

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Механізація післязбиральної обробки ячменю з удосконаленням
системи очищення зерноочисного комплексу ЗАВ-20»

Виконав здобувач вищої освіти ІV курсу,
групи АІ-22-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____Козир Олександр Миколайович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту

доц., канд.техн.наук

_____Олександр НЕСТЕРЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доц., канд.техн.наук

_____Сергій МАГОПЕЦЬ

« ____ » _____ 2026 р.

Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Агротехнічний
Кафедра Сільськогосподарського машинобудування
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«__» _____ 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Козир Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація післязбиральної обробки ячменю з удосконаленням системи очищення зерноочисного комплексу ЗАВ-20
2. Керівник роботи Нестеренко Олександр Вікторович , к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 16.06.2026 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту) Підвищення ефективності післязбиральної обробки ячменю шляхом удосконалення системи очищення зерноочисного комплексу ЗАВ-20.
5. Перелік графічного матеріалу 1. технологічна карта – 1 арк. фА1; 2. Зерноочисний комплекс ЗАВ-20 1 арк. фА1; 3. Повітряно-решітний модуль - 2 арк ф (А1); 4. Деталювання -1 арк. фА1;.
Всього 4 аркушів формату А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-6	Нестеренко О.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділів 1, 2		
	Графічна частина арк. 1	24.03.2026 р.	
2	Виконання розділу 3		
	Графічна частина арк. 2	20.04.2026 р.	
3	Виконання розділу 4		
	Графічна частина арк. 3, 4	22.05.2026 р.	
4	Виконання розділів 5, 6	03.06.2026 р.	
5	Оформлення пояснювальної записки,		
	графічної частини, підготовка до захисту.	16.06.2026 р.	

Дата видачі завдання
«16» лютого 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
« ____ » _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____ (прізвище та ініціали)

Зміст

1. Вступ.....	5
2. Аналіз технології післязбиральної обробки ячменю.....	7
3. Операційна технологія післязбирального очищення насіння ячменю.....	15
4. Інженерна частина.....	25
5. Охорона праці.....	39
6. Висновки	42
Список використаних джерел.....	43
Додатки.....	45

					МПОЯ 00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП

Зернове господарство є однією з провідних галузей аграрного сектору України, від рівня розвитку якої значною мірою залежить продовольча безпека держави, ефективність функціонування тваринництва та експортний потенціал країни [1]. В структурі виробництва зернових культур важливе місце займає ячмінь, який використовується як цінна кормова, продовольча та сировинна культура для пивоварної промисловості. Завдяки високій адаптивності до ґрунтово-кліматичних умов, відносно короткому вегетаційному періоду та стабільному попиту на внутрішньому і зовнішньому ринках ячмінь залишається однією з найбільш поширених зернових культур в Україні.

Ефективність виробництва зерна визначається не лише рівнем урожайності, а й якістю отриманої продукції та величиною втрат на етапах її післязбиральної обробки. Після надходження від зернозбиральних комбайнів зерновий ворох містить значну кількість домішок органічного та мінерального походження, а також зерно різного ступеня стиглості, вологості та пошкодженості. Наявність домішок погіршує умови зберігання зерна, знижує його товарні та посівні якості, ускладнює подальше сушіння і призводить до додаткових матеріальних витрат [8].

Одним із найважливіших етапів післязбиральної доробки є очищення зернової маси, яке забезпечує відокремлення сторонніх включень та підготовку зерна до тривалого зберігання або подальшої переробки. Для виконання цих операцій у сільськогосподарських підприємствах широко використовуються зерноочисні агрегати та комплекси типу ЗАВ. Незважаючи на тривалий період експлуатації та достатню надійність, окремі елементи систем очищення таких комплексів не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо якості сепарації зернових сумішей, енергоефективності та зменшення втрат корисного продукту.

					МПоя 00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Козир				Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевір.	Нестеренко						Аркушів
Реценз.							5
Н. Контр.	Артеменко					ЦНТУ, гр. АІ-22-1	
Затверд.	Васильковський						
							45

Практика експлуатації зерноочисних комплексів ЗАВ-20 свідчить, що при очищенні зернового вороху, особливо за підвищеної вологості та значного вмісту легких домішок, спостерігається зниження ефективності роботи аспіраційної системи, що негативно впливає на якість очищення зерна. У зв'язку з цим актуальним завданням є вдосконалення системи очищення комплексу ЗАВ-20 з метою підвищення ефективності відокремлення домішок, покращення технологічних показників роботи та зниження експлуатаційних витрат.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності післязбиральної обробки ячменю шляхом удосконалення системи очищення зерноочисного комплексу ЗАВ-20.

					МПОЯ 00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЯЧМЕНЮ

2.1 Біологічні особливості ярого ячменю

Ярий ячмінь (*Hordeum vulgare* L.) належить до родини Тонконогові (*Poaceae*) та є однією з найдавніших культурних рослин, що вирощуються людиною [13]. Завдяки короткому вегетаційному періоду, відносній посухостійкості та високій адаптивності до різних ґрунтово-кліматичних умов він займає важливе місце серед зернових культур України.



Рис. 2.1. Загальний вигляд рослини

Біологічні особливості ярого ячменю значною мірою визначають технологію його вирощування, строки виконання польових робіт, вимоги до агротехнічних заходів та показники врожайності. Знання цих особливостей дозволяє створити оптимальні умови для росту і розвитку рослин та забезпечити отримання високоякісної зернової продукції.

Ярий ячмінь належить до холодостійких культур раннього строку сівби. Насіння починає проростати за температури ґрунту 1–3 °С, проте для одержання дружних сходів оптимальною є температура 8–12 °С [13].

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

Ярий ячмінь відноситься до культур з помірною потребою у волозі. Для проростання насіння необхідно близько 50–60 % води від його власної маси.

Ярий ячмінь досить вимогливий до родючості ґрунту. Найкращими для його вирощування є структурні чорноземи середнього механічного складу, багаті на поживні речовини та забезпечені вологою. Оптимальна реакція ґрунтового розчину знаходиться в межах рН 6,0–7,5 [2, 14].

Умови Кіровоградської області характеризуються переважанням родючих чорноземів, які є сприятливими для вирощування ярого ячменю та забезпечують можливість отримання стабільних урожаїв за умови дотримання вимог технології вирощування.

Ярий ячмінь характеризується високою інтенсивністю споживання поживних речовин протягом відносно короткого періоду вегетації. Для формування 1 т зерна та відповідної кількості побічної продукції рослини в середньому використовують 25–30 кг азоту, 10–15 кг фосфору та 20–25 кг калію [2, 14].

Важливою перевагою ярого ячменю є його технологічність та придатність до механізованого вирощування. Культура добре реагує на інтенсивні технології, забезпечує рівномірне досягання та придатна до збирання способом прямого комбайнування.

Разом з тим зерно ячменю є досить чутливим до механічних пошкоджень під час обмолоту, транспортування та післязбиральної обробки. Тому при виконанні збиральних робіт особливу увагу приділяють правильному налаштуванню робочих органів комбайнів та зерноочисних машин.

Таким чином, ярий ячмінь є високопродуктивною зерновою культурою з коротким вегетаційним періодом та значним господарським значенням. Біологічні особливості культури обумовлюють необхідність дотримання оптимальних строків сівби, забезпечення рослин вологою та поживними речовинами, а також своєчасного проведення комплексу агротехнічних заходів.

Врахування цих вимог є необхідною умовою отримання стабільних урожаїв та якісного зерна, придатного для подальшої післязбиральної обробки і зберігання.

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

2.2 Аналіз базової технології вирощування ярого ячменю

Ефективність виробництва зерна ярого ячменю значною мірою визначається рівнем дотримання агротехнічних вимог під час виконання всіх технологічних операцій. Сучасна технологія вирощування культури передбачає комплекс взаємопов'язаних заходів, спрямованих на створення оптимальних умов для росту і розвитку рослин, формування високого врожаю та забезпечення необхідних показників якості зерна.

Однією з провідних зернових культур господарства є ярий ячмінь, який вирощується на площі 70 га. Середня врожайність культури становить 35 ц/га, що забезпечує валовий збір зерна на рівні 245 т.

Природно-кліматичні умови господарства загалом сприятливі для вирощування ярого ячменю. Територія характеризується помірно континентальним кліматом з теплим літом та відносно м'якою зимою. Основними ґрунтами є чорноземи звичайні середньогумусні, які мають високий рівень природної родючості та забезпечують сприятливі умови для розвитку кореневої системи рослин.

Розміщення культури в сівозміні

Однією з важливих умов отримання стабільного врожаю є правильний вибір попередника. Ярий ячмінь добре реагує на розміщення після культур, які залишають поле чистим від бур'янів та створюють сприятливий поживний режим ґрунту [2, 3].

У господарстві ярий ячмінь розміщується після озимої пшениці. Такий попередник забезпечує можливість якісного проведення основного обробітку ґрунту, сприяє накопиченню продуктивної вологи та створює оптимальні умови для проростання насіння. Використання озимої пшениці як попередника також дозволяє раціонально розподіляти навантаження на машинно-тракторний парк господарства та забезпечувати своєчасне виконання польових робіт.

Система удобрення посівів

Для формування високого врожаю ярий ячмінь потребує достатнього забезпечення елементами живлення. Особливістю культури є інтенсивне

					МПоя 00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споживання поживних речовин протягом порівняно короткого вегетаційного періоду.

За науковими даними для формування 1 т зерна та відповідної кількості соломи рослини використовують у середньому 25–30 кг азоту, 10–15 кг фосфору та 20–25 кг калію [2, 3].

У господарстві під ярий ячмінь передбачено внесення мінеральних добрив нормою N30P45K60. Фосфорно-калійні добрива вносяться під основний обробіток ґрунту, а азотні – навесні під передпосівну культивуацію.

Застосування мінеральних добрив сприяє підвищенню польової схожості насіння, інтенсивному розвитку кореневої системи, покращенню кушення та формуванню повноцінного зерна.

Основний обробіток ґрунту

Після збирання попередника проводиться комплекс заходів щодо підготовки ґрунту до сівби ярого ячменю. Основним завданням обробітку є накопичення та збереження вологи, знищення бур'янів, покращення структури ґрунту та створення оптимального посівного ложа.

