

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 вирощування соняшника з удосконаленням
зерноочисної машини загального призначення»

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

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Бедзай Владислав Богданович

« _____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Дмитро ПЕТРЕНКО

« _____ » _____ 2026 р.

Рецензент

професор, д-р техн. наук

_____ Ігор ШЕПЕЛЕНКО

« _____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Анотація

Тема: «Механізація вирощування соняшника з удосконаленням зерноочисної машини загального призначення»

Робота присвячена модернізації післязбиральної обробки соняшнику на базі ОВУ-25У. Технологія передбачає перехід до замкненого циклу сепарації: шнек-розподільник формує потік, а активний щітковий живильник розпушує його, що усуває мікропошкодження насіння. В ПСК замкненого типу швидкістю повітря 7,4 м/с видаляються легкі домішки, які осаджуються в камері перед рециркуляцією потоку. Обґрунтовано параметри пневмоканалів, що забезпечує чистоту продукції $\geq 99,5\%$ при енергоспоживанні вузла лише 1,0 кВт.

Ключові слова: соняшник, ОВУ-25У, аспірація, щітковий живильник, замкнена система, технологія очищення

Abstract

Topic: «Mechanization of sunflower cultivation with improvement of general-purpose grain cleaning machine»

This work upgrades sunflower post-harvest processing using the OVU-25U. The technology involves a transition to a closed-loop separation: a distribution auger forms the flow, while an active brush feeder loosens it, eliminating seed micro-damage. In the aspiration channels (7.4 m/s air velocity), light impurities are removed and settled in a chamber before air recirculation. Channel parameters of 1000x286 mm are justified, ensuring product purity $\geq 99.5\%$ with a power consumption of only 1.0 kW.

Keywords: sunflower, OVU-25U, aspiration, brush feeder, closed-loop system, cleaning technology

ЗМІСТ

Номер розділу	Структурна одиниця і розділ	Сторінка
1	Вступ	
2	Аналіз технології вирощування соняшнику	
3	Операційна технологія післязбирального обробітку соняшнику	
4	Інженерна частина	
5	Охорона праці	
6	Загальні висновки	
-	Список використаної літератури	
-	Додатки	

1. ВСТУП.

Для сучасного агропромислового комплексу України соняшник давно перетворився з простої сільськогосподарської одиниці на фундамент економічної стабільності держави [1, 2]. Україна стабільно утримує статус світового лідера з виробництва та експорту соняшникової олії, що забезпечує значні валютні надходження та формує інвестиційну привабливість галузі.

Проте за високими показниками врожайності стоїть складний технологічний операційний ланцюг, де кожна ланка має бути виваженою, а його висока рентабельність безпосередньо залежить від якості посівматеріалу [3, 4]. В умовах глобальної конкуренції та жорстких вимог до стандартів чистоти продукції, процес післязбиральної обробки стає критичним етапом.

Механізація вирощування соняшнику сьогодні вийшла на рівень, де кількісні показники (кількість зібраного зерна) мають підкріплюватися якісними (чистота та відсутність пошкоджень). Саме тут виникає актуальна задача – технічне забезпечення зерноочисних ліній.

Зерноочисні машини загального призначення (ЗОМ) є універсальним інструментом у господарствах, проте вони часто мають низку недоліків: недостатня ефективність сепарації специфічних домішок соняшнику; високий рівень травмування насіння під час очищення; значні енерговитрати при роботі з вологою масою.

Удосконалення ЗОМ шляхом оптимізації робочих органів машини дозволяє підвищити чистоту готової продукції до рівня світових стандартів, мінімізувати втрати цінного насіння з відходами, зменшити питомі витрати енергії на одиницю продукції. Таким чином, розробка та впровадження вдосконалених технічних рішень у конструкцію зерноочисних машин є ключем до підвищення конкурентоспроможності українського соняшнику на світовому ринку та гарантом стабільного розвитку аграрного сектору.

					МВС 00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Пояснювальна записка					Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Бедзай											
Перев.	Петренко											
Н.контр.	Артеменко											
Затв.	Васильковський									ЦНТУ, гр. АІ-22-1		

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ.

Соняшник, як біологічний та технологічний об'єкт, є доволі вибагливою культурою, яка вимагає високої точності на кожному етапі – від глибини висіву до налаштувань повітряного потоку в сепараторі.

Соняшник – це культура інтенсивного типу. Його вирощування базується на трьох основних технологічних вимогах – світло, тепло та волога.

Насіння починає проростати при температурі $+4...+6^{\circ}\text{C}$, але для дружніх сходів потрібно $+10...+12^{\circ}\text{C}$ [4-6]. Це визначає терміни виходу техніки в поле. Хоча соняшник вважається посухостійким завдяки потужному кореню (що сягає 2-3 метрів), він споживає колосальну кількість води під час формування кошика [5-7]. Найкраще для районування підходять чорноземи та каштанові ґрунти [3, 4]. Культура дуже чутлива до ущільнення ґрунту, що ставить високі вимоги до ходових систем тракторів (мінімізації тиску на ґрунт).

Місце в сівозміні.

Місце соняшнику в сівозміні – це стратегічне питання, яке визначає не лише врожайність поточної культури, а й фітосанітарний стан поля на роки вперед. У науковій літературі соняшник часто називають «егоїстичною» культурою через його специфічний вплив на ґрунт [3-7].

Головна особливість соняшнику – сувора вимога до часового розриву. Через накопичення в ґрунті специфічних збудників хвороб (особливо білої та сірої гнилей, несправжньої борошнистої роси) та насіння вовчка, соняшник рекомендується повертати на те саме поле не раніше ніж через 7...8 років [4, 7]. Недотримання сівозміни призводить до засмічення посівів падалицею соняшнику в наступних культурах, що потребує додаткових проходів техніки для хімічного або механічного обробітку.

Ефективність вирощування соняшнику критично залежить від того, яка культура росла на полі до нього. Озимі та ярі колосові (пшениця, ячмінь)

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

вважаються найкращими попередниками [5-7]. Вони рано звільняють поле, що дозволяє вчасно провести основний обробіток ґрунту (оранку або глибоке розпушування) та накопичити осінню вологу. Кукурудза на силос також є непоганим варіантом, оскільки залишає після себе відносно чисте від бур'янів поле [5-7]. В посушливих регіонах (Степ) посів по пару гарантує стабільний врожай завдяки запасу вологи.

Небажані та недопустимі попередники – цукрові буряки, люцерна, суданська трава, які висушують ґрунт на велику глибину (так само як і соняшник) [5-7]. Поєднання таких культур у короткій ротації призводить до «водного голоду» рослин. Ріпак, соя, горох, квасоля мають спільних із соняшником збудників хвороб (склеротиніоз). Посів соняшнику після них значно підвищує ризик епіфітотій [5-7].

Після збирання соняшнику ґрунт залишається сухим на глибину до 1,5...2 метрів, що ускладнює посів озимих культур у посушливі роки, культура залишає велику кількість грубих стебел та кошиків. Це вимагає використання потужних дискових борін або подрібнювачів (мульчувачів) для підготовки поля під наступну культуру. Насіння, що просіялося під час збирання, стає агресивним бур'яном у наступному сезоні.

Система удобрення.

Система удобрення соняшнику – це складний баланс між забезпеченням рослини поживними речовинами на старті та підтримкою її в критичні фази росту. На відміну від багатьох зернових, соняшник не просто «споживає» добрива, він має унікальну здатність витягувати важкодоступні елементи з глибоких шарів ґрунту, але при цьому залишається надзвичайно чутливим до дефіциту мікроелементів [5].

Для формування 1 тонни насіння рослина споживає з ґрунту: N 40...60 кг, P₂O₅ – 20...30 кг, K₂O – 100...120 кг [5-7]. Це означає, що без інтенсивної системи живлення культура швидко виснажує родючий шар, перетворюючи поле на «енергетичну пустелю».

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Під глибоку оранку або розпушування вносяться фосфорні та калійні добрива. Оскільки ці елементи малорухливі, вони повинні опинитися в зоні активного росту кореневої системи (на глибині 20...25 см) [6]. Це стимулює розвиток потужного стрижневого кореня, що є критичним для посухостійкості.

Стартове удобрення має на меті забезпечити молоду рослину легкодоступним фосфором та азотом у перші тижні життя, коли коренева система ще слабка, а ґрунт холодний. Використання комплексних мінеральних добрив безпосередньо в рядки дозволяє отримати швидку «стартову енергію» та сформувати міцний імунітет [4-7].

Корекційне підживлення (позакореневе) є ефективним через листову поверхню. Найважливіший період – фаза 4...6 пар листків [6, 7]. Саме в цей час закладається кількість квіток у кошику. Азотні підживлення (КАС або сечовина) застосовуються для нарощування вегетативної маси. Дефіцит бору призводить до пустозерності, розтріскування стебла та деформації кошика.

На відміну від злаків, соняшнику потрібен особливий підхід до балансування елементів. Калій відповідає за водний баланс та міцність стебла – без належного калійного живлення соняшник схильний до вилягання та швидкого в'янення в спеку [6, 7]. Надлишок азоту провокує бурхливий ріст зелені, що робить рослину вразливою до хвороб, знижує олійність насіння та зтягує період дозрівання [3-7].

Сьогодні система удобрення відходить від принципу «чим більше, тим краще». Впроваджуються технології диференційованого внесення, де дози добрив коригуються відповідно до картограм ґрунту. Також дедалі популярнішим стає використання біостимуляторів та гуматів, які допомагають рослині переносити стреси від гербіцидного навантаження та екстремальних температур [4-6].

