

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет аграрної інженерії та екології
Кафедра аграрної інженерії імені професора Г.А. Хайліса

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

на тему:
**«УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО
ОБРОБІТКУ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ З РОЗРОБКОЮ
ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ»**

спеціальності 208 Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)
освітня програма «Агроінженерія»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АІз- 41
МІЩУК Ілля Вікторович

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
Забродоцька Людмила Юріївна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., професор
КІРЧУК Руслан Васильович

(підпис)

Луцьк 2025

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>аграрних технологій та екології</u>
Кафедра	<u>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</u>
Ступінь вищої освіти	<u>бакалавр</u>
Галузь знань	<u>20 Аграрні науки та продовольство</u>
Спеціальність	<u>208 Агроінженерія</u>
Освітня програма	<u>Агроінженерія</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри аграрної інженерії
імені професора Г.А. Хайліса
доц., к.т.н. ХОМИЧ Сергій
Миколайович _____

“ _____ ” _____ 202_ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Міщуку Іллі Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Удосконалення технології післязбирального обробітку зернового вороху з розробкою зерночисної машини

Керівник роботи: Забродоцька Людмила Юріївна, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом ЛНТУ від “17” січня 2025 р. № 33/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи

« _____ » _____ 202_ р.

3. Вихідні дані до роботи _____

- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу бакалавра.
3. Анотація.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу:

	к-сть листів
1. Схема удосконаленої технології	- 1 лист
2. Функціональна (принципова) схема машини	- 1 лист
3. Організація робіт або операційно-технологічна карта	- 1 лист
4. Складальне креслення розроблюваного вузла	- 1 лист
5. Робочі креслення деталей	- 1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання «___» _____ 202_ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення з матеріалами і літературою	08.04 – 11.04.2025 р.	
2	Формування вихідних даних, мети та завдання виконання кваліфікаційної роботи	12.04 – 18.04.2025 р.	
3	Розробка рекомендації з покращення (удосконалення) технології	19.04 – 25.04.2025 р.	
4	Розрахунки параметрів машини і вузла, які проектуються	26.04 – 01.05.2025 р.	
5	Розробка функціональної (кінематичної) і принципової схем машини	02.05 – 08.05.2025 р.	
6	Розробка конструкції вузла і його деталей	09.05 – 15.05.2025 р.	
7	Розробка питань охорони праці та довкілля	16.05 – 22.05.2025 р.	
8	Оформлення пояснюючої записки	23.05 – 29.05.2025 р.	
9	Нормоконтроль	30.05 – 03.06.2025 р.	
10	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	до 10.06.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Міщук Ілля Вікторович

(прізвище та ініціали)

Керівник

кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Забродоцька Людмила Юріївна

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Міщук І.В. Удосконалення технології післязбирального обробітку зернового вороху з розробкою зерноочисної машини. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і пропозицій, списку використаних джерел, додатків.

В кваліфікаційній роботі приведена документація на розробку зерноочисної машини сільськогосподарських культур, зокрема зерна пшениці. Користуючись вихідними даними, в роботі розроблені вихідні вимоги до машини, яка проектується, сформульовані вимоги технічного завдання, дана характеристика технологічної лінії, визначені вихідні дані для проектування, проведено обґрунтування параметрів зерноочисної машини, побудовані кінематична і принципова схеми сепаратора. Розроблені конструкції складальних одиниць транспортерного очисника та рекомендації з експлуатації зерноочисної машини.

Ключові слова: зерноочисна машина, повітряно-решітний сепаратор, домішки, зерновий ворох, транспортерний очисник.

					<i>AI.30M.00.00.00.0000 ПЗ</i>			
<i>Зм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Міщук</i>				<i>Пояснювальна записка Удосконалення технології післязбирального обробітку зернового вороху з розробкою зерноочисної машини</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Забродоцька</i>					<i>Б</i>	<i>3</i>	<i>56</i>
<i>Н. Контр.</i>	<i>Юхимчук</i>				<i>ЛНТУ, каф. АІ ім. проф. Г.А. Хайліса, ст. гр. АІз-41</i>			
<i>Затверд.</i>	<i>Хомич</i>							

ABSTRACT

Mishchuk I.V. Improvement of post-harvesting technology of grain enemy with the development of grain cleaning machine. Manuscript.

Bachelor's Degree Qualifying Research Paper in Programme Subject Area 0888 Inter-disciplinary programs and qualifications involving agriculture, forestry, fisheries, and veterinary under the Agricultural Engineering Educational Program. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions and proposals, a list of used sources, and appendices.

The qualification work documents developing a grain cleaning machine for crops, particularly wheat grain. Using the source data, the work created the initial requirements for the designed machine, the requirements of the technical task are formulated, the characteristics of the technological line, the initial data for design, the parameters of the grain cleaning machine, and the kinematic and schematic schemes of the separator are built. Designs of assembly units of the conveyor cleaner and recommendations for the operation of the grain cleaning machine have been developed.

Keywords: grain cleaning machine, air-grinding separator, impurities, grain garden, conveyor purifier.

					<i>AI.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Эмн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	
РЕФЕРАТ.....	
ВСТУП.....	
1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА.....	
1.1 Післязбиральна обробка зерна: очищення, сортування, підготовка до зберігання.....	
1.2 Основні технологічні особливості та обладнання для очищення зерна.....	
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ (УДОСКОНАЛЕННЯ) ТЕХНОЛОГІЇ.....	
2.1 Обґрунтування функціональної схеми.....	
2.2 Обґрунтування принципової схеми.....	
2.3. Розробка конструкції складальних одиниць і деталей.....	
2.4 Розробка пункту післязбиральної обробітку зерна.....	
3 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА.....	
3.1 Технологічний розрахунок.....	
3.2 Конструктивний розрахунок.....	
3.3. Енергетичний розрахунок.....	
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	
4.1 Основні заходи з охорони праці при роботі з зерноочисними машинами.....	
4.2 Протипожежні заходи при роботі зерноочисних машин.....	
ВИСНОВОК.....	
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	
ДОДАТКИ.....	

					АІ.30М.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Основними напрямками подальшого розвитку аграрно-промислового комплексу України визначено формування продовольчого фонду та накопичення сировинних ресурсів, необхідних для оперативного задоволення зростаючих потреб населення і вимог національної економіки. Реалізація цих завдань вимагає гармонійного та збалансованого розвитку агропромислового комплексу, забезпечення високих темпів зростання сільськогосподарського виробництва шляхом його інтенсифікації, посилення матеріально-технічної бази та підвищення рівня технічного оснащення переробної галузі.

У структурі робіт, пов'язаних із вирощуванням, збором, заготівлею і зберіганням урожаю зернових культур, основна частина витрат припадає на післязбиральну обробку зерна та його підготовку до використання відповідно до призначення. Цей етап має на меті покращення якості зерна, включаючи показники чистоти, вологості та інших характеристик, що повинні відповідати чинним стандартам, технічним умовам і виробничим регламентам. Технологічний процес післязбиральної обробки зерна і насіння охоплює кілька послідовних операцій: попереднє сепарування вороху, тобто відокремлення суміші свіжозібраного вологого зерна від органічних і мінеральних домішок; сушіння зерна для досягнення регламентованих показників вологості залежно від подальшого його використання; первинне очищення зерна від крупних і дрібних часток, а також від аеродинамічно легких і важких домішок.

Метою очищення зернової сировини є покращення її якості, приведення властивостей у відповідність до стандартів, а також створення умов для безперебійної обробки, транспортування та запобігання втратам зерна чи насіння. Це спрямовано на збереження їх технологічних характеристик, сортування зерна на товарні, продовольчі, насінневі та фуражні фракції, вторинну очистку і підготовку до тривалого зберігання шляхом завантаження у

					AI.30M.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

силоси або формування буртів. Важливим аспектом є калібрування насінневого зерна на фракції відповідно до встановлених вимог якості посівного матеріалу.

Розробка сучаснішої техніки та вдосконалення технологічних прийомів її застосування при зберіганні та переробці зерна стикається з низкою труднощів. Це зумовлено цілою низкою факторів, серед яких основними є: різноманітність матеріалів та способів їх сепарації, складність механічних явищ взаємодії частинок між собою і з робочими органами обладнання, а також недостатність теоретичного обґрунтування процесів сепарації і методів інженерного розрахунку параметрів техніки. Освоєння наукових основ різних процесів сепарації є необхідним не лише для створення нових видів обладнання, але й для оптимізації умов експлуатації існуючих машин, скорочення термінів впровадження інноваційних рішень й вдосконалення технологічних процесів обробки та зберігання зерна загалом, враховуючи можливість узагальнення практичного виробничого досвіду.

					<i>AI.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Зібрані культури, які успішно очищені, відсортовані та оброблені, не завжди доцільно одразу реалізовувати на ринку. Частина насіння, товарного або фуражного зерна часто доводиться залишати на зберігання. Організація оптимальних умов для цього допомагає уникнути негативних впливів, що можуть змінити якісні показники продукції. Сучасні технології обробки зерна дозволяють правильно підготувати його до тривалого збереження. Для збереження якості культур на попередньому етапі важливо забезпечити вентиляцію.

Післязбиральна обробка зерна та насіння на току включає формування окремих партій, що значно спрощує подальше зберігання. Основні умови для цього такі:

Вологість. Зерно має властивість швидко вбирати вологу, тому його необхідно тримати у сухому вигляді. У сховищах ретельно контролюється рівень вологості із врахуванням характеристик кожної культури. Для зернових граничний показник вологості становить 14%. Перевищення цього рівня навіть на 2% або більше призводить до втрати якості [1,2].

Температура. Оптимальний температурний режим для зберігання — від +5 до +10 °С.

Вентиляція. Постійна циркуляція повітря є ключовою для підтримання належної якості. Зерносховища оснащуються сучасними вентиляційними системами, які забезпечують ефективну циркуляцію повітря, особливо важливу для зберігання насипом — знизу вгору.

Без переміщення зернової маси термін зберігання може досягати 5 років. Якщо урожай розміщений у силосах елеваторів, цей показник зменшується до 3 років.

