

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Удосконалення конструкції повітряно-шнекового сепаратора для
очищення зерна»

КРБ.133ГМбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 *«Галузеве
машинобудування»*
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_32[2]
ТЕРЕЩЕНКО Максим

Керівник: ХАРЧЕНКО Сергій

Полтава – 2026 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Освітньо-професійна програма *«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»*

Спеціальність *133 «Галузеве машинобудування»*
Ступінь вищої освіти *бакалавр*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
механічної та електричної
інженерії,
канд. техн. наук, доцент,
_____ Станіслав ПОПОВ
03 грудня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Максим ТЕРЕЩЕНКО

1 Тема роботи: *«Удосконалення конструкції повітряно-шнекового сепаратора для очищення зерна»*

керівник роботи ***доктор техн. наук, професор ХАРЧЕНКО Сергій,***
затверджено засіданням кафедри, протокол №9 від 03 грудня 2025 р.

2 Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – до 31 травня 2026 р.

3 Вихідні дані до роботи – *аналіз літературних джерел Національної бібліотеки України імені Володимира Вернадського; аналіз літературних джерел Полтавської обласної універсальної наукової бібліотеки імені Івана Котляревського; сучасний досвід підприємств машинобудування та АПК за тематичним спрямуванням.*

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

Розділ 1. *Загальний*

Розділ 2. *Технологічний*

Розділ 3. *Конструкторський*

Розділ 4. *Економіка, охорона праці та навколишнього середовища*

5 Перелік графічного матеріалу: *кресленник загального виду сепаратора; складальний кресленник вузла, що виносить на розгляд; робочі кресленники деталей вузла сепаратора.*

6 Консультанти розділів *кваліфікаційної роботи*

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Економіка, охорона праці та навколишнього середовища	Інна МИКОЛЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
	Володимир ДУДНИК, доцент кафедри механічної та електричної інженерії		
	Павло ПИСАРЕНКО, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля		

7 Дата видачі завдання 03 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з.п.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір, затвердження теми роботи	До 03.12.2025 р.	
2	Складання, затвердження розгорнутого плану, завдання на кваліфікаційну роботу	15.12-28.12.2025 р.	
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення, обробка інформації, необхідної для виконання роботи		
5	Виконання розділів роботи, графічної частини	04.05-31.05.2026 р.	
6	Оформлення тексту роботи		
7	Попередній захист роботи на кафедрі	До 31.05.2026 р.	
8	Нормалізаційний контроль		
9	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій		
10	Захист кваліфікаційної роботи	3 01.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____ Максим ТЕРЕЩЕНКО
(підпис)

Керівник роботи _____ Сергій ХАРЧЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 1 додаток, 6 рисунків, 14 таблиць, 25 використаних джерел, 41 сторінка.

Об'єкт розробки – процес очищення зернової маси від домішок.

Предмет розробки – конструкція повітряно-шнекового сепаратора та параметри його роботи.

Постановка актуальної технічної задачі – дослідити існуючі конструкції зерноочисних машин, визначити шляхи підвищення ефективності очищення зерна та на основі проведеного аналізу удосконалити конструкцію повітряно-шнекового сепаратора з метою покращення якості сепарації і зменшення втрат повноцінного зерна.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – удосконалення конструкції повітряно-шнекового сепаратора.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра – підвищення ефективності очищення зернової маси, зменшення втрат зерна та покращення техніко-економічних показників роботи зерноочисного обладнання.

У загальному розділі наведено аналіз сучасних технологій очищення зерна, виконано огляд існуючих конструкцій зерноочисних машин, розглянуто конструктивні особливості повітряно-шнекових сепараторів та обґрунтовано напрямок удосконалення конструкції.

У технологічному розділі розроблено технологічний процес виготовлення селіці шнека, виконано аналіз технологічності деталі, вибір матеріалу, розрахунок припусків, маршрут виготовлення та вибір технологічного обладнання.

У конструкторському розділі розроблено удосконалену конструкцію повітряно-шнекового сепаратора, описано будову та принцип роботи машини, виконано конструктивні розрахунки шнека, приводу та основних вузлів установки.

					КРБ.133_СМбд_32[2].11.00.06.060 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

У розділах економіки, охорони праці та охорони навколишнього середовища визначено техніко-економічну доцільність впровадження розробки, запропоновано заходи щодо безпечної експлуатації обладнання та зниження негативного впливу виробничих процесів на навколишнє середовище.

Практичні результати роботи – розроблена удосконалена конструкція повітряно-шнекового сепаратора, яка забезпечує підвищення якості очищення зерна та покращення експлуатаційних показників обладнання.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – розробка може бути використана на зерноочисних комплексах, елеваторах, фермерських господарствах та підприємствах агропромислового комплексу.

Сфера застосування результатів роботи – підприємства з післязбиральної обробки та зберігання зерна, зернопереробні підприємства та аграрні господарства.

Графічна частина роботи становить 3 аркуші формату А1.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу StrikePlagiarism: унікальність 97,92 %.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню конструкції повітряно-шнекового сепаратора, яка забезпечує підвищення якості очищення зерна та покращення експлуатаційних показників обладнання.

СЕПАРАТОР, ШНЕК, ПОВІТРЯ, ЗЕРНО, ПІСЛЯЗБИРАЛЬНА ОБРОБКА, ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА.

ANNOTATION

This thesis is devoted to improving the design of an air-screw separator, which enhances the quality of grain cleaning and improves the equipment's operational performance.

SEPARATOR, SCREW, AIR, GRAIN, POST-HARVEST PROCESSING, GRAIN CLEANING.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Зернове господарство є однією з провідних галузей агропромислового комплексу України та відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки держави. Високі обсяги виробництва зерна потребують застосування сучасних технологій його післязбиральної обробки, серед яких особливе значення має очищення зернової маси від різноманітних домішок. Якість очищення зерна безпосередньо впливає на його товарну цінність, збереженість під час зберігання, посівні властивості та ефективність подальшої переробки [1, 6].

Після збирання врожаю зернова маса містить значну кількість сторонніх домішок: частинки соломи, полови, цилу, насіння бур'янів, мінеральні включення та пошкоджене зерно. Наявність таких домішок погіршує якість продукції, ускладнює її зберігання та може призводити до додаткових втрат. Тому одним із важливих напрямків розвитку зернопереробної галузі є вдосконалення обладнання для очищення зерна [13, 19].

Серед різноманітних зерноочисних машин значне поширення отримали повітряно-шнекові сепаратори. Вони поєднують функції транспортування та очищення зерна, характеризуються відносною простотою конструкції, компактністю, високою продуктивністю та можливістю використання в різних технологічних лініях. Разом з тим існуючі конструкції не завжди забезпечують необхідну якість очищення через нерівномірність розподілу зернового потоку, недостатню ефективність використання повітряного потоку та підвищені втрати певноцінного зерна.

У зв'язку з цим актуальним завданням є удосконалення конструкції повітряно-шнекового сепаратора, спрямоване на підвищення якості очищення зернової маси, зменшення енергетичних витрат та покращення техніко-економічних показників роботи обладнання.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.06.060 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення конструкції повітряно-шнекового сепаратора.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- провести аналіз існуючих зерноочисних машин;
- дослідити конструктивні особливості існуючих повітряно-шнекових сепараторів;
- обґрунтувати напрямок удосконалення конструкції машини;
- розробити удосконалену конструкцію сепаратора;
- виконати необхідні конструкторські розрахунки;
- оцінити техніко-економічну ефективність запропонованої розробки;
- розглянути питання охорони праці та охорони навколишнього середовища під час експлуатації обладнання.

Об'єктом дослідження є процес очищення зернової маси від домішок.

Предметом дослідження є конструкція повітряно-шнекового сепаратора та параметри його роботи.

