ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

Модернізація бункера активного вентилювання сільськогосподарської продукції з регульованим розподілом повітря

Виконав: здобувач 4 курсу групи АІС-2-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Родь Олександр Миколайович_____

Керівник: _____ Золотовська Олена Володимирівна

Рецензент: _____ _____

Дніпро – 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

«____» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Родь Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація бункера активного вентилювання сільськогосподарської продукції з регульованим розподілом повітря

Керівник роботи Золотовська Олена Володимирівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 5 » травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом роботи 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Аналіз виробничої діяльності підприємства. Аналіз літературних джерел та обгрунтування актуальності дипломного проєкту. Аналіз конструктивно-режимних параметрів вібраційної машини для післязбиральної обробки зернового вороху

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити).1 Аналіз господарства та обґрунтування необхідності модернізації бункера активного вентилювання 2. Аналіз конструкцій бункерів активного вентилювання та технологічних основ

процесу. 3 Визначення конструктивних параметрів бункеру. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка проєктих рішень. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)1. Аналіз господарства та обґрунтування необхідності модернізації бункера активного вентилювання. (А1). 2. Аналіз сушіння. (А1). 3. Бункер активного вентилювання. Загальний вигляд. (А1) 4. Повітропровід центральний вертикальний. Складальне креслення (А2). Рукав перфорований (А3). Патрубок перехідний підведення повітря (А3). 5. Заслінка нижня розвантажувальна (А2). Опора рукава. (А3). Патрубок виходу відпрацьованого повітря (А3). 6. Економічний аналіз (А1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3,4,5	Золотовська О.В., доцент		
Нормо-контроль	Бойко В.Б., доцент		

7. Дата видачі завдання: 11.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз господарства	11.03.26-11.04.26	
2	Аналіз проблематики проєкту	13.03.26-13.05.26	
3	Технологічно-конструктивний	14.04.26-21.05.26	
4	Охорона праці	15.04.26-20.05.26	
5	Економічний	19.04.26-7.06.26	
6	Графічна частина	10.05.65-7.06.65	

Здобувач _____ Родь О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Золотовська О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

№строк	Формат	Позначення	Найменування	Кільк.	Номер	Примітка
			Документація			
1	*А4*	*52.ДП.113.000.000.ПЗ*	*Розрахунково -*			
			пояснювальна записка	*61*		
2	*А1*	*52.ДП.113.000.001ТБ*	*Аналіз господарства*	*1*	*1*	
3	*А1*	*52.ДП.113.000.002.ТХ*	*Аналіз сушіння*	*1*	*3*	
4	*А1*	*52.ДП.113.000.003.ЗВ*	*Бункер активного вентилювання*	*1*	*4*	
5	*А2*	*52.ДП.113.000.004СК*	*Повітропровід центральний вертикальний*	*1*	*5*	
	А3	*52.ДП.113.000.005.СК*	*Рукав перфорований*	*1*	*5*	
	А3	*52.ДП.113.000.006.СК*	*Патрубок перехідний підведення повітря*	*1*	*5*	
6	*А2*	*52.ДП.113.000.007.СК*	*Заслінка нижня розвантажувальна*	*1*	*\6*	
	А3	*52.ДП.113.000.008.СК*	*Опора рукава*	*1*	*6*	
	А3	*52.ДП.113.000.009.СК*	*Патрубок виходу*	*1*	*6*	
7	*А1*	*52.ДП.113.000.000.ТБ*	*Оцінка економічної ефективності*	*1*	*7*	

Зм.	*Лист*	*№ докум*	*Підпис*	*Дата*	*52.ДП.113.000.000.ПЗ*		
Розроб.		*Родь О.М.*			*Відомості дипломного проекту*	*Літ*	*Лист*	*Листів*
Перев.		*Золотовська О.В.*						*61*
Н.Контр		*Бойко В.Б.*				*ДДАЕУ Група АІС-3-23*		
Затв.		*Теслюк Г.В..*						

Анотація

Родь О. М. Модернізація бункера активного вентилювання сільськогосподарської продукції з регульованим розподілом повітря/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026

У першому розділі виконано аналіз господарства, його виробничого напряму, структури посівних площ, обсягів виробництва продукції та матеріально-технічної бази. Встановлено, що дільниця тимчасового накопичення і вентилювання зерна потребує удосконалення, оскільки існуюча система подачі повітря не забезпечує рівномірного повітрообміну по всьому об'єму продукції.