Урожай умовно класифікують за категоріями, що визначають його подальше використання. Фуражне зерно призначене для годівлі тварин і птиці, до нього відносяться такі культури, як жито, кукурудза, горох і соя. Це зерно не відповідає стандартам для споживання людиною через підвищений вміст

					AI.30M.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насіння. Докладна інформація про це викладена в «Порядку розрахунку норм природних втрат зерна та продуктів його переробки при зберіганні на зернових складах і зернопереробних підприємствах» від 12 червня 2019 року, який можна знайти на офіційному сайті Верховної Ради України.

Очищення врожаю насіння є початковим етапом, під час якого сторонні домішки відділяються від основної маси. Вона включає насіння, фураж (кормову сировину) та товарне зерно. Для поділу цих компонентів проводиться ретельна сепарація із застосуванням спеціального обладнання, такого як повітряно-решітні сепаратори, аспіратори, трієри та сортувальні столи. Якщо отримують фуражне зерно, під час обробки особливу увагу приділяють його складу, зокрема наявності важкорозщеплюваних структур або надлишку пилових часток. Зерно, що використовується у харчовій промисловості, піддається високотехнологічному очищенню та вторинному сортуванню.

Частота проведення цих процесів залежить від типу культури, умов зберігання, технічного забезпечення сховища та сезону збору врожаю. Регулярність перевірок є обов'язковою. Контроль включає моніторинг температури в складських приміщеннях. У перші три місяці після збору врожаю температура перевіряється щоденно за умови вологості насіння, і один раз на 15 днів — якщо воно сухе. Також важливо систематично контролювати рівень вологості, щоб не допустити перевищення критичного показника для кожного виду культури [1,2].

Насіння без слідів плісняви чи зараження патогенними грибами використовують у виробництві комбікормів, біопалива та органічних добрив для ґрунту. Заражені органічні відходи становлять загрозу для птахів, тварин і людей, оскільки їхнє споживання може спричинити важкі, іноді смертельні захворювання. Такі відходи потребують обов'язкової утилізації, яка виконується з дотриманням необхідних норм із використанням спеціалізованого обладнання.

					AI.30M.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Основні технологічні особливості та обладнання для очищення зерна

Будь-яка переробка зерна пов'язана з його очищенням домішок. Наявність домішок негативно впливає на ефективність зберігання зерна та його технологічні особливості, що призводить до зниження виходу та якості продуктів переробки. Тому операції з очищення займають центральне місце в післязбиральній обробці зерна. Технологічні процеси виробництва борошна, крупи, спирту, комбікормів, солоду також починаються з операцій із очищення. Зерно завжди містить домішки. Більшість домішок надходить у зернову масу під час збирання врожаю у вигляді різних анатомічних складових культурних рослин та бур'янів, шматочків ґрунту, комах тощо. Під час проведення операцій із зерном до його складу можуть потрапити різні випадкові предмети — каміння та пісок із майданчиків струмів та бетонних конструкцій елеваторів, металеві складові транспортних та зернопереробних машин. Будь-яке переміщення зерна пов'язане з інтенсивним тертям зерновок між собою, а також про робочі органи та інші поверхні машин, що викликає появу пилу, тому пил завжди є складовою зернової маси.

Усю домішку, що міститься в зерні, поділяють на бур'яну та зернову. До бур'яну домішку відносять насіння всіх бур'янів, домішки мінерального та органічного походження, значно зіпсовані зернівки основної культури, металеві домішки. Окремо виділяють і відносять до бур'яну домішку шкідливу домішку, яка негативно може вплинути на здоров'я людей та тварин. Це насіння гірчака, в'язелі та зернівки основної культури, пошкоджені сажкою, ріжком, фузаріозом. Зерно, в якому міститься шкідлива домішка, не допускається для використання на харчові цілі. До зернової домішки відносять зернівки інших зернових культур, пошкоджені зернівки основної культури, щуплі, недорозвинені, пророслі та пошкоджені теплом зернівки, в деяких випадках зернівки, що відрізняються кольором. Домішки є небажаними складовими зерна, тому їх утримання, залежно від виду та призначення зерна,

					AI.30M.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вторинним очищенням доводять зерно до кондиції, що відповідає вимогам використання на харчові цілі або на насіння. При виконанні вторинної очистки зерно може бути багаторазово оброблено також у плоско-решітних сито-повітряних сепараторах (Рис.1. III) або барабанних сепараторах (Рис. 1. II). Однак, оскільки необхідний ступінь очищення на етапі попереднього та первинного очищення досягається відділенням легко відокремленої домішки, то в більшості випадків основним завданням вторинного очищення є боротьба з домішками, що важко відокремити. Виходячи зі складу та характеристик домішок, вторинна очистка може передбачати використання деяких або всіх способів відділення важковіддільних домішок, які розглядалися раніше: поділ магнітами, трієрування, вібропневматичний та оптичний способи (Рис.2). Як правило, вторинну очистку реалізують у складі ліній з виробництва борошна, круп або насіння [3,4].

Слід зазначити, що продуктивність та ефективність очищення суттєво залежить не тільки від рівня оснащення технологічних ліній машинами, а й від правильного підбору їх робочих органів (сит, пористих поверхонь, інерційних очищувачів тощо) та налаштування режимів роботи машин для максимального використання ознак поділу основного зерна та домішок у кожному конкретному.

					AI.30M.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РЕКОМЕНДАЦІ З ПОКРАЩЕННЯ (УДОСКОНАЛЕННЯ) ТЕХНОЛОГІЇ

2.1 Обґрунтування функціональної схеми

Функціональна схема зерноочисної машини створюється для пояснення процесів, які відбуваються всередині машини, та отримання інформації, потрібної для розробки принципової й кінематичної схем. У ході її побудови виконується схематичний розріз із зображенням зовнішніх контурів машини. Кожен елемент подається в спрощеній формі, що відповідає його конструктивним особливостям (див. рис. 2.1).

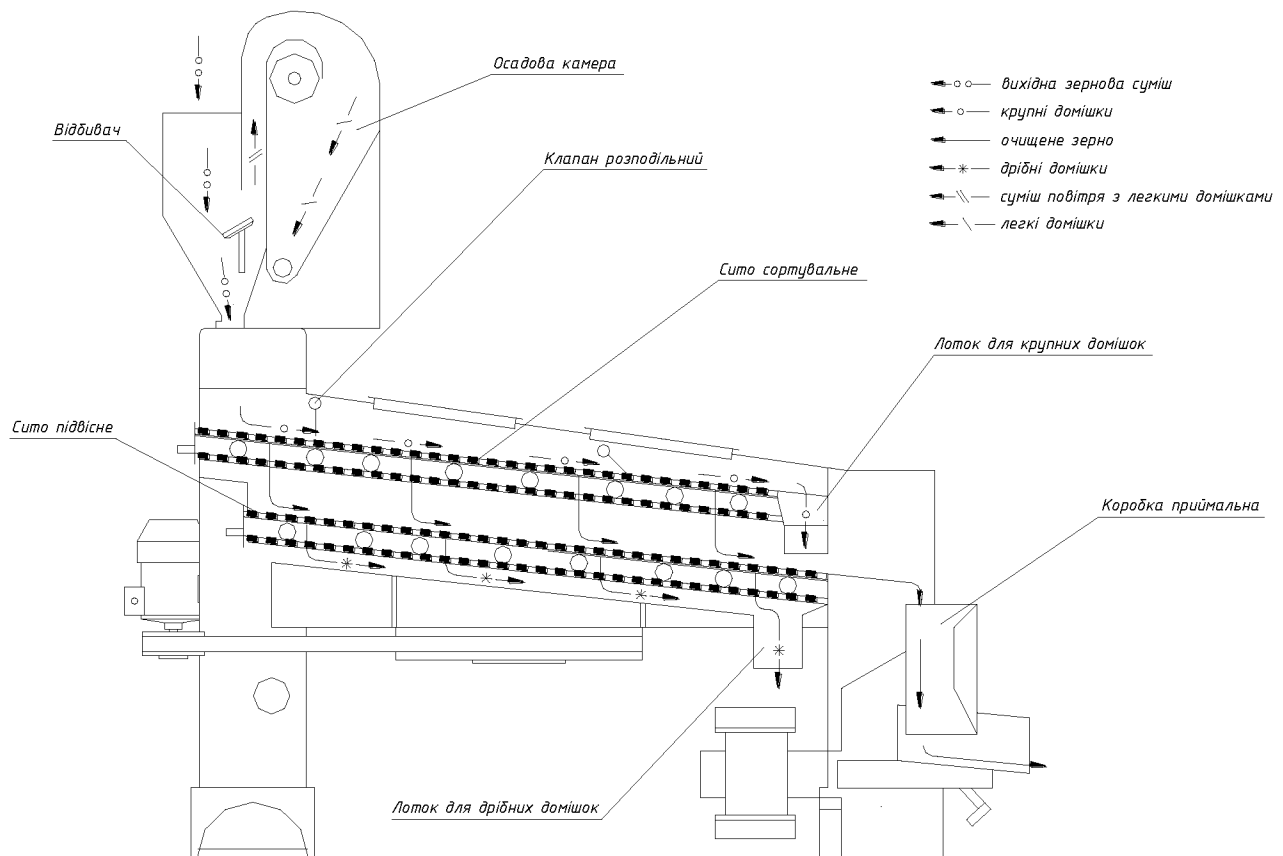


Рисунок 2.1 – Функціональна схема зерноочисної машини

Зерно або продукти його лушення, потрапляючи в повітряний сепаратор, падають через робочий канал на відбивач і висипаються через щілину в ситовий корпус. Повітряний потік, проходячи крізь шар зерна, захоплює легкі домішки

					<p style="font-size: 1.2em; margin: 0;">AI.30M.00.00.0000.ПЗ</p>	<p style="font-size: 0.8em; margin: 0;">Арк.</p>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проходять через підсівне сито, надходять у лоток і видаляються з машини.

Зерно, очищене від великих і дрібних домішок за допомогою сит, через спеціальний отвір подається на наступний етап обробки.

2.2 Обґрунтування принципової схеми

Принципову схему зерноочисної машини виконують у вигляді схематичного розрізу. Зовнішні контури відповідають конструктивним особливостям кожного елемента та всієї машини в цілому. На схемі вказуються технічні характеристики, які демонструють основні параметри конструкції машини (рис. 2.3).