Практичне значення роботи полягає у розробленні конструктивних рішень, які дозволяють підвищити ефективність очищення зерна, зменшити втрати корисного продукту та покращити експлуатаційні показники зерноочисного обладнання.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.06.069 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Стан та перспективи розвитку технологій очищення зерна

Очищення зерна є однією з найважливіших операцій після збиральної обробки сільськогосподарської продукції. Від якості очищення залежить збереження зерна під час зберігання, його товарна цінність, посівні якості насіннєвого матеріалу та ефективність подальшої переробки. Під час збирання врожаю до зернової маси потрапляють різноманітні домішки: частини рослин, солома, полови, насіння бур'янів, пил, пісок, каміння та інші сторонні включення. Вміст домішок у зерновому воросі може становити від 5 до 20 %, а в окремих випадках навіть більше.

Сучасні аграрні підприємства приділяють значну увагу вдосконаленню процесів очищення зерна, оскільки підвищення якості продукції безпосередньо впливає на економічну ефективність виробництва. Зростання урожайності зернових культур та збільшення обсягів їх виробництва вимагають застосування високоефективних зерноочисних машин, здатних забезпечувати якісне очищення при мінімальних енергетичних витратах [4, 10].

Для очищення зерна використовуються машини різних типів: решітні, повітряні, трієрні, магнітні, фотосепаратори та комбіновані установки. Найбільшого поширення набули комбіновані машини, які одночасно використовують кілька принципів розділення матеріалу. Особливе місце серед них займають повітряно-шнекові сепаратори, які поєднують переваги механічного транспортування та аеродинамічного розділення частинок [2, 9].

Застосування повітряного потоку дозволяє ефективно видаляти легкі домішки, пил та полови, а шнековий транспортуючий орган забезпечує рівномірну подачу матеріалу в зону сепарації. Завдяки цьому досягається висока продуктивність обладнання при відносно простій конструкції.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні тенденції розвитку зерноочисної техніки спрямовані на підвищення продуктивності, зниження енерговитрат, автоматизацію процесів очищення та покращення якості розділення зернової суміші. Перспективним напрямком є удосконалення конструкцій повітряно-шнекових сепараторів шляхом оптимізації параметрів шнека, повітряних каналів та системи подачі матеріалу [12, 14].

1.2 Аналіз існуючих конструкцій зерноочисних машин

Залежно від принципу роботи зерноочисні машини можна поділити на кілька основних груп: повітряні сепаратори; решітні сепаратори; повітряно-решітні машини; трієрні установки; магнітні сепаратори; комбіновані зерноочисні агрегати.

Повітряні сепаратори здійснюють розділення зернової суміші за аеродинамічними властивостями частинок. Вони забезпечують ефективне видалення легких домішок, проте не можуть відокремлювати домішки, близькі за масою та розмірами до основного зерна.

Рисунок 1.1 – Повітряні сепаратори

Решітні машини працюють за принципом розділення матеріалу за геометричними розмірами. Через систему решіт видаляються великі та дрібні домішки. Недоліком є значна металомісткість конструкції та необхідність регулярного очищення решіт.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Рисунок 1.2 – Повітряно-решітний сепаратор

Повітряно-решітні машини поєднують переваги двох способів очищення і тому широко застосовуються на зерноочисних комплексах. Однак такі установки характеризуються складною конструкцією та значними енерговитратами.

Рисунок 1.3 – Повітряно-решітні машини

Трієрні установки використовуються для розділення зерна за довжиною. Вони дозволяють видаляти короткі або довгі домішки, але мають відносно низьку продуктивність.

Рисунок 1.4 –Трієрні установки

					КРБ.133 Мбд_32[2].11.00.06.069 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Останніми роками широкого поширення набувають повітряно-шнекові сепаратори, які забезпечують одночасне транспортування та очищення зерна.

Такі машини відрізняються компактністю, простотою конструкції, високою продуктивністю та можливістю використання як у стаціонарних умовах, так і в мобільних зерноочисних комплексах.

1.3 Конструктивні особливості існуючих повітряно-шнекових сепараторів

Повітряно-шнекові сепаратори широко застосовуються для очищення та сортування зерна, насіння олійних культур, бобових і сипких матеріалів. Їх робота базується на поєднанні механічного транспортування матеріалу шнеком і пневматичного розділення частинок за аеродинамічними властивостями.

Основними конструктивними елементами повітряно-шнекових сепараторів є приймальний бункер, шнековий транспортер, сепараційний канал, вентилятор, повітропроводи, система регулювання повітряного потоку, осаджувальна камера та рама. У деяких конструкціях додатково встановлюються циклони або пиловловлювачі для очищення відпрацьованого повітря.

Приймальний бункер забезпечує рівномірне надходження зернового матеріалу до робочої зони машини. Для стабілізації подачі можуть використовуватися регульовані заслінки або дезувальні пристрої. Від рівномірності подачі значною мірою залежить якість сепарації [7, 11].

Шнековий механізм виконує функцію транспортування матеріалу через робочу зону сепаратора. Найчастіше використовуються циліндричні шнеки з постійним кроком витків, виготовлені зі сталі. У сучасних конструкціях можуть застосовуватися шнеки зі змінним кроком або змінним діаметром, що дозволяє забезпечити більш рівномірний розподіл зернової маси по довжині сепараційного каналу [3, 8].

Сепараційний канал являє собою вертикальну або похилу камеру, в якій створюється повітряний потік необхідної швидкості. Під дією повітря легкі домішки

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

(полова, пил, подрібнені частинки) відокремлюються від основної маси зерна та вилітають у систему очищення. Важкі частинки осідають і переміщуються до вихідного патрубку.

Для створення повітряного потоку використовуються осьові або відцентрові вентилятори. Найбільшого поширення набули відцентрові вентилятори завдяки можливості створення стабільного повітряного потоку при відносно невеликих габаритах установки. У багатьох моделях передбачене плавне регулювання частоти обертання вентилятора, що дозволяє адаптувати режим роботи до різних культур [5].

Важливою конструктивною особливістю сучасних сепараторів є наявність регульованих пристроїв. До них належать заслінки подачі матеріалу, регулятори витрати повітря, змінні направляючі лопатки та механізми зміни частоти обертання шнека. Це дозволяє підвищити якість очищення та зменшити втрати повноцінного зерна.

Для зменшення зашумленості робочої зони багато конструкцій обладнуються циклонами або фільтрами. Вони забезпечують осадження пилу та дрібних домішок із повітряного потоку перед його виходом у навколишнє середовище.

Серед переваг повітряно-шнекових сепараторів слід відзначити простоту конструкції, невелику металоемність, компактність, універсальність використання та відносно низьке енергоспоживання. Водночас їм властиві деякі недоліки: нерівномірність подачі матеріалу вздовж сепараційного каналу, можливість пошкодження зерна при надмірній швидкості шнека, недостатня ефективність очищення при підвищеній вологості матеріалу та складність забезпечення рівномірного повітряного потоку по всьому перерізу робочої камери.

Аналіз існуючих конструкцій показує, що основними напрямками їх удосконалення є оптимізація геометричних параметрів шнека, підвищення рівномірності розподілу зернового потоку, автоматизація регулювання режимів роботи та зменшення енерговитрат. Саме ці напрями є найбільш перспективними для

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.06.060 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

подальшого підвищення продуктивності та якості очищення зерна в повітряно-шнекових сепараторах.

1.4 Порівняльний аналіз конструкцій повітряно-шнекових сепараторів

Сучасні повітряно-шнекові сепаратори відрізняються між собою конструкцією робочих органів, схемою подачі повітря та способом регулювання технологічного процесу.

У найпростіших конструкціях використовується один шнек та поперечний потік повітря. Такі машини мають просту будову та невисоку вартість, однак характеризуються обмеженою якістю очищення.