Першою операцією є лушення стерні дисковими луцильниками типу ЛДГ-10 або ЛДГ-15 на глибину 6–8 см [2, 3].



Рис. 2.2. Загальний вигляд дискової борони ЛДГ-10

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

Ця операція забезпечує підрізання бур'янів, часткове загортання післяжнивних решток та стимулює проростання насіння бур'янів для їх подальшого знищення.

Після появи сходів бур'янів виконують основний обробіток ґрунту шляхом оранки плугами ПЛН-5-35 на глибину 20–22 см. Оранка забезпечує загортання рослинних решток, покращує водно-повітряний режим та створює сприятливі умови для розвитку кореневої системи рослин [2, 3].

На окремих полях господарства можливе застосування енергозберігаючих технологій із використанням чизельного обробітку або глибокого розпушування. Такі заходи сприяють зменшенню ущільнення ґрунту та накопиченню продуктивної вологи в осінньо-зимовий період.

Передпосівний обробіток ґрунту

Навесні після досягнення фізичної стиглості ґрунту проводиться ранньовесняне боронування важкими боролами. Основною метою цієї операції є закриття вологи та руйнування ґрунтової кірки.

Безпосередньо перед сівбою виконується культивація на глибину 5–6 см з одночасним боронуванням [2, 3]. Для цього можуть використовуватись культиватори типу КПС-4. Передпосівний обробіток забезпечує вирівнювання поверхні поля, знищення проростків бур'янів та створення оптимальних умов для висіву насіння.

Підготовка насіння до сівби

Важливим елементом технології є використання якісного посівного матеріалу. Для сівби використовують насіння районованих сортів ярого ячменю, яке відповідає вимогам державних стандартів за чистотою, схожістю та енергією проростання.

Перед висівом насіння проходить очищення та калібрування. Для захисту рослин від комплексу грибкових захворювань проводиться протруювання насіння сучасними фунгіцидними препаратами.

Протруювання забезпечує захист сходів від кореневих гнилей, сажкових хвороб та інших патогенів на початкових етапах розвитку рослин.

					МПОВА 00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сівба ярого ячменю

Однією з найважливіших умов отримання високого врожаю є проведення сівби в оптимальні строки. Умови Кіровоградської області дозволяють розпочинати сівбу ярого ячменю відразу після досягнення фізичної стиглості ґрунту.

Для сівби використовуються зернові сівалки СЗ-3,6 або їх сучасні аналоги. Посів проводиться звичайним рядковим способом із шириною міжрядь 15 см.

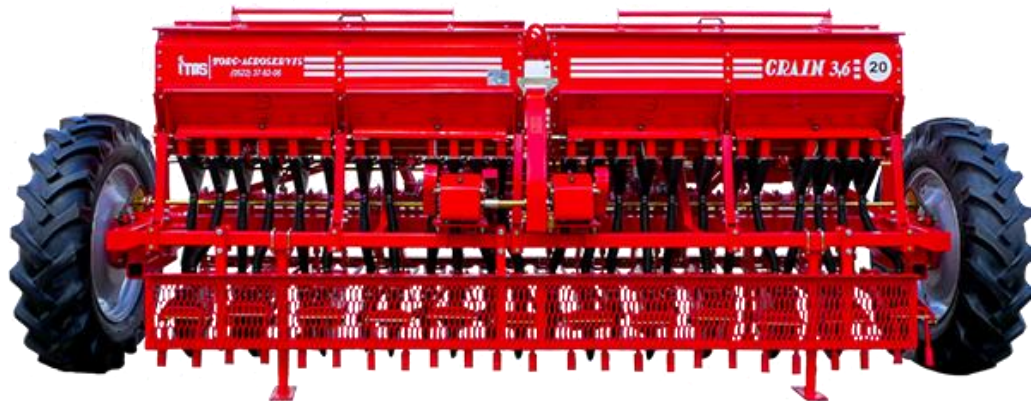


Рис. 2.3. Загальний вигляд сівалки зернотукової рядкової СЗ-3,6

Норма висіву становить 4,0–4,5 млн схожих зерен на гектар, що відповідає приблизно 180–220 кг насіння. Глибина загортання насіння залежить від вологості та механічного складу ґрунту і становить 4–6 см [2, 3].

Дотримання оптимальної густоти стояння рослин забезпечує рівномірний розвиток посівів та ефективне використання поживних речовин і води.

Догляд за посівами

Після сівби проводиться комплекс агротехнічних заходів, спрямованих на збереження води та захист рослин від бур'янів, хвороб і шкідників.

У разі недостатнього зволоження можливе проведення післяпосівного коткування кільчасто-шпоровими котками. Даний захід покращує контакт насіння з ґрунтом та сприяє більш дружному проростанню.

Для боротьби з бур'янами використовуються гербіциди вибіркової дії, які вносяться у фазі кущення рослин. При появі шкідників або ознак захворювань виконують обробку інсектицидами та фунгіцидами.

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



Рис. 2.4. Загальний вигляд котка зубчасто-шпорового КЗШ-9,2Г

Своєчасний захист посівів дозволяє зменшити втрати врожаю та забезпечити високу якість зерна.

Збирання врожаю. Збирання ярого ячменю проводиться способом прямого комбайнування при досягненні повної стиглості зерна. Оптимальна вологість зерна на момент збирання становить 14–16 % [2, 3].

Для виконання збиральних робіт у господарстві використовуються сучасні зернозбиральні комбайни класу John Deere, Claas (рис. 2.5).



Рис. 2.5 Загальний вигляд комбайна John Deere 9660

Особливу увагу приділяють налаштуванню молотильного апарата та системи очищення комбайна, оскільки зерно ячменю є відносно чутливим до механічних пошкоджень. Частота обертання молотильного барабана зазвичай підтримується в межах 500–700 об/хв, що дозволяє зменшити травмування зерна.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МП ОЯ 00.000 ПЗ

Арк.

13

Післязбиральна обробка зерна

Після збирання зернова маса транспортується на зерноочисний комплекс господарства. За врожайності 35 ц/га та площі посіву 70 га валовий збір зерна становить: $Q = 70 \cdot 3,5 = 245$ т.

Зерновий ворох, який надходить від комбайнів, містить домішки органічного та мінерального походження, а також зерно різного ступеня стиглості та вологості. Для забезпечення можливості тривалого зберігання зерно підлягає очищенню та, за необхідності, сушінню.

Післязбиральна доробка здійснюється на зерноочисному комплексі ЗАВ-20 (рис. 2.6).

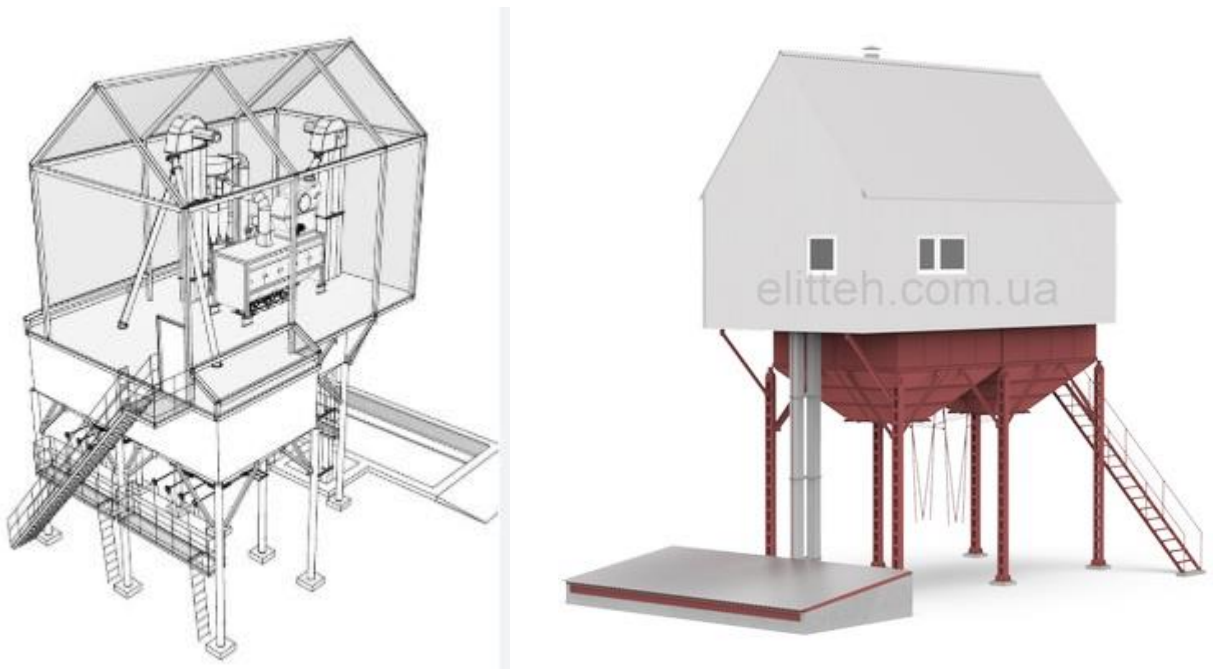


Рис. 2.6. Схема та загальний вигляд зерноочисного комплексу ЗАВ-20

Основною операцією є очищення зерна від домішок та доведення його показників до вимог стандартів. Саме від ефективності роботи зерноочисного обладнання значною мірою залежать якість готової продукції, втрати зерна та економічні результати діяльності господарства.

У зв'язку з цим особливого значення набуває вдосконалення технологічної схеми очищення зерна шляхом модернізації зерноочисного комплексу ЗАВ-20.

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

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ НАСІННЯ ЯЧМЕНЮ.

3.1 Вимоги до якості очищення ячменю та особливості його післязбиральної обробки

Якість виконання технологічного процесу очищення зерна ярого ячменю визначається дотриманням установлених агротехнічних вимог, які забезпечують отримання кондиційного зернового матеріалу з мінімальними втратами повноцінного зерна. Вимоги до посівного матеріалу, його чистоти та показників якості регламентуються чинними нормативними документами, зокрема ДСТУ 2240-93 [13].

Під час післязбиральної обробки на зерноочисний комплекс надходить зерновий ворох, який являє собою суміш зерна основної культури та різноманітних домішок органічного і мінерального походження. Допускається надходження зернової маси з вологістю до 40 %, при цьому загальний вміст сміттєвих домішок не повинен перевищувати 20 %, з яких частка соломистих включень має становити не більше 5 %.

