення витрат при сепарації** – кількість неочищених або неправильно класифікованих зерен зменшується до 2...3%;
- **зниження експлуатаційних витрат**, пов'язаних з обслуговуванням пневмосистеми, завдяки зменшенню зносу елементів і продовженню терміну служби.

Розрахунок економічного ефекту

Для кількісного аналізу економічного ефекту від впровадження модернізованої пневмосистеми АСХ-5 здійснено розрахунок наступних показників:

1. Економія електроенергії:

- Потужність двигуна: 4,0 кВт.
- Тривалість роботи: 1200 год/рік.
- Зниження споживання на 12% = 0,48 кВт/год.
- Річна економія електроенергії:

$$0,48 \times 1200 = 576 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

- За тарифом 5,5 грн/кВт·год:

$$576 \times 5,5 = 3168 \text{ грн/рік.}$$

2. Економія на зменшенні витрат продукції:

- Вартість 1 т очищеного матеріалу – 9000 грн.
- Втрати в базовому варіанті: 3%, у модернізованому – 1%.
- Обсяг переробки за рік – 100 т
- Зменшення витрат:

$$(3\% - 1\%) \times 100 \text{ т} = 2 \text{ т.}$$

- Річна економія:

$$2 \text{ т} \times 9000 \text{ грн} = 18000 \text{ грн.}$$

3. Зменшення витрат на технічне обслуговування:

- Завдяки зниженню навантаження на вузли та рівномірній роботі пневмосистеми, витрати на ТО знижуються на 10...15%.
- У грошовому еквіваленті це становить близько 2500 грн на рік.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарний річний економічний ефект:

$$3168+18000+2500=23668 \text{ грн.}$$

Термін окупності модернізації

Орієнтовна вартість модернізації (розробка, виготовлення та встановлення нових елементів системи повітроподачі) становить **20 000 грн.**

$$T = \frac{20000}{23668} \approx 0,85 \text{ року}$$

Таким чином, термін окупності становить **менше одного року**, що свідчить про високу ефективність запропонованих рішень.

Вплив на трудові витрати та продуктивність

Оптимізація повітряної системи сприяє автоматизації процесу налаштування режимів сепарації, що зменшує потребу в кваліфікованому ручному втручанні. За оцінками, трудомісткість обслуговування знижується на 10...15%, а продуктивність пневмосепаратора зростає на 5...7%.

Соціально-економічні вигоди

Впровадження вдосконаленого пневмосепаратора у виробництво покращує умови праці завдяки зниженню рівня шуму та запиленості. Зниження аварійності та зменшення виробничих втрат позитивно впливають на загальну стабільність виробничого процесу та зменшують фінансові ризики.

Короткі висновки по розділу

У результаті технічного вдосконалення конструкції повітряної системи пневмосепаратора АСХ-5 досягається суттєвий економічний ефект, обумовлений зниженням енерговитрат, підвищенням якості очищення матеріалу, скороченням простоїв та зменшенням експлуатаційних витрат. Висока швидкість окупності та покращення соціальних умов експлуатації підтверджують доцільність впровадження розробки у виробництво.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

6. ВИСНОВОК

У процесі удосконалення повітряного сепаратора АСХ-5 було змінено конструктивну схему повітряної системи, зокрема оптимізовано геометричні характеристики пневмосепаруючого каналу та параметри джерела повітряного потоку. Це дозволило зменшити загальну металоємність агрегату та знизити його енергоспоживання.

Під час проведення техніко-економічного аналізу модернізованої системи визначено ключові напрями підвищення ефективності процесу пневмосепарації. Серед них варто відзначити впровадження замкненого циклу циркуляції повітря, а також застосування діаметрального вентилятора, який створює оптимальні умови для функціонування системи.

У результаті технологічних розрахунків встановлено робочі параметри замкненої повітряної системи, визначено технічні характеристики приводу вентилятора й вивантажувального шнека, а також обґрунтовано конструкцію діаметрального вентилятора з урахуванням вимог до продуктивності та енергоефективності.

Результати проведених досліджень наукової частини підтверджують, що ефективність роботи пневмосистеми аспірації АСХ-5 значною мірою залежить від рівномірності повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі. Впровадження запропонованих технічних рішень – таких як конфузори з оптимальним кутом розкриття, вирівнювальні решітки, автоматизовані системи керування та замкненого повітряного потоку в сепараторі – дозволяє знизити енергоспоживання до 30% і підвищити якість очищення зерна на 15...20%. Отримані результати свідчать про високу ефективність модернізації як з технічної, так і з економічної точки зору.