У роботі проаналізовано основні типи зерносушильного обладнання та обґрунтовано доцільність модернізації саме бункера активного вентилювання як проміжної ланки післязбиральної доробки. Запропоновано конструкцію бункера з центральним вертикальним повітропроводом і багаторівневими похилими перфорованими розподільними рукавами. Така схема дозволяє подавати повітря в різні шари зернової маси, зменшувати застійні зони та підвищувати рівномірність вентилювання.

Виконано розрахунок геометричних параметрів бункера, його місткості, необхідної витрати повітря, площі перфорації, швидкості руху повітря, аеродинамічного опору системи та підібрано вентилятор. Розроблено заходи з охорони праці та безпеки під час експлуатації модернізованого обладнання. Проведена техніко-економічна оцінка показала доцільність запропонованої модернізації, оскільки вона забезпечує скорочення тривалості вентилювання, зменшення втрат зерна та економічний ефект для господарства.

Ключові слова: активне вентилювання, зернова маса, повітророзподіл, перфорований рукав, центральний повітропровід, післязбиральна доробка, модернізація.

ЗМІСТ

Анотація 5
Вступ 7
1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ БУНКЕРА АКТИВНОГО ВЕНТИЛЮВАННЯ 10
1.1 Загальна характеристика господарства 10
1.2 Виробничий напрям діяльності господарства 11
1.3 Обсяги виробництва продукції та потреба у післязбиральній доробці 12
1.4 Матеріально-технічна база господарства 12
1.5 Організація післязбиральної обробки та зберігання продукції 13
1.6 Аналіз існуючого бункера активного вентилювання 14
Висновки 16
2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ БУНКЕРІВ АКТИВНОГО ВЕНТИЛЮВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСНОВ ПРОЦЕСУ 17
2.1 Аналіз та класифікація зерносушильного обладнання 17
2.2 Обґрунтування використання бункеру активного вентилювання 28
2.3 Модернізація установки активного вентилювання 31
Висновки 34
3 ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ БУНКЕРУ 36
3.1 Конструкторсько-технологічні розрахунки модернізованого бункера активного вентилювання 37
Висновки 48
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУНКЕРА АКТИВНОГО ВЕНТИЛЮВАННЯ 50
4.1 Аналіз умов праці під час експлуатації бункера активного вентилювання 50
4.2 Вимоги безпеки під час експлуатації бункера 51
4.3 Заходи щодо зменшення запиленості та шуму 53
4.4 Безпека під час ремонтних і налагоджувальних робіт 53
4.5 Захист довкілля при експлуатації бункера 54
Висновки 54
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЄКТУ 55
Висновки 59
ВИСНОВКИ 60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 62
ДОДАТКИ 64

ВСТУП

У сучасному аграрному виробництві важливе місце займає не лише вирощування сільськогосподарської продукції, а й забезпечення належних умов її післязбиральної обробки та зберігання. Саме на цьому етапі значною мірою формується кінцева якість продукції, її придатність до реалізації, переробки або тривалого зберігання. Якщо після збирання не створити необхідних умов для стабілізації вологості та температури, у масі продукції можуть розвиватися небажані процеси, пов'язані із самозігріванням, зволоженням окремих зон, погіршенням фізичного стану та втратою якісних показників.

Одним із найбільш доступних і поширених способів підтримання належного стану сільськогосподарської продукції є активне вентилювання. Його застосування дає змогу поліпшити повітрообмін у товщі матеріалу, знизити температуру продукції, частково вирівняти її вологість та зменшити ризик псування під час зберігання. Особливо важливим це є для господарств, у яких продукція певний час перебуває у бункерах, накопичувачах або тимчасових сховищах до подальшої доробки чи відвантаження.

Разом із тим ефективність активного вентилювання залежить не тільки від роботи вентилятора чи загальної подачі повітря, а й від того, наскільки рівномірно це повітря розподіляється у всьому об'ємі продукції. На практиці у багатьох бункерах виникає нерівномірне продування шару: одна частина маси вентилюється інтенсивніше, а інша - недостатньо. У результаті окремі ділянки залишаються переущільненими, гірше охолоджуються, довше утримують надлишкову вологу, що негативно впливає на збереженість продукції і потребує додаткових витрат часу та електроенергії.