Основним завданням попереднього очищення є видалення найбільш крупних та легких домішок, які негативно впливають на подальші операції післязбиральної доробки. Ефективність роботи обладнання на цьому етапі повинна забезпечувати видалення не менше 50 % сміттєвих домішок від їх початкової кількості [10, 11].

Після завершення попереднього очищення в зерновій масі практично не повинно залишатися довгих рослинних решток. Вміст соломистих домішок довжиною понад 50 мм допускається не більше 0,2 %, а наявність домішок довжиною понад 100 мм не допускається взагалі.

Важливим показником якості роботи зерноочисного обладнання є рівень втрат повноцінного зерна. Під час попереднього очищення кількість зерна ячменю, що потрапляє до відходів, не повинна перевищувати 0,05 % від його маси у вихідному воросі [10, 11].

					МПОВА 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

На операцію первинного очищення повинна надходити зернова суміш із вологістю не більше 18 %, а вміст сміттєвих домішок при цьому не повинен перевищувати 8 % [10, 11]. Такі показники забезпечують ефективне розділення компонентів суміші та стабільну роботу зерноочисної техніки .

Основною метою первинного очищення є доведення зернової маси до базисних кондицій, встановлених для продовольчого зерна. У випадках, коли зерно містить значну кількість важковідокремлюваних домішок, до технологічної схеми додатково включають спеціалізовані зерноочисні машини або сортувальне обладнання.

Під час виконання первинного очищення втрати повноцінного зерна ячменю разом із великими та легкими домішками не повинні перевищувати 1,5 %. Для дрібних домішок цей показник значно жорсткіший і не повинен бути більшим за 0,05 % від маси зерна, що надходить на очищення.

На вторинне очищення допускається подавати зерновий матеріал з вологістю до 18 % та вмістом сміттєвих домішок не більше 3 %. Такі умови є необхідними для забезпечення високої точності сепарації та одержання якісного насіннєвого або товарного зерна.

Після завершення вторинного очищення чистота зернового матеріалу повинна становити не менше 98 %. При цьому кількість насіння інших культурних рослин не повинна перевищувати 1,0 % від загальної маси зерна.

Відходи, які утворюються в процесі вторинного очищення, також повинні містити мінімальну кількість повноцінного зерна. Допустимі втрати насіння ячменю разом із великими, легкими та дрібними домішками не повинні перевищувати 1,0 % від маси зерна у вихідному матеріалі.

Таким чином, дотримання встановлених агротехнічних вимог на всіх етапах очищення дозволяє забезпечити високу якість зерна ярого ячменю, знизити втрати повноцінного продукту та створити необхідні умови для його тривалого зберігання або подальшого використання за призначенням.

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

3.2 Технологічний розрахунок базового та модернізованого зерноочисного комплексу

У господарстві ярий ячмінь вирощується на площі 70 га, очікувана врожайність становить 35 ц/га.

Базовим варіантом приймаємо очищення зернової маси на зерноочисному комплексі ЗАВ-20. Проектним варіантом є модернізований комплекс ЗАВ-20, у якому замість штатної зерноочисної машини встановлено два пневморешітних модулі МЗПІ-10.

3.2.1 Визначення валового збору та добового надходження зерна

Валовий збір зерна ярого ячменю визначаємо як добуток площі посіву на середню врожайність культури:

$$Q = F \cdot U, \text{т},$$

де Q – валовий збір зерна ячменю, т;

F – площа посіву, га;

U – урожайність, т/га.

$$Q = 70 \cdot 3.5 = 245 \text{ т}.$$

Отже, з площі 70 га господарство отримує орієнтовно 245 т зерна ярого ячменю, яке після збирання повинно бути своєчасно очищене та підготовлене до зберігання.

Надходження зернової маси на тік за одну добу залежить від кількості комбайнів, добової продуктивності одного комбайна та врожайності культури:

$$m_{\text{доб}} = n_k \cdot P_k \cdot U, \text{т/добу},$$

де $m_{\text{доб}}$ – маса зернової маси, що надходить на тік за добу, т/добу;

n_k – кількість комбайнів, шт.;

P_k – добова продуктивність одного комбайна, га/добу;

U – урожайність ячменю, т/га.

$$m_{\text{доб}} = 1 \cdot 20 \cdot 3,5 = 70 \text{ т/добу}.$$

Таким чином, при роботі одного зернозбирального комбайна з добовою продуктивністю 20 га на тік надходитиме близько 70 т зернового вороху за добу.

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

Саме це значення приймаємо як розрахункове добове навантаження на зерноочисний комплекс.

3.2.2. Визначення експлуатаційної продуктивності базового комплексу

Номінальна продуктивність машини не завжди відповідає фактичним умовам роботи, оскільки на процес очищення впливають культура, вологість і засміченість зернової суміші. Тому для подальших розрахунків визначаємо експлуатаційну продуктивність зерноочисного обладнання:

$$Pe = Pn \cdot Kc \cdot K1 \cdot K2, \text{т/год},$$

де Pe – експлуатаційна продуктивність зерноочисної машини, т/год;

Pn – номінальна продуктивність, т/год;

Kc – коефіцієнт, що враховує технологічні особливості культури;

$K1$ – коефіцієнт, що враховує вологість зернової маси;

$K2$ – коефіцієнт, що враховує засміченість вороху.

$$Peб = 20 \cdot 0.7 \cdot 1.0 \cdot 0.98 = 13,72 \text{ т/год}.$$

Отже, за прийнятих умов експлуатаційна продуктивність базового комплексу ЗАВ-20 при очищенні зерна ярого ячменю становить 13,72 т/год.

3.2.3 Визначення продуктивності модернізованого комплексу

У проектному варіанті передбачається встановлення двох пневморешітних модулів МЗП-10. Номінальна продуктивність одного модуля становить 10 т/год, тому сумарна номінальна продуктивність двох модулів дорівнює:

$$P_{nm0} = n_m \cdot P_m, \text{т/год},$$

$$P_{nm0} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ т/год}.$$

Пневморешітна схема очищення забезпечує попереднє видалення частини легких домішок повітряним потоком, що зменшує навантаження на решітні поверхні. У розрахунку приймаємо, що частка легких домішок у загальній масі домішок становить 30 %. Тому еквівалентну продуктивність модернізованого комплексу визначаємо з урахуванням розвантаження решітного стану:

$$P_{nm} = P_{nm0} \cdot (1 + \delta), \text{т/год},$$

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

де δ – частка легких домішок, що видаляються в зоні пневмосепарації до основного решітного очищення.

$$P_{\text{нм}} = 20 \cdot (1 + 0.3) = 26 \text{ т/год.}$$

Експлуатаційну продуктивність модернізованого комплексу визначаємо аналогічно базовому варіанту:

$$P_{\text{ем}} = 26 \cdot 0.7 \cdot 1.0 \cdot 0.98 = 17.84 \text{ т/год.}$$

Отримане значення показує, що модернізований комплекс має більшу фактичну пропускну здатність при очищенні вороху ячменю. Це пояснюється не збільшенням установленної кількості обладнання, а більш раціональною організацією процесу розділення зернової суміші.

3.2.4 Розрахунок тривалості добової обробки зернової маси

Тривалість очищення добової кількості зернового вороху визначається відношенням добової маси матеріалу до фактичної продуктивності комплексу з урахуванням коефіцієнта використання робочого часу:

$$t_{\text{доб}} = m_{\text{доб}} / (P_e \cdot K_t), \text{ год,}$$

де $t_{\text{доб}}$ – тривалість очищення добової партії зерна, год; K_t – коефіцієнт використання робочого часу.

$$t_{\text{доб.б}} = 70 / (13.72 \cdot 0.8) = 6.38 \text{ год.}$$

$$t_{\text{доб.м}} = 70 / (17.84 \cdot 0.8) = 4.91 \text{ год.}$$

Порівняння результатів показує, що модернізований комплекс дозволяє зменшити тривалість очищення добової партії зерна з 6,38 до 4,91 год. Скорочення становить 1,47 год на кожні 70 т зернового вороху.

3.2.5 Розрахунок тривалості очищення всієї партії ячменю

Для визначення загальної тривалості роботи зерноочисного комплексу розраховуємо час, необхідний для очищення всього валового збору ячменю:

$$t_{\text{заг}} = Q / (P_e \cdot K_t), \text{ год,}$$

$$t_{\text{заг.б}} = 245 / (13.72 \cdot 0.8) = 22.32 \text{ год.}$$

$$t_{\text{заг.м}} = 245 / (17.84 \cdot 0.8) = 17.17 \text{ год.}$$

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

За результатами розрахунків очищення всієї партії ячменю на базовому комплексі потребує 22,32 год, а на модернізованому – 17,17 год. Отже, використання двох пневморешітних модулів МЗП-10 дозволяє скоротити загальну тривалість післязбирального очищення на 5,15 год.

3.2.6 Визначення необхідної кількості зерноочисних машин

Необхідну кількість зерноочисних машин визначаємо за умовою забезпечення очищення добового надходження зерна протягом 10 год роботи току:

$$n = m_{\text{доб}} / (T_p \cdot P_e),$$

де n – розрахункова кількість зерноочисних машин;

T_p – тривалість роботи зерноочисного пункту за добу, год.

$$n_b = 70 / (10 \cdot 13.72) = 0.51.$$

Приймаємо для базового варіанта один зерноочисний комплекс ЗАВ-20.

$$n_m = 70 / (10 \cdot 17.84) = 0.39.$$

Для модернізованого варіанта також достатньо одного комплексу ЗАВ-20, обладнаного двома модулями МЗП-10. Розрахунковий запас продуктивності забезпечує можливість своєчасної обробки зерна навіть при нерівномірному надходженні зерна протягом доби.

3.2.7 Розрахунок маси порції зерна в оперативному бункері

Для узгодження роботи приймального, транспортуючого та очисного обладнання визначаємо масу порції зернового матеріалу, яка перебуває в оперативному бункері. Час перебування матеріалу в бункері приймаємо 0,6 год.

$$P_m = (m_{\text{доб}} \cdot \tau) / 24, \text{ т},$$

де P_m – маса порції матеріалу в оперативному бункері, т;

τ – час перебування зерна в бункері, год.

$$P_m = (70 \cdot 0.6) / 24 = 1.75 \text{ т}.$$

Таким чином, у процесі роботи в оперативному бункері перебуває приблизно 1,75 т зернової маси. Це значення використовується для визначення тривалості одного циклу обробки.