Система підготовки ґрунту.

Оскільки соняшник має потужний стрижневий корінь, який може

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

заглиблюватися на 2...3 метри, будь-яка помилка на етапі підготовки ґрунту (наприклад, створення плужної підшви) стане непереборним бар'єром для розвитку рослини.

Сучасна агрономія виділяє кілька ключових стратегій, вибір яких залежить від кліматичної зони та попередника [4, 5].

Класична технологія (полицевий обробіток). Це найбільш розповсюджена система в зонах з достатнім зволоженням. Її головна мета – повне загортання пожнивних решток та боротьба з бур'янами.

Лущення стерні проводиться одразу після збирання попередника (пшениці чи ячменю) на глибину 6...8 см. Це провокує проростання бур'янів та закриває вологу.

Зяблева оранка виконується восени плугами на глибину 27...30 см. Глибока оранка руйнує ущільнення та дозволяє кореню соняшнику безперешкодно рости вниз.

Весняне закриття вологи – як тільки техніка може вийти в поле, проводиться боронування для руйнування капілярів, через які випаровується зимова волога.

Ресурсозберігаючі системи (Mini-till та Strip-till). В умовах дефіциту опадів (Південь та Центр України) класична оранка часто поступається місцем методам, що краще зберігають структуру ґрунту.

Mini-till – замість плуга використовуються важкі дискові борони або культиватори. Ґрунт розпушується без перевертання пласта, що дозволяє зберегти органіку та вологу у верхньому шарі.

Strip-till – обробіток проводиться лише в зоні майбутнього рядка (смуга 15...20 см), а міжряддя залишається під пожнивними рештками. Це ідеальний варіант для збереження водного балансу, але він вимагає високої точності автопілотів на тракторах.

Передпосівна підготовка є етапом, де створюються умови для «дружніх» сходів. Головне завдання – зробити ґрунт дрібногрудкуватим.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Культивація проводиться на глибину загортання насіння (4...6 см). Важливо, щоб дно борозни було щільним, що забезпечить підтягнення вологи з нижніх шарів до насінини. Мікрорельєф поля має бути ідеальним, оскільки будь-які нерівності призведуть до того, що насіння буде посіяне на різну глибину, а отже сходи будуть нерівномірними [4, 5].

Соняшник катастрофічно боїться «плужної підшви». Якщо корінь зустрічає переущільнений шар, він починає рости горизонтально (ефект «Г-подібного кореня»), що призводить до падіння врожайності на 30...50% [3-7]. Для вирішення цієї проблеми раз на 3-4 роки проводять глибоке розпушування (чизелювання) на глибину 40...50 см.

Соняшник залишає після себе велику кількість сухої маси (стебла). З точки зору механізації, підготовка ґрунту після соняшнику вимагає обов'язкового подрібнення цих решток. Якщо їх не подрібнити, вони забиватимуть робочі органи сівалок та культиваторів у наступному сезоні.

Підготовка до посіву та посів.

Для посіву використовують лише каліброване насіння з високою енергією проростання (не менше 95%).

Протруєння є обов'язковим етапом захисту від ґрунтових шкідників (дротяників) та хвороб (фузаріозу, пероноспорозу) [7]. Використовують інсектицидно-фунгіцидні суміші, які часто доповнюють мікродобривами (особливо Бором та Цинком) для швидкого старту.

При калібруванні насіння розділяють на фракції за розміром і масою. Це критично важливо для механізації посіву, оскільки, якщо насіння в бункері різного розміру, висіваючий апарат сівалки буде видавати «двійники» або пропуски.

Оптимальний термін посіву настає, коли ґрунт на глибині загортання насіння (5–6 см) прогрівається до +10...+12°C [7]. Ранній посів (при +6...+8°C) можливий лише для холодостійких гібридів, інакше насіння довго лежить у землі, пліснявіє та втрачає енергію. Пізній посів небезпечний

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

швидким пересиханням верхнього шару ґрунту, що призведе до нерівномірних сходів [5, 6].

Для соняшнику використовують пунктирний спосіб посіву з міжряддям 70 см, що забезпечує оптимальну площу живлення для кожної рослини [4-6]. Глибина загортання зазвичай становить 4...6 см. На легких ґрунтах або при дефіциті вологи глибину збільшують до 8 см, на важких і вологих – зменшують до 4 см [4-6].

Сучасна механізація посіву базується на використанні сівалок точного висіву (вакуумних або механічних). Якісна сівалка повинна відсікати «двійники», щоб на погонному метрі була чітко визначена кількість насінин. Важливо, щоб сошник тримав стабільну глибину навіть на нерівному полі або при зміні щільності ґрунту. Спеціальні V-подібні колеса повинні щільно притиснути ґрунт до насінини, витісняючи повітряні кишені, щоб забезпечити контакт із вологою.

Швидкість руху посівного агрегату є одним із ключових факторів. При збільшенні швидкості понад 8...10 км/год (для більшості механічних сівалок) насіння починає «скакати» в борозні, що порушує рівномірність розкладання [6]. Сучасні швидкісні сівалки (типу HighSpeed) дозволяють працювати на 15 км/год без втрати якості завдяки примусовій подачі насіння в борозну.

Догляд за посівами.

Догляд за посівами соняшнику є етапом, де головним завданням є усунення конкуренції з боку бур'янів та захист від патогенів. Оскільки соняшник на початкових етапах росте відносно повільно, він дуже вразливий до «сусідів», які затіняють його та відбирають дефіцитну вологу [4-6].

Система догляду поділяється на три ключові блоки [5-7].

Боротьба з бур'янами. Технологічний вибір представлений трьома основними стратегіями захисту, що визначає весь подальший цикл механізації:

- класична технологія базується на внесенні ґрунтових гербіцидів

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

одразу після посіву. Вони створюють захист, який не дає бур'янам прорости;

- система Clearfield (чисте поле) – використання спеціальних гібридів, стійких до гербіцидів групи імідазолінонів [6]. Це дозволяє знищувати навіть такі складні бур'яни, як вовчок, уже по вегетуючих рослинах;

- система Express передбачає використання гібридів, стійких до трибенурон-метилу [4-7]. Це дає можливість гнучко контролювати дводольні бур'яни в широкому діапазоні фаз росту.

Механічний догляд. Попри хімізацію, механічний обробіток залишається важливим інструментом, особливо в органічному землеробстві або для поліпшення аерації ґрунту.

Досходове та післясходове боронування, яке виконується легкими зубовими або ротаційними боронами. Мета – зруйнувати ґрунтову кірку та знищити бур'яни у фазі «білої ниточки» [4, 5].

Міжрядний обробіток (культивация) проводиться, коли рослини мають 2–3 пари справжніх листків. Культиватори не лише підрізають бур'яни в міжряддях, а й розпушують ґрунт, що стимулює активність корисних бактерій та зберігає вологу. Сучасні культиватори оснащуються системами оптичного наведення (камерами), які дозволяють проходити максимально близько до стебла соняшнику, не пошкоджуючи його [4, 5, 8].

Захист від хвороб та шкідників.

Фунгіцидний захист проводиться зазвичай двічі. Перший раз у фазі 4...10 листків (проти септоріозу, фомозу), другий – на початку цвітіння (проти гнилей кошика) [6, 7].

Інсектицидний захист. Найнебезпечнішими є попелиці, клопи та вогнівки. Обробка часто співпадає з фунгіцидною.

Десикація є специфічним прийомом догляду на пізніх етапах – коли вологість насіння становить 25...30%, посіви обприскують спеціальними препаратами (десикантами), які прискорюють підсихання рослин [6, 7].

Це дозволяє почати збирання на 7...10 днів раніше, забезпечує

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

рівномірність дозрівання та зменшує ризик розвитку хвороб кошика в дощову осінь. Для цього етапу використовують самохідні обприскувачі з високим кліренсом або агродрони.

Організація збирання врожаю.

Збирання починають, коли вологість насіння досягає 12...14% [7, 8]. Якщо чекати повного висихання до 7...8% прямо на корені, різко зростають втрати від самоосипання та пошкодження птахами. Ознаки готовності – кошики стають лимонно-жовтими або бурими, а тильна сторона сухою.

Якщо осінь дощова, використання десикантів дозволяє «підтягнути» вологість до норми та провести збирання в стислі терміни (зазвичай 7–10 днів на господарство), уникаючи розвитку гнилей [7, 8].

Збирання соняшнику звичайною зерновою жаткою призводить до колосальних втрат (до 20...30%). Тому використовують спеціалізовані адаптери – безрядкові жатки, які дозволяють збирати соняшник незалежно від напрямку посіву та ширини міжрядь. Вони мають довгі «ліфтери», які спрямовують стебла до ріжучого апарату.

Рядкові жатки працюють чітко по рядках (70 см). Вони дорожчі, але забезпечують максимально чистий зріз лише кошиків, залишаючи стебла на полі. Чим менше стеблової маси потрапляє в молотарку, тим чистішим буде насіння і тим меншим буде навантаження на систему очищення комбайна.

Соняшник – дуже крихка культура, тому при надмірних обертах барабана насіння розколюється, що призводить до окислення олії та швидкого псування. при збиранні оберти барабана знижуються до мінімуму (300–500 об/хв), зазори підбарабання встановлюються максимально великими, щоб кошики проходили крізь молотарку, не розтираючись у пил, а лише віддаючи насіння.

Вентилятор налаштовують так, щоб видути легкі домішки (частинки кошика), але не видалити насіння, яке через свою низьку натуру легко підхоплюється повітрям.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Організація післязбирального обробітку.