Ця схема є базовим документом, який використовується для розробки конструкторських рішень. Вона передбачає огороження небезпечних зон, що мають бути доступними для огляду під час експлуатаційної зміни, а також враховує необхідні технічні документи. Під час створення принципової схеми використовують дані, отримані на етапах проектування функціональних і кінематичних схем.

Проектована машина є зерноочисною і являє собою складний механізм, що складається з кількох окремих вузлів, які тісно взаємодіють між собою. Принципова схема машини подана в графічній частині кваліфікаційної роботи.

Зерноочисна машина складається з повітряного сепаратора і ситового корпусу, який підвішений до станини за допомогою гнучких підвісок. Повітряний сепаратор із замкнутим циклом повітря призначений для видалення домішок із зерна злакових культур, враховуючи їхні аеродинамічні властивості. Усередині зварного корпусу сепаратора розташовані відцентровий вентилятор, приймальний конус із заслінкою, осадова камера й шнек із клапаном, який забезпечує видалення віднесень. На зовнішній стороні корпусу знаходиться приймальний патрубок, під яким розташовані робочий канал, вантажний клапан і відбивач.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	А1.30М.00.00.0000.ПЗ					

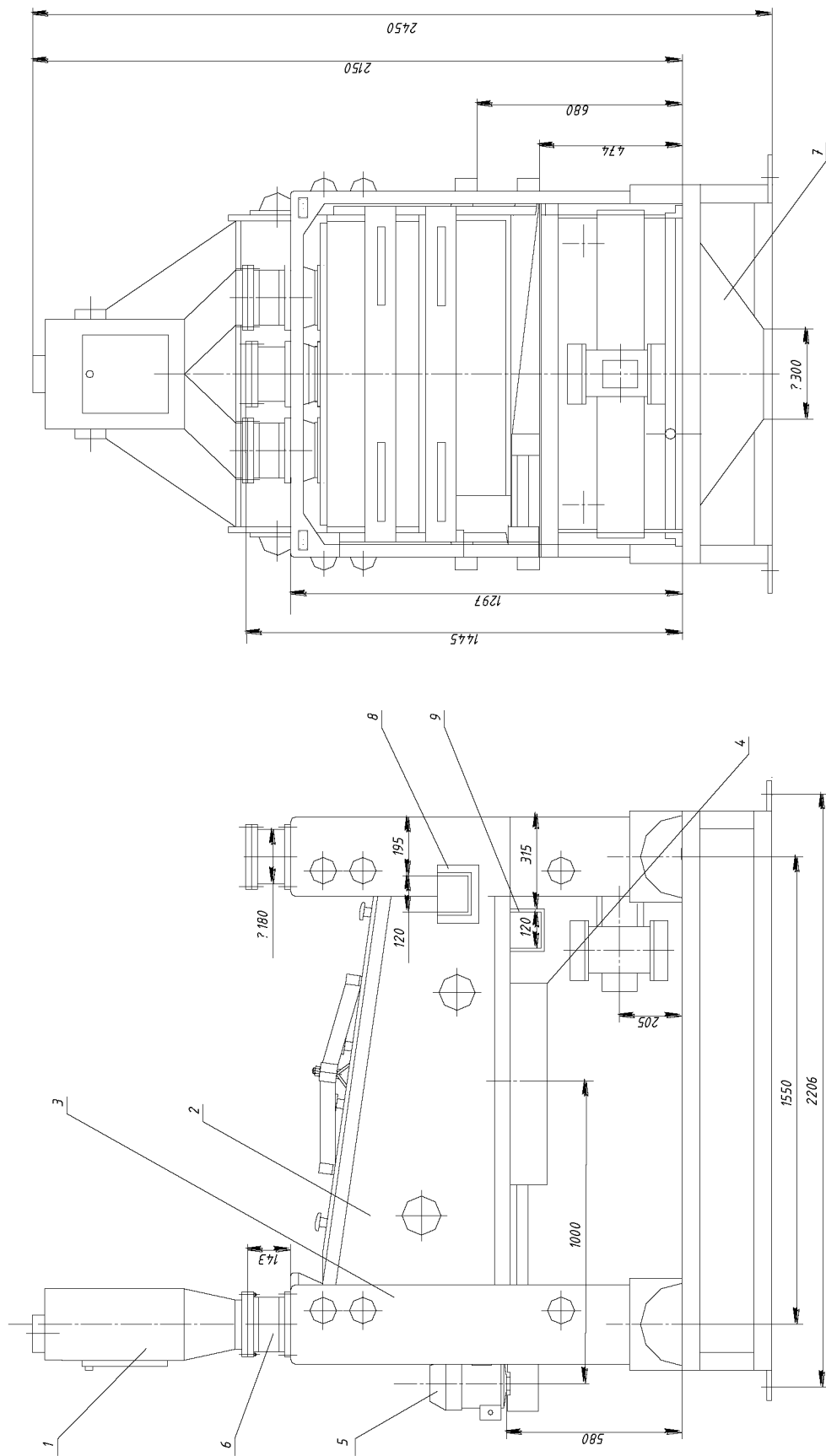


Рисунок 2.3 – Принципова схема зерноочисної машини. 1 – ситовий корпус; 2 – станина; 3 – аспірацій на колонка; 4 – електродвигун; 5 – розподільник; 6 – пагрубок аспіраційної системи; 7 – пагрубок оглядовий; 8; 9 – лотки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

AI.30M.00.00.0000.ПЗ

Арк.

Робоче колесо вентилятора приводиться в рух електродвигуном, тоді як шнек отримує обертання через контрпривод за допомогою клинопасової передачі. Регулювання положення заслінки конуса і відбивача здійснюється за допомогою ручок. У корпусі передбачено два вікна з дверцятами для зручного доступу. Привід машини закритий знімним захисним кожухом.

У ситовому корпусі встановлені висувні рами з сортувальними і підсівними ситами, які фіксуються ексцентриковими механізмами. Ситові рами розділені на комірки за допомогою подовжніх та поперечних брусків. У кожній комірці розміщено по дві гумові кульки, що слугують для очищення поверхні сит. До нижньої площини ситової рами прикріплені сітчасті фордони для забезпечення додаткової функціональності.

На передній стінці ситового корпусу встановлений електродвигун 5, який за допомогою клинопасової передачі приводить в обертання шків з дебалансним вантажем, що забезпечує кругову поступальну ходу ситового корпусу. У верхній частині станини встановлені приймальний патрубок 6 для вступу вихідного зерна. Очищене зерно виходить через випускний канал 7.

Контроль за ходом технологічного процесу очищення здійснюють оператор з пульта керування.

Розміщення і конструкція вузлів та механізмів забезпечує зручний доступ до них, безпеку при монтажі, експлуатації і ремонті. Рухомі та обертаючі частини сушарки захищені кожухами, огороженнями і не створюють небезпеки для обслуговуючого персоналу, легко відкриваються або знімаються.

На передній частині корпусу сита розташований електродвигун 5, який через клинопасову передачу приводить у рух шків із дебалансним вантажем, що забезпечує круговий поступальний рух корпусу сита. У верхній частині станини передбачений приймальний патрубок 6 для подачі вихідного зерна. Очищене зерно виходить через випускний канал 7. Для видалення великих домішок використовується лоток 8, а для дрібних — лоток 9.

Контроль за процесом очищення здійснюється оператором із пульта

					<i>AI.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

3.1 Технологічний розрахунок

Повітряний сепаратор працює за принципом замкнутого повітряного циклу, що забезпечує ефективне розділення частинок. Пневмосепарувальний канал, виконаний у формі прямокутника, сприяє оптимальному руху повітряного потоку та підвищує продуктивність системи. Продуктивність сепаратора $Q=5000$ кг/год. Ефективність очищення складає $\eta=75\%$, вміст домішок в зерні – 2%, вміст нормального зерна у відходах – 2%.

Фізико-механічні властивості пшениці: об'ємна щільність $\rho=760$ кг/м³; коефіцієнт внутрішнього тертя $f_1=0,47$; кут тертя $\varphi=20,3^\circ$; коефіцієнт зовнішнього тертя сталевим решетом $f_2=0,37$, швидкість витання зерна пшениці $V_{\text{вит}}=8,5\dots 11,5$ м/с, швидкість витання засмічених домішок $V_{\text{вит.дом}}=4\dots 6$ м/с. Питоме навантаження, згідно рекомендаціям, приймаємо $q=90$ кг/(год·см).

Маса домішок у початковій суміші, які могли бути вилучені за допомогою повітряного потоку:

$$B = 0,2Q = 0,02 \cdot 5000 = 100 \text{ кг.} \quad (3.1)$$

Для обчислення площі ситового решета використовується формула:

$$F_p = a \cdot b, \quad (3.2)$$

де a – довжина решета, мм;

b – ширина решета, мм.

Отже,

$$F_p = 910 \cdot 400 = 0,364 \text{ м}^2$$

Для визначення пропускної спроможності решета необхідно врахувати кілька факторів: розмір отворів у решеті, матеріал, з якого воно виготовлене, а також характеристики матеріалу, що проходить через нього. Розрахунок можна здійснити за формулою:

					<i>AI.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_p = 3,6 \cdot K_p \cdot F_p \cdot g_p \cdot \tau_{cm}, \quad (3.3)$$

де $K_p = 1$ – коефіцієнт може змінюватися залежно від основної культури, яка вирощується, оскільки різні культури мають свої особливості та вимоги до умов вирощування;

$g_p = 1,9$ – питома навантаження (рекомендації виробника обладнання, щоб забезпечити ефективну роботу та уникнути перевантаження);

$\tau_{cm} = 0,8$ – коефіцієнт враховує тривалість та ефективність роботи машини протягом зміни

Отже,

$$Q_p = 3,6 \cdot 1 \cdot 0,364 \cdot 1,9 \cdot 0,8 = 1,994 \text{ т / год.}$$

Максимально допустима кількість домішок, яка може бути виділена із зерна:

$$A = \frac{\eta \cdot B}{100 \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right)}, \quad (3.4)$$

де $\delta = 2\%$ – вміст нормального зерна у відходах у відсотках від їхньої загальної маси. ;

Звідси

$$A = \frac{75 \cdot 100}{100 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right)} = 76,53 \text{ кг.}$$

3.2 Конструктивний розрахунок

Для проведення розрахунків окремих деталей машини, зокрема підвісок, необхідно враховувати зміну маси повітряно-ситового сепаратора після реконструкції. Підвіски, виготовлені з односпрямованого склопластику, працюють у режимі згинальних навантажень через коливання кузова. Для моделювання їх поведінки можна використати схему двох балок, закріплених

					<i>A1.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одним кінцем, на які діє сила P , прикладена на відстані $\frac{1}{2}$ довжини від точки закріплення. Такий підхід дозволяє оцінити вплив зміни маси на конструктивні елементи машини та забезпечити їхню надійність у процесі експлуатації.