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

3.2.8 Розрахунок часу обробки однієї порції зерна

Час обробки однієї порції зерна визначаємо як відношення маси порції до експлуатаційної продуктивності зерноочисного комплексу:

$$t_{ц} = P_{м} / P_{е}, \text{ год},$$

$$t_{ц.б} = 1.75 / 13.72 = 0.128 \text{ год} = 7.65 \text{ хв.}$$

$$t_{ц.м} = 1.75 / 17.84 = 0.098 \text{ год} = 5.89 \text{ хв.}$$

Час обробки однієї порції зерна на базовому комплексі становить 7,65 хв, а на модернізованому – 5,89 хв. Це свідчить про підвищення інтенсивності процесу очищення за рахунок застосування пневморешітних модулів.

3.2.9 Визначення часу на обслуговування зерноочисного обладнання

До часу обслуговування зерноочисної машини включають витрати часу на завантаження, вивантаження домішок та вивантаження очищеного зерна. Загальний час обслуговування визначаємо за формулою:

$$t_{обс} = t_{зав} + t_{д} + t_{ч.з}, \text{ с},$$

де $t_{зав}$ – час завантаження зерноочисної машини, с;

$t_{д}$ – час вивантаження домішок, с;

$t_{ч.з}$ – час вивантаження очищеного зерна, с.

$$t_{обс} = 48 + 16 + 32 = 96 \text{ с.}$$

Для оцінки завантаження оператора визначаємо частку часу, необхідну для обслуговування машини протягом одного циклу:

$$K_{пр} = t_{обс} / (3600 \cdot t_{ц}),$$

$$K_{пр.б} = 96 / (3600 \cdot 0.128) = 0.21.$$

$$K_{пр.м} = 96 / (3600 \cdot 0.098) = 0.27.$$

Оскільки отримані значення менші одиниці, для обслуговування як базового, так і модернізованого комплексу приймаємо одного оператора.

3.2.10 Розрахунок витрат праці

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

Витрати праці визначаємо за тривалістю очищення всієї партії зерна та кількістю обслуговуючого персоналу:

$$T_{\text{п}} = t_{\text{заг}} \cdot n_{\text{п, люд}} \cdot \text{год},$$

де $T_{\text{п}}$ – витрати праці, люд·год; $t_{\text{заг}}$ – загальна тривалість очищення партії зерна, год; $n_{\text{п}}$ – кількість працівників, чол.

$$T_{\text{п.б}} = 22.32 \cdot 1 = 22.32 \text{ люд} \cdot \text{год}.$$

$$T_{\text{п.м}} = 17.17 \cdot 1 = 17.17 \text{ люд} \cdot \text{год}.$$

Економія витрат праці при використанні модернізованого комплексу:

$$\Delta T_{\text{п}} = 22.32 - 17.17 = 5.15 \text{ люд} \cdot \text{год}.$$

Отже, модернізація зерноочисного комплексу дозволяє зменшити витрати праці на 5,15 люд·год при очищенні партії зерна ячменю масою 245 т.

3.2.11 Розрахунок витрат електроенергії

Питомі витрати електроенергії на очищення 1 т зернової маси визначаються як відношення потужності електродвигунів до експлуатаційної продуктивності комплексу:

$$B_{\text{п}} = N / P_{\text{е}}, \text{кВт} \cdot \text{год/т},$$

де $B_{\text{п}}$ – питомі витрати електроенергії, кВт·год/т;

N – потужність електродвигунів робочого обладнання, кВт;

$P_{\text{е}}$ – експлуатаційна продуктивність комплексу, т/год.

$$B_{\text{п.б}} = 7.4 / 13.72 = 0.539 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}.$$

$$B_{\text{п.м}} = 8.8 / 17.84 = 0.493 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}.$$

Загальні витрати електроенергії на очищення всієї партії зерна:

$$B_{\text{заг}} = B_{\text{п}} \cdot Q, \text{кВт} \cdot \text{год},$$

$$B_{\text{заг.б}} = 0.539 \cdot 245 = 132.1 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

$$B_{\text{заг.м}} = 0.493 \cdot 245 = 120.9 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Різниця витрат електроенергії становить:

$$\Delta B = 132.1 - 120.9 = 11.3 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

					МП ОЯ 00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Незважаючи на дещо більшу встановлену потужність модернізованого варіанта, питомі витрати електроенергії зменшуються завдяки підвищенню продуктивності.

3.2.12 Комплект обладнання для післязбирального очищення ячменю

За результатами розрахунків для забезпечення післязбиральної обробки зерна ярого ячменю приймаємо модернізований зерноочисний комплекс ЗАВ-20, у складі двох пневморешітних модулів МЗП-10 (рис. 3.2).

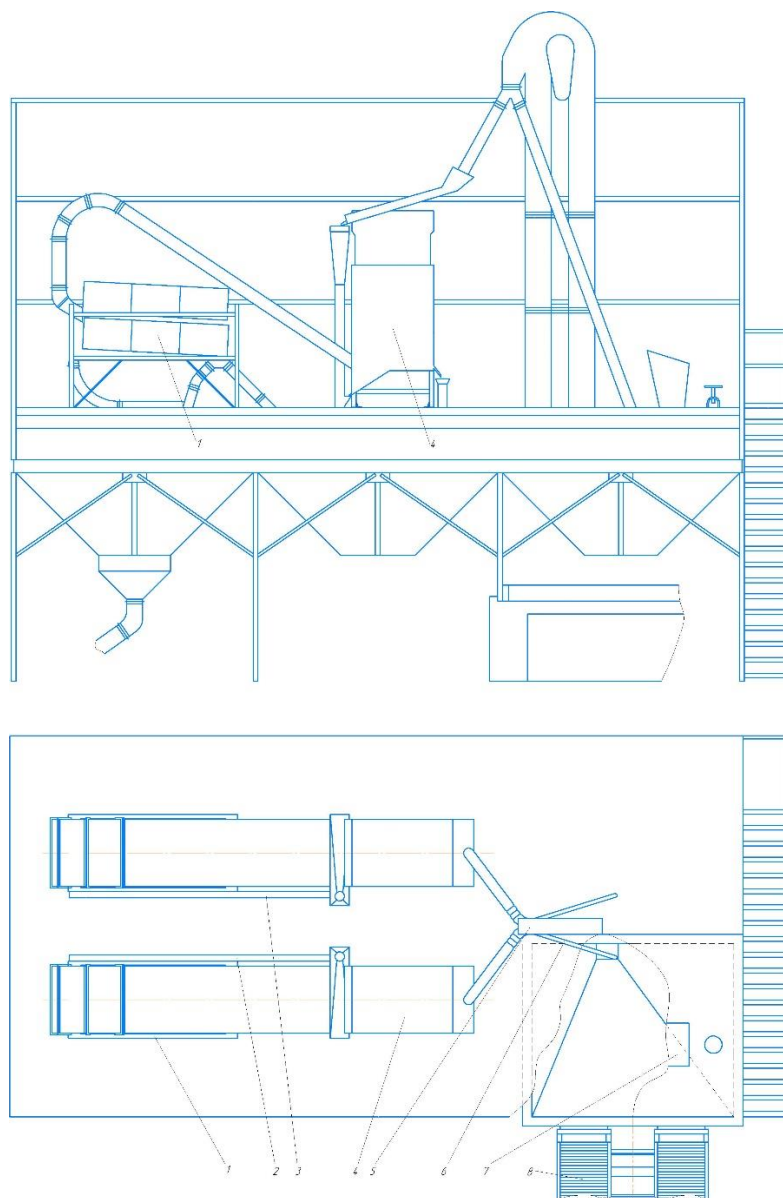


Рис. 3.1. Модернізований зерноочисний комплекс ЗАВ-20

1.- Блок трієрний; 2,3-Транспортери передаточні; 4-Повітряно-решітний модуль МЗП-10; 5-Транспортер ковшовий (норія); 6-Комплект зернопроводів; 7-Пульт керування; 8-Автомобілерозвантажувач

					МП ОЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Комплект обладнання для післязбирального очищення ячменю

Таблиця 3.1

№ п/п	Назва обладнання	Марка	Кількість, шт.
1	Автомобілерозвантажувач	ГАП-2Ц	1
2	Норія зернова	НЗ-20	1
3	Пневморешітний модуль	МЗПІ-10	2
4	Блок трієрний	ЗАВ-10.90.000	1
5	Передавальний транспортер	ЗАВ-10.50.000В	1
6	Транспортер відходів	ЗД-40.000	1
7	Бункер чистого зерна	ЗАВ-20	1
8	Пульт керування очисного агрегату	ШАИ-5919-13А3	1

3.2.14 Висновок за результатами технологічного розрахунку

Проведені розрахунки показали, що при площі посіву ярого ячменю 70 га та врожайності 3,5 т/га валовий збір зерна в господарстві становить 245 т. За умови роботи одного зернозбирального комбайна з добовою продуктивністю 20 га на тік за добу надходить близько 70 т зернового вороху.

Експлуатаційна продуктивність базового зерноочисного комплексу ЗАВ-20 становить 13,72 т/год. Для модернізованого комплексу із двома пневморешітними модулями МЗПІ-10 фактична продуктивність з урахуванням інтенсифікації пневморешітного очищення становить 17,84 т/год.

Застосування модернізованого комплексу дозволяє скоротити час очищення добової партії зерна з 6,38 до 4,91 год, а загальну тривалість очищення всієї партії – з 22,32 до 17,17 год. Економія витрат праці становить 5,15 люд·год, а зменшення витрат електроенергії – 11,3 кВт·год на всю партію зерна.

Отримані результати підтверджують доцільність удосконалення зерноочисного комплексу ЗАВ-20 шляхом встановлення двох пневморешітних модулів МЗПІ-10. Запропоноване технічне рішення забезпечує підвищення технологічної ефективності післязбирального очищення ярого ячменю без збільшення кількості обслуговуючого персоналу та з покращенням енергетичних показників процесу.