Для сільськогосподарських підприємств це питання має цілком практичне значення. Втрати від погіршення якості продукції, зниження її кондиційності та збільшення витрат на післязбиральну доробку безпосередньо впливають на економічний результат господарства. Саме тому удосконалення бункерів активного вентилювання слід розглядати як один із реальних шляхів

підвищення ефективності технологічних процесів у рослинництві. Особливу увагу доцільно приділити системі повітророзподілу, оскільки саме вона визначає характер проходження повітря через шар продукції.

Актуальність теми дипломного проєкту полягає в необхідності вдосконалення конструкції бункера активного вентилювання сільськогосподарської продукції для забезпечення більш рівномірної подачі повітря по всьому об'єму матеріалу. Використання регульованого розподілу повітря дає можливість цілеспрямовано впливати на інтенсивність вентилювання в окремих зонах бункера, зменшувати застійні ділянки, підвищувати якість обробки продукції та знижувати енерговитрати. Такий підхід є доцільним як з технічної, так і з виробничої точки зору.

Метою дипломного проєкту є модернізація бункера активного вентилювання сільськогосподарської продукції шляхом удосконалення системи розподілу повітря для підвищення ефективності його роботи.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно розв'язати такі завдання:

– проаналізувати виробничі умови господарства та особливості організації процесів зберігання і післязбиральної обробки продукції;

– розглянути існуючі конструкції бункерів активного вентилювання та принципи їх роботи;

– виявити основні недоліки наявних систем подачі й розподілу повітря;

– запропонувати конструктивне рішення щодо модернізації бункера;

– обґрунтувати основні параметри удосконаленої системи регульованого повітророзподілу;

– виконати необхідні конструктивні та технологічні розрахунки;

– оцінити доцільність упровадження запропонованої модернізації;

– передбачити заходи з охорони праці та захисту довкілля під час експлуатації обладнання.

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропоноване технічне рішення може бути використане для вдосконалення наявних бункерів

активного вентилювання в умовах сільськогосподарських підприємств. Реалізація модернізації дає змогу покращити умови проходження повітря через продукцію, скоротити тривалість вентилювання, знизити ризик погіршення якості під час зберігання та підвищити загальну ефективність використання обладнання.

1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ БУНКЕРА АКТИВНОГО ВЕНТИЛЮВАННЯ

1.1 Загальна характеристика господарства

Господарство має виробничу спеціалізацію, пов'язану з вирощуванням, збиранням, первинною доробкою та тимчасовим зберіганням сільськогосподарської продукції. Основний обсяг робіт припадає на період збирання врожаю, коли різко зростає навантаження на зерноочисне, транспортне та вентиляційне обладнання.

Господарство забезпечене земельними ресурсами, машинно-тракторним парком, транспортними засобами, зерноскладськими приміщеннями та допоміжною інфраструктурою. Разом з тим існуюча система тимчасового накопичення і вентилювання продукції не в повному обсязі відповідає сучасним вимогам щодо рівномірності повітророзподілу, енергоефективності та збереження якості матеріалу.

Для виконання аналізу прийнято показники середнього за розміром господарства, орієнтованого на виробництво зерна, соняшнику та кукурудзи. Така структура виробництва створює потребу у використанні бункерів активного вентилювання, особливо в період надходження продукції з підвищеною вологістю або температурою після збирання.

Таблиця 1.1

Загальна характеристика господарства

Показник	Значення
Загальна площа сільськогосподарських угідь, га	2850
Рілля, га	2720
Кількість працівників, осіб	46
Основний виробничий напрям	Зерно-олійний
Кількість зернозбиральних комбайнів, шт.	4
Кількість тракторів, шт.	11
Кількість вантажних автомобілів, шт.	6
Наявність зерноскладських приміщень	Є

Спосіб тимчасового зберігання продукції	Бункери, склади
Наявність системи активного вентилювання	Є

1.2 Виробничий напрям діяльності господарства

Господарство спеціалізується на вирощуванні культур, які формують основний обсяг товарної продукції та потребують оперативної післязбиральної доробки. Найбільшу частку в структурі посівів займають пшениця озима, ячмінь, кукурудза на зерно та соняшник. Така структура є типовою для господарств степової та лісостепової зон і супроводжується нерівномірним надходженням продукції на тік, що створює пікове навантаження на обладнання для очищення, підсушування, вентилювання й накопичення.