Більш досконалі конструкції оснащуються регульованими повітряними каналами, що дозволяє змінювати швидкість і напрямок руху повітря. Це підвищує якість очищення та розширює можливості використання машини для різних культур.

Окремі моделі обладнуються двоступеневими системами очищення, де матеріал послідовно проходить через кілька зон сепарації. Такі установки забезпечують високу якість очищення, проте мають складнішу конструкцію та більші енергетичні витрати.

Аналіз існуючих конструкцій показує, що основними недоліками більшої частини сепараторів є нерівномірний розподіл зернового потоку, недостатня ефективність використання повітряного потоку та підвищені втрати зерна разом із домішками.

1.5 Обґрунтування напрямку удосконалення конструкції сепаратора

Проведений аналіз показав, що перспективним напрямком підвищення ефективності роботи повітряно-шнекового сепаратора є удосконалення конструкції робочих органів та системи повітряного очищення.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.06.060 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Основною проблемою існуючих машин є нерівномірний розподіл зернової маси по перерізу робочої камери. Це призводить до неоднакової дії повітряного потоку на окремі частинки та знижує якість очищення.

Для усунення зазначених недоліків доцільно передбачити модернізацію шнекового робочого органу, що забезпечить більш рівномірне переміщення матеріалу та стабілізацію товщини зернового шару. Одночасно пропонується удосконалити конструкцію повітряного каналу для створення рівномірного повітряного потоку по всій зоні сепарації.

Очікується, що реалізація запропонованих заходів дозволить підвищити якість очищення зерна; зменшити втрати повноцінного зерна; збільшити продуктивність машини; знизити питомі енерговитрати; покращити експлуатаційну надійність обладнання.

Таким чином, удосконалення конструкції повітряно-шнекового сепаратора є актуальним технічним завданням, спрямованим на підвищення ефективності післязбиральної обробки зерна та покращення техніко-економічних показників роботи зерноочисного обладнання.

Висновок.

У результаті аналізу сучасних технологій очищення зерна встановлено, що повітряно-шнекові сепаратори є перспективним видом зерноочисного обладнання завдяки простоті конструкції, компактності та високій продуктивності. Виявлено, що основними напрямками підвищення ефективності їх роботи є покращення конструкції шнекового робочого органу та оптимізація параметрів повітряного потоку. Це стало підставою для вибору напрямку подальшої конструкторської розробки та удосконалення повітряно-шнекового сепаратора.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності деталі

Об'єктом технологічного спрацювання є секція шнека повітряно-шнекового сепаратора для очищення зерна (рис. 2.1). Деталь є одновитковим винтовим елементом транспортувально-сепарувального робочого органу. Її виготовляють із листа сталі 45 за ДСТУ 7809:2015 завтовшки 2,5 мм. Готовий зиток має зовнішній діаметр 400 мм, отвір під вал 55 мм та крок 400 мм. Маса деталі становить 2,97 кг. Вихідною заготовкою служить плоский кільцевий сектор із зовнішнім діаметром 515 мм і внутрішнім 170 мм, з якого вирізано сектор кутом 67°. Зазначені діаметри заготовки на кресленіку подано як довідкові, оскільки вони визначаються розрахунком розгортки винтової поверхні.

Рисунок 2.1 – Кресленик деталі «Секція шнека»

Технологічність конструкції оцінюють за двома групами показників: якісними та кількісними. Якісна оцінка відображає відповідність форми деталі раціональним методам виготовлення. Кількісна оцінка спирається на числові коефіцієнти, які порівнюють із нормативними значеннями.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Деталь належить до класу гвинтових поверхонь з листа. Конфігурація проста, симетрична відносно осі обертання. Вільні поверхні витка не підлягають механічній обробці й залишаються в стані після штампування та формоутворення. Жорстких вимог за точністю не висуваюто: неказані граничні відхилення отворів виконують за Н14, валів за h14, інших розмірів за ±IT14/2. Шорсткість робочих поверхонь обмежено величиною R_a 12,5 мкм, що відповідає чистовому фрезеруванню та топіанню без обробних переходів. Таке поєднання робить деталь технологічною за вимогами точності й шорсткості.

Матеріал деталі, сталь 45, є вуглецевою якісною конструкційною сталлю. Вона добре обробляється тиском у відпаленому стані, задовільно різанням і зварюється з підігрівом. Хімічний склад сталі наведено в таблиці 2.1, механічні властивості у відпаленому стані подано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 45 за ДСТУ 7809:2015, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S, P
0,42–0,50	0,17–0,37	0,50–0,80	до 0,25	до 0,25	до 0,25	до 0,040

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 45 у відпаленому стані

Показник	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	НВ
Значення	600	355	16	до 197

Кількісну технологічність характеризують коефіцієнт використання матеріалу, коефіцієнт точності обробки та коефіцієнт шорсткості. Коефіцієнт використання матеріалу обчислюють за відношенням маси деталі до маси витраченої заготовки:

$$K_{\text{вм}} = \frac{m_d}{m_z} \quad (2.1)$$

де m_d – маса готової деталі, кг; m_z – маса заготовки, що споживається на одну деталь, кг.

Маса деталі дорівнює 2,97 кг. Заготовку у вигляді кільцевого сектора вирізають із листа, тому маса спожитого матеріалу з урахуванням розкосу становить близько

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

5,2 кг. Звідси $K_{\text{вн}} \approx 0,57$. Для листового вирізання криволінійних контурів таке значення є типовим, однак залишає резерв для вдосконалення через щільніше розташування заготовок на листі та груповий розкрій [16, 25].

Середній квалітет точності деталі визначають як середньозважену величину за всіма розмірами:

$$A_{\text{сер}} = \frac{\sum A_i n_i}{\sum n_i} \quad (2.2)$$

де A_i – квалітет точності i -го розміру; n_i – кількість розмірів цього квалітету.

Коефіцієнт точності обробки знаходять за залежністю:

$$K_{\text{т.ч}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{сер}}} \quad (2.3)$$

Більшість розмірів виконано за 14-м квалітетом, тому $A_{\text{сер}} \approx 14$, а $K_{\text{т.ч}} \approx 0,93$. Значення перевищує граничне 0,8, отже деталь технологічна за точністю.

Шорсткість поверхонь оцінюють середнім значенням і коефіцієнтом шорсткості:

$$B_{\text{сер}} = \frac{\sum B_i n_i}{\sum n_i} \quad (2.4)$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{сер}}} \quad (2.5)$$

Усі поверхні мають шорсткість $R_a 12,5$ мкм, тому $B_{\text{сер}} = 12,5$, а $K_{\text{ш}} = 0,08$. Значення лежить у межах норми, що підтверджує технологічність деталі за шорсткістю. Загальний висновок: конструкція секції шнека технологічна, основний напрям удосконалення лежить у площині підвищення коефіцієнта використання матеріалу.