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

4. Інженерна частина

4.1. Опис пневмо-решітного модуля зерноочисної машини МЗПІ-10 та обґрунтування напрямків його удосконалення

Для реалізації технологічного процесу очищення зернових сумішей у модернізованому зерноочисному комплексі запропоновано використання повітряно-решітного блоку зерноочисної машини МЗПІ-10 (рис. 4.1) [16].

- повітряно-решітного сепараційного блока.

Його робота базується на використанні відмінностей між компонентами зернової суміші за аеродинамічними характеристиками та геометричними розмірами.

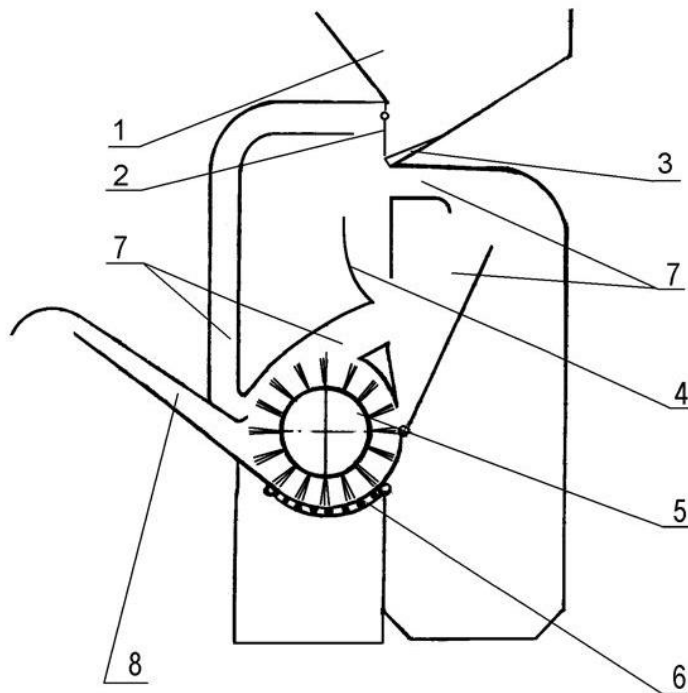


Рис. 4.1. Схема технологічного процесу повітряно-решітного модуля зерноочисної машини МЗПІ-10.

Повітряна система машини функціонує за принципом рециркуляції повітря та включає два послідовно розташовані аспіраційні канали -похилий та вертикальний [16]. Така схема забезпечує двоетапне видалення легких домішок і дозволяє підвищити ефективність очищення зернового матеріалу.

Технічна характеристика представлена в табл. 4.1.

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

Таблиця 4.1

Технічна характеристика повітряно-решітного модуля МЗПІ-10

Найменування	Одиниці виміру	Значення
1	2	3
Марка	-	МЗПІ-10
Продуктивність при попередньому очищенні зерна вологістю до 20% та вмістом домішок до 20%	т/год	10
Сумарна встановлена потужність	кВт	3,7
Маса машини	кг	120
Габаритні розміри в робочому положенні:		
довжина	мм	3280
висота	мм	2850
ширина	мм	4500
Кількість живильників	шт	2
Тип живильників	-	шнекові

Формування повітряного потоку здійснюється роторним робочим органом, який одночасно виконує декілька функцій: створює необхідне розрідження в аспіраційній системі, забезпечує транспортування очищеного матеріалу та сприяє відокремленню легких домішок від основного зерна.

До складу повітряно-решітного блока входять приймальний бункер, дозувальний пристрій, розподільний механізм, регулювальна заслінка, ротор з лопатками, решітна поверхня, система аспіраційних каналів та вивантажувальний пристрій інерційного типу.

Технологічний процес відбувається таким чином. Зерновий ворох за допомогою шнекових живильників надходить до ковшового елеватора, після чого подається на решітну поверхню. У процесі проходження через решето із зернової маси видаляються великі домішки, які не проходять крізь отвори решіт. Основний потік матеріалу надходить до зони подальшого очищення.

Під час руху зернового матеріалу через сепараційний блок він двічі піддається впливу повітряного потоку.

Це забезпечує видалення пилу, полови, щуплого зерна та інших легких домішок. Лопатки ротора надають матеріалу додаткового прискорення, забезпечуючи рівномірний розподіл зернової маси по ширині решітної поверхні

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

та покращуючи умови сепарації. Дрібні домішки проходять через отвори решета та накопичуються в окремому приймальному відсіку. Очищене зерно після завершення процесу сепарації виводиться за межі машини через розвантажувальний кожух.

Аналіз конструкції та особливостей функціонування МЗП-10 свідчить про достатньо високий рівень технологічної досконалості машини. Поєднання аспіраційного очищення та решітної сепарації забезпечує ефективне видалення більшості домішок за один прохід зернового матеріалу через машину [16].

Разом із тим дослідження роботи аспіраційної системи показують наявність певних конструктивних недоліків. А саме, досить висока швидкість потрапляння зерна у вертикальний канал по причині того, що воно не затримується після сепарації в похилому каналі, а падає вертикально вниз по лотку. При цьому, швидкість введення досягає до 2 м/с, хоча найбільш раціональна швидкість введення зерна в вертикальний канал 0,4...0,5 м/с

4.1.1 Обґрунтування напрямку вдосконалення повітряно-решітного блоку

Під час роботи повітряно-решітного блоку зернова суміш послідовно проходить декілька зон обробки. Спочатку матеріал піддається дії повітряного потоку в похилому пневмосепарувальному каналі, де відокремлюється частина легких домішок. Після цього зерновий матеріал спрямовується до вертикального пневмосепарувального каналу, а вже після проходження цієї зони надходить на дугоподібне пруткове решето для подальшого розділення за геометричними ознаками.

Аналіз траєкторії руху зернової маси показав, що після виходу з похилого каналу матеріал практично без затримки переміщується вниз по лотку і надходить у вертикальний канал із підвищеною швидкістю. За рахунок вільного падіння та відсутності гальмівних елементів швидкість введення зернової суміші в зону вертикальної пневмосепарації може досягати близько 2 м/с.

Такий режим подачі не є раціональним для якісного аеродинамічного розділення. При надмірній швидкості зернового потоку зменшується час перебування окремих частинок у зоні дії повітряного потоку, унаслідок чого

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

легкі домішки, щупле зерно та частинки полови не завжди встигають відхилитися від основної траєкторії руху. Це знижує повноту їх видалення і погіршує якість очищення ячменю.

Найбільш доцільною швидкістю введення зернового матеріалу у вертикальний пневмосепараційний канал є $0,4...0,5$ м/с [8, 18]. За такого режиму забезпечується більш тривала взаємодія зернової суміші з повітряним потоком, покращуються умови відокремлення легких домішок і підвищується ефективність роботи аспіраційної системи.

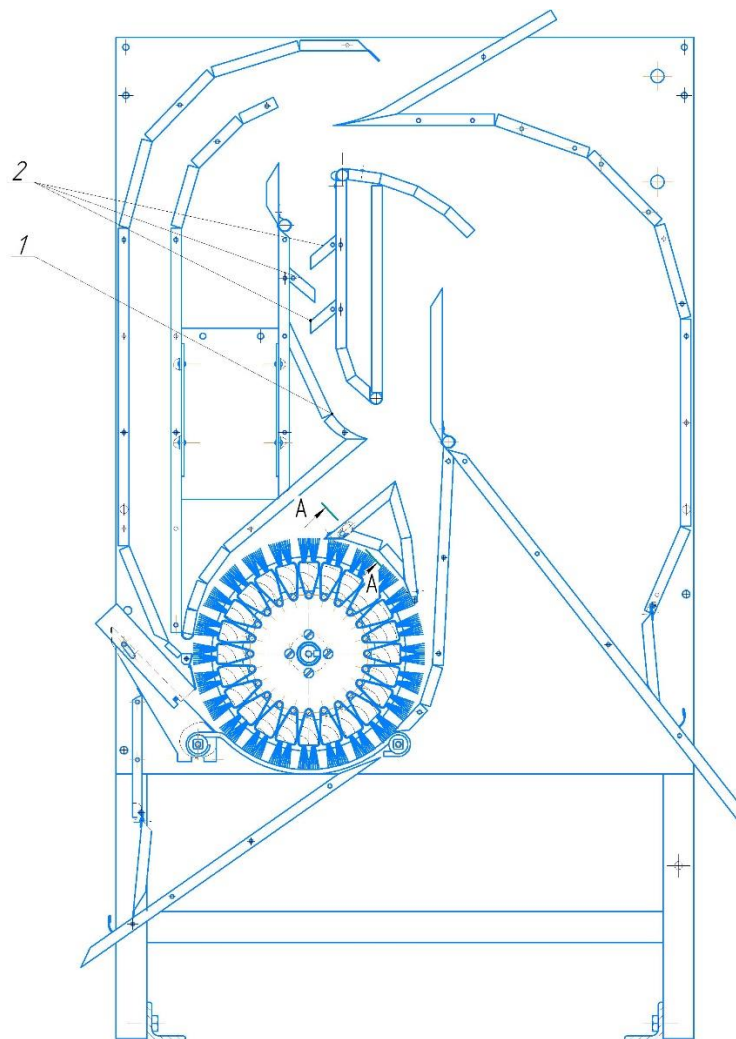


Рис. 4.3. Схема удосконаленого повітряно-решітного блоку

1- напрямний лоток для введення зернового матеріалу в вертикальний канал; 2 -додаткові лотки для сповільнення руху зерна.

Для усунення виявленого недоліку запропоновано встановити в зоні переходу зернового матеріалу від похилого каналу до вертикального пневмосепарувального каналу систему напрямних елементів.

					МПОЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

До її складу входить напрямний лоток 1 для введення зернового матеріалу у вертикальний канал та додаткові лотки 2, призначені для сповільнення руху зерна.

Запропоновані лотки змінюють характер руху зернової маси: замість прямого падіння вниз матеріал послідовно взаємодіє з похилими поверхнями, втрачає частину кінетичної енергії та надходить у вертикальний канал із меншою швидкістю. При цьому зерновий потік стає більш рівномірним, що позитивно впливає на стабільність пневмосепарації.

Встановлення напрямного лотка 1 дозволяє організовано подати зернову суміш у вертикальний канал і зменшити її локальне скупчення біля однієї стінки каналу.