Прогин балки відповідає половині амплітуди коливань кузова..

Рівняння для прогину такої балки має вигляд:

$$\frac{A}{2} = \frac{P \left(\frac{l}{2}\right)^2}{3EI} \text{ або } A = \frac{Pl^2}{12EI}, \quad (3.5)$$

де A – амплітуда коливань, м;

P – сила, яка діє на підвіски, Н;

l – довжина підвіски між кріпленнями, м;

E – модуль пружності;

$I = \frac{b \cdot \Delta^3}{12}$ – момент інерції перерізу підвіски, кг/м²;

b – ширина підвіски, м;

Δ – товщина підвіски, м.

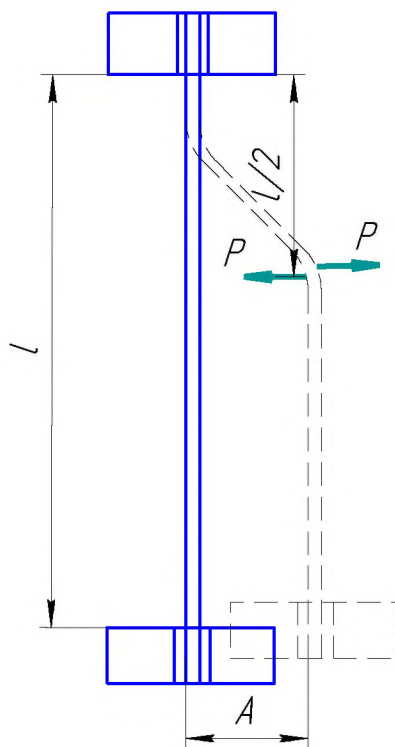


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема підвіски кузова

						AI.30M.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			25

Умова міцності підвіски при згині виражається формулою:

$$P = 2W\sigma_6, \quad (3.6)$$

де $W = \frac{b \cdot \Delta^2}{6}$ – момент опору перерізу підвіски, м³;

σ_6 – допустиме напруження при згині, Па.

З наведених рівнянь знаходимо

$$\sigma_3 = \frac{3 \cdot A \cdot E}{l^2} \Delta, \quad (3.7)$$

Крім згину, підвіски також зазнають розтягування через вплив від ваги решіт, а стійки зазнають стиску.

Напруження розтягу – стиску:

$$\sigma_{p.c.} = \frac{G \cdot \cos \beta}{i \cdot b \cdot \Delta}, \quad (3.8)$$

де G – вага кузова з зерном, Н;

β – кут між напрямком підвісок і вертикаллю;

i – число підвісок.

Сумарне напруження:

$$\sigma = \sigma_6 + \sigma_{p.c.} \quad (3.9)$$

З рівнянь (3.6) і (3.7) випливає, що зі збільшенням Δ (при постійній ширині підвіски b) σ_3 із зменшується, а $\sigma_{p.c.}$ збільшується. При цьому змінюється і сумарне напруження σ . Найменша σ виходить при $\sigma_3 = \sigma_{p.c.}$ або

$$\frac{3 \cdot A \cdot E}{l^2} \Delta = \frac{G \cdot \cos \beta}{i \cdot b \cdot \Delta}.$$

Вирішивши це рівняння щодо Δ , отримаємо

$$\Delta = l \sqrt{\frac{G \cdot \cos \beta}{3A \cdot i \cdot b \cdot E}}. \quad (3.10)$$

Ширину в підвісці приймають 0,04 ... 0,06 м.

Визначивши Δ за рівнянням (3.9) знаходимо σ_3 , $\sigma_{p.c.}$ і σ по рівняннях (3.6), (3.7) і (3.8). Значення не повинно перевищувати встановлений рівень для

					АІ.ЗОМ.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

дерев'яних підвісок. 80×10^5 Па, для сталевих – 500×10^5 Па і склопластику – 450×10^5 Па [2].

Для розрахунку підвісок кузова автомобіля зі склопластику необхідно врахувати механічні властивості матеріалу, зокрема його міцність на вигин та стиск. У зв'язку з жорстким кріпленням до рами та кузова, важливо забезпечити належну жорсткість конструкції, щоб уникнути небажаних деформацій під час експлуатації. Розрахунок повинен включати аналіз навантажень, які підвіски витримуватимуть у різних умовах, а також перевірку надійності з'єднань

Товщину підвісок будемо визначати за рівнянням (2.9).

Приймаємо $l = 0,765$ м, $i = 4$, $A = 0,009$ м, $b = 0,04$ м, $E = 596$ Па, $\beta = 0^\circ$.

Для розрахунків потрібно знати вагу кузова з зерном:

$$G = P_k + P_z, \quad (3.11)$$

де $P_k = 6800$ Н – вага кузова без зерна;

P_z – вага зерна, що знаходиться на решеті, Н.

Середня товщина зерен становить $0,0025$ м, а щільність зерна 7900 Н/м³.

Можна обчислити масу зерна, що знаходиться на решеті.

$$P_z = 3m \cdot k \cdot h \cdot \rho_z, \quad (3.12)$$

де $m = 0,72$ м – ширина решета;

$k = 0,91$ м – довжина решета;

$h = 0,015$ м – довжина зернини;

ρ_z – щільність зерна, кг/м³.

Зробимо розрахунки за формулами (3.10), (3.11) і знаходимо вагу кузова з зерном:

$$P_z = 3 \cdot 0,72 \cdot 0,91 \cdot 0,015 \cdot 7900 = 72 \text{ кг.}$$

$$G = 6800 + 720 = 7520 \text{ Н.}$$

Підставивши ці значення в рівняння (3.7), отримаємо:

$$\Delta = 0,765 \sqrt{\frac{7520 \cdot 1}{3 \cdot 0,009 \cdot 4 \cdot 596 \cdot 10^6}} = 0,0041 \text{ м.}$$

					<i>AI.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Прийнявши $\Delta = 0,0041$ м, по рівняннях (3.7), (3.8) і (3.9) знаходимо сумарне напруження:

$$\sigma_s = \frac{3 \cdot 0,0041 \cdot 0,009 \cdot 596 \cdot 10^6}{0,765^2} = 11,27 \cdot 10^4 \text{ Па},$$

$$\sigma_{p.c.} = \frac{7520}{4 \cdot 0,04 \cdot 0,0041} = 11,43 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

$$\sigma = 1,127 \cdot 10^5 + 114,3 \cdot 10^5 = 115,43 \cdot 10^5 < 450 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Отримане значення σ нижче допускаемого (450×10^5 Па) [2]. Вибрані підвіски повністю підходять.

Розрахунок шпонкового з'єднання між валом електродвигуна і ведучим шківом машини передбачає використання призматичної шпонки, яка забезпечує передачу моменту через бічні вузькі грані. Посадка маточини на вал здійснюється з натягом, що підвищує надійність з'єднання. В місцях контакту шпонки з валом виникають напруження зминання, а в поздовжньому перетині шпонки — напруження зрізу. Шпонка врізається у вал на половину своєї висоти, а напруження рівномірно розподіляється по її висоті та довжині, забезпечуючи ефективну роботу з'єднання (рис. 3.2).

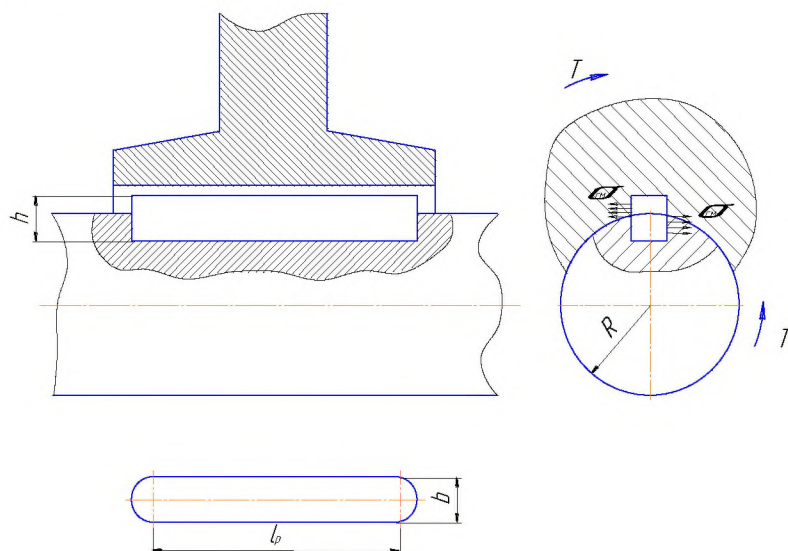


Рисунок 3.2 – Схема до розрахунку шпонкового з'єднання

Отримуємо умови міцності у вигляді:

					АІ.30М.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$\sigma_{зм} = \frac{4T}{h \cdot d \cdot l_p} \leq [\sigma_{зм}], \quad (3.13)$$

де T – крутний момент, Нм;

h – висота шпонки, м;

l_p – довжина посадочного місця, м;

d – діаметр валу, м;

$[\sigma_{зм}]$ – допустиме напруження зминання (для посадки з натягом в чавунній ступиці $[\sigma_{зм}] = 200 \text{ МПа}$).

$$\tau = \frac{2T}{b \cdot d \cdot l_p} \leq [\tau], \quad (3.14)$$

де b – ширина шпонки, м.

У стандартних шпонках параметри обираються таким чином, щоб забезпечити оптимальне розподілення навантаження у з'єднанні. Це означає, що основний акцент робиться на напруження зминання, а не на зріз. У розрахунках зазвичай застосовують лише формулу (3.13).