Свіжозібраний ворох соняшнику – це жива біологічна маса. Через високу олійність та наявність вологих частинок кошика він має здатність до самозігрівання [4-6, 8]. Від моменту потрапляння насіння в бункер комбайна до моменту його первинної очистки має пройти не більше 2...4 годин. Якщо залишити вологий ворох у бурті на ніч, температура всередині може піднятися до 50...60°C, що знищить посівні та товарні якості насіння.

Тому організація збирання будується за схемою: комбайн – перевантажувач – транспорт – ЗАВ (зерноочисний агрегат).

Після комбайна ми отримуємо так званий «бункерний склад», який містить чисте насіння обсягом 85...95%, органічне сміття (шматочки кошиків, листя, залишки бур'янів), мінеральне сміття (пил, земля (особливо при низькому зрізі)). Підвищена вологість зібраного врожаю перерозподіляється від вологих часток кошика до сухого насіння.

Саме тут виникає критична потреба в удосконаленні зерноочисних комплексів, оскільки стандартне обладнання загального призначення часто забивається вологою «ватою» від кошиків або не може якісно відсортувати дрібні паличкоподібні домішки, які за розміром схожі на насіння соняшнику.

Комплекс технічних засобів для вирощування соняшнику.

Систематизований перелік комплексу технічних засобів (КТЗ), необхідних для повного циклу вирощування соняшнику наведений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Комплекс технічних засобів для вирощування соняшнику

Етап технології	Тип техніки / агрегат	Основне призначення та вимоги
1. Основний обробіток ґрунту	Плуги полицеві, глибокорозпушувачі (чизелі)	Оранка на 27...30 см або розпушування для руйнування плужної підшви.
2. Передпосівна підготовка	Важкі дискові борони, Передпосівні культиватори (компактори)	Подрібнення решток, вирівнювання поверхні та створення щільного «ложа» для насіння.

Етап технології	Тип техніки / агрегат	Основне призначення та вимоги
3. Посів	Сівалки точного висіву (вакуумні або механічні)	Забезпечення точного інтервалу між насінинами та стабільної глибини (4...6 см).
4. Удобрення	Розкидачі міндобрив, аплікатори для рідких добрив	Внесення основної дози (NPK) та стартових добрив під час посіву.
5. Догляд та захист	Самохідні або причіпні обприскувачі	Внесення гербіцидів, фунгіцидів та десикація. Вимагають високого кліренсу (>1,5 м).
6. Міжрядний обробіток	Просапні культиватори (з системою відеоконтролю)	Механічне знищення бур'янів та аерація ґрунту в міжряддях 70 см.
7. Збирання врожаю	Зернозбиральні комбайни зі спеціалізованими жатками	Мінімальне травмування насіння та зрізання лише кошиків соняшнику.
8. Логістика	Бункери-перевантажувачі, вантажні автомобілі	Оперативне відвезення вороху з поля для запобігання самозігріванню.
9. Попередня і первинна обробка	Зерноочисні машини загального призначення (ЗАВ, ОВС)	Видалення великих, дрібних та легких домішок.
10. Сушіння та зберігання	Зерносушарки, вентильовані бункери	Доведення вологості до базисних 7...8% для тривалого зберігання.

Висновки по розділу

Соняшник визначено як провідну технічну культуру аграрного сектору України, що забезпечує високу рентабельність виробництва. Проте його «виснажливий» вплив на ґрунт (високе винесення поживних речовин та дефіцит вологи) диктує необхідність суворого дотримання 7...8 річного циклу повернення на поле для збереження фітосанітарного благополуччя.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Аналіз показав, що реалізація генетичного потенціалу сучасних гібридів критично залежить від температурного режиму при посіві та наявності доступного фосфору і бору на ранніх етапах. Це вимагає від комплексу машин високої точності дозування добрив та витримки глибини загортання насіння.

Встановлено, що система обробітку ґрунту під соняшник має бути адаптована до зони вирощування. Перехід від класичної оранки до енергозберігаючих технологій (Mini-till, Strip-till) у посушливих регіонах є виправданим кроком для збереження ґрунтової вологи, яка є лімітуючим фактором формування врожаю.

Насіння соняшнику ідентифіковано як крихкий об'єкт з низькою об'ємною масою. Виявлено, що порушення режимів роботи молотильних апаратів та систем транспортування призводить до мікропошкоджень оболонки, що різко знижує олійність та схожість насіння.

Ефективність системи захисту (гербіцидного та фунгіцидного) безпосередньо впливає на фізико-механічні властивості вороху, що надходить з поля. Наявність падалиці, залишків бур'янів та уражених хворобами кошиків створює неоднорідну масу, яка потребує негайної стабілізації після збирання.

Сучасний комплекс технічних засобів (КТЗ) для вирощування соняшнику має базуватися на принципах прецизійного землеробства. Використання сівалок точного висіву та обприскувачів з високим кліренсом є обов'язковою умовою мінімізації втрат та отримання вирівняного за якістю врожаю.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО ОБРОБІТКУ СОНЯШНИКУ.

3.1. Характеристика післязбирального обробітку та агротехнічні ВИМОГИ

Післязбиральна обробка соняшнику є найбільш критичним етапом, оскільки насіння цієї культури через високий вміст жирів (до 50% і вище) здатне до миттєвого псування. Будь-яка затримка в ланцюжку «поле-елеватор» може призвести до окислення олії та повної втрати товарної вартості.

Попереднє очищення є найпершою операцією, яку ворох проходить одразу після комбайна. Мета – видалення крупних вологих домішок (частин кошиків, бур'янів, стебел). Очищення має відбутися протягом 2 годин після збирання. Оскільки вологі домішки мають вологість 30...60%, у бурті вони починають «дихати», виділяючи тепло, яке передається сухому насінню [6, 8]. Видалення цих решток знижує ризик самозігрівання.

Сушіння є найбільш енергоємним та відповідальним етапом. Мета – зниження вологості насіння до базисних показників (7...8%) [8, 11-13].

Нагрівання насіння не повинно перевищувати 45...55°C [8]. Перегрів призводить до розтріскування оболонки та «підсмажування» олії, що підвищує кислотне число. Оскільки насіння соняшнику легке, у сушарках шахтного типу можливе утворення «застійних зон», що загрожує самозайманням. Соняшник сушиться в 2-3 рази швидше за кукурудзу, тому потік повітря має бути чітко відрегульований.

Первинне очищення проводиться після сушіння (коли насіння стає більш сипучим і домішки легше відокремлюються). Мета – виділення основної маси смітної домішки (до вмісту 1...2%) та зернової домішки. Повнота виділення сміття – не менше 90%, втрати основного зерна у відходи – не більше 1,5% [12]. Тут важливо налаштувати аспірацію так, щоб

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

відокремити порожнє насіння («пустотіле») від виповненого.

Вторинне очищення (калібрування) – етап підготовки насіння до реалізації або посіву. Мета – розділення насіння на фракції за розміром та вагою, доведення чистоти до 98...99% [12]. Серед особливостей – використання решіт з довгастими та круглими отворами для видалення важковіддільних домішок.

Сумарне пошкодження насіння після всіх етапів очищення не повинно перевищувати 1% [9, 10].

Зберігання можна розділити на два типи.

Оперативне зберігання (тимчасове) використовується для накопичення вороху перед сушаркою. Обов’язкове активне вентилявання. Ворох повинен продуватися холодним повітрям, щоб «законсервувати» його стан на кілька годин або діб.

Довготривале зберігання передбачає наступні умови: вологість насіння – 7%, температура на складі – не вище 10...15°C, постійний моніторинг температури в товщі насипу. Якщо температура піднімається вище 25°C – насіння негайно переміщують або додатково охолоджують.

3.2. Розрахунок обсягу вороху та потреби у сушінні

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення	Одиниця
Площа посіву соняшника, F	240	га
Врожайність, Y_c	35	ц/га
Вологість насіння після збирання, W_0	14–18	%
Допустима вологість для зберігання, W_K	8	%
Засміченість насіння, Z	8–12	%
Тривалість обробки (кампанія), $T_{об}$	20	діб
Тривалість робочої доби	20	год/добу

Валовий збір насіння соняшника (обсяг вороху, що надходить на обробку) визначається за формулою:

$$Q_c = F \cdot Y_c,$$

$$Q_c = 240 \cdot 3,5 = 840 \text{ т.}$$

З урахуванням засміченості вороху (до 12 %) та надлишкової вологості (до 18 %) фактична маса вороху, що надходить на пункт, збільшується на коефіцієнт 1,20...1,25. Приймаємо коефіцієнт $k = 1,22$:

$$Q_B = Q_c \cdot k = 840 \cdot 1,22 = 1025 \text{ т.}$$

Годинна продуктивність пункту обробки.

Пункт обробки повинен переробити весь вороховий матеріал протягом планової кампанії. Годинна пропускна здатність розраховується за формулою:

$$q_h = \frac{Q_B}{T_{об} \cdot t_{\partial}},$$

де $T_{об} = 20$ діб – тривалість кампанії;

$t_{\partial} = 20$ год/добу – тривалість робочої доби.

$$q_h = \frac{1025}{20 \cdot 20} = 2,56 \text{ т/год.}$$

Приймаємо розрахункову годинну продуктивність з коефіцієнтом нерівномірності надходження вороху $k_n = 1,5$ (пікові навантаження при

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

масовому збиранні):

$$q_{h.ф} = q_h \cdot k_n = 2,56 \cdot 1,5 = 3,84 \text{ т/год.}$$

Таким чином, кожна технологічна лінія пункту повинна мати пропускну здатність не менше 3,84 т/год для забезпечення безперебійної роботи в напружений період.