Додаткові лотки 2 виконують роль гальмівних та розподільчих елементів, завдяки чому швидкість введення матеріалу наближається до раціонального діапазону 0,4...0,5 м/с.

Зниження швидкості подачі зерна у вертикальний пневмосепараційний канал сприяє збільшенню часу перебування матеріалу в зоні дії повітряного потоку. Це створює кращі умови для виділення легких домішок із зернової маси ячменю та забезпечує більш ефективну роботу наступного дугоподібного пруткового решета, оскільки на нього надходить попередньо краще підготовлений і частково очищений матеріал.

Таким чином, запропоноване вдосконалення спрямоване на покращення режиму введення зернової суміші у вертикальний пневмосепараційний канал.

Його реалізація не потребує значної зміни базової конструкції МЗПІ-10, але дозволяє знизити швидкість руху зерна перед вертикальною аспірацією, збільшити тривалість дії повітряного потоку на компоненти суміші та підвищити якість очищення насіння ячменю.

					МПОЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

4.2 Технологічні розрахунки удосконаленого повітряно-решітного блока

Метою технологічного розрахунку є визначення основних параметрів повітряно-решітного блока сепаратора МЗП-10 при очищенні зерна ярого ячменю продуктивністю 10 т/год. Розрахунки виконано для умов, за яких зерновий матеріал має вологість 16 %, початкову засміченість 12 %, а необхідна ефективність видалення домішок становить не менше 60 %.

За результатами аналізу роботи базового блока встановлено, що якість сепарації значною мірою залежить від швидкості введення зернової суміші у пневмосепарувальні канали. Тому в розрахунку основну увагу приділено параметрам завантажувального бункера, напрямних лотків, вертикального каналу.

Вихідні дані до технологічного розрахунку

Таблиця 4.1

Показник	Значення
Продуктивність сепаратора, Q	10 т/год
Ефективність очищення, η	не менше 60 %
Початкова засміченість зернової маси	12 %
Вологість зерна ячменю	16 %
Рациональна швидкість введення зерна в канал	0,4...0,5 м/с
Прийнята швидкість введення, v_1	0,45 м/с
Ширина вертикального каналу, B	960 мм
Глибина вертикального каналу, C	120 мм
Висота вертикального каналу, H	280 мм
Швидкість повітряного потоку, $V_{\text{пов}}$	7,5 м/с
Кількість додаткових лотків	3 шт.
Кут встановлення додаткових лотків	18°
Насипна густина зерна ячменю, ρ	650 кг/м ³
Товщина матеріалу лотка	0,55 мм
Матеріал лотка	оцинкована тонколистова сталь
Частота обертання електродвигуна	2800 об/хв
Частота обертання ротора	1460 об/хв

За продуктивності сепаратора 10 т/год і початковій засміченості 12 % маса домішок у вихідному матеріалі становить:

$$G_d = Q \cdot \delta_0 \quad (4.1)$$

$$G_d = 10 \cdot 0,12 = 1.20 \text{ т/год}$$

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

За умови забезпечення ефективності очищення не менше 60 % кількість домішок, що мають бути видалені з зернового матеріалу, визначається за формулою:

$$G_{\text{в}} = G_{\text{д}} \cdot \eta \quad (4.2)$$

$$G_{\text{в}} = 1.20 \cdot 0,60 = 0.72 \text{ т/год}$$

Після очищення у зерновій масі залишається така кількість домішок:

$$G_{\text{з}} = G_{\text{д}} - G_{\text{в}} \quad (4.3)$$

$$G_{\text{з}} = 1.20 - 0.72 = 0.48 \text{ т/год}$$

З урахуванням видалення частини домішок продуктивність по очищеному потоку становитиме:

$$Q_{\text{оч}} = Q - G_{\text{в}} \quad (4.4)$$

$$Q_{\text{оч}} = 10 - 0.72 = 9.28 \text{ т/год}$$

Орієнтовна залишкова засміченість після проходження зерна через повітряно-решітний блок дорівнює:

$$\delta_{\text{оч}} = (G_{\text{з}} / Q_{\text{оч}}) \cdot 100 \quad (4.5)$$

$$\delta_{\text{оч}} = (0.48 / 9.28) \cdot 100 = 5.17 \%$$

Отримане значення показує, що запропоноване вдосконалення має бути спрямоване не лише на формальне видалення частини домішок, а й на підвищення стабільності взаємодії зернового потоку з повітрям у каналах.

4.2.1 Розрахунок параметрів бункера-живильника

Для якісного розділення зернової суміші в пневмосепарувальному каналі швидкість введення матеріалу повинна бути в межах 0,4...0,5 м/с [8].

Швидкість руху зерна в кінці напрямного лотка визначаємо за залежністю:

$$v_1 = \sqrt{2 g L_{\text{б}} (\sin \alpha_{\text{б}} - f \cos \alpha_{\text{б}}) + v_0^2} \quad (4.6)$$

Звідси довжина прямолінійної ділянки днища бункера-живильника становитиме:

$$L_{\text{б}} = (v_1^2 - v_0^2) / (2 g (\sin \alpha_{\text{б}} - f \cos \alpha_{\text{б}})) \quad (4.7)$$

$$L_{\text{б}} = (0,2 - 0,01) / (2 \cdot 9,81 \cdot (\sin 40^\circ - 0,5 \cos 40^\circ)) = 0.040 \text{ м}$$

					МПоя 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

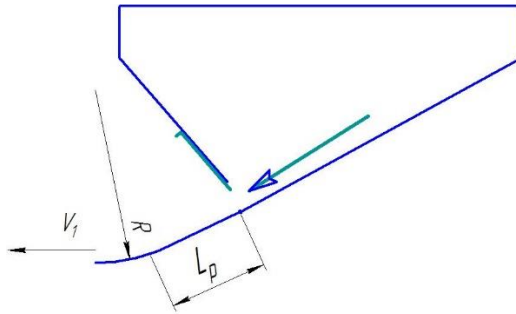


Рис. 4.4. Схема до визначення основних параметрів бункера сепаратора

Розрахункова довжина прямої ділянки становить 40 мм. З урахуванням конструктивного розміщення в бункері приймаємо довжину прямолінійної ділянки $L_p = 40$ мм. Таке значення забезпечує швидкість введення зерна близьку до 0,45 м/с.

Для плавної зміни напрямку руху матеріалу на виході з бункера передбачаємо дугоподібну напрямну. Її радіус визначаємо з умови обмеження нормального прискорення зерна на криволінійній ділянці не більше 0,3g:

$$R \geq v_1^2 / (0,3 g) \quad (4.8)$$

$$R \geq 0,2 / (0,3 \cdot 9,81) = 0.069 \text{ м}$$

За результатами розрахунку та з урахуванням можливості виготовлення приймаємо радіус прямої введення $R_b = 80$ мм.

Визначення товщини шару зерна на напрямних лотках

Товщина шару зернового матеріалу на лотку визначається з рівняння об'ємної подачі. Для продуктивності 10 т/год масова витрата зерна становить 10000 кг/год, або 2,78 кг/с. Товщину шару визначаємо за формулою:

$$h_z = Q / (3600 \cdot \rho \cdot B \cdot v) \quad (4.9)$$

$$h_z = 10000 / (3600 \cdot 650 \cdot 0,96 \cdot 0,45) = 0.001 \text{ м}$$

Отже, товщина шару зерна на напрямному лотку становить приблизно 10 мм. Для подальших розрахунків приймаємо $h_z = 10$ мм. Це значення відповідає питомому навантаженню при продуктивності 10 т/год і ширині каналу 960 мм.

4.2.2 Розрахунок параметрів додаткових лотків

Після проходження першого пневмосепараційного каналу зерно потрапляє до зони введення у вертикальний канал. Для запобігання надмірному розгону зернової маси передбачено встановлення трьох додаткових лотків.

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

Початкова швидкість зерна перед системою лотків приймається $v_2 = 0,60$ м/с, кінцева швидкість перед входом у вертикальний канал – $v_5 = 0,45$ м/с.

Оскільки кут встановлення лотків $\alpha_{\text{л}} = 18^\circ$ менший за кут тертя для прийнятого коефіцієнта $f = 0,5$, рух матеріалу по лотку відбувається зі сповільненням.

Довжину кожного лотка визначаємо з рівняння:

$$L_i = (v_{i+1}^2 - v_i^2) / (2 g (\sin \alpha_{\text{л}} - f \cos \alpha_{\text{л}})) \quad (4.10)$$

Для рівномірного зменшення швидкості приймаємо послідовну зміну швидкості: 0,60; 0,55; 0,50; 0,45 м/с.

$$L_1 = (0,55^2 - 0,60^2) / (2 \cdot 9,81 \cdot (\sin 18^\circ - 0,5 \cos 18^\circ)) = 0,018 \text{ м}$$

$$L_2 = (0,50^2 - 0,55^2) / (2 \cdot 9,81 \cdot (\sin 18^\circ - 0,5 \cos 18^\circ)) = 0,016 \text{ м}$$

$$L_3 = (0,45^2 - 0,50^2) / (2 \cdot 9,81 \cdot (\sin 18^\circ - 0,5 \cos 18^\circ)) = 0,015 \text{ м}$$

Розрахункові довжини додаткових лотків становлять відповідно 18, 16 та 15 мм. З урахуванням конструктивного обмеження, згідно з яким довжина одного лотка не повинна перевищувати 50 мм, приймаємо такі робочі довжини лотків: $L_1 = 18$ мм, $L_2 = 16$ мм, $L_3 = 15$ мм.

Конструктивна довжина заготовки лотка з урахуванням відбортовки та кріплення може становити до 50 мм.

Прийнята схема дозволяє поступово знизити швидкість руху зернового матеріалу до раціонального значення 0,45 м/с перед його введенням у вертикальний пневмосепараційний канал.

Перед входом у вертикальний канал встановлюється напрямний лоток, призначений для стабілізації потоку зернової суміші та її організованого введення в зону дії повітряного потоку. Кут нахилу напрямного лотка приймаємо таким самим, як і для додаткових гальмівних елементів, тобто $\alpha_n = 18^\circ$.