Проведемо обчислення для шпонкового з'єднання. Шпонка стандартна з сталі ГОСТ 8787-68 6 мм × 6 мм × 40мм. Встановлено на двигуні АІР 71В4УЗ. Потужністю 0,75 кВт, число обертів $N = 1500$ [3], $T = 750/47,12 = 15,91$ Нм.

Визначимо напруження зминання за формулою (3.13):

$$\sigma_{зм} = \frac{4 \cdot 15,1}{0,006 \cdot 0,04 \cdot 0,022} = 120,53 \text{ МПа}.$$

Отримане значення $\sigma_{зм}$ нижче допустимого 200 МПа [2].

Геометричні параметри пневмосепараційного каналу повітряного сепаратора визначаються на основі обраного питомого навантаження зерна. Це дозволяє оптимізувати процес сепарації, забезпечуючи ефективне розділення різних фракцій зернових матеріалів. Важливо враховувати характеристики зерна, такі як розмір, форма та вага, щоб налаштувати систему для досягнення найкращих результатів. Правильний розрахунок параметрів допоможе

					<i>АІ.ЗОМ.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищити продуктивність та якість кінцевого продукту $q=90 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{см})$ і заданій продуктивності $Q=5000 \text{ кг}/\text{год}$.

Довжину каналу L (см) визначаємо по формулі

$$L = \frac{Q}{q} = \frac{5000}{90} = 0,554 \text{ м.} \quad (3.14)$$

Приймаємо довжину пневмосепаруючого каналу $L = 0,55 \text{ м}$.

Виходячи з вибраного зернового навантаження приймаємо ширину каналу $B_k = 0,15 \text{ м}$ (рис. 3.3).

Висота верхньої частини пневмосепаруючого каналу визначається з урахуванням рекомендованих параметрів, щоб забезпечити ефективне розділення зерна та домішок. При цьому важливо правильно вибрати висоту від місця подачі повітря до точки вступу зерна, щоб уникнути переносу нормального зерна у відходи та залишення легких домішок у зерновій масі.

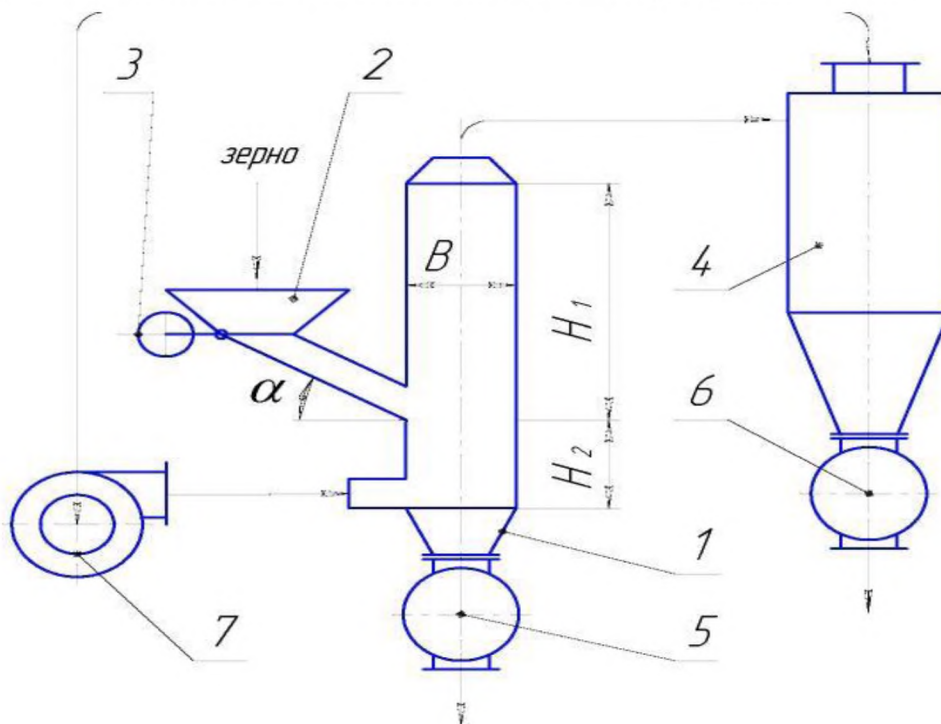


Рисунок 3.3 – Технологічна схема повітряного сепаратора:

1 - пневмосепаруючий канал; 2 - завантажувальна воронка; 3 - вантажний клапан; 4 - осадова камера (циклон); 5,6 - щлюзовий затвор; 7 – вентилятор

					<i>AI.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Кут введення зерна в даній конструкції має бути більше кута тертя і рівний:

$$\alpha > \alpha \leq \varphi = \arctg f, \quad (3.15)$$

де α – кут насипу зерна;

φ – кут тертя;

f – коефіцієнт зовнішнього тертя по сталевому решету;

$$\text{Звідси: } \alpha \geq \varphi = \arctg f = \arctg 0,3 = 20,3^\circ.$$

Приймаємо $\alpha = 30^\circ$.

2.3 Енергетичний розрахунок

Ефективність очищення зерна повітряним потоком визначається початковою швидкістю, з якою частинки потрапляють у пневмосепаруючий канал, а також середньою швидкістю повітряного потоку. Початкову швидкість вступу часток, згідно рекомендаціям, приймаємо $V_0 = 0,3 \text{ м/с}$.

Швидкість повітряного потоку V для очищення зерна визначаємо за формулою (2.16), приймаючи швидкість витання пшениці $V_{\text{вит}} = 9 \text{ м/с}$:

$$V = (0,4 \dots 0,8) \cdot V_{\text{вит}} = 3,2 \dots 7,2 \text{ м/с}. \quad (3.16)$$

Приймаємо $V = 6 \text{ м/с}$.

Витрата повітря в повітряному сепараторові Q_B ($\text{м}^3/\text{с}$) визначають по формулі (3.8), знаючи основні параметри повітряного сепаратора: ширина каналу $B_k = 0,15 \text{ м}$ та довжина каналу $L = 0,55 \text{ м}$:

$$Q_B = B_k \cdot L \cdot V = 0,15 \cdot 0,55 \cdot 6 = 0,495 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.17)$$

Втрати тиску в пневмосепаруючому каналі ΔH (кгс/м) визначають по формулі (3.9), знаючи витрату повітря $Q = 29,7 \text{ м}^3/\text{хв}$ і задаємося коефіцієнтом опору $k = 0,08$.

					АІ.ЗОМ.00.00.0000.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta H = k \cdot Q^2 = 0,08 \cdot 29,7^2 = 705 \text{ Па}. \quad (3.18)$$

Втрати тиску у віддільнику ΔH_1 (Па) визначаємо по формулі (3.10), приймаючи коефіцієнт аеродинамічного опору віддільника $\xi_{\text{отд}} = 3,7$, швидкість повітря на вхідному патрубку $V_{\text{вх}} = 10 \text{ м/с}$; щільність повітря за нормальних умов $\rho_n = 1,2 \text{ кг/м}^3$:

$$\Delta H_1 = 3,7 \cdot \frac{1,2 \cdot 10^2}{2} = 222 \text{ Па}. \quad (3.19)$$

Сумарні втрати тиску в повітряному сепараторові визначаємо по формулі:

$$H = k_1 \cdot (\Delta H + \Delta H_1), \quad (3.20)$$

де $k_1 = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує можливі відхилення при роботі вентилятора.

Звідси:

$$H = 1,1 \cdot (702 + 222) = 1019,7 \text{ Па}.$$

Для визначення необхідної потужності приводу вентилятора потрібно врахувати параметри, такі як об'єм повітря, який потрібно переміщувати, опір системи вентиляції, а також ефективність самого вентилятора. Для точного розрахунку зверніться до інженера або використайте спеціалізоване програмне забезпечення. Потрібну потужність приводу вентилятора N (кВт) визначаємо за формулою (3.12), знаючи витрату повітря, і $\eta_{\text{п}} = 0,95$:

$$N = \frac{Q_B \cdot H}{1000 \cdot \eta_B \cdot \eta_{\text{п}}}, \quad (3.21)$$

де $\eta_B = 0,5$ – ККД вентилятора визначають по характеристиці вентилятора;

$\eta_{\text{п}} = 0,95$ – ККД приводу при клиноремонной передачі

Звідси:

$$N = \frac{0,495 \cdot 1019,7}{1000 \cdot 0,5 \cdot 0,95} = 1,06 \text{ кВт}.$$

					<i>AI.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибираємо за довідником вентилятор типа ВЦП-3 паспортні дані: продуктивність $Q = 0,55 \text{ м}^3/\text{с}$, частота обертання $n = 2500 \text{ хв}^{-1}$, максимальний тиск $H = 1020 \text{ Па}$, потужність електродвигуна $N = 2,2 \text{ кВт}$.

Для подачі зерна використовується вантажний клапан, який забезпечує герметизацію пневмосепаруючого каналу, запобігаючи підсосу повітря. Для виведення зерна та легких домішок із пневмосепаруючого каналу і осадової камери, а також для їх герметизації, застосовуються шлюзові затвори. Визначаємо потрібну ємність $V_{ш}$ (дм³):

$$V_{ш} = \frac{Q_{ш}}{\rho \cdot n \cdot \varphi}, \quad (3.22)$$

де $Q_{ш} = 83,3 \text{ кг/хв}$ – розрахункова продуктивність затвора;

$\rho = 0,76 \text{ кг/дм}^3$ – об'ємна маса продукту;

$n = 20 \dots 40 \text{ хв}^{-1}$ – частота обертання ротора;

$\varphi = 0,7 \dots 0,8$ – коефіцієнт заповнення вічок для зернистих матеріалів.

Звідси:

$$V_{ш} = \frac{83,3}{0,76 \cdot 30 \cdot 0,7} = 0,0052 \text{ м}^3.$$

Вибираємо шлюзовий затвор ШУ-6.