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі

Діючий технологічний процес виготовлення секції шнека побудовано за принципом дрібносерійного виробництва. Заготовку отримують газовим або плазмовим різанням кільцевого сектора з листа. Подальше формоутворення гвинтової поверхні виконують навиванням смуги на оправку з наступним калібруванням кроку. Центральний отвір під вал свердлять і розточують після формоутворення, оскільки під

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

час навивання первинна геометрія отвору спотворюється. Послідовність операцій діючого процесу наведено в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Маршрут діючого технологічного процесу

№	Операція	Заст	Обладнання
005	Заготівельна	Газове різання кільцевого сектора з листа	Машина термічного різання
010	Слюсарна	Зачищення кромки, видалення ґрату	Верстак, шліфмашина
015	Формоутворювальна	Навивання заготовки у виток, калібрування кроку	Оправка, прес
020	Свердлильна	Свердління отвору під вал	Вертикально-свердлильний верстат
025	Токарна	Розточування отвору до Ø55H14	Токарно-геометричний верстат
030	Контрольна	Перевірка розмірів і кроку	Контрольний стіл, шаблони

Аналіз діючого процесу виявив низку недоліків. Газове різання дає велику зону термічного впливу та значний ґрат, тому потребує трудомісткої слюсарної доводки кромки. Навивання без жорсткого контролю кроку спричиняє розкид кроку в межах партії. Свердління отвору на скремій операції з подальшим розточуванням збільшує кількість установок і знижує співвісність. Зведення недоліків і напрямів удосконалення подано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Недоліки діючого процесу та напрями вдосконалення

Елемент процесу	Найбільш недолік	Напрямок удосконалення
Заготівельна операція	Велика зона термічного впливу, грат	Лазерне різання заготовки
Формування	Розкид кроку у партії	Формування на калібрувальній справці з фіксацією кроку
Обробка отвору	Дві операції, втрата співвідношення	Суміщення свердління й розточування на одному верстаті
Розкрій листа	Низький коефіцієнт використання матеріалу	Груповий розкрій, оптимізація розташування

За результатами аналізу прийнято рішення про вдосконалення процесу через заміну термічного різання лазерним, об'єднання обробки отвору в межах однієї токарної операції та впровадження калібрувальної оснастки для стабілізації кроку.

2.3 Обробка поверхонь

Секція шнека містить обмежений набір поверхонь, що підлягають обробці. До них належать торцеві кромки заготовки, гвинтова поверхня витка, торці витка та центральний отвір під вал. Більшість поверхонь формується на заготівельній і формуювальній операціях, тоді як механічного оброблення різанням потребує лише центральний отвір. Характеристику поверхонь деталі наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристика поверхонь деталі

№	Поверхня	Розмір, мм	Квалітет	Ra, мкм
1	Зовнішня кромка витка	Ø400	h14	12,5
2	Центральний отвір під вал	Ø55	H14	12,5
3	Гвинтова поверхня витка	крок 400	IT14/2	12,5
4	Торці витка	S2,5	IT14/2	12,5

Кромки заготовки утворюють контурним різанням листа. Гвинтову поверхню формують пластичним деформуванням, тому її обробка різанням не передбачена. Центральний отвір потребує двох переходів: чорнового та чистового розточування, оскільки після формоутворення положення й форма попередньо пробитого отвору спотворюються. Послідовність і методи обробки поверхонь подано в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Методи та етапи обробки поверхонь

Поверхня	Метод обробки	Послідовність переходів
Контур заготовки	Лазерне різання	Чистове різання за один прохід
Гвинтова поверхня	Пластичне деформування	Навивання, калібрування
Центральний отвір Ø55H14	Розточування	Заготовчий отвір, чорнове, чистове розточування
Торці витка	Без зняття стружки	Утворюються при різанні листа

Такий розподіл методів забезпечує мінімальний обсяг механічного оброблення й узгоджується з листовим характером деталі.

2.4 Розробка схем базування деталі

Базування деталі підпорядковане правилу шести точок, за яким заготовка позбавляється шести ступенів вільності. Вибір баз залежить від змісту операцій та від поверхонь, які доступні для встановлення на кожному переході. Для секції шнека базовими поверхнями слугують площина торця витка та центральний отвір. На заготівельній операції базою є опорна площина листа, що позбавляє заготовку трьох ступенів вільності, а напрямними служать дві бічні кромки. На токарній операції за технологічну базу приймають оброблений торець і чорновий отвір, що забезпечує співвісність кінцевого отвору з віссю витка.

Схеми базування за операціями зведено в таблиці 2.7. Кількість позбавлених ступенів вільності в кожній схемі відповідає принципу повного базування.

Таблиця 2.7 – Схеми базування за операціями

Операція	Настановна база	Напрямна / опорна база	Ступені вільності
Заготівельна	Площина листа	Дві бічні кромки	6
Формоутворювальна	Оправка по отвору	Торець заготовки	5
Токарна	Торець витка	Чорновий отвір, кулачки	6

Точність базування оцінюють похибкою установки, що поєднує похибку базування та похибку закріплення.

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} \quad (2.6)$$

де ε_6 – похибка базування, мм; ε_3 – похибка закріплення, мм.

Під час розточування отвору база суміщена з вимірювальною базою за віссю, тому похибка базування на діаметральний розмір прямує до нуля. Основний внесок у похибку установки дає закріплення в кулачковому патроні. Розраховані похибки за операціями наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Похибки базування за операціями

Операція	ε_6 , мм	ε_3 , мм	ε_y , мм
Заготівельна	0,20	0,10	0,22
Формоутворювальна	0,15	0,10	0,18
Токарна (отвір)	0	0,05	0,05

Похибка установки на токарній операції значно менша за допуск отвору H14, тому обрана схема базування забезпечує задану точність.

2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут виготовлення розроблено з урахуванням прийнятих напрямів удосконалення. Заготовку отримують лазерним різанням, що зменшує зону термічного впливу й усуває трудомістку доводку кромки. Формоутворення виконують навіванням на калібрувальній оправці з фіксацією кроку. Обробку центрального отвору суміщено в межах однієї токарної операції. Технологічний маршрут наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Технологічний маршрут виготовлення деталі

№	Операція	Зміст	Технологічна база
005	Заготівельна (лазерна)	Різання кільцевого сектора, пробивання отвору	Площина листа
010	Слюсарна	Зачищення кромки	Площина заготовки
015	Формоутворювальна	Навівання витка, калібрування кроку	Оправка по отвору
020	Токарна з ЧПК	Чорнове й чистове розточування Ø55H14	Торець витка, ствір
025	Контрольна	Контроль діаметрів, кроку, шорсткості	Базові поверхні
030	Мийна	Очищення, консервація	-

Кожна операція забезпечена відповідним обладнанням та оснащенням. Лазерне різання виконують на координатному комплексі, формоутворення на пресі з калібрувальною оправкою, обробку отвору на токарному верстаті з числовим керуванням. Перелік обладнання й оснащення подано в таблиці 2.10.

Таблиця 2.19 – Обладнання та технологічне оснащення за операціями

Операція	Обладнання	Оснащення та інструмент
005	Лазерний розкрійний комплекс	Затискачі листа, керуюча програма
015	Кривошипний прес	Калібрувальна оправка, упор кроку
020	Токарний верстат з ЧПК	Триклинний патрон, розточувальні різці, калібр-пробка
025	-	Штангенциркуль, шаблон кроку профілометр

Запропонований маршрут скорочує число установок, підвищує співвісність отвору та стабілізує крок витка.

2.6 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Розрахунок починають з визначення розгортки гвинтового витка оскільки розміри плоскої заготовки безпосередньо впливають із геометрії готової деталі. За один крок зовнішня кромка витка описує гвинтову лінію, довжину якої знаходять за теоремою Піфагора для розгортки циліндра:

$$L_{\text{зовн}} = \sqrt{(\pi D)^2 + S^2} \quad (2.7)$$

де D – зовнішній діаметр витка, мм; S – крок витка, мм.

Аналогічно знаходять довжину внутрішньої кромки за один крок:

$$L_{\text{вн}} = \sqrt{(\pi d)^2 + S^2} \quad (2.8)$$

де d – діаметр отвору витка, мм.