Кількість вологи, що підлягає видаленню.

Маса вологи, яку необхідно видалити з усього насіння, визначається за формулою матеріального балансу сушіння:

$$\Delta W_c = Q_c \cdot \frac{W_0 - W_k}{100 - W},$$

де $W_0 = 18\%$ – початкова вологість (розрахунковий максимум);

$W_k = 8\%$ – рівень кінцевої вологості.

$$\Delta W_c = 840 \cdot \frac{18 - 8}{100 - 8} = 91,3 \text{ т.}$$

Отже, з усього врожаю необхідно випарити близько 91,3 т вільної вологи. Це є базою для розрахунку теплового навантаження та підбору зерносушарки.

3.3. Технологічна схема операційної технології.

Операційна технологія післязбирального обробітку насіння соняшника передбачає виконання технологічних операцій у такій послідовності (табл. 3.2).

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.2 – Технологічні операції післязбирального обробітку насіння соняшника

№	Операція	Обладнання	Показник якості
1	Попереднє очищення вороху від великих і легких домішок	ОВС-25, ОВУ-25У	Засміченість $\leq 3\%$
2	Тимчасове розміщення та активне вентилявання	Бункери БВ-25	Вологість $\leq 14\%$
3	Сушіння насіння	СЗСБ-8, СЗШ-16Р	Вологість $\leq 8\%$
4	Первинне очищення (сорткування)	ОВС-25, ОВУ-25У, ЗВС-20А	Чистота $\geq 99\%$
5	Вторинне очищення (доведення до товарних кондицій)	СМ-4, СПС-3,5, ПСС	Чистота $\geq 99,5\%$
6	Завантаження на зберігання або відвантаження	Норія НПЗ-20, конвеєр	–

Для операції попереднього очищення обираємо вітчизняну машину ОВУ-25У, яка призначена для видалення крупних, легких та частини дрібних домішок (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики ОВУ-25У

Параметр	Значення
Продуктивність при очищенні соняшника, Q_M	15 т/год
Встановлена потужність електродвигунів, N	7,0 кВт
Витрата повітря на аспірацію	7 000 м ³ /год
Маса машини	1 285 кг

Необхідна кількість машин визначається за формулою:

$$n_{oc} = q_{h.\phi} / Q_M,$$

де $Q_M = 15$ т/год – продуктивність однієї машини ОВУ-25У.

$$n_{oc} = 3,84 / 15 = 0,256,$$

приймаємо 1 машину ОВУ-25У.

Коефіцієнт завантаження однієї машини:

$$k_{зав} = \frac{q_{h.ф}}{n_{oc} \cdot Q_M} = \frac{3,84}{1 \cdot 15} = 0,256.$$

Машина буде завантажена лише на 25,6 %. Однак для забезпечення безперервності технологічного процесу та можливості пікових навантажень одна машина даної моделі є мінімально необхідною та достатньою. Для збільшення завантаженості машина може додатково обслуговувати суміжні культури.

Для сушіння соняшника застосовуємо шахтну рециркуляційну зерносушарку СЗСБ-8 (або аналог СЗШ-16Р з подібними характеристиками) (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики СЗСБ-8

Параметр	Значення
Продуктивність при знятті вологи 6 % (соняшник), $Q_{суш}$	8 т/год
Питома витрата теплоти (умовне паливо), q_m	1,6–1,9 кг у.п./т
Теплопродуктивність топки, Q_T	0,8–1,2 МВт
Встановлена електрична потужність, $N_{ел}$	22 кВт
Температура сушильного агента (для олійних)	до 60 °С
Температура нагріву насіння	≤ 40 °С

Необхідна кількість зерносушарок:

$$n_c = q_{h.ф} / Q_{суш} = 3,84 / 8 = 0,48,$$

приймаємо 1 сушарку СЗСБ-8.

Коефіцієнт завантаження $k_{зав} = 0,48$. Одна сушарка СЗСБ-8 забезпечує необхідну пропускну здатність з резервом близько 52 %, що є доцільним з огляду на нерівномірність надходження вороху та необхідність технологічних простоїв.

Питома витрата умовного палива на 1 тонну висушеного матеріалу при знятті 10 % вологості для соняшника (з урахуванням олійності і нижчої теплопровідності) становить $q_m = 1,85$ кг у.п./т.

Загальна витрата умовного палива за сезон:

$$B_{y.n} = Q_c \cdot q_m = 840 \cdot 1,85 = 1554 \text{ кг у.п.} = 1,55 \text{ т у.п.}$$

Або у перерахунку на природний газ (теплота згоряння $Q_n = 8500$ ккал/м³ = 35,6 МДж/м³):

$$V_{газ} = B_{y.n} \cdot (7000 / 8500) = 1554 \cdot (7000 / 8500) = 1280 \text{ м}^3.$$

Годинна витрата газу при роботі сушарки:

$$V_{газ.h} = \frac{V_{газ}}{T_{об} \cdot t_0 \cdot k_{зав}},$$

$$V_{газ.h} = \frac{1280}{20 \cdot 20 \cdot 0,48} = 6,7 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для первинного очищення після сушіння застосовуємо сепаратор ЗВС-20А (повітрянорешітний сепаратор) (табл. 3.5).

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики ЗВС-20А

Параметр	Значення
Продуктивність на первинному очищенні соняшника, $Q_{ЗВС}$	10 т/год
Кількість решіт	3 (підсівне, сортувальне, колосове)
Встановлена потужність, $N_{ЗВС}$	7,7 кВт
Кількість фракцій на виході	3 (зерно, дрібні, великі домішки)

Необхідна кількість машин визначається за формулою:

$$n_{ЗВС} = q_{h.ф} / Q_{ЗВС} = 3,84 / 10 = 0,384,$$

приймаємо 1 машину ЗВС-20А.

Коефіцієнт завантаження $k_{зав} = 0,384$. Одна машина забезпечує повне навантаження пункту обробки з великим запасом.

Для вертикального переміщення насіння між вузлами технологічної лінії встановлюємо норію НПЗ-20.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики НПЗ-20

Параметр	Значення
Продуктивність, Q_H	20 т/год
Висота підйому	до 25 м
Встановлена потужність, N_H	7,5 кВт
Кількість норій у лінії	2 шт.

Необхідна кількість:

$$n_H = q_{h.ф} / Q_H = 3,84 / 20 = 0,19.$$

Приймаємо 2 норії НПЗ-20, оскільки: перша встановлюється на

прийомі вороху (після очисника ОВУ-25У), друга – на виході із сушарки (подача до ЗВС-20А). Загальна встановлена потужність норій: $2 \times 7,5 = 15$ кВт.

Для тимчасового зберігання та попереднього підсихання насіння (при вологості 14–16 %) застосовуємо бункери активного вентилявання БВ-25.

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики БВ-25

Параметр	Значення
Місткість одного бункера, $V_{\text{б}}$	25 т
Питома подача повітря (для олійних)	50–80 м³/(год·т)
Вентилятор (на бункер), $N_{\text{в}}$	3,0 кВт
Кількість бункерів	2 шт.

Необхідна сумарна місткість бункерного резерву для забезпечення безперебійної роботи сушарки (з урахуванням нерівномірності подачі вороху):

$$V_{\text{рез}} = q_{\text{н.ф}} \cdot t_{\text{рез}} = 3,84 \cdot 12 = 46 \text{ т},$$

де $t_{\text{рез}} = 12$ год – мінімальний резервний запас для безперебійної роботи сушарки.

$$n_{\text{б}} = V_{\text{рез}} / V_{\text{б}} = 46 / 25 = 2 \text{ бункери БВ-25.}$$

Два бункери БВ-25 загальною місткістю 50 т забезпечують необхідний буферний запас та виконують функцію попереднього підсушування вороху повітряним потоком, що скорочує навантаження на основну зерносушарку.

3.4. Розрахунок встановленої потужності та енерговитрат

Таблиця 3.8 – Сумарна встановлена потужність усього електрообладнання пункту обробки

Машина / агрегат	Кількість, шт.	$N_{од}$, кВт	$N_{заг}$, кВт
ОВУ-25У (попереднє очищення)	1	7,0	7,0
СЗСБ-8 (сушарка)	1	22,0	22,0
ЗВС-20А (первинне очищення)	1	7,7	7,7
НПЗ-20 (норії)	2	7,5	15,0
БВ-25 (бункери вентильовання)	2	3,0	6,0
Конвеєр завантажувальний	1	3,0	3,0
РАЗОМ	—	—	60,7

Активна встановлена потужність: $\sum N_{вст} = 60,7$ кВт. З урахуванням коефіцієнта одночасності роботи $k_{од} = 0,85$ та ККД мережі $\eta_m = 0,96$:

$$N_{h.ф} = \frac{\sum N_{вст} \cdot k_{од}}{\eta_m},$$

$$N_{h.ф} = \frac{60,7 \cdot 0,85}{0,96} = 53,74 \text{ кВт.}$$

Питоме споживання електроенергії на 1 тону обробленого насіння:

$$e_{тит} = N_{h.ф} / q_{h.ф} = 53,74 / 3,84 = 14 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т.}$$

Загальні витрати електроенергії за сезон обробки:

$$E_{заг} = e_{тит} \cdot Q_B = 14 \cdot 1025 = 14350 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Це значення є прийнятним для пункту такої продуктивності і відповідає нормативним показникам для соняшникових пунктів обробки зернових олійних культур.