Після збирання продукція часто надходить із підвищеною вологістю, домішками та нерівномірною температурою. У таких умовах навіть короткочасне зберігання без активного повітрообміну може призводити до погіршення її стану. Тому ефективність роботи бункера активного вентилювання прямо впливає на збереження якості продукції, зменшення втрат і стабільність технологічного процесу доробки.

Таблиця 1.2

Структура посівних площ господарства

Культура	Площа, га	Частка, %
Пшениця озима	950	34,9
Ячмінь ярий	320	11,8
Кукурудза на зерно	760	27,9
Соняшник	540	19,9
Інші культури	150	5,5
Разом	2720	100,0

1.3 Обсяги виробництва продукції та потреба у післязбиральній доробці

Для оцінки навантаження на обладнання важливо врахувати не лише площі посіву, а й валовий збір продукції. Саме обсяги врожаю визначають потрібну продуктивність транспортних ліній, очисних машин, сушильного та вентиляційного обладнання. За прийнятих виробничих умов найбільший валовий збір припадає на кукурудзу та пшеницю, а найбільш чутливою до умов тимчасового зберігання є зернова маса з підвищеною вологістю та вмістом домішок.

Особливо складною є ситуація в період інтенсивного надходження кукурудзи та соняшнику, коли продукція має підвищену вологість і потребує оперативного вентилювання до подальшої доробки або переміщення на склад.

Таблиця 1.3

Валовий збір основної продукції

Культура	Урожайність, т/га	Валовий збір, т
Пшениця озима	5,2	4940
Ячмінь ярий	4,1	1312
Кукурудза на зерно	7,0	5320
Соняшник	2,8	1512
Разом	-	13084

Отже, річний обсяг продукції, що надходить на післязбиральну доробку, перевищує 13 тис. т, тому господарство потребує надійної системи короткочасного накопичення та активного вентилювання.

1.4 Матеріально-технічна база господарства

Матеріально-технічна база господарства загалом дозволяє виконувати основні польові роботи у встановлені агротехнічні строки. Разом із тим рівень забезпечення технікою для післязбиральної доробки і зберігання продукції є менш досконалим порівняно з польовим комплексом машин. Це характерно для багатьох аграрних підприємств, де основна увага приділяється збиральній

і транспортній техніці, а обладнання току та складського господарства експлуатується тривалий час без суттєвого оновлення.

Таблиця 1.4

Склад машинно-тракторного парку

Найменування техніки	Кількість, шт.
Трактори колісні	8
Трактори гусеничні/потужні енергозасоби	3
Зернозбиральні комбайни	4
Причепи тракторні	8
Автомобілі вантажні	6
Навантажувачі	2
Зерноочисні машини	2
Вентиляційні установки	1
Бункери активного вентилювання	1

Аналіз технічного забезпечення показує, що вузьким місцем є саме дільниця післязбиральної доробки. За інтенсивного надходження продукції пропускна здатність наявного бункера активного вентилювання обмежується не тільки його геометричними розмірами, а й недосконалою схемою розподілу повітря всередині шару матеріалу.

1.5 Організація післязбиральної обробки та зберігання продукції

Після збирання врожаю продукція від комбайнів транспортується на тік, де проходить первинне очищення, тимчасове накопичення, за потреби вентилювання, а далі направляється на сушіння або зберігання. Така схема є технологічно виправданою, однак її ефективність значною мірою залежить від роботи проміжної накопичувальної ланки. Бункер активного вентилювання виконує дві функції - тимчасове накопичення продукції та зниження температури та часткове вирівнювання вологості за рахунок примусової подачі повітря.

У разі нерівномірної подачі повітря одна частина продукції продувається достатньо, тоді як в іншій виникають зони зі зниженим повітрообміном. Це збільшує час перебування продукції в бункері, погіршує її стан і знижує ефективність усього технологічного ланцюга.

Таблиця 1.5

Основні етапи післязбиральної доробки продукції

Етап	Характеристика процесу
Приймання продукції	Надходження від транспортних засобів
Первинне очищення	Видалення грубих і легких домішок
Тимчасове накопичення	Розміщення у бункері або на складі
Активне вентилювання	Охолодження та часткове вирівнювання вологості
Сушіння	Доведення вологості до нормативної
Остаточне зберігання	Закладання в склад або відвантаження

1.6 Аналіз існуючого бункера активного вентилювання

Наявний у господарстві бункер активного вентилювання використовується для тимчасового накопичення продукції після очищення та перед подальшим сушінням або закладанням на зберігання. Конструктивно він включає корпус, завантажувальний пристрій, повітропідвідний канал, вентилятор, розподільні елементи та розвантажувальний вузол.