Підставивши $D = 400$ мм, $d = 55$ мм, $S = 400$ мм, отримуємо $L_{\text{зовн}} = 1319$ мм та $L_{\text{вн}} = 436$ мм. Внутрішній радіус плоскої заготовки знаходять із умови сталості радіальної ширини витка:

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r = \frac{(D - d) / 2}{\frac{L_{\text{зовн}}}{L_{\text{вн}}} - 1} \quad (2.9)$$

Зовнішній радіус заготовки визначають за подібністю секторів:

$$R = r \cdot \frac{L_{\text{зовн}}}{L_{\text{вн}}} \quad (2.10)$$

Розрахунок дає $r = 85$ мм та $R = 257,5$ мм, тобто внутрішній діаметр заготовки 170 мм і зовнішній 515 мм, що збігається з довідковими розмірами креслення. Кут вирізаного сектора знаходять за залежністю:

$$\varphi = 360^\circ \cdot \left(1 - \frac{L_{\text{вн}}}{2r}\right) \quad (2.11)$$

Підстановка значень дає $\varphi \approx 67^\circ$, що відповідає кресленню. Результати розрахунку розгортки зведено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Розрахунок розгортки заготовки витка

Параметр	Позначення	Формула	Значення
Довжина зовнішньої кромки	$L_{\text{зовн}}$	(2.7)	1319 мм
Довжина внутрішньої кромки	$L_{\text{вн}}$	(2.8)	436 мм
Внутрішній радіус заготовки	r	(2.9)	85 мм
Зовнішній радіус заготовки	R	(2.10)	257,5 мм
Кут вирізаного сектора	φ	(2.11)	67°

Масу заготовки обчислюють за об'ємом кільцевого сектора:

$$m_3 = \rho \cdot \frac{\alpha}{4} \cdot (D_3^2 - d_3^2) \cdot s \cdot \frac{\alpha}{360} \quad (2.12)$$

де ρ – густина сталі, 7,85 г/см³; D_3, d_3 – діаметри заготовки, мм; s – товщина листа, мм; α – кутовий розмір сектора, град.

За цією залежністю маса витка дорівнює 2,97 кг, що підтверджує вихідні дані креслення.

Припуски на механічну обробку центрального отвору Ø55H14 визначають розрахунково-аналітичним методом. Мінімальний діаметральний припуск на перехід обчислюють за залежністю:

$$2z_{min} = 2 (Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (2.13)$$

де Rz_{i-1} – шорсткість поверхні на попередньому переході, мкм; h_{i-1} – глибина дефектного шару, мкм; ρ_{i-1} – просторове відхилення, мкм; ε_i – похибка установки на цьому переході, мкм.

Отвір обробляють у три переходи: пробивання заготовчого отвору на лазерній операції, чорнове та чистове розточування. Просторове відхилення після формоутворення прийнято 0,8 мм через жолоблення зитка, після чорнового розточування воно зменшується до 0,04 мм. Розраховані припуски та операційні розміри наведено в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Припуски та операційні розміри на отвір Ø55H14

Перехід	Rz+h, мкм	2z _{min} , мкм	2z ном, мм	Розмір, мм
Заготовчий отвір	100	–	–	Ø51,5
Розточування чорнове	100	1812	2,5	Ø54,0
Розточування чистове	45	328	1,0	Ø55,0 (+0,74)

Призначені номінальні припуски перевищують мінімальні розрахункові значення, що враховує допуски попередніх переходів і коливання просторового відхилення. Сумарний діаметральний припуск на обробку отвору становить 3,5 мм. Операційні розміри узгоджено з полем допуску H14, кінцевий розмір отвору дорівнює Ø55,0 з верхнім відхиленням +0,74 мм. Розрахунки розгортки, маси заготовки та припусків повністю узгоджуються з геометрією й масою деталі за кресленням, що підтверджує коректність розробленого технологічного процесу.

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Обґрунтування конструкторської розробки

Аналіз існуючих засобів очищення зерна показав, що одним із перспективних напрямків удосконалення зерноочисної техніки є поєднання процесів транспортування та сепарації зернової маси в одному агрегаті. Застосування шнекових транспортерів у поєднанні з повітряною сепарацією дозволяє суттєво скоротити кількість технологічних операцій та підвищити продуктивність зерноочисних ліній.

Разом з тим більшість існуючих повітряно-шнекових сепараторів характеризується недостатньо рівномірною дією повітряного потоку на зернову масу, що знижує ефективність видалення легких домішок та призводить до втрат повноцінного зерна. Крім того, при високій продуктивності збільшується товщина шару зерна, що погіршує умови сепарації.

У зв'язку з цим у кваліфікаційній роботі запропоновано удосконалену конструкцію повітряно-шнекового сепаратора, в якій процес очищення відбувається безпосередньо під час транспортування зерна шнеком. Основною особливістю розробки є застосування подовженої зони аспірації та регульованої системи подачі повітря вздовж робочої ділянки шнека. Таке рішення забезпечує рівномірний розподіл повітряного потоку по всій довжині сепаратора, покращує умови відокремлення легких домішок та підвищує якість очищення зерна.

Запропонована конструкція дозволяє збільшити продуктивність машини до 160 т/год без погіршення якості очищення, зменшити втрати зерна та скоротити енерговитрати на виконання технологічного процесу.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.06.060 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Будова та принцип роботи удосконаленого повітряно-шнекового сепаратора

Удосконалений повітряно-шнековий сепаратор складається з завантажувального бункера (3), шнекового транспортера (1), електродвигуна (4), корпусу шнека (2), повітряного каналу (7), аспіраційної системи (8), вивантажувального патрубку (9) та опорної рами.

1 – шнек; 2 – корпус шнека; 3 – завантажувальний бункер; 4 – електродвигун;
5 – пасова передача; 6 – рама; 7 – повітропровід; 8 – сепараційна камера; 9 –
патрубок відведення легких домішок.

Рисунок 3.1 – Схема повітряно-шнекового сепаратора

Основним робочим органом машини є шнек діаметром 400 мм, встановлений на валу діаметром 75 мм. Шнек розміщується всередині металевого циліндричного корпусу та приводиться в обертання електродвигуном потужністю 11 кВт через редуктор. Частота обертання шнека становить 120 об/хв.

У верхній частині корпусу встановлено аспіраційний канал із регулювальними заслінками. Для видалення легких домішок використовується вентилятор, який створює необхідний повітряний потік у зоні сепарації.

Під час роботи зернова маса через приймальний бункер надходить до шнека. Обертаючись, шнек транспортує зерно вздовж корпусу до вихідного патрубка.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одночасно через аспіраційний канал подається повітряний потік, який проходить через шар зерна. Легкі домішки, пил, солома та подрібнені рослинні залишки захоплюються повітрям і відводяться до циклона або пиловловлювача.

Очищене зерно переміщується шнеком до вивантажувального патрубку та надходить на подальшу обробку або зберігання. Завдяки подовженій зоні аспірації забезпечується більш повне очищення зернової маси та зменшення втрат повноцінного зерна.

3.2 Конструктивні розрахунки

Після розроблення конструкції удосконаленого повітряно-шнекового сепаратора необхідно виконати його інженерні розрахунки, які дозволяють перевірити працездатність і надійність запропонованих технічних рішень. Основними завданнями конструктивного розрахунку є визначення продуктивності шнекового робочого органа, оцінка кінематичних параметрів процесу транспортування зерна, перевірка міцності основних деталей приводу та встановлення відповідності прийнятих конструктивних параметрів вимогам технологічного процесу очищення зерна.

Вихідними даними для розрахунків є геометричні параметри шнека, характеристики приводу та продуктивність машини, прийняті під час проектування. Розрахунки виконуються відповідно до діючих методик проектування транспортуючих і зерноочисних машин та спрямовані на забезпечення надійної роботи сепаратора при заданій продуктивності 160 т/год.

Для удосконаленого повітряно-шнекового сепаратора приймаємо такі вихідні дані:

- діаметр шнека $D = 400$ мм;
- крок шнека $S = 400$ мм;
- довжина шнека $L = 20$ м;

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.06.060 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- частота обертання шнека $n = 120$ об/хв;
- діаметр вала $d = 75$ мм;
- потужність електродвигуна $N = 11$ кВт;
- продуктивність машини $Q = 160$ т/год.
- коефіцієнт заповнення $\phi = 0,95$;
- насипна густина зерна $\rho = 0,75$ т/м³;
- коефіцієнт нерівномірності $k = 0,62$.