Радіус напрямної введення приймається за умовою обмеження нормального прискорення зернової маси на криволінійній ділянці:

$$R_n \geq v_5^2 / (0,3 g) \quad (4.11)$$

					МПОЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$R_n \geq 0,45 / (0,3 \cdot 9,81) = 0.069 \text{ м}$$

Приймаємо радіус прямої введення $R_n = 80$ мм. Такий радіус забезпечує плавну зміну траєкторії руху зерна без додаткового розгону та без утворення локального ущільнення шару матеріалу біля стінки каналу.

4.2.3. Обґрунтування параметрів вертикального пневмоканалу

Вертикальний пневмосепараційний канал призначений для повторного виділення легких домішок із зернової суміші. Його геометричні параметри повинні забезпечувати необхідну пропускну здатність та рівномірний розподіл повітряного потоку по робочому перерізу.

Ширину каналу приймаємо відповідно до ширини робочої частини повітряно-решітного блока:

$$B = 960 \text{ мм} = 0,96 \text{ м}$$

Глибину каналу приймаємо конструктивно:

$$C = 120 \text{ мм} = 0,12 \text{ м}$$

Висота вертикального каналу становить:

$$H = 280 \text{ мм} = 0,28 \text{ м}$$

Площа поперечного перерізу вертикального каналу дорівнює:

$$S = B \cdot C \quad (4.12)$$

$$S = 0,96 \cdot 0,12 = 0.1152 \text{ м}^2$$

Питоме навантаження на площу поперечного перерізу каналу визначається за формулою:

$$qF = Q / (B_{\text{дм}} \cdot C_{\text{дм}}) \quad (4.13)$$

$$qF = 10000 / (9,6 \cdot 1,2) = 868 \text{ кг}/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$$

Питоме навантаження на одиницю ширини каналу становить:

$$qB = Q / B_{\text{дм}} \quad (4.14)$$

$$qB = 10 / 9,6 = 1.04 \text{ т}/(\text{дм} \cdot \text{год})$$

Отримане значення не перевищує рекомендованого для вдосконаленого способу введення зерна рівня $1,1 \text{ т}/(\text{дм} \cdot \text{год})$, тому прийнята ширина каналу є достатньою для забезпечення продуктивності $10 \text{ т}/\text{год}$.

					МПоя 00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2.4 Визначення витрати повітря в пневмоканалах

Витрату повітря у вертикальному каналі визначаємо за площею його поперечного перерізу та прийнятою швидкістю повітряного потоку. Для ячменю приймаємо $V_{пов} = 7,5$ м/с.

$$W = S \cdot V_{пов} \quad (4.15)$$

$$W = 0.1152 \cdot 7,5 = 0.864 \text{ м}^3/\text{с}$$

Отже, для забезпечення розрахункового режиму роботи вертикального пневмосепарувального каналу необхідна витрата повітря становить $0,86 \text{ м}^3/\text{с}$.

Оскільки повітряно-решітний модуль працює за принципом замкненої циркуляції повітря, для ділянок пневмосистеми виконується рівняння нерозривності потоку:

$$S1 \cdot V1 = S2 \cdot V2 = W = \text{const} \quad (4.16)$$

Для першого горизонтального каналу приймаємо ширину $B2 = 0,96$ м. За умови збереження витрати повітря $W = 0,864 \text{ м}^3/\text{с}$ та швидкості повітря $7,5$ м/с глибина каналу становить:

$$C2 = W / (B2 \cdot V2) \quad (4.17)$$

$$C2 = 0.864 / (0,96 \cdot 7,5) = 0.120 \text{ м}$$

Таким чином, для першого горизонтального каналу приймаємо ширину 960 мм і глибину 120 мм. Такі параметри забезпечують сталість повітряного потоку в системі та узгоджуються з розмірами вертикального каналу.

4.3 Кінематичний розрахунок приводу повітряно-решітного модуля

Кінематичний розрахунок виконується для приводу ротора повітряно-решітного модуля. Вихідними даними є частота обертання вала електродвигуна $n_1 = 2800$ об/хв та необхідна частота обертання вала ротора $n_2 = 1460$ об/хв.

Передаточне відношення клинопасової передачі визначаємо за формулою:

$$i = n1 / n2 \quad (4.18)$$

$$i = 2800 / 1460 = 1.92$$

					МПОЯ 00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

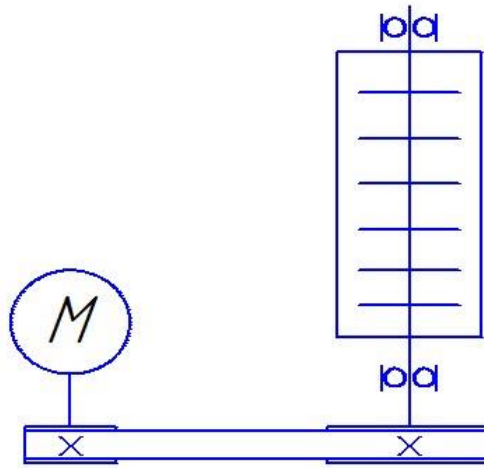


Рис.4.5 Кінематична схема приводу валу лопатевого ротора сепаратора

Отже, клинопасова передача повинна забезпечувати передаточне відношення $i \approx 1,92$. При виборі діаметрів шківів можна прийняти діаметр ведучого шківів $D1 = 90$ мм. Тоді діаметр веденого шківів становитиме:

$$D2 = i \cdot D1 \quad (4.19)$$

$$D2 = 1.92 \cdot 90 = 173 \text{ мм}$$

З конструктивних міркувань приймаємо ведений шків стандартного діаметра $D2 = 170$ мм. У цьому разі фактична частота обертання ротора становитиме:

$$n_{2\phi} = n_1 \cdot D1 / D2 \quad (4.20)$$

$$n_{2\phi} = 2800 \cdot 90 / 170 = 1482 \text{ об/хв}$$

Отримане значення близьке до заданої частоти обертання ротора 1460 об/хв і може бути прийняте для подальшого конструювання приводу.

4.4 Розрахунок на міцність напрямного лотка

Додатковий лоток виготовляється з оцинкованої тонколистової сталі товщиною 0,55 мм. Його ширина дорівнює ширині каналу $B = 960$ мм. Конструктивна довжина заготовки лотка приймається 50 мм. Кріплення лотка до боковин каналу здійснюється заклепками.

Розрахунок виконуємо для найнавантаженого випадку, коли на лотку одночасно знаходиться шар зерна товщиною 10 мм.

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

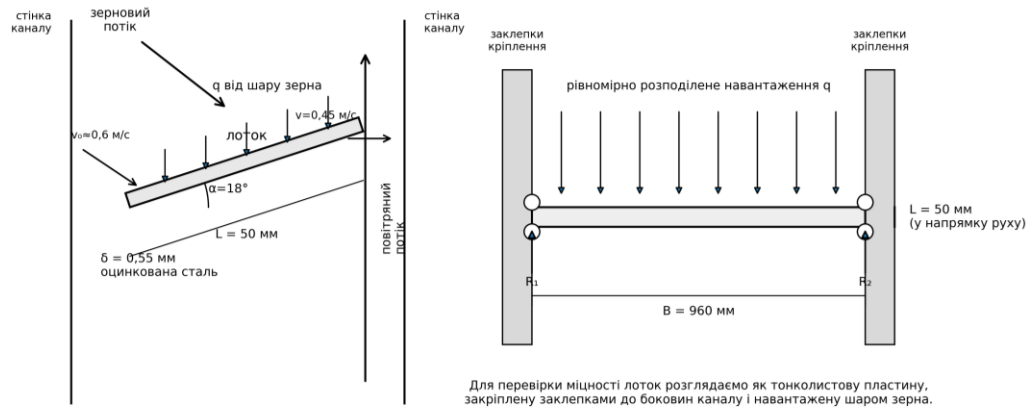


Рис.4.6 – Розрахункова схема додаткового напрямного лотка

Об'єм зерна на одному лотку визначаємо за формулою:

$$V_3 = B \cdot L \cdot h_3 \quad (4.21)$$

$$V_3 = 0,96 \cdot 0,05 \cdot 0.0099 = 0.000475 \text{ м}^3$$

Маса зерна на лотку:

$$m_3 = \rho \cdot V_3 \quad (4.22)$$

$$m_3 = 650 \cdot 0.000475 = 0.309 \text{ кг}$$

Сила ваги зерна, яка діє на лоток:

$$G_3 = m_3 \cdot g \quad (4.23)$$

$$G_3 = 0.309 \cdot 9,81 = 3.03 \text{ Н}$$

З урахуванням закріплення лотка по боковинах каналу розрахункову схему приймаємо у вигляді балки, шарнірно опертої по краях. Максимальний згинальний момент при рівномірному навантаженні:

$$M_{max} = q \cdot l^2 / 8 \quad (4.24)$$

$$M_{max} = 3.15 \cdot 0,96^2 / 8 = 0.363 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для підвищення жорсткості лоток доцільно виконувати з відбортовкою висотою 10 мм. Розрахунковий момент опору такого перерізу становить:

$$W_x = 3.55e - 08 \text{ м}^3$$

Напруження згину визначаємо за формулою:

$$\sigma = M_{max} / W_x \quad (4.25)$$

$$\sigma = 0.363 / 3.55e - 08 = 10.2 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження для оцинкованої тонколистової сталі приймаємо $[\sigma] = 120$ МПа. Оскільки $\sigma = 10.2$ МПа $< [\sigma] = 120$ МПа, міцність лотка забезпечується. Коефіцієнт запасу міцності становить:

$$n = [\sigma] / \sigma \quad (4.26)$$

$$n = 120 / 10.2 = 11.7$$

Приймаємо чотири заклепки діаметром 4 мм.

Напруження зрізу в одній заклепці:

$$\tau = Gz / (z \cdot A_z) \quad (4.27)$$

$$\tau = 3.03 / (4 \cdot \pi \cdot 0.004^2 / 4) = 0.060 \text{ МПа}$$

Отримане напруження зрізу є незначним порівняно з допустимими значеннями для сталевих заклепок.

Висновки по розділу. За результатами технологічних розрахунків встановлено, що для продуктивності повітряно-решітного модуля 10 т/год і вологості зерна ячменю 16 % доцільно забезпечити швидкість введення зернової суміші у пневмосепараційні канали на рівні 0,4...0,5 м/с.