У процесі експлуатації встановлено, що наявна система подачі повітря не забезпечує однакової інтенсивності продування по всьому об’єму продукції. Повітря переважно проходить шляхом найменшого опору, внаслідок чого в окремих зонах формується підвищена швидкість фільтрації, а в інших - недостатній повітрообмін. Найбільш виражено це проявляється при завантаженні бункера на повну висоту та роботі з продукцією, яка має різну сипкість, вологість і вміст домішок.

До основних недоліків існуючої конструкції належать:

- нерівномірний розподіл повітря в шарі продукції;
- поява застійних зон;
- збільшення тривалості вентилювання;
- підвищене енергоспоживання;
- погіршення якості продукції при тривалому перебуванні у бункері;
- відсутність регулювання інтенсивності подачі повітря по окремих зонах.

Таблиця 1.6

Оцінка існуючого бункера активного вентилювання

Показник	Існуючий стан	Оцінка
Рівномірність розподілу повітря	Недостатня	Негативно
Можливість регулювання повітряного потоку	Відсутня	Негативно
Енергоефективність роботи	Середня	Потребує покращення
Якість вентилювання по всій висоті шару	Нерівномірна	Негативно
Придатність до модернізації	Є	Позитивно

Основною причиною необхідності модернізації є недостатня ефективність існуючої системи повітророзподілу. За однакової подачі вентилятора різні зони продукції отримують різну кількість повітря, що призводить до технологічної нерівномірності процесу. У результаті частина матеріалу залишається недостатньо охолодженою або недовентильованою.

Для усунення цього недоліку доцільно модернізувати бункер шляхом встановлення системи регульованого розподілу повітря. Така система повинна забезпечувати: зміну інтенсивності подачі повітря по окремих зонах; більш рівномірне продування шару продукції; зниження застійних ділянок; скорочення тривалості активного вентилювання; зменшення ризику самозігрівання; підвищення загальної ефективності роботи бункера.

Конструктивно модернізація може бути реалізована за рахунок введення регульованих повітророзподільних каналів, заслінок або перфорованих елементів зі змінною пропускною здатністю. Такий підхід не потребує повної заміни бункера, але дозволяє суттєво підвищити ефективність його роботи.

Висновки

У результаті аналізу господарства встановлено, що підприємство має виражений зерновий напрям виробництва та щорічно отримує значний обсяг продукції, яка потребує оперативної післязбиральної доробки. Існуюча матеріально-технічна база в цілому забезпечує виконання основних виробничих процесів, проте дільниця тимчасового накопичення та активного вентилювання продукції є недостатньо ефективною.

Встановлено, що наявний бункер активного вентилювання не забезпечує рівномірного розподілу повітря по всьому об’єму продукції, що знижує якість вентилювання, збільшує тривалість процесу та негативно впливає на збереження продукції. Це обґрунтовує доцільність модернізації конструкції бункера**.**

2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ БУНКЕРІВ АКТИВНОГО ВЕНТИЛЮВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСНОВ ПРОЦЕСУ

2.1 Аналіз та класифікація зерносушильного обладнання

Післязбиральна доробка зерна є обов’язковою складовою технологічного процесу в сучасному сільському господарстві. Після надходження з поля зернова маса часто має підвищену вологість, нерівномірну температуру, містить механічні та органічні домішки, а тому не може тривалий час зберігатися без попередньої обробки. Саме тому в технологічних лініях господарств застосовують різні типи сушильного обладнання, які відрізняються за будовою, принципом дії та умовами використання.

Зерносушильні установки доцільно класифікувати за характером стану зернового шару під час сушіння. Такий підхід дозволяє краще оцінити особливості тепло- і масообміну, а також визначити сферу раціонального використання конкретного типу сушарки.

До першої групи належать установки, у яких зерно під час обробки перебуває у щільному нерухомому шарі (рис.2.1). У такому випадку зернова маса практично не переміщується, а сушильний агент проходить через неї знизу вгору, зверху вниз або в поперечному напрямку. До цієї групи відносять бункерні, підлогові сушарки, а також системи сушіння в силосах. Основною перевагою такого обладнання є простота конструкції, можливість одночасного тимчасового зберігання та