Також було реалізовано комплекс заходів з охорони праці та безпеки експлуатації, спрямованих на створення безпечного виробничого середовища при роботі з сепаратором.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Список використаної літератури

1. Методичні рекомендації до оформлення випускної кваліфікаційної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Васильковський О.М., Петренко Д.І., Васильковська К.В., Лещенко С.М., Мороз С.М. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 38 с.
2. 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.
3. Гапоненко В.С., Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. – 6-те видання, перероб. і доп. – К.: Урожай, 1993. – 446 с.
4. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.
5. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.]; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. – 640 с.
6. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку / За ред. Д.Г. Войтюка. – Суми: ВТД Університетська книга, 2006. – 480 с.
7. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
8. Бабенко Д.В. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум: навчальний посібник / Д.В. Бабенко, О.А. Горбенко, Н.А. Доценко. – Миколаїв: МНАУ, 2017. – 384 с.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

9. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2-ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. – 444 с.
10. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
11. Підручник дослідника. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. – Кіровоград, Х.: Мачулін, 2016. – 204 с.
12. 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.
13. Комаристов В.Ю., Петренко М.М. Довідник з механізації післязбиральної обробки зерна. – К.: Урожай, 1990. – 184 с.
14. 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.: Фенікс, 2007. – 432 с.
15. Васильковський О.М. Моделювання процесів сепарації зернових матеріалів у повітряному потоці / О.М. Васильковський, В.О. Швидя // Техніка та енергетика АПК. – 2020. – № 2(109). – С. 65-72.
16. Дрінча В.М. Дослідження аеродинамічних властивостей компонентів зернових сумішей / В.М. Дрінча, І.В. Косіков // Вісник аграрної науки. – 2015. – № 7. – С. 44-48.
17. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.2. Зерноочисні машини / П.М. Заїка. – Харків: ОКО, 2017. – 416 с.
18. Корнєв О.Ю. Аеродинамічні властивості насіння сільськогосподарських культур / О.Ю. Корнєв, М.В. Бакум // Інженерія природокористування. – 2016. – № 1(5). – С. 102-107.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Мельник В.І. Пневмосепаруючі системи сільськогосподарських машин / В.І. Мельник, С.О. Харченко. – Харків: ХНТУСГ, 2018. – 284 с.
20. Михайлов Є.В. Післязбиральна обробка зерна у господарствах України / Є.В. Михайлов, О.О. Білокопитов // Техніка в сільськогосподарському виробництві. – 2019. – Вип. 32. – С. 54-61.
21. Сторожук В.Ф. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючих каналів зерноочисних машин / В.Ф. Сторожук, Д.І. Мазоренко // Вісник ХНТУСГ. – 2016. – Вип. 170. – С. 91-98.
22. Тарасенко О.П. Сучасні зерноочисні машини: конструкція та ефективність використання / О.П. Тарасенко, В.І. Оробінський. – Київ: Аграрна наука, 2019. – 320 с.
23. Тишаніном Ю.В. Дослідження процесу сепарації зерна в повітряному потоці / Ю.В. Тишаніном, В.П. Ковбаса // Науковий вісник НУБіП України. – 2017. – Вип. 258. – С. 346-354.
24. Шевчук Р.С. Експериментальні дослідження аеродинамічних властивостей зернових матеріалів / Р.С. Шевчук, І.Г. Стадник // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2018. – Вип. 107. – С. 87-95.
25. В.П. Ольшанський, В.В. Бредихін, В.М. Лук'яненко, М.В. Півень, М.В. Сліпченко, С.О. Харченко. Теорія сепарування зерна. – Харків: ХНТУСГ, 2017 – 803 с
26. Основи охорони праці: Підручник / М.С. Одарченко, А.М. Одарченко, В.І. Степанов, Я.М. Черненко. – Х.: Стиль-Издат, 2017. – 334 с.
27. Лесенко Г.В. Техніка безпеки на механізованих роботах: Вид. 2–е, допов. перероб. – К.: Урожай, 1978 – 172 с.
28. Андрійчук В.Г. Економіка аграрних підприємств: Підручник. – 2 – ге вид., доп. і перер. – К.: КНЕУ, 2002. – 624 с.
29. Нелеп В. М. Планування на аграрному підприємстві: Підручник. – 2-ге вид., перероб. та доп. – К.: КНЕУ, 2004. – 495 с.

					ВКПС 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ДОДАТКИ