Висновки по розділу

За результатами розрахунків операційна технологія післязбирального обробітку насіння соняшника з площі 240 га при врожайності 35 ц/га передбачає переробку валового вороху об'ємом 840 т (з урахуванням домішок – 1025 т) протягом 20-добової кампанії при добовому завантаженні 20 год.

Запроектований пункт обробки насіння соняшника включає 6 найменувань технологічного обладнання (8 одиниць) загальною встановленою потужністю 60,7 кВт. Обрана схема забезпечує виконання агротехнічних вимог щодо якості обробки: кінцева вологість насіння $\leq 8\%$, чистота $\geq 99,5\%$. Застосоване обладнання вітчизняного виробництва є технологічно надійним, доступним у постачанні та ремонті, що є важливим чинником для умов сільськогосподарського виробництва України.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА.

4.1. Обґрунтування удосконалення

Зерноочисна машина ОВУ-25У – це універсальний мобільний агрегат, спроектований для проведення попередньої та первинної очистки зернового вороху [10-12, 15]. Вона ефективно працює з широким спектром культур: від злакових та круп'яних до олійних і бобових.

Процес очищення базується на комбінованому методі сепарації:

- аспірація – видалення легких домішок (пилу, полови, легкого сміття) у повітряних каналах;
- решітне очищення – розділення зерна на два паралельних стани, що дозволяє відсіяти як дрібні, так і великі сторонні фракції.

Машина змонтована на триколісній самохідній рамі, що забезпечує її маневровість на токах та у зерносховищах.

Основні компоненти системи:

- транспортування – завантажувальний та відвантажувальний пристрої, механізм самопересування;
- очищення – два решітних стани (верхній та нижній) з механізмом коливання та регулювання;
- повітряна система – потужний відцентровий вентилятор, аспіраційні канали та осадова камера;
- керування – механізми підйому живильників та приводи робочих органів;
- енергозабезпечення та приводи.

Робота ОВУ-25У автоматизована завдяки розподіленій системі з чотирьох електродвигунів, кожен з яких відповідає за конкретний технологічний вузол: №1 – завантажувальний транспортер; №2 – вентилятор, решітні стани та система їх очищення; №3 – вивантажувальний транспортер і шнек-розподільник; №4 – механізм самопересування агрегату.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Ключовою особливістю машини є її високоефективна двоканальна аспірація. Повітряний потік, що створюється відцентровим вентилятором, проходить крізь вертикальні канали, видаляючи легкі домішки. До складу системи входять: приймальна камера, обладнана шнеком-розподільником із клапаном для точного регулювання інтенсивності завантаження; жалюзійний інерційний пиловідокремлювач, який забезпечує очищення відпрацьованого повітря від пилу перед його викидом, що покращує екологічність та умови праці; пневмотранспортер, що служить для переміщення виділених відходів.

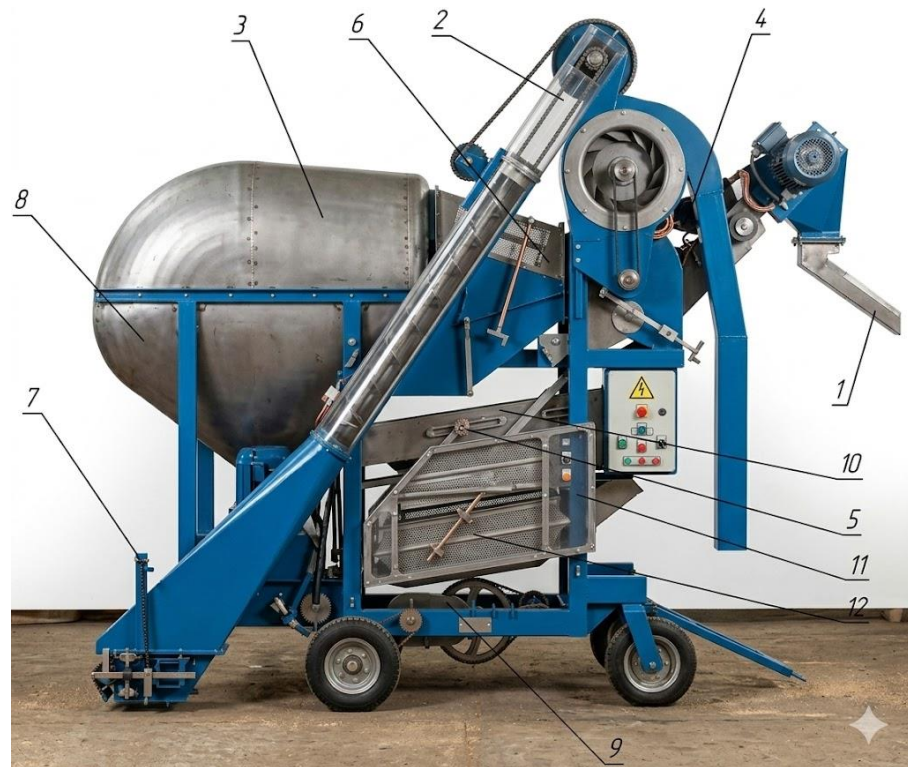


Рис. 4.1. Загальний вигляд ЗОМ ОВУ-25У:

1 – пристрій для відвантаження очищеного зерна, 2 – пристрій для завантаження вихідного вороху, 3 – аспіраційна система, 4 – загальний механізм приводу робочих органів, 5 – механізм, що забезпечує коливання решіт, 6 – повітропроводи, 7 – механізм підйому та налаштування живильників, 8 – осадова камера, 9 – редуктор самопересування, 10, 12 – верхній та нижній решітні стани, 11 – вузол регулювання решіт.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Регулювання якості очищення в аспіраційних каналах здійснюється шляхом зміни положення клапана шнека-розподільника та налаштування потужності повітряного потоку.

Процес механічного розділення зерна відбувається у решітній частині, яка має наступні особливості. Система складається з двох ідентичних решітних станів, розташованих один під одним. Кожен стан оснащений чотирма решетами, що дозволяє обробляти великі об'єми матеріалу одночасно. Конфігурація включає верхні (ділильні та колосові) та нижні (підсівні) решета для поетапного відсіювання домішок. Для стабільності агрегату стани здійснюють коливальні рухи у протилежних напрямках. Зерно потрапляє на решета вже після проходження повітряних каналів аспірації.

Подача сировини до очисних органів автоматизована. Завантажувальний комплекс складається з похилої норії та двох скребкових живильників. Фронт роботи живильників становить 5 метрів, що забезпечує ефективний підбір зерна з бунтів.

Відвантажувач дозволяє спрямовувати чисте зерно як безпосередньо у причепа транспортних засобів, так і формувати нові бунти на підлозі. Відвантажувальний пристрій та шнек-розподільник працюють від спільного електродвигуна, будучи змонтованими на одному валу.

Для забезпечення автономності агрегат обладнаний власною ходовою системою. Рух передається від окремого електродвигуна через редуктор та систему передач. Механізм відповідає за переміщення машини вздовж зерносховища під час технологічного циклу, а також для маневрування між буртами.

Поточна якість повітряного очищення в системі аспірації ОВУ-25У повною мірою відповідає сучасним агротехнічним вимогам. Це особливо критично при роботі з олійними культурами, де стандартні налаштування не забезпечують необхідної чистоти продукту.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Метою роботи є модернізація аспіраційної системи для підвищення ефективності видалення легких домішок при збереженні паспортної продуктивності машини.

Аналіз досліджень [11-14] дозволив виділити три стратегічні вектори вдосконалення конструкції (рис. 4.2):

1. Оптимізація подачі зерна. Для покращення взаємодії повітряного потоку з зерною сумішшю необхідно забезпечити введення матеріалу в пневмосепарувальний канал (ПСК) розпушеним шаром шляхом використання активного живильника.

2. Зниження травмування насіння. Механічний вплив металевих елементів на зерно, особливо олійних культур, призводить до пошкоджень. Тому потрібна заміна жорстких лопаток живильника на еластичні щітки (рис. 4.3).

3. Енергоефективність системи. Зменшення енергетичних витрат на привід вентилятора та створення стабільного повітряного тиску шляхом переходу на замкнену повітряну систему. Така схема дозволяє ефективніше використовувати енергію повітряного потоку та знижує викиди пилу в навколишнє середовище.