Потужність, що витрачається для приводу шлюзового затвора $N_{шл}$ (кВт), визначаємо за формулою (3.14); коефіцієнт, що враховує витрату енергії на дроблення часток, для зернових матеріалів $K_1 = 2,2$; ККД приводу шлюзового затвора $\eta = 0,7$; коефіцієнт, що враховує втрати енергії в підшипниках валу ротора шлюзового затвора, для підшипників ковзання $\eta_{шл} = 0,90$, частота обертання ротора $n = 0,5 \text{ с}^{-1}$.

$$N_{шл} = \frac{\pi}{159} \cdot \rho \cdot R_p \cdot r_3^2 \cdot n \cdot \text{tg} \varphi \cdot \frac{K_1}{\eta_{пр} \cdot \eta_{шл}}, \quad (3.23)$$

де $\rho = 500 \text{ Н/м}^2$ – вертикальний тиск вантажу на площину зрізу завантажувального отвору;

					<i>АІ.ЗОМ.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

R_p – радіус ротора, м;

r_3 – радіус завантажувального отвору м;

$K_1 = 2,2$ – коефіцієнт, що враховує витрату енергії на дроблення часток для зернових матеріалів;

$\eta_{np} = 0,7...0,8$ - ККД приводу шлюзового затвора;

$\eta_{увл}$ – коефіцієнт, що враховує втрати енергії в підшипниках валу ротора шлюзового затвора (для підшипників ковзання $\eta_{увл} = 0,90...0,92$, для підшипників кочення $\eta_{увл} = 0,97...0,99$).

Радіус ротора і радіус завантажувального отвору визначається по довіднику, відповідно для шлюзового затвора ШУ-6: $R_p = 0,117$ м; $r_3 = 0,72$ м.

Звідси:

$$N_{увл} = \frac{\pi}{159} \cdot 500 \cdot 0,117 \cdot 0,075^2 \cdot 0,5 \cdot \operatorname{tg} 20,3 \cdot \frac{2,2}{0,7 \cdot 0,9} = 0,004 \text{ кВт}.$$

					<i>АІ.ЗОМ.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

3.1 Технологічний розрахунок

Повітряний сепаратор працює за принципом замкнутого повітряного циклу, що забезпечує ефективне розділення частинок. Пневмосепарувальний канал, виконаний у формі прямокутника, сприяє оптимальному руху повітряного потоку та підвищує продуктивність системи. Продуктивність сепаратора $Q=5000$ кг/год. Ефективність очищення складає $\eta=75\%$, вміст домішок в зерні – 2%, вміст нормального зерна у відходах – 2%.

Фізико-механічні властивості пшениці: об'ємна щільність $\rho=760$ кг/м³; коефіцієнт внутрішнього тертя $f_1=0,47$; кут тертя $\varphi=20,3^\circ$; коефіцієнт зовнішнього тертя сталевим решетом $f_2=0,37$, швидкість витання зерна пшениці $V_{\text{вит}}=8,5\dots 11,5$ м/с, швидкість витання засмічених домішок $V_{\text{вит.дом}}=4\dots 6$ м/с. Питоме навантаження, згідно рекомендаціям, приймаємо $q=90$ кг/(год·см).

Маса домішок у початковій суміші, які могли бути вилучені за допомогою повітряного потоку:

$$B = 0,2Q = 0,02 \cdot 5000 = 100 \text{ кг}. \quad (3.1)$$

Для обчислення площі ситового решета використовується формула:

$$F_p = a \cdot b, \quad (3.2)$$

де a – довжина решета, мм;

b – ширина решета, мм.

Отже,

$$F_p = 910 \cdot 400 = 0,364 \text{ м}^2$$

Для визначення пропускної спроможності решета необхідно врахувати кілька факторів: розмір отворів у решеті, матеріал, з якого воно виготовлене, а також характеристики матеріалу, що проходить через нього. Розрахунок можна здійснити за формулою:

					<i>AI.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_p = 3,6 \cdot K_p \cdot F_p \cdot g_p \cdot \tau_{cm}, \quad (3.3)$$

де $K_p = 1$ – коефіцієнт може змінюватися залежно від основної культури, яка вирощується, оскільки різні культури мають свої особливості та вимоги до умов вирощування;

$g_p = 1,9$ – питома навантаження (рекомендації виробника обладнання, щоб забезпечити ефективну роботу та уникнути перевантаження);

$\tau_{cm} = 0,8$ – коефіцієнт враховує тривалість та ефективність роботи машини протягом зміни

Отже,

$$Q_p = 3,6 \cdot 1 \cdot 0,364 \cdot 1,9 \cdot 0,8 = 1,994 \text{ т / год.}$$

Максимально допустима кількість домішок, яка може бути виділена із зерна:

$$A = \frac{\eta \cdot B}{100 \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right)}, \quad (3.4)$$

де $\delta = 2\%$ – вміст нормального зерна у відходах у відсотках від їхньої загальної маси. ;

Звідси

$$A = \frac{75 \cdot 100}{100 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right)} = 76,53 \text{ кг.}$$

3.2 Конструктивний розрахунок

Для проведення розрахунків окремих деталей машини, зокрема підвісок, необхідно враховувати зміну маси повітряно-ситового сепаратора після реконструкції. Підвіски, виготовлені з односпрямованого склопластику, працюють у режимі згинальних навантажень через коливання кузова. Для моделювання їх поведінки можна використати схему двох балок, закріплених

					<i>A1.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одним кінцем, на які діє сила P , прикладена на відстані $\frac{1}{2}$ довжини від точки закріплення. Такий підхід дозволяє оцінити вплив зміни маси на конструктивні елементи машини та забезпечити їхню надійність у процесі експлуатації.

Прогин балки відповідає половині амплітуди коливань кузова..

Рівняння для прогину такої балки має вигляд:

$$\frac{A}{2} = \frac{P \left(\frac{l}{2}\right)^2}{3EI} \text{ або } A = \frac{Pl^2}{12EI}, \quad (3.5)$$

де A – амплітуда коливань, м;

P – сила, яка діє на підвіски, Н;

l – довжина підвіски між кріпленнями, м;

E – модуль пружності;

$I = \frac{b \cdot \Delta^3}{12}$ – момент інерції перерізу підвіски, кг/м²;

b – ширина підвіски, м;

Δ – товщина підвіски, м.

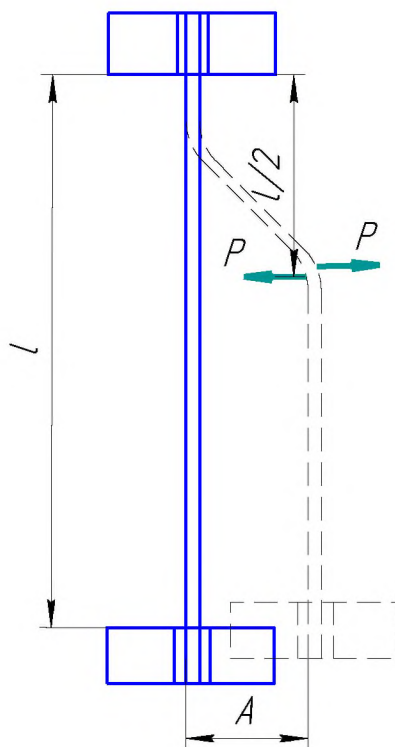


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема підвіски кузова

					<i>AI.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Умова міцності підвіски при згині виражається формулою:

$$P = 2W\sigma_6, \quad (3.6)$$

де $W = \frac{b \cdot \Delta^2}{6}$ – момент опору перерізу підвіски, м³;

σ_6 – допустиме напруження при згині, Па.

З наведених рівнянь знаходимо

$$\sigma_3 = \frac{3 \cdot A \cdot E}{l^2} \Delta, \quad (3.7)$$

Крім згину, підвіски також зазнають розтягування через вплив від ваги решіт, а стійки зазнають стиску.

Напруження розтягу – стиску:

$$\sigma_{p.c.} = \frac{G \cdot \cos \beta}{i \cdot b \cdot \Delta}, \quad (3.8)$$

де G – вага кузова з зерном, Н;

β – кут між напрямком підвісок і вертикаллю;

i – число підвісок.

Сумарне напруження:

$$\sigma = \sigma_6 + \sigma_{p.c.} \quad (3.9)$$

З рівнянь (3.6) і (3.7) випливає, що зі збільшенням Δ (при постійній ширині підвіски b) σ_3 із зменшується, а $\sigma_{p.c.}$ збільшується. При цьому змінюється і сумарне напруження σ . Найменша σ виходить при $\sigma_3 = \sigma_{p.c.}$ або

$$\frac{3 \cdot A \cdot E}{l^2} \Delta = \frac{G \cdot \cos \beta}{i \cdot b \cdot \Delta}.$$

Вирішивши це рівняння щодо Δ , отримаємо

$$\Delta = l \sqrt{\frac{G \cdot \cos \beta}{3A \cdot i \cdot b \cdot E}}. \quad (3.10)$$

Ширину в підвісці приймають 0,04 ... 0,06 м.

Визначивши Δ за рівнянням (3.9) знаходимо σ_3 , $\sigma_{p.c.}$ і σ по рівняннях (3.6), (3.7) і (3.8). Значення не повинно перевищувати встановлений рівень для

					АІ.ЗОМ.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

дерев'яних підвісок. 80×10^5 Па, для сталевих – 500×10^5 Па і склопластику – 450×10^5 Па [2].

Для розрахунку підвісок кузова автомобіля зі склопластику необхідно врахувати механічні властивості матеріалу, зокрема його міцність на вигин та стиск. У зв'язку з жорстким кріпленням до рами та кузова, важливо забезпечити належну жорсткість конструкції, щоб уникнути небажаних деформацій під час експлуатації. Розрахунок повинен включати аналіз навантажень, які підвіски витримуватимуть у різних умовах, а також перевірку надійності з'єднань

Товщину підвісок будемо визначати за рівнянням (2.9).

Приймаємо $l = 0,765$ м, $i = 4$, $A = 0,009$ м, $b = 0,04$ м, $E = 596$ Па, $\beta = 0^\circ$.

Для розрахунків потрібно знати вагу кузова з зерном:

$$G = P_k + P_z, \quad (3.11)$$

де $P_k = 6800$ Н – вага кузова без зерна;

P_z – вага зерна, що знаходиться на решеті, Н.