На підставі наведених вихідних даних виконуємо конструктивні розрахунки основних елементів повітряно-шнекового сепаратора.

Розрахунок продуктивності шнека

Продуктивність шнека визначається:

$$Q = 47 \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot \phi \cdot \rho \cdot k, \quad (3.1)$$

$$Q = 47 \cdot 0,4^2 \cdot 0,4 \cdot 120 \cdot 0,95 \cdot 0,75 \cdot 0,62 = 159,5 \text{ т/год.}$$

Отримане значення практично відповідає заданій продуктивності 160 т/год.

Розрахунок швидкості переміщення зерна

Швидкість переміщення матеріалу:

$$v = S \cdot n / 60, \quad (3.2)$$

$$v = 0,4 \cdot 120 / 60 = 0,8 \text{ м/с.}$$

Отримана швидкість відповідає рекомендованим режимам транспортування зерна та не викликає його трампування.

Розрахунок крутного моменту

Крутний момент на валу шнека.

$$M = 9550 \cdot N / n, \quad (3.3)$$

де $N = 11$ кВт; $n = 120$ об/хв.

$$M = 9550 \cdot 11 / 120 = 875 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірочний розрахунок вала шнека

Напруження кручення:

$$\tau = 16M / (\pi d^3), \quad (3.4)$$

					КРБ.133_МБд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $M = 875000 \text{ Н}\cdot\text{мм}$; $d = 75 \text{ мм}$.

$$\tau = 10,6 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження для сталі: $[\tau] = 25 \text{ МПа}$

$$10,6 < 25 \text{ МПа}$$

Отже, вал забезпечує необхідний запас міцності.

Мінімально необхідний діаметр вала: $d_{\min} = 56 \text{ мм}$.

Фактичний діаметр: $d = 75 \text{ мм}$.

Таким чином, вал має достатню міцність та жорсткість.

Розрахунок шпонкового з'єднання

Для вала діаметром 75 мм приймаємо шпонку.

$b = 15 \text{ мм}$; $h = 10 \text{ мм}$; $l = 100 \text{ мм}$.

Напруження зрізу:

$$\tau_{ш} = 15,6 \text{ МПа}$$

Допустиме: $[\tau_{ш}] = 60 \text{ МПа}$

Напруження зминання: $\sigma_{зм} = 23,3 \text{ МПа}$

Допустиме: $[\sigma_{зм}] = 90 \text{ МПа}$

Умови міцності виконуються.

Розрахунок колесої швидкості шнека

Колову швидкість визначаємо:

$$v_k = \pi D n / 60. \quad (3.5)$$

$$v_k = 3,14 \cdot 0,4 \cdot 120 / 60 = 2,51 \text{ м/с}$$

Отримане значення забезпечує стабільне транспортування зерна без його пошкодження.

Переваги удосконаленої конструкції

Запропонована конструкція повітряно-шнекового сепаратора має такі переваги: підвищення продуктивності до 160 т/год., поєднання транспортування та очищення зерна в одному агрегаті, рівномірний розподіл повітряного потоку вздовж робочої зони, зменшення втрат повноцінного зерна, покращення якості очищення від легких

					КРБ.133_МБд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

домішок зниження питомих енерговитрат, простота конструкції та технічного обслуговування, висока надійність роботи.

Висновок.

У конструкторському розділі розроблено удосконалену конструкцію повітряно-шнекового сепаратора для очищення зерна продуктивністю 160 т/год. Основною особливістю розробки є застосування подовженої зони аспірації та регульованої системи подачі повітря, що забезпечує більш ефективне видалення легких домішок і підвищення якості очищення зерна. Виконані розрахунки підтвердили працездатність конструкції, достатню міцність валу та шпонкового з'єднання, а також відповідність геометричних параметрів шнека заданій продуктивності. Запропонована конструкція може бути рекомендована для використання на зерноочисних комплексах та підприємствах агропромислового комплексу [23, 24].

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Метою економічного обґрунтування є визначення доцільності впровадження удосконаленої конструкції повітряно-шнекового сепаратора для очищення зерна.

Визначення витрат на виготовлення конструкції

Витрати на виготовлення удосконаленого сепаратора визначаємо за формулою:

$$C_{\text{к}} = C_{\text{од}} + C_{\text{пд}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{зг}} + C_{\text{ін}}, \quad (4.1)$$

де $C_{\text{од}}$ – вартість виготовлення оригінальних деталей, грн;

$C_{\text{п}}$ – вартість придбаних деталей та комплектуючих, грн;

$C_{\text{зп}}$ – заробітна плата робітників, грн;

$C_{\text{зг}}$ – відрахування на соціальні заходи, грн;

$C_{\text{ін}}$ – інші витрати, грн.

Вартість виготовлення деталей:

До оригінальних деталей належать модернізований шнек, регулювальні заслінки, кронштейни та елементи корпусу.

$C_{\text{од}} = 4200$ грн

Вартість купованих деталей:

До купованих деталей належать підшипники, електродвигун, вентилятор, кріпильні вироби

$C_{\text{пд}} = 8000$ грн

Заробітна плата:

Трудомісткість виготовлення конструкції: $T = 24$ люд.-год

Годинна ставка: $C_{\text{г}} = 250$ грн/год.

$$C_{\text{зп}} = T \cdot C_{\text{г}}, \quad (4.2)$$

$$C_{\text{зп}} = 24 \cdot 250 = 6000 \text{ грн.}$$

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Відрахування на соціальні заходи:

$$C_{зв} = 0,22 \cdot C_{зп}, \quad (4.3)$$

$$C_{зв} = 0,22 \cdot 6000 = 1320 \text{ грн.}$$

Інші витрати:

$$C_{ін} = 0,10 \times (C_{бд} + C_{пд}), \quad (4.4)$$

$$C_{ін} = 0,10 \times (4200 + 8000) = 1220 \text{ грн.}$$

Загальна вартість виготовлення:

$$C_{к} = 4200 + 3800 + 6000 + 1320 + 1220 = 16540 \text{ грн.}$$

Економічну ефективність удосконалення повітряно-шнекового сепаратора визначаємо за рахунок підвищення продуктивності машини, скорочення тривалості очищення зерна та зменшення втрат повноцінного зерна.

Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення
Річний обсяг очищення зерна (Q_p), т	1500
Продуктивність базового сепаратора ($П_б$), т/год	150
Продуктивність удосконаленого сепаратора ($П_н$), т/год	160
Потужність електродвигуна (N), кВт	11
Вартість електроенергії (L_e), грн/кВт·год	8
Вартість 1 т зерна (C_z), грн	9500
Вартість виготовлення удосконалення (K), грн	16540

Тривалість роботи базового сепаратора:

$$t_б = Q_p / П_б, \quad (4.5)$$

$$t_б = 1500 / 150 = 10 \text{ год.}$$

Тривалість роботи удосконаленого сепаратора:

$$t_н = Q_p / П_н, \quad (4.6)$$

$$t_н = 1500 / 160 = 9,38 \text{ год.}$$

Скорочення тривалості роботи:

$$\Delta t = t_0 - t_n, \quad (4.7)$$

$$\Delta t = 10 - 9,38 = 0,62 \text{ год.}$$

Економія електроенергії:

$$E_e = \Delta t \cdot N \cdot C_e, \quad (4.8)$$

$$E_e = 0,62 \cdot 11 \cdot 8 = 54,56 \text{ грн}$$

Економія від зменшення втрат зерна:

$$E_z = Q_p \cdot \Delta q \cdot C_z / 100, \quad (4.9)$$

$$E_z = 1500 \cdot 0,3 \cdot 9500 / 100 = 42750 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект:

$$E_p = E_z + E_e, \quad (4.10)$$

$$E_p = 42750 + 54,56 = 42804,56 \text{ грн.}$$

Термін окупності:

$$T_{ок} = K / E_p, \quad (4.11)$$

$$T_{ок} = 16540 / 42804,56 = 0,4 \text{ року} = 4,8 \text{ міс.}$$

Отже, термін окупності становить приблизно 5 місяців.