Алгоритм роботи оновленої системи аспірації виглядає наступним чином:

- рівномірний розподіл – вихідний зерновий матеріал спочатку потрапляє до шнека-розподільника 1, який формує стабільний потік, однаковий за товщиною по всій ширині завантаження;
- активна подача – через спеціальне завантажувальне вікно суміш спрямовується до активного живильника 2;
- підготовка шару – живильник подає зерно в пневмосепарувальні канали під оптимальним кутом, одночасно забезпечуючи його попереднє розпушення для кращого проникнення повітря;

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

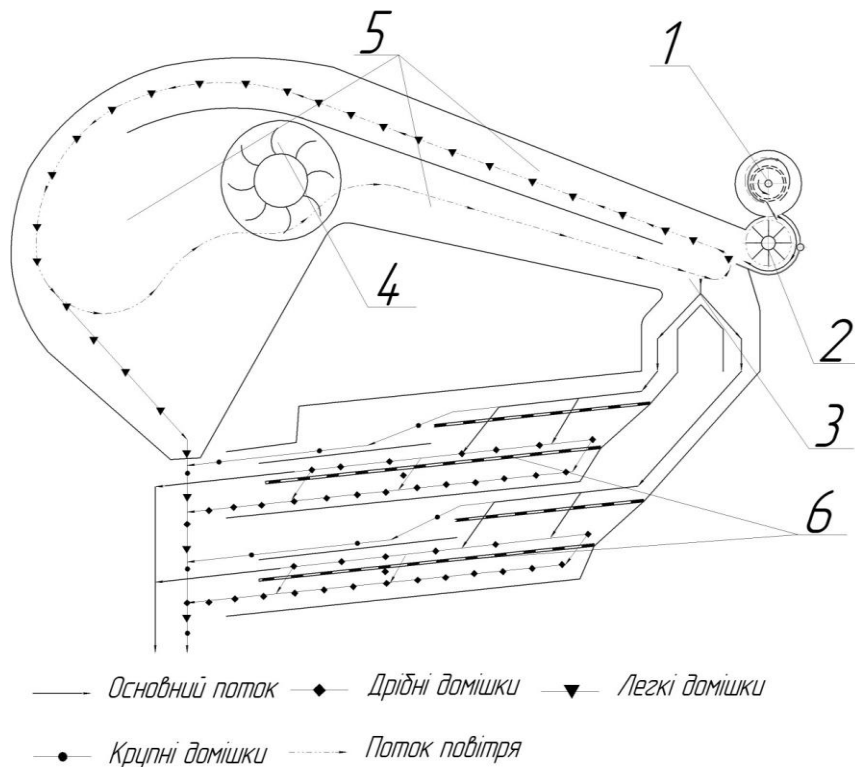


Рис. 4.2. Функціональна схема після модернізації:

1 – розподільчий шнек; 2 – живильник активного завантаження; 3 – пневмосепарувальні канали; 4 – вентилятор; 5 – пневмосистема замкненого типу; 6 – решітні стани.

- повітряна сепарація – у ПСК зернова маса продувається інтенсивним повітряним потоком;

- очищення повітря – легкі домішки виносяться потоком до осадової камери, де вони відокремлюються та випадають в осад;

- рециркуляція – відпрацьоване повітря не викидається назовні, а повертається через замкнену систему 5 назад до ПСК для повторного використання;

- подальша обробка – важкі фракції зерна, звільнені від легких домішок, проходять крізь розподільник і надходять на етап решітної очистки 6.

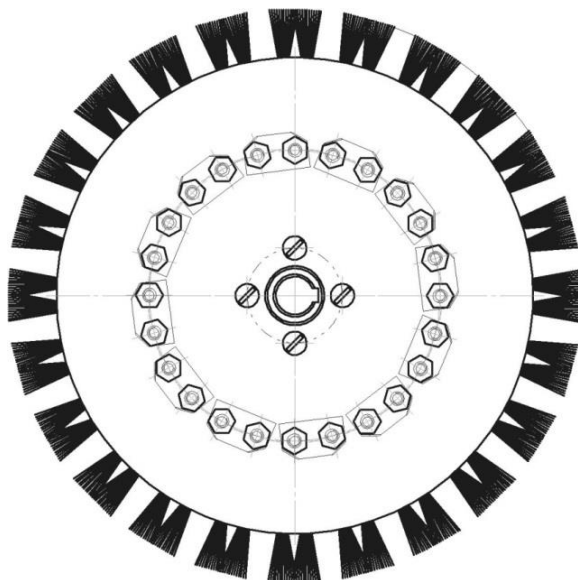


Рис. 4.3. Загальний вигляд живильника щіткового типу

4.2. Технологічні розрахунки

Розрахунки виконуються для чотирьох взаємопов'язаних вузлів модернізованої аспіраційної системи: активного живильника щіткового типу, пневмосепарувальних каналів (ПСК), осадової камери та відцентрового вентилятора. Вхідними даними для розрахунку є продуктивність зерноочисної машини (ЗОМ) при первинному очищенні $Q = 20$ т/год та фізико-механічні характеристики соняшника.

4.2.1. Розрахунок параметрів активного живильника щіткового типу

Активний живильник призначений для рівномірної подачі зернового матеріалу в пневмосепарувальний канал розпушеним шаром. Щіткова конструкція забезпечує м'який контакт із насінням олійних культур, мінімізуючи механічні пошкодження оболонки зерна. Основними геометричними параметрами живильника є: довжина (відповідає ширині машини), діаметр щіткового барабана та частота його обертання.

Мінімальний діаметр барабана обирається з умови забезпечення достатньої жорсткості щіток та геометричних розмірів завантажувального вікна. Конструктивно приймається такий діаметр, при якому довжина ворсу щітки становить не більше $0,3 D_{ж}$ (для збереження пружних властивостей):

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

МВС 00.000 ПЗ

Арк.

$$D_{\text{жс}} = (2...3) \cdot d_3 + 2l_{\text{щ}},$$

де d_3 – умовний діаметр зерна, для соняшника $d_3 \approx 8$ мм;

$l_{\text{щ}} = 40...60$ мм – робоча довжина ворсу щітки;

$$D_{\text{жс}} = 2,5 \cdot 8 + 2 \cdot 50 = 120 \text{ мм.}$$

Приймаємо конструктивно $D_{\text{жс}} = 150$ мм (округлення до стандартного ряду типорозмірів із забезпеченням запасу жорсткості ворсу та зручності монтажу).

Кутова швидкість щіткового барабана визначається з умови, що лінійна швидкість кінців ворсу на поверхні барабана має відповідати швидкості подачі зернового шару, забезпечуючи рівномірне розпушення без відкидання зерна:

$$v_{\text{щ}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{жс}} \cdot n_{\text{жс}}}{60},$$

де $v_{\text{щ}} = 0,5...1,5$ м/с – рекомендована окружна швидкість щітки для соняшника;

$n_{\text{жс}}$ – частота обертання живильника, об/хв:

$$n_{\text{жс}} = \frac{v_{\text{щ}} \cdot 60}{\pi \cdot D_{\text{жс}}} = \frac{1,0 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,15} = 127 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_{\text{жс}} = 130$ об/хв (найближче значення зі стандартного ряду частот обертання для приводу через передачу).

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Теоретична об'ємна продуктивність живильника, що подає зерно рівномірним шаром шириною $B_{\text{ж}}$ і товщиною шару δ , визначається за формулою:

$$Q_{\text{ж}} = 3600 \cdot B_{\text{ж}} \cdot \delta \cdot v_{\text{п}} \cdot \rho \cdot \varphi,$$

де $B_{\text{ж}} = 1,0$ м – робоча ширина живильника (дорівнює ширині ПСК);

$\delta = 0,02 \dots 0,04$ м – товщина рівномірного шару зерна, що подається (приймаємо $\delta = 0,03$ м);

$v_{\text{п}}$ – поступальна швидкість подачі зерна;

$\rho = 410 \dots 440$ кг/м³ — насипна густину насіння соняшника;

$\varphi = 0,7$ – коефіцієнт заповнення перерізу шаром.

Поступальна швидкість подачі зернового шару визначається кутовою швидкістю барабана та кроком щіток. Для щіткового живильника з 8-ма рядами щіток:

$$v_{\text{п}} = \frac{n_{\text{ж}} \cdot t_{\text{щ}}}{60},$$

де $t_{\text{щ}}$ – крок між рядами щіток:

$$t_{\text{щ}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{ж}}}{8} = \frac{3,14 \cdot 0,15}{8} = 0,059 \text{ м};$$

$$v_{\text{п}} = \frac{130 \cdot 0,059}{60} = 0,128 \text{ м/с}.$$

Тоді:

$$Q_{\text{ж}} = 3600 \cdot 1,0 \cdot 0,03 \cdot 0,128 \cdot 425 \cdot 0,7 = 4104 \text{ кг/год} = 4,1 \text{ т/год}.$$

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Оскільки живильник обслуговує два паралельних ПСК, сумарна продуктивність:

$$Q_{ж.заг} = 4,1 \cdot 2 = 8,2 \text{ т/год.}$$

Отримане значення потребує збільшення швидкості або ширини. При $B_{ж} = 1,0$ м на кожен канал необхідно збільшити товщину шару до $\delta = 0,07$ м або використати два ряди живильників. Альтернативно – збільшимо частоту обертання до $n_{ж} = 280$ об/хв, що відповідає $v_{щ} \approx 2,2$ м/с – допустима межа для олійних культур:

$$Q_{ж} = 3600 \cdot 1,0 \cdot 0,03 \cdot 0,280 \cdot 425 \cdot 0,7 = 8828 \text{ кг/год} > 5\,000 \text{ кг/год.}$$

Потужність на привід щіткового барабана витрачається на подолання сил тертя в підшипниках і деформацію ворсу щіток при контакті із зерном:

$$N_{ж} = \frac{(M_{тр} + M_{щ}) \cdot \omega}{1000},$$

де ω – кутова швидкість барабана, рад/с;

$M_{тр}$ – момент тертя в підшипниках;

$M_{щ}$ – момент деформації щіток.

Спрощена емпірична залежність для визначення потужності живильника щіткового типу:

$$N_{ж} = \frac{k_M \cdot Q \cdot D_{ж} \cdot n_{ж}}{9550 \cdot \eta},$$

де $k_M = 0,015 \dots 0,020$ – питомий коефіцієнт механічного опору щіток;

					MBC 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	N докум.	Підп.	Дата		

$Q = 20\,000$ кг/год = 5,56 кг/с – продуктивність;

$\eta = 0,90$ – ККД приводу;

$$N_{\text{жс}} = \frac{0,018 \cdot 5,56 \cdot 0,15 \cdot (280 / 60)}{0,9} = 0,078 \text{ кВт.}$$

Приймаємо потужність $N_{\text{жс}} = 0,25$ кВт (з урахуванням пускових навантажень та стандартного ряду).