Для завантажувального бункера-живильника прийнято кут нахилу днища 40° , довжину прямої ділянки 40 мм і радіус прямої введення 80 мм.

Для зменшення швидкості зерна перед вертикальним каналом обґрунтовано встановлення трьох додаткових лотків під кутом 18° . Розрахункові робочі довжини лотків становлять 18, 16 і 15 мм, що не перевищує допустимого конструктивного обмеження 50 мм.

Параметри вертикального каналу прийнято такими: ширина 960 мм, глибина 120 мм, висота 280 мм. При швидкості повітря 7,5 м/с витрата повітря становить $0,864 \text{ м}^3/\text{с}$.

Кінематичний розрахунок показав, що для зниження частоти обертання від 2800 до 1460 об/хв необхідне передаточне відношення клинопасової передачі $i = 1,92$.

Розрахунок на міцність підтвердив працездатність додаткового лотка з оцинкованої сталі товщиною 0,55 мм за умови виконання відбортовки висотою 10 мм і кріплення заклепками до боковин каналу.

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

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час експлуатації модернізованого зерноочисного комплексу ЗАВ-20

Під час експлуатації модернізованого зерноочисного комплексу ЗАВ-20, оснащеного двома повітряно-решітними модулями МЗПІ-10, на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які здатні негативно позначатися на стані здоров'я, працездатності та безпеці персоналу.

Одним із найбільш характерних факторів є підвищена запиленість повітря робочої зони. У процесі очищення зернової маси відбувається інтенсивне виділення органічного пилу, що містить частинки полови, рослинних решток, оболонок зерна та мікроорганізмів. Тривалий вплив пилу може спричиняти захворювання органів дихання, подразнення слизових оболонок очей та алергічні реакції. Найбільша концентрація пилу спостерігається в місцях завантаження та вивантаження зерна, а також поблизу аспіраційних каналів зерноочисних машин.

Другим важливим фактором є підвищений рівень шуму, який створюється електродвигунами, вентиляторами, транспортуючими механізмами та робочими органами зерноочисного обладнання. При тривалій дії шуму можливе зниження слухової чутливості, підвищення втомлюваності та зниження концентрації уваги операторів.

Під час роботи комплексу виникає небезпека травмування рухомими деталями машин. До потенційно небезпечних зон належать привідні механізми, пасові передачі, шнеки, елеватори та робочі органи зерноочисних машин. Потрапляння одягу або частин тіла працівника до рухомих елементів може призвести до серйозних травм.

Оскільки комплекс оснащений електричними приводами, існує небезпека ураження електричним струмом. Причинами можуть бути пошкодження ізоляції електропроводки, порушення правил експлуатації електрообладнання або відсутність належного заземлення.

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

Додаткову небезпеку становить можливість виникнення пожежі. Зерновий пил належить до горючих матеріалів, а його накопичення на конструкціях обладнання та електроустановках підвищує ризик займання при виникненні іскри або перегріванні елементів електрообладнання.

Під час виконання ремонтних та налагоджувальних робіт можливими небезпечними факторами є падіння працівників з висоти, механічні травми при використанні ручного інструменту та контакт із гострими кромками металевих конструкцій.

Таким чином, основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами при роботі модернізованого зерноочисного комплексу є запиленість повітря робочої зони, підвищений рівень шуму, рухомі частини машин, електричний струм та пожежна небезпека.

5.2 Розробка заходів щодо забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних умов праці при роботі на зерноочисному комплексі

Для створення безпечних умов праці та забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних показників під час експлуатації модернізованого зерноочисного комплексу необхідно передбачити комплекс організаційних та технічних заходів.

З метою зменшення запиленості повітря робочої зони зерноочисні машини повинні бути обладнані ефективною аспіраційною системою. Усі місця інтенсивного виділення пилу необхідно максимально герметизувати. Регулярне очищення обладнання та виробничих приміщень від пилу слід виконувати із застосуванням промислових пилососів або вологого прибирання. Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту органів дихання у вигляді респіраторів.

Для зниження рівня шуму необхідно підтримувати справний технічний стан підшипникових вузлів, приводних механізмів та вентиляторів. У разі перевищення допустимих рівнів шуму працівники повинні використовувати протишумові навушники або вкладиші.

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

Усі рухомі та обертові елементи машин повинні бути обладнані захисними кожухами та огороженнями, які виключають випадковий доступ персоналу до небезпечних зон. Забороняється виконання регулювальних або ремонтних робіт при працюючому обладнанні.

Для забезпечення електробезпеки всі металеві неструмопровідні частини електрообладнання повинні бути надійно заземлені. Необхідно регулярно перевіряти стан ізоляції електропроводки, справність пускової апаратури та захисних пристроїв. Обслуговування електрообладнання дозволяється лише працівникам, які мають відповідну кваліфікацію та групу допуску з електробезпеки.

Для попередження пожеж необхідно систематично очищати обладнання від пилових відкладень, контролювати справність електричних мереж та не допускати використання відкритого вогню поблизу зерноочисного комплексу. Приміщення повинно бути оснащено первинними засобами пожежогасіння, зокрема порошковими та вуглекислотними вогнегасниками.

Важливим напрямом забезпечення безпечних умов праці є проведення вступного, первинного та періодичного інструктажів з охорони праці. Працівники повинні знати правила безпечної експлуатації обладнання, порядок дій у разі аварійних ситуацій та правила користування засобами індивідуального захисту.

Запропоновані заходи дозволяють забезпечити безпечну експлуатацію модернізованого зерноочисного комплексу ЗАВ-20, знизити ризик виробничого травматизму та створити нормативні санітарно-гігієнічні умови праці для обслуговуючого персоналу.

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

Висновки

1. У кваліфікаційній роботі проведено аналіз технології вирощування ярого ячменю та особливостей його післязбиральної обробки. Встановлено, що за площі посіву 70 га та середньої врожайності 35 ц/га валовий збір зерна становить близько 245 т, що обумовлює необхідність застосування ефективних засобів очищення зернової маси.

2. На основі аналізу технологічного процесу роботи повітряно-решітного модуля МЗПІ-10 виявлено, що одним із факторів, які обмежують ефективність очищення зерна, є підвищена швидкість введення зернової суміші у вертикальний пневмосепарувальний канал, що призводить до скорочення часу взаємодії матеріалу з повітряним потоком та зниження якості сепарації.

3. Запропоновано вдосконалення повітряно-решітного блока шляхом встановлення системи додаткових напрямних лотків та прямого лотка введення зернового матеріалу у вертикальний пневмосепарувальний канал.

4. На основі технологічних розрахунків визначено основні параметри модернізованого повітряно-решітного блока, зокрема геометричні параметри завантажувального бункера, напрямних лотків, вертикального пневмосепарувального каналу та аспіраційної системи. Встановлено, що прийняті конструктивні параметри забезпечують роботу сепаратора з продуктивністю 10 т/год при вологості зерна 16 % та засміченості до 12 %.

5. Розроблено заходи з охорони праці під час експлуатації модернізованого зерноочисного комплексу ЗАВ-20. Запропоновані технічні та організаційні рішення спрямовані на зниження впливу пилу, шуму, рухомих механізмів та інших небезпечних виробничих факторів на обслуговуючий персонал.

6. Реалізація запропонованого удосконалення дозволяє підвищити якість очищення зерна ячменю, покращити ефективність роботи аспіраційної системи повітряно-решітного модуля МЗПІ-10 та забезпечити більш повне видалення легких домішок без суттєвого ускладнення конструкції зерноочисного обладнання.

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

Список використаної літератури

1. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво. К.:Аграрна освіта, 2001. С.356 – 373.
2. Технологія виробництва продукції рослинництва : навч. посіб. Ч.2 / [Мельник С.І., Муляр О.Д., Кочубей М.Й., Іванцов П.Д.]. – К. : Аграрна освіта, 2010. – 405 с.
3. Петров П.В. Агротехнологія і технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур : навч. посіб. / Петров П.В., Посполітак Т.Є., Юркевич Є.О. – К. : Аграрна освіта, 2009. – 268 с.
4. Сільськогосподарські машини :підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: «Агроосвіта», 2015. – 679 с.
5. Бендера І.М. Машини для виробництва продукції рослинництва : навчальний посібник. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я.І., 2013. 576 с.
6. Васильковська К.В., Андрієнко О.О., Шепілова Т.П. Ефективність агродронів в системі точного землеробства. Аграрні інновації. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика». 2023. Вип. 16. С. 13-18.
7. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / Укл.: Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.М. Васильковський, О.В. Бевз, С.О. Магопець. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – 99 с.
<https://dspace.kntu.kr.ua/items/eedef525-77bb-4dad-b450-a9b7cef948bf>
8. Нестеренко О.В. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна / О.В Нестеренко, О.М Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 25. Ч.1. – С.49-53.

					МПОЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

9. Шмат К. І., Сисолін П. В., Карманов В. В., Іванов Г. І. Робочі процеси і розрахунок сільськогосподарських машин. Херсон : ОЛДІ-плюс, 2004. 308 с

10. Гевко Б.М. Машини для післязбиральної обробки зерна та насіння : навчальний посібник. Тернопіль : ТНТУ, 2014. 248 с.

11. Погорілий Л.В. Машини для післязбиральної обробки зерна. Київ : Урожай, 1997. 240 с.

12. Цимбал А.М. Основи проектування та розрахунку транспортуючих машин. Київ : Аграрна освіта, 2008. 312 с.

13. ДСТУ 3769-98. Ячмінь. Технічні умови. Київ : Держстандарт України, 1998.

14. ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови.

15. НПАОП 01.0-1.01-12. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві.

16. Васильковський М.І. Обґрунтування основних параметрів замкненої двохступеневої пневмосепаруючої системи ЗОМ / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2007. – Вип. 59 – С. 177–186.

17. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропивний В.М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування/Під ред. Чорновола М.І.–К.:Урожай, 2001.–382с.

18. Нестеренко О. В., Васильковський О. М., Петренко Д. І., Артеменко Д. Ю. Дослідження режимних характеристик гравітаційної напрямної кривої живильного пристрою. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. Вип. 50. С. 20–27. DOI: 10.32515/2414- 3820.2020.50.20-27

19. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.

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

ДОДАТКИ