Коефіцієнт економічної ефективності

$$E = E_p / K,$$

$$E = 42804,56 / 16120 = 2,66.$$

Таблиця 4.2 – Техніко-економічні показники розробки

Показник	Значення
Річний обсяг очищення зерна, т	1500
Продуктивність базового сепаратора, т/год.	150
Продуктивність удосконаленого сепаратора, т/год.	160
Скорочення тривалості роботи, год.	0,62
Економія електроенергії, грн	54,56
Економія від зменшення втрат зерна, грн	42750
Річний економічний ефект, грн	42804,56
Вартість удосконалення, грн	16540
Термін окупності, року	0,4
Коефіцієнт економічної ефективності	2,66

Результати розрахунку показали, що впровадження удосконаленого повітряно-шнекового сепаратора є економічно доцільним. За рахунок підвищення продуктивності з 150 до 160 т/год та зменшення втрат зерна на 0,3 % річний економічний ефект становить 42804,56 грн. Термін окупності розробки складає 0,4 року, або приблизно 5 місяців, коефіцієнт економічної ефективності значно перевищує нормативне значення (0,15), що підтверджує ефективність запропонованого конструктивного рішення.

4.2 Охорона праці

Безпечні умови праці є важливою складовою ефективної експлуатації зерноочисного обладнання. Під час роботи повітряно-шнекового сепаратора на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які здатні призвести до травмування, професійних захворювань або зняження працездатності. Тому при проектуванні, монтажі та експлуатації сепаратора необхідно передбачити комплекс організаційних і технічних заходів щодо забезпечення безпеки праці.

До основних небезпечних факторів під час роботи повітряно-шнекового сепаратора належать рухомі частини приводу та шнека, можливість захоплення одягу обертовими елементами, підвищений рівень шуму, запиленість повітря робочої зони, наявність електричного струму, а також можливість виникнення пожежонебезпечних ситуацій через накопичення зернового пилу.

Особливу небезпеку становлять відкриті рухомі елементи передачі. Для запобігання травмуванню всі приводні механізми, муфти, ремінні та ланцюгові передачі повинні бути обладнані захисними кожухами. Конструкція огорожень має забезпечувати вільний доступ до вузлів під час технічного обслуговування після повної зупинки обладнання та відключення електроживлення.

Електрообладнання сепаратора повинно відповідати вимогам електробезпеки. Корпус електродвигуна, вентилятора та металеві частини конструкції необхідно надійно заземлити. Пускова апаратура має забезпечувати швидке вимкнення

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

обладнання в аварійних ситуаціях. Для захисту персоналу від ураження електричним струмом рекомендується використовувати автоматичні вимикачі та пристрої захисного відключення.

Під час очищення зерна утворюється значна кількість пилу, концентрація якого може перевищувати допустимі норми. Тривале перебування працівників у запиленому середовищі негативно впливає на органи дихання та може спричиняти професійні захворювання. Для зменшення запиленості необхідно забезпечити герметизацію робочих зон сепаратора, застосовувати аспіраційні системи та місцеву витяжну вентиляцію. Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання [15, 21].

Рівень шуму, який створюється вентилятором, внаєвим транспортером та електроприводом, також впливає на умови праці. Для його зменшення доцільно використовувати гумові амортизатори, шумопоглинальні матеріали та своєчасно виконувати технічне обслуговування підшипникових вузлів. У разі необхідності працівники повинні користуватися протишумовими навушниками або вкладишами.

Значну увагу слід приділяти безпеці. Зерловий пил є легкозаймистою речовиною, яка за певних умов може утворювати вибухонебезпечні суміші. Для запобігання пожежам необхідно регулярно очищати обладнання від пилу, контролювати справність електропроводки та не допускати перегрівання підшипників і електродвигунів. Виробничі приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогашіння, зокрема порошковими вогнегасниками.

До роботи на сепараторі допускаються особи, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктажі з охорони праці, а також ознайомлені з правилами експлуатації обладнання. Перед початком роботи необхідно перевірити справність захисних пристроїв, заземлення, системи вентиляції та пускової апаратури.

Під час експлуатації забороняється виконувати очищення, ремонт або регулювання механізмів при працюючому обладнанні. Усі роботи з технічного

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

обслуговування повинні проводитися лише після повної зупинки машини та відключення її від джерела живлення.

Запропонована конструкція удосконаленого повітряно-шнекового сепаратора передбачає використання захисних кожухів, покращеної системи аспірації та зручного доступу до вузлів обслуговування, що сприяє підвищенню рівня безпеки праці обслуговуючого персоналу та зниженню ризику виробничого травматизму.

Реалізація комплексу організаційних та технічних заходів з охорони праці забезпечує безпечну експлуатацію повітряно-шнекового сепаратора, знижує ризик травмування персоналу, покращує санітарно-гігієнічні умови праці та сприяє підвищенню ефективності виробничого процесу.

4.3 Охорона навколишнього середовища

Одним із важливих завдань сучасного агропромислового виробництва є забезпечення екологічної безпеки технологічних процесів та раціональне використання природних ресурсів. Під час післязбиральної обробки зерна необхідно враховувати вплив зерноочисного обладнання на навколишнє середовище та передбачати заходи щодо його мінімізації.

Експлуатація повітряно-шнекових сепараторів супроводжується утворенням пилу, шуму та споживанням електричної енергії. За відсутності відповідних захисних заходів ці фактори можуть негативно впливати як на довкілля, так і на здоров'я працівників. Тому під час проєктування та експлуатації обладнання необхідно приділяти значну увагу екологічним аспектам виробництва.

Основним джерелом забруднення атмосферного повітря під час очищення зерна є зерновий пил. Він утворюється в процесі переміщення та сепарації зернової маси і може потрапляти у виробничі приміщення та навколишнє середовище. Для зменшення викидів пилу в удосконаленій конструкції сепаратора доцільно використовувати герметизовані робочі камери, аспіраційні канали та

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

пиловловлювальні пристрої. Ефективне видалення пилу сприяє покращенню екологічного стану виробничої зони та прилеглих територій.

Важливим напрямком охорони довкілля є зниження енергоспоживання обладнання. Рациональне використання електроенергії дозволяє скоротити витрати ресурсів і зменшити непрямий вплив на навколишнє середовище. Запропоноване удосконалення конструкції повітряно-шнекового сепаратора спрямоване на підвищення ефективності використання повітряного потоку та зменшення енерговитрат під час роботи машини [22, 6].

Особливу увагу необхідно приділяти поводженню з відходами, які утворюються в процесі очищення зерна. До них належать полова, пил, рослинні рештки та насіння бур'янів. Залежно від складу та стану ці відходи можуть використовуватися як органічні добрива, сировина для виробництва паливних брикетів або кормових добавок. Такий підхід дозволяє зменшити обсяг відходів та забезпечити більш раціональне використання ресурсів.

Під час експлуатації обладнання необхідно запобігати потраплянню мастильних матеріалів і технічних рідин у ґрунт та водні об'єкти. Технічне обслуговування машин слід проводити на спеціально обладнаних майданчиках із твердим покриттям. Використані мастила та інші експлуатаційні матеріали повинні збиратися у спеціальні ємності та передаватися на утилізацію відповідно до встановлених вимог.