4.2.2. Розрахунок перерізу пневмосепарувальних каналів

Пневмосепарувальні канали є основним робочим органом аспіраційної системи, де відбувається безпосереднє відокремлення легких домішок від зернового матеріалу висхідним або похилим потоком повітря. Геометрія каналів визначає ефективність сепарації та аеродинамічний опір системи.

Критична (зависаюча) швидкість витання частинки – швидкість потоку повітря, при якій сила аеродинамічного опору врівноважується вагою частинки. Для сферичних або близьких до сферичних тіл:

$$v_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot d_e \cdot (\rho_z - \rho_n)}{3 \cdot C_x \cdot \rho_n}},$$

де d_e – еквівалентний діаметр зерна (для соняшника $d_e \approx 7,5$ мм = 0,0075 м);

$\rho_z = 490$ кг/м³ – щільність зерна соняшника;

$\rho_n = 1,2$ кг/м³ – густину повітря;

$C_x = 0,47$ – коефіцієнт аеродинамічного опору;

$$v_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81 \cdot 0,0075 \cdot (490 - 1,2)}{3 \cdot 0,47 \cdot 1,2}} = 9,2 \text{ м/с.}$$

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для надійного виділення легких домішок швидкість повітряного потоку в ПСК має перевищувати швидкість витання домішок, але бути меншою за критичну швидкість основного зерна. Рекомендоване співвідношення [10-12]:

$$v_n = (0,7 \dots 0,9) \cdot v_{кр} = 0,8 \cdot 9,2 = 7,36 \text{ м/с}$$

Приймаємо розрахункову швидкість повітря в ПСК: $v_n = 7,4 \text{ м/с}$.

Ширина каналу визначається з умови дотримання нормативного питомого зернового навантаження на одиницю ширини каналу. Впровадження активного живильника дозволяє підвищити питома навантаження порівняно з пасивною подачею. Необхідна ширина аспіраційного каналу з урахуванням підвищеного навантаження:

$$B_{асп} = \frac{Q \cdot 1000}{q_B \cdot i_{асп}}$$

$$B = Q \cdot 1000 / (q'_B \cdot i) \quad (4.10)$$

де $q_B = 1285 \text{ кг/(дм} \cdot \text{год)} = 1,285 \text{ т/(дм} \cdot \text{год)}$ – питома навантаження після модернізації;

$i_{асп} = 2$ – кількість паралельних аспіраційних каналів;

$$B_{асп} = \frac{20000 \cdot 1000}{1285 \cdot 2} = 7,78 \text{ дм.}$$

З конструктивних міркувань, а також з огляду на необхідність узгодження геометрії ПСК з шириною решітних станів (для забезпечення безперешкодного переміщення зернового матеріалу між вузлами машини), встановлюємо $B_{асп} = 1000 \text{ мм}$. Це відповідає стандартній ширині решітних секцій і забезпечує рівномірне завантаження каналу при підвищеній вологості та засміченості зернової суміші.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Глибина каналу $c_{асн}$ визначається за напівемпіричною залежністю, що враховує необхідну повноту виділення легких домішок h :

$$c_{асн} = \frac{0,3 \cdot B_{асн} \cdot (1 - h)}{h}$$

$$c = 0,3 \cdot B \cdot (1 - h) / h \quad (4.11)$$

де $h = 0,6 \dots 0,8$ – агротехнічно задана повнота виділення легких домішок (частка домішок, що видаляється за один прохід через канал) відповідно до призначення первинного очищення;

$$c_{асн} = \frac{0,3 \cdot 1000 \cdot (1 - 0,75)}{0,75} = 100 \text{ мм.}$$

Для надійної роботи при підвищеній засміченості суміші збільшуємо глибину каналу до конструктивного значення $c_{асн} = 120 \text{ мм} = 1,2 \text{ дм}$, що забезпечує резерв пропускної здатності каналу.

Питоме зернове навантаження на одиницю площі поперечного перерізу ПСК є комплексним показником напруженості роботи аспіраційної системи:

$$q_A = \frac{1000 \cdot Q}{B_{асн} \cdot c_{асн} \cdot i_{асн}} = \frac{1000 \cdot 20}{10 \cdot 1,2 \cdot 2} = 833 \text{ кг/(год} \cdot \text{дм}^2\text{)}.$$

Нормативне значення питомого навантаження на площу перерізу для аспіраційних каналів соняшнікоочисних машин не повинне перевищувати 900 кг/(год·дм²). Отримане значення 833 кг/(год·дм²) задовольняє цю умову із запасом 8 %.

Необхідна об'ємна витрата повітря, яку повинен забезпечити вентилятор у пневмосепарувальних каналах:

					MBC 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$V_{ПСК} = 3600 \cdot v_n \cdot B_{асп} \cdot c_{асп} \cdot i_{асп},$$

$$V_{ПСК} = 3600 \cdot 7,4 \cdot 1,0 \cdot 0,12 \cdot 2 = 6393 \text{ м}^3/\text{год.}$$

4.2.3. Розрахунок параметрів вентилятора

У замкненій схемі вентилятор не транспортує повітря назовні, а підтримує його безперервну циркуляцію в замкненому контурі: ПСК → осадова камера → вентилятор → ПСК. Це дозволяє суттєво знизити потужність приводу порівняно з відкритою схемою.

Повний аеродинамічний опір замкненої пневматичної системи складається з локальних втрат у фасонних елементах і втрат на тертя в каналах:

$$\Delta P_{заг} = \Delta P_{вх} + \Delta P_{вих} + \Delta P_{тр} + \Delta P_{міс}.$$

Динамічний тиск у ПСК:

$$P_{дин} = \frac{1}{2} \rho_n \cdot v_n^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 7,4^2 = 32,9 \text{ Па.}$$

Втрати тиску на вхід у канал (коефіцієнт місцевого опору $\xi_{вх} = 0,5$):

$$\Delta P_{вх} = \xi_{вх} \cdot P_{дин} = 0,5 \cdot 32,9 = 16,5 \text{ Па.}$$

Втрати на вихід із каналу до осадової камери ($\xi_{вих} = 1,0$):

$$\Delta P_{вих} = \xi_{вих} \cdot P_{дин} = 1,0 \cdot 32,9 = 32,9 \text{ Па.}$$

					MBC 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Втрати на тертя в каналах довжиною $l_{\kappa} = 0,8$ м (коефіцієнт Дарсі $\lambda = 0,04$ для прямокутного каналу з металевими стінками, гідравлічний діаметр якого становить:

$$d_r = \frac{2 \cdot B_{асн} \cdot c_{асн}}{B_{асн} + c_{асн}} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 120}{1000 + 120} = 214 \text{ мм} = 0,214 \text{ м},$$

$$\Delta P_{тр} = \lambda \cdot \frac{l_{\kappa}}{d_r} \cdot P_{дин} = 0,04 \cdot \frac{0,8}{0,214} \cdot 32,9 = 4,9 \text{ Па}.$$

Втрати в осадовій камері, поворотних колінах та фільтрі ($\xi_{міс} = 2,5$):

$$\Delta P_{міс} = \xi_{міс} \cdot P_{дин} = 2,5 \cdot 32,9 = 82,3 \text{ Па}.$$

Загальний аеродинамічний опір системи:

$$\Delta P_{заг} = 16,5 + 32,9 + 4,9 + 82,3 = 136,6 \text{ Па}.$$

З урахуванням коефіцієнта запасу $k_z = 1,15$ (на можливе збільшення опору при засміченні каналів та підвищеній вологості):

$$\Delta P_{розр} = k_z \cdot \Delta P_{заг} = 1,15 \cdot 136,6 = 157 \text{ Па}.$$

Об'ємна витрата повітря, яку повинен забезпечити вентилятор у замкнутому контурі, дорівнює витраті в ПСК з урахуванням підсмоктування через нещільності:

$$V_{вент} = k_{\Pi} \cdot V_{ПСК} = 1,1 \cdot 6393 = 7032 \text{ м}^3/\text{год},$$

					MBC 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де $k_{\Pi} = 1,10$ – коефіцієнт підсмоктування (10 % запас на компенсацію нещільностей у замкненій системі).

Розрахункова об'ємна витрата вентилятора $V_{\text{вент}} \approx 7000 \text{ м}^3/\text{год}$.

Теоретична потужність, необхідна для приводу вентилятора:

$$N_{\text{вент}} = \frac{V_{\text{вент}} \cdot \Delta P_{\text{розр}}}{3600 \cdot \eta_{\text{вент}} \cdot \eta_{\text{пер}}},$$

де $\eta_{\text{вент}} = 0,65$ – ККД відцентрового вентилятора середнього тиску;

$\eta_{\text{пер}} = 0,95$ – ККД клинопасової передачі;

$$N_{\text{вент}} = \frac{7000 \cdot 157}{3600 \cdot 0,65 \cdot 0,95} = 504 \text{ Вт} \approx 0,50 \text{ кВт}.$$

З урахуванням коефіцієнта запасу потужності $k_N = 1,20$:

$$N_{\text{елдв}} = k_N \cdot N_{\text{вент}} = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ кВт}.$$

Встановлена потужність електродвигуна вентилятора: $N_{\text{елдв}} = 0,75 \text{ кВт}$ (стандартний ряд).

Порівняно з відкритою схемою аспірації (де вентилятор повинен долати додатковий опір вихлопних повітроводів та викидати повітря назовні, що вимагало 1,5...2,0 кВт), замкнена схема забезпечує скорочення витрат електроенергії на привід вентилятора в 2–2,5 рази.