Середня товщина зерен становить 0,0025 м, а щільність зерна 7900 Н/м³.

Можна обчислити масу зерна, що знаходиться на решеті.

$$P_z = 3m \cdot k \cdot h \cdot \rho_z, \quad (3.12)$$

де $m = 0,72$ м – ширина решета;

$k = 0,91$ м – довжина решета;

$h = 0,015$ м – довжина зернини;

ρ_z – щільність зерна, кг/м³.

Зробимо розрахунки за формулами (3.10), (3.11) і знаходимо вагу кузова з зерном:

$$P_z = 3 \cdot 0,72 \cdot 0,91 \cdot 0,015 \cdot 7900 = 72 \text{ кг}.$$

$$G = 6800 + 720 = 7520 \text{ Н}.$$

Підставивши ці значення в рівняння (3.7), отримаємо:

$$\Delta = 0,765 \sqrt{\frac{7520 \cdot 1}{3 \cdot 0,009 \cdot 4 \cdot 596 \cdot 10^6}} = 0,0041 \text{ м}.$$

					<i>AI.30M.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Прийнявши $\Delta = 0,0041 \text{ м}$, по рівняннях (3.7), (3.8) і (3.9) знаходимо сумарне напруження:

$$\sigma_s = \frac{3 \cdot 0,0041 \cdot 0,009 \cdot 596 \cdot 10^6}{0,765^2} = 11,27 \cdot 10^4 \text{ Па},$$

$$\sigma_{p.c.} = \frac{7520}{4 \cdot 0,04 \cdot 0,0041} = 11,43 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

$$\sigma = 1,127 \cdot 10^5 + 114,3 \cdot 10^5 = 115,43 \cdot 10^5 < 450 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Отримане значення σ нижче допускаемого ($450 \times 10^5 \text{ Па}$) [2]. Вибрані підвіски повністю підходять.

Розрахунок шпонкового з'єднання між валом електродвигуна і ведучим шківом машини передбачає використання призматичної шпонки, яка забезпечує передачу моменту через бічні вузькі грані. Посадка маточини на вал здійснюється з натягом, що підвищує надійність з'єднання. В місцях контакту шпонки з валом виникають напруження зминання, а в поздовжньому перетині шпонки — напруження зрізу. Шпонка врізається у вал на половину своєї висоти, а напруження рівномірно розподіляється по її висоті та довжині, забезпечуючи ефективну роботу з'єднання (рис. 3.2).

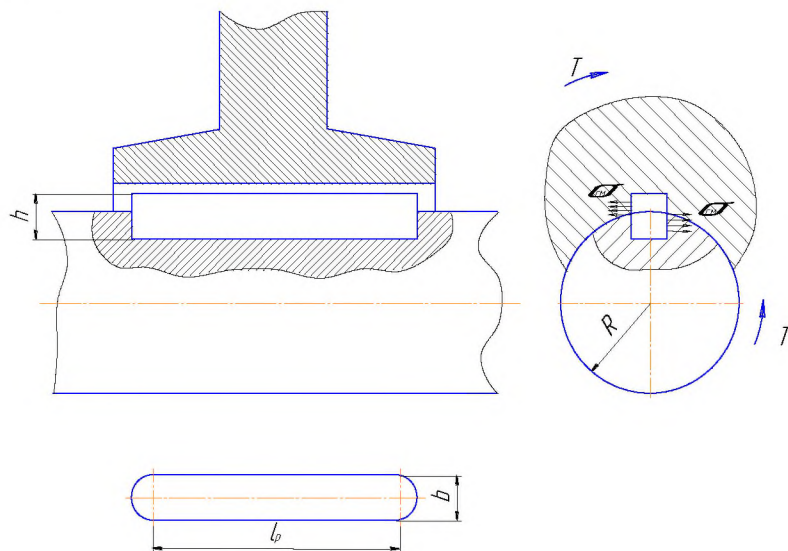


Рисунок 3.2 – Схема до розрахунку шпонкового з'єднання

Отримуємо умови міцності у вигляді:

					АІ.30М.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$\sigma_{зм} = \frac{4T}{h \cdot d \cdot l_p} \leq [\sigma_{зм}], \quad (3.13)$$

де T – крутний момент, Нм;

h – висота шпонки, м;

l_p – довжина посадочного місця, м;

d – діаметр валу, м;

$[\sigma_{зм}]$ – допустиме напруження зминання (для посадки з натягом в чавунній ступиці $[\sigma_{зм}] = 200 \text{ МПа}$).

$$\tau = \frac{2T}{b \cdot d \cdot l_p} \leq [\tau], \quad (3.14)$$

де b – ширина шпонки, м.

У стандартних шпонках параметри обираються таким чином, щоб забезпечити оптимальне розподілення навантаження у з'єднанні. Це означає, що основний акцент робиться на напруження зминання, а не на зріз. У розрахунках зазвичай застосовують лише формулу (3.13).

Проведемо обчислення для шпонкового з'єднання. Шпонка стандартна з сталі ГОСТ 8787-68 6 мм × 6 мм × 40мм. Встановлено на двигуні АІР 71В4УЗ. Потужністю 0,75 кВт, число обертів $N = 1500$ [3], $T = 750/47,12 = 15,91$ Нм.

Визначимо напруження зминання за формулою (3.13):

$$\sigma_{зм} = \frac{4 \cdot 15,1}{0,006 \cdot 0,04 \cdot 0,022} = 120,53 \text{ МПа}.$$

Отримане значення $\sigma_{зм}$ нижче допустимого 200МПа [2].

Геометричні параметри пневмосепараційного каналу повітряного сепаратора визначаються на основі обраного питомого навантаження зерна. Це дозволяє оптимізувати процес сепарації, забезпечуючи ефективне розділення різних фракцій зернових матеріалів. Важливо враховувати характеристики зерна, такі як розмір, форма та вага, щоб налаштувати систему для досягнення найкращих результатів. Правильний розрахунок параметрів допоможе

					АІ.ЗОМ.00.00.0000.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищити продуктивність та якість кінцевого продукту $q=90 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{см})$ і заданій продуктивності $Q=5000 \text{ кг}/\text{год}$.

Довжину каналу L (см) визначаємо по формулі

$$L = \frac{Q}{q} = \frac{5000}{90} = 0,554 \text{ м.} \quad (3.14)$$

Приймаємо довжину пневмосепаруючого каналу $L = 0,55 \text{ м}$.

Виходячи з вибраного зернового навантаження приймаємо ширину каналу $B_k = 0,15 \text{ м}$ (рис. 3.3).

Висота верхньої частини пневмосепаруючого каналу визначається з урахуванням рекомендованих параметрів, щоб забезпечити ефективне розділення зерна та домішок. При цьому важливо правильно вибрати висоту від місця подачі повітря до точки вступу зерна, щоб уникнути переносу нормального зерна у відходи та залишення легких домішок у зерновій масі.

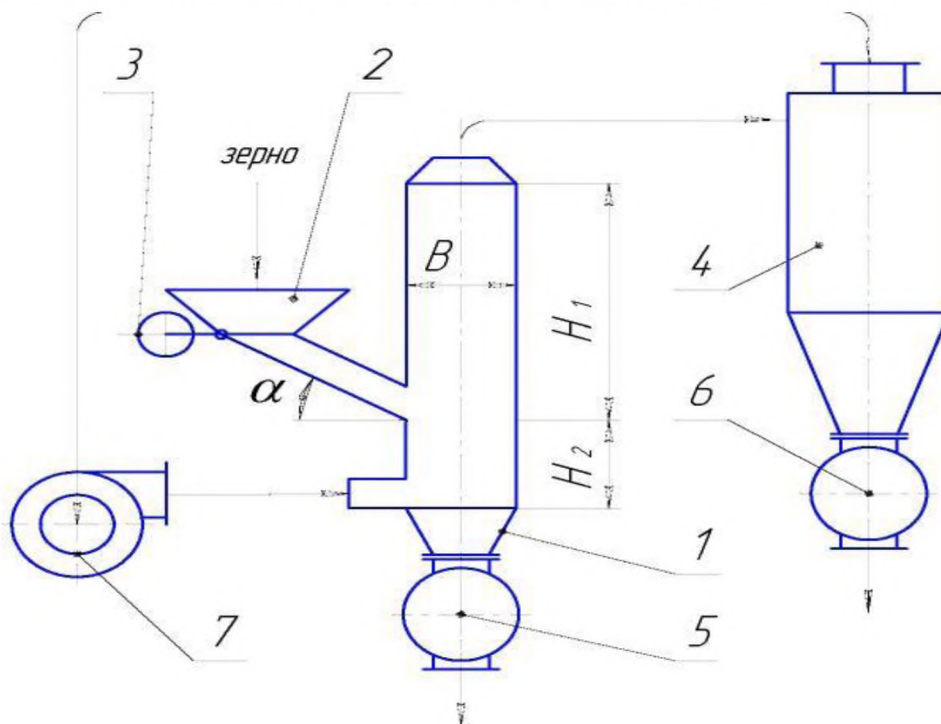


Рисунок 3.3 – Технологічна схема повітряного сепаратора:

1 - пневмосепаруючий канал; 2 - завантажувальна воронка; 3 - вантажний клапан; 4 - осадова камера (циклон); 5,6 - щлюзовий затвор; 7 – вентилятор

										Арк.
										30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АІ.30М.00.00.0000.ПЗ					

Кут введення зерна в даній конструкції має бути більше кута тертя і рівний:

$$\alpha > \alpha \leq \varphi = \arctg f, \quad (3.15)$$

де α – кут насипу зерна;

φ – кут тертя;

f – коефіцієнт зовнішнього тертя по сталевому решету;

$$\text{Звідси: } \alpha \geq \varphi = \arctg f = \arctg 0,3 = 20,3^\circ.$$

Приймаємо $\alpha = 30^\circ$.

2.3 Енергетичний розрахунок

Ефективність очищення зерна повітряним потоком визначається початковою швидкістю, з якою частинки потрапляють у пневмосепаруючий канал, а також середньою швидкістю повітряного потоку. Початкову швидкість вступу часток, згідно рекомендаціям, приймаємо $V_0 = 0,3 \text{ м/с}$.