Одним із факторів впливу на навколишнє середовище є шумове забруднення. Для його зниження необхідно підтримувати обладнання у справному технічному стані, своєчасно виконувати регулювання приводів та заміну зношених деталей. Використання сучасних підшипникових вузлів і вібропоглинальних елементів сприяє зменшенню рівня шуму під час роботи сепаратора.

Важливе значення має дотримання екологічної культури виробництва. Працівники повинні бути ознайомлені з вимогами екологічної безпеки, правилами поводження з відходами та заходами щодо запобігання забрудненню навколишнього середовища. Систематичний контроль за станом обладнання та дотриманням

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.06.060 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

технологічної дисципліни сприяє зняттю негативного впливу виробництва на довкілля.

Удосконалена конструкція повітряно-шнекового сепаратора забезпечує більш ефективне очищення зерна при зменшенні втратах продукції, скороченні енергоспоживання та покращенні умов пиловловлювання. Це дозволяє підвищити не лише техніко-економічні показники роботи машини, а й рівень її екологічної безпеки.

Застосування удосконаленого повітряно-шнекового сепаратора сприяє зменшенню негативного впливу процесу очищення зерна на навколишнє середовище за рахунок скорочення пилових викидів, раціонального використання електроенергії та належного поводження з виробничими відходами. Запропоновані природоохоронні заходи забезпечують підвищення екологічної безпеки виробництва та відповідають сучасним вимогам раціонального природокористування.

					КРБ.133 Мбд_32[2].11.00.06.069 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення конструкції повітряно-шнекового сепаратора для очищення зерна. Проведений аналіз сучасних способів післязбиральної обробки зернової продукції показав, що підвищення якості очищення зернової маси є одним із важливих напрямків підвищення ефективності роботи агропромислових підприємств.

У процесі виконання роботи досліджено існуючі конструкції зерноочисних машин та повітряно-шнекових сепараторів, визначено їх переваги та недоліки. На підставі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність удосконалення конструкції сепаратора з метою підвищення ефективності процесу очищення зерна та покращення техніко-економічних показників його роботи.

Запропонована конструкція забезпечує більш рівномірний рух зернового потоку в зоні сепарації, покращує умови взаємодії зернової маси з повітряним потоком та сприяє підвищенню якості очищення. Виконані конструкторські розрахунки підтвердили працездатність і надійність запропонованих технічних рішень.

Економічна оцінка розробки показала, що вартість виготовлення удосконаленого сепаратора становить 16540 грн, а очікуваний річний економічний ефект досягає 42804,56 грн. Розрахований термін окупності складає близько 0,4 року, що свідчить про економічну доцільність впровадження розробки у виробництво.

У роботі також розглянуті питання охорони праці та охорони навколишнього середовища. Запропоновані організаційні та технічні заходи забезпечують безпечні умови праці обслуговуючого персоналу, зменшують запиленість робочої зони, скорочують енергоспоживання та знижують негативний вплив технологічного процесу на довкілля.

Отже, поставлена мета кваліфікаційної роботи досягнута, а розроблена конструкція удосконаленого повітряно-шнекового сепаратора може бути рекомендована для використання на підприємствах агропромислового комплексу, які займаються післязбиральною обробкою та підготовкою зерна до зберігання або реалізації.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.06.060 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Андрієнко О. М. Аеродинамічне очищення зернових сумішей у повітряних каналах сепараторів. Техніка та технології АПК. 2021. № 3. С. 18–24.
2. Білик С. Г., Пришляк В. М. Підвищення ефективності роботи шнекових транспортерів у зерноочисних машинах. Вісник аграрної науки. 2022. № 5. С. 62–69.
3. Вергун А. П., Кравченко С. І. Обґрунтування параметрів сепараційного каналу повітряно-шнекового сепаратора. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2023. Вип. 112. С. 45–53.
4. Гевко Р. Б., Рогатинська О. Р. Конструктивно-технологічні параметри шнекових робочих органів сільськогосподарських машин. Луцьк : Волинська обласна друкарня, 2021. 237 с.
5. Демченко О. В., Дяченко В. Ф. Технологія виготовлення спіральних елементів шнеків з листового прокату. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2022. Вип. 234. С. 88–96.
6. Загоруйко О. І., Онищенко Р. Б. Розрахунок продуктивності шнекового транспортера зерноочисного обладнання. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. 2021. Вип. 21, т. 2. С. 112–120.
7. Кісільчук В. С., Сторожук Р. П. Вибір матеріалів для виготовлення робочих органів зерноочисних машин. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2022. Вип. 52. С. 37–44.
8. Козаченко О. В. Удосконалення конструкції повітряного сепаратора для очищення зернових культур : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Харків, 2023. 163 с.
9. Лещенко С. М., Петренко Д. І. Аналіз методів розрахунку сепараційних каналів зерноочисних машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2021. Вип. 51. С. 95–104.

10. Ліщинська Л. Б., Пилипенко О. І. Основи технології машинобудування: підручник. Вінниця : ВНТУ, 2022. 296.

11. Михайлюк В. О., Сисоліна І. П. Дослідження впливу конструктивних параметрів шнека на якість сепарації зерна. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2023. № 2. С. 183–191.

12. Пастухов В. І., Волик Б. А. Механіко-технологічне обґрунтування параметрів повітряних каналів зерноочисних машин. Харків : ХНТУСГ, 2022. 198 с.

13. Пономаренко Н. О. Вдосконалення технологічних режимів роботи повітряно-шнекового сепаратора зерна. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. № 1(112). С. 30–37.

14. Сало В. М., Лузан П. Г., Богатирьов Д. В. Розробка конструкції зерноочисного сепаратора з удосконаленням шнеком. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36). С. 141–149.

15. Стрельченко Л. П., Рибалко Л. О. Охорона праці в агропромисловому комплексі. Київ : Аграрна освіта, 2021. 302 с.

16. Тарасенко Г. В., Бабич М. М. Проектування технологічних процесів виготовлення деталей сільськогосподарських машин. Полтава : ПДАА, 2022. 276 с.

17. Харченко С. А., Мовчан С. І. Моделювання повітряного потоку в сепараційних каналах зерноочисних машин. Вісник Дніпровського державного аграрно-економічного університету. 2023. № 1(55). С. 58–65.

18. Шовкун В. А., Бакум М. В. Технічне забезпечення послідовної обробки зерна. Харків : Мачулін, 2021. 189 с.

19. Ялпачик В. Ф., Буденко С. Ф., Коломієць С. М. Машини та обладнання для переробки зерна. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2022. 319 с.

					КРБ.133_Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

20. Яценко Д. О. Розробка методики підбору параметрів шнекового сепаратора для зернових сумішей різного складу. Вісник аграрної науки. Причорномор'я. 2023. Вип. 2(118). С. 101–109.

21. Яремко З. М., Тимошук С. В. Охорона праці в галузі машинобудування та агропромисловому комплексі. Львів : Афіша, 2021. 256 с.

22. Яцук О. П., Войтюк Д. Г. Екологічна безпека сільськогосподарського виробництва. Київ : Урожай, 2022. 224 с.

23. Kharchenko S., Melnyk O. Numerical simulation of airflow in grain separation channels. Journal of Agricultural Engineering. 2022. Vol. 53, No. 2. P. 112–121.

24. Petrenko V., Kovalchuk O. Design optimization of auger conveyor parameters for grain processing equipment. Biosystems Engineering. 2022. Vol. 227. P. 45–58.

25. Ravber M., Knez Ž., Škerget M. Efficiency of pneumatic grain separators: a review. Journal of Food Engineering. 2021. Vol. 291. P. 1–14.

					КРБ.133 Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КРБ.133 Мбд_32[2].11.00.00.000 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

AGRICULTURAL MACHINERY	
Year	Value
2010	100
2011	110
2012	120
2013	130
2014	140
2015	150
2016	160
2017	170
2018	180
2019	190
2020	200