За розрахованими параметрами ($V_{\text{вент}} = 7000 \text{ м}^3/\text{год}$, $\Delta P = 157 \text{ Па}$) підбираємо відцентровий вентилятор типу ВЦ 4-75 або ВЦП 5-45.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Висновки по розділу

На основі проведеного аналізу та конструкторських розрахунків модернізації зерноочисної машини ОВУ-25У можна зробити наступні висновки.

Встановлено, що існуюча система аспірації не забезпечує нормативну якість очищення, особливо для олійних культур (соняшника), що зумовило необхідність вдосконалення пневмосепарувальних каналів та вузлів завантаження.

Запропоновано впровадження активного живильника з еластичними щітками, що дозволяє подавати матеріал розпушеним шаром зі швидкістю 0,3...0,5 м/с та мінімізувати травмування насіння. Застосування замкненої повітряної системи з осадовою камерою дозволяє знизити енергетичні витрати на створення потоку та зменшити викиди пилу в робочу зону.

Розрахункова ширина аспіраційного каналу для соняшника становить 97 мм, проте з конструктивних міркувань та для забезпечення універсальності її прийнято рівною 1000 мм (ширина решітних станів). Використання активного живильника дозволило підвищити питоме навантаження на канали на 3,6% (з 1240 до 1285 кг/дм·год).

Отримані конструктивні параметри аспіраційної системи підтверджують техніко-економічну доцільність запропонованої модернізації. Загальна встановлена потужність усього аспіраційного вузла (живильник та вентилятор) становить лише 1,0 кВт, що в 1,5...2 рази менше за аналогічний показник машин з відкритою пневматичною схемою та пасивним живильником. Замкнена повітряна система унеможливорює викид забрудненого повітря в робочу зону приміщення, що відповідає сучасним санітарно-гігієнічним нормам для приміщень післязбиральної обробки зерна.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ.

Для забезпечення безпечної експлуатації модернізованої зерноочисної машини ОВУ-25У необхідно впровадити комплекс оригінальних заходів з охорони праці, що враховують особливості її конструкції (наявність активного живильника та замкненої системи аспірації).

Оскільки машина приводиться в дію чотирма електродвигунами, особливу увагу слід приділити наступному. Блокування доступу – встановлення кінцевих вимикачів на кожухах шнека-розподільника та механізму приводу, які автоматично знеструмлюють двигун при відкритті захисних панелей. Маркування небезпечних зон – візуальне позначення рухомих частин механізму коливання решіт та приводу відвантажувача яскравим сигнальним кольором. Контроль заземлення – перед кожним циклом роботи на току необхідно перевіряти цілісність заземлювального контуру триколісної рами.

Застосування замкненої повітряної системи вимагає специфічного підходу. Герметичність осадової камери – регулярний огляд ущільнювачів осадової камери для запобігання неконтрольованому викиду дрібнодисперсного пилу в робочу зону. Обслуговування щіткового живильника – очищення еластичних щіток активного живильника дозволяється лише за повної зупинки двигуна та фіксації механізму самопересування.

З огляду на високу пожежну небезпеку пилу соняшника.

Антистатичний захист – використання антистатичних покриттів для лопаток-щіток живильника, щоб уникнути накопичення статичної електрики при терті насіння зі швидкістю 0,3...0,5 м/с. Контроль запиленості – завдяки інерційному пиловідділювачу та замкненому циклу, рівень пилу знижується, проте оператор повинен використовувати засоби захисту органів дихання при розвантаженні осадової камери.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.

У ході виконання роботи проведено комплексне дослідження та розроблено заходи з удосконалення технології й технічних засобів для післязбиральної обробки соняшнику. Результати дозволяють сформулювати наступні положення.

Соняшник визначено як ключову високорентабельну культуру України. Встановлено, що стабільність врожаю та якість насіння залежать від жорсткого дотримання сівозміни (7...8 років) та переходу до енергозбережного обробітку ґрунту (Mini-till, Strip-till), що забезпечує збереження лімітуючої вологи в посушливих регіонах.

Аналіз фізико-механічних властивостей вороху показав, що насіння соняшнику є крихким об'єктом із низькою насипною масою. Існуючі системи аспірації машин типу ОВУ-25У не забезпечували необхідної чистоти через пасивне завантаження та відкритий цикл повітря, що призводило до травмування насіння та запилення робочих зон.

Розроблено та розраховано модернізований вузол аспірації зерноочисної машини ОВУ-25У. Ключовим рішенням стало впровадження активного живильника з еластичними щітками, який подає матеріал розпушеним шаром зі швидкістю 0,3...0,5 м/с. Це дозволило підвищити питоме навантаження на канали на 3,6% (до 1285 кг/дм·год) за умови мінімізації мікропошкоджень оболонки насіння.

На основі розрахунків визначено оптимальні розміри пневмосепарувальних каналів (ширина 1000 мм, глибина 120 мм), що забезпечують повноту виділення легких домішок на рівні 0,6...0,8. Для сепарації соняшника встановлено необхідну швидкість повітряного потоку 7,4 м/с при загальній витраті повітря близько 7000 м³/год.

Застосування замкненої повітряної системи дозволило знизити встановлену потужність вузла до 1,0 кВт, що в 1,5...2 рази менше, ніж у

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

розімкнених схемах. Одночасно з цим повністю усунуто викиди пилу в навколишнє середовище, що відповідає сучасним санітарно-гігієнічним нормам.

Розрахована операційна технологія для площі 240 га забезпечує переробку 1025 т вороху за 20 діб. Комплекс із 8 одиниць обладнання вітчизняного виробництва сумарною потужністю 60,7 кВт гарантує отримання насіння чистотою $\geq 99,5\%$ та вологістю $\leq 8\%$.

Запропоновано оригінальні заходи безпеки, включаючи антистатичний захист щіткових живильників та систему блокування приводів, що мінімізує виробничі ризики при експлуатації модернізованого обладнання.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шандрівська О. Є., Питуляк Н. С., Греб О. І. Дослідження ринку соняшникової олії у світі та Україні. Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку. 2024. № 2 (12). С. 365-382. DOI: <https://doi.org/10.23939/smeu2024.02.365>.
2. Бронін О.В. Економічна ефективності виробництва насіння соняшнику в умовах становлення ринкової економіки України : [навчальний посібник] / О.В. Бронін. Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2016. 100 с.
3. Гамаюнова В.В., Коваленко О.А., Хоненко Л.Г. Сучасні підходи до ведення землеробської галузі на засадах біологізації та ресурсо-збереження : колективна монографія / за редакцією П.В. Писаренка, Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб. Полтава: ПДАА, 2018. 324 с.
4. Соловійов О. В., Сидякіна О. В. Біологізація технології вирощування соняшнику: огляд технологій та перспективи їх впровадження. Таврійський науковий вісник. Серія: Землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво. 2025. № 143. Ч. 2. С. 73-82. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.10>.
5. Ткачук О. П., Бондарук Н. В. Фактори інтенсифікації та екологізації вирощування соняшнику. Аграрні інновації. 2023. № 18. С. 120-127. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.18.17>.
6. Жуйков О. Г., Середюк В. Ю. Технологія вирощування соняшника Clearfield® – світова історія та вітчизняний досвід. *Аграрні інновації. Меліорація, землеробство, рослинництво*. 2024. № 23. С. 68-74. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.10>.
7. Агротехнологія вирощування гібридів соняшнику, стійких до дії гербіцидів з групи сульфонілсечовин (науково-практичні рекомендації) ; підгот.: Р.А. Гутянський, С.І. Попов, Н.В. Кузьменко, О.М. Глибокий, В.О. Шелякін, Н.Г.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- Жижка, Т.А. Шелякіна, Р.Д. Магомедов / НААН, Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН. Харків, 2023. 11 с.
8. Дем'яненко, С. В., Іванов, І. І. (2019). Механізація технологічних процесів у рослинництві: сучасний стан та перспективи розвитку. Технічні науки та технології, (4), 18–25.
 9. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. К.: Аграрна освіта, 2010. 617 с.
 10. Теорія і розрахунки параметрів процесів і робочих органів сільськогосподарських машин: Практикум. Морозов І.В., Бакум М.В., Пастухов В.І., Горбатовський О.М., Кириченко Р.В., Козій О.Б., Леонов В.П., Нікітін С.П.; за редакцією проф. І.В. Морозова. Харків: ХНТУСГ, 2011.
 11. Котов Б. І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, М. Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград. – 2003. – Вип. 33. – С. 53–59.
 12. Лещенко С.М. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючої системи інерційного прямооточного сепаратора зерна: дис. ... кандидата техн. наук : 05.05.11 / Сергій Миколайович Лещенко. – Кіровоград, 2010. – 192 с.
 13. Оцінка рівномірності розподілу та засміченості зерна при його багаторівневому введенні в пневмосепаруючий канал / О. В. Нестеренко, С. М. Лещенко, О. М. Васильковський, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – Вип. 51. – С. 111-116.
 14. Обґрунтування конструктивних параметрів інерційного прямооточного сепаратора зерна / О. М. Васильковський, М. І. Васильковський, І. М. Осипов // Конструювання, виробництво та експлуатація

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 29. – 2001. – С. 234-238.

15. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. // Суми. Університетська книга. 2008. 450 с.

16. Деталі машин. Розрахунок та конструювання [Текст] : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов [та ін.]. Київ : Талком, 2014. 684 с.

17. Охорона праці у сільському господарстві. – ТОВ «ТЕХ МЕДІА ГРУП», 2019 р. URL: https://techmedia.com.ua/sites/default/files/online_version/ECO_SX/files/assets/basic-html/toc.html.

					МВС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		