Швидкість повітряного потоку V для очищення зерна визначаємо за формулою (2.16), приймаючи швидкість витання пшениці $V_{\text{вит}} = 9 \text{ м/с}$:

$$V = (0,4 \dots 0,8) \cdot V_{\text{вит}} = 3,2 \dots 7,2 \text{ м/с}. \quad (3.16)$$

Приймаємо $V = 6 \text{ м/с}$.

Витрата повітря в повітряному сепараторові Q_B ($\text{м}^3/\text{с}$) визначають по формулі (3.8), знаючи основні параметри повітряного сепаратора: ширина каналу $B_k = 0,15 \text{ м}$ та довжина каналу $L = 0,55 \text{ м}$:

$$Q_B = B_k \cdot L \cdot V = 0,15 \cdot 0,55 \cdot 6 = 0,495 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.17)$$

Втрати тиску в пневмосепаруючому каналі ΔH (кгс/м) визначають по формулі (3.9), знаючи витрату повітря $Q = 29,7 \text{ м}^3/\text{хв}$ і задаємося коефіцієнтом опору $k = 0,08$.

					<i>АІ.ЗОМ.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta H = k \cdot Q^2 = 0,08 \cdot 29,7^2 = 705 \text{ Па}. \quad (3.18)$$

Втрати тиску у віддільнику ΔH_1 (Па) визначаємо по формулі (3.10), приймаючи коефіцієнт аеродинамічного опору віддільника $\xi_{\text{отд}} = 3,7$, швидкість повітря на вхідному патрубку $V_{\text{вх}} = 10 \text{ м/с}$; щільність повітря за нормальних умов $\rho_n = 1,2 \text{ кг/м}^3$:

$$\Delta H_1 = 3,7 \cdot \frac{1,2 \cdot 10^2}{2} = 222 \text{ Па}. \quad (3.19)$$

Сумарні втрати тиску в повітряному сепараторові визначаємо по формулі:

$$H = k_1 \cdot (\Delta H + \Delta H_1), \quad (3.20)$$

де $k_1 = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує можливі відхилення при роботі вентилятора.

Звідси:

$$H = 1,1 \cdot (702 + 222) = 1019,7 \text{ Па}.$$

Для визначення необхідної потужності приводу вентилятора потрібно врахувати параметри, такі як об'єм повітря, який потрібно переміщувати, опір системи вентиляції, а також ефективність самого вентилятора. Для точного розрахунку зверніться до інженера або використайте спеціалізоване програмне забезпечення. Потрібну потужність приводу вентилятора N (кВт) визначаємо за формулою (3.12), знаючи витрату повітря, і $\eta_{\text{п}} = 0,95$:

$$N = \frac{Q_B \cdot H}{1000 \cdot \eta_B \cdot \eta_{\text{п}}}, \quad (3.21)$$

де $\eta_B = 0,5$ – ККД вентилятора визначають по характеристиці вентилятора;

$\eta_{\text{п}} = 0,95$ – ККД приводу при клиноремонной передачі

Звідси:

$$N = \frac{0,495 \cdot 1019,7}{1000 \cdot 0,5 \cdot 0,95} = 1,06 \text{ кВт}.$$

					<i>АІ.ЗОМ.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Вибираємо за довідником вентилятор типа ВЦП-3 паспортні дані: продуктивність $Q = 0,55 \text{ м}^3/\text{с}$, частота обертання $n = 2500 \text{ хв}^{-1}$, максимальний тиск $H = 1020 \text{ Па}$, потужність електродвигуна $N = 2,2 \text{ кВт}$.

Для подачі зерна використовується вантажний клапан, який забезпечує герметизацію пневмосепаруючого каналу, запобігаючи підсосу повітря. Для виведення зерна та легких домішок із пневмосепаруючого каналу і осадової камери, а також для їх герметизації, застосовуються шлюзові затвори. Визначаємо потрібну ємність $V_{ш}$ (дм³):

$$V_{ш} = \frac{Q_{ш}}{\rho \cdot n \cdot \varphi}, \quad (3.22)$$

де $Q_{ш} = 83,3 \text{ кг/хв}$ – розрахункова продуктивність затвора;

$\rho = 0,76 \text{ кг/дм}^3$ – об'ємна маса продукту;

$n = 20 \dots 40 \text{ хв}^{-1}$ – частота обертання ротора;

$\varphi = 0,7 \dots 0,8$ – коефіцієнт заповнення вічок для зернистих матеріалів.

Звідси:

$$V_{ш} = \frac{83,3}{0,76 \cdot 30 \cdot 0,7} = 0,0052 \text{ м}^3.$$

Вибираємо шлюзовий затвор ШУ-6.

Потужність, що витрачається для приводу шлюзового затвора $N_{шл}$ (кВт), визначаємо за формулою (3.14); коефіцієнт, що враховує витрату енергії на дроблення часток, для зернових матеріалів $K_1 = 2,2$; ККД приводу шлюзового затвора $\eta = 0,7$; коефіцієнт, що враховує втрати енергії в підшипниках валу ротора шлюзового затвора, для підшипників ковзання $\eta_{шл} = 0,90$, частота обертання ротора $n = 0,5 \text{ с}^{-1}$.

$$N_{шл} = \frac{\pi}{159} \cdot \rho \cdot R_p \cdot r_3^2 \cdot n \cdot \text{tg} \varphi \cdot \frac{K_1}{\eta_{пр} \cdot \eta_{шл}}, \quad (3.23)$$

де $\rho = 500 \text{ Н/м}^2$ – вертикальний тиск вантажу на площину зрізу завантажувального отвору;

					<i>АІ.ЗОМ.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

R_p – радіус ротора, м;

r_3 – радіус завантажувального отвору м;

$K_1 = 2,2$ – коефіцієнт, що враховує витрату енергії на дроблення часток для зернових матеріалів;

$\eta_{np} = 0,7...0,8$ - ККД приводу шлюзового затвора;

$\eta_{увл}$ – коефіцієнт, що враховує втрати енергії в підшипниках валу ротора шлюзового затвора (для підшипників ковзання $\eta_{увл} = 0,90...0,92$, для підшипників кочення $\eta_{увл} = 0,97...0,99$).

Радіус ротора і радіус завантажувального отвору визначається по довіднику, відповідно для шлюзового затвора ШУ-6: $R_p = 0,117$ м; $r_3 = 0,72$ м.

Звідси:

$$N_{увл} = \frac{\pi}{159} \cdot 500 \cdot 0,117 \cdot 0,075^2 \cdot 0,5 \cdot \operatorname{tg} 20,3 \cdot \frac{2,2}{0,7 \cdot 0,9} = 0,004 \text{ кВт}.$$

					<i>АІ.ЗОМ.00.00.0000.ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У першому розділі під назвою «Оглядова частина» визначено основні параметри технічного завдання для проєктування машини. Окреслено назву і сферу застосування, цілі та призначення розробки, встановлено ключові показники якості та експлуатаційні характеристики. Також описано технологічну схему післязбирального обробітку, роль розроблюваної машини у технологічній лінії та послідовність виконання технологічних операцій. Надано характеристику оброблюваної сировини, проаналізовано наявні аналоги машин і наведено опис машини-прототипу.

Головним недоліком машини-аналога є часткове використання можливостей транспортерного очисника отворів колосового решета, адже функціонально працює лише нижня гілка, а також потреба у додаткових пристроях для очищення отворів підсівних решіт, розташованих нижче. Основним завданням кваліфікаційної роботи бакалавра стало усунення цього недоліку та спрощення конструкції зерноочисної машини.

Проблему вирішено шляхом удосконалення сепаратора: скребковий транспортерний очисник робочих отворів встановлено між решетами. Це технічне рішення забезпечує спрощення конструкції сепаратора і більш ефективне використання можливостей очисника за рахунок залучення обох гілок.

На основі сформованих вимог у третьому розділі "Проєктна частина" проведено розрахунки параметрів машини, включаючи технологічні, енергетичні та конструктивні аспекти. Представлено функціональну, принципovu та кінематичну схеми, а також обґрунтовано їх вибір.

У розділі «Охорона праці та довкілля » розглянуто основні заходи з охорони праці при роботі з зерноочисними машинами.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	AI.30M.00.00.0000.ПЗ					

universalnyy

10. 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.

11. Рекомендації до збирання ранніх зернових та зернобобових. Агробізнес: веб-сайт. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/582-rekomendatsii-do-zbyrannia-rannikh-zernovykh-ta-zernobobovykh.html>

12. Чурин Ю.Г. Теория сепарации сыпучих материалов и ее применение при проектировании и эксплуатации промышленных сепараторов вибрационного типа: монография / Ю.Г. Чурин. – Кострома: КГСХА, 2010. – 98 с.

13. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл / Рудь Юрій Савелійович. – Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.

					AI.30M.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	К-ть	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			AI.30M.05.00.0000.SK	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	AI.30M.05.01.0000	Електродвигун приводний	1	
		2	AI.30M.05.02.0000	Ковпак захисний	1	
		3	AI.30M.05.03.0000	Рама	1	
				<u>Деталі</u>		
		4	AI.30M.05.00.0001	Шків ведучий	1	
		5	AI.30M.05.00.0002	Шайба	1	
		6	AI.30M.05.00.0003	Шайба	1	
		7	AI.30M.05.00.0004	Шків ведений	1	
		8	AI.30M.05.00.0005	Вал	1	
		9	AI.30M.05.00.0006	Кришка	1	
		10	AI.30M.05.00.0007	Стакан	1	
		11	AI.30M.05.00.0008	Втулка	1	
		12	AI.30M.05.00.0009	Корпус підшипника	1	
		13	AI.30M.05.00.0010	Втулка	1	
		14	AI.30M.05.00.0011	Втулка	1	
		15	AI.30M.05.00.0012	Шпилька	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		16		Болт М10-16gx16.66.029	2	
				ГОСТ 7808-70		

					AI.30M.05.00.0000.SK		
Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			
Розробив	Міщук				Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Забродоцька				Б	1	2
Н. контр.	Юхимчук				Луцький НТУ, каф. АІ ім. проф. Г.А. Хайліса, ст. гр. АІз-41		
Затверд.	Хомич						

Привод транспортерного
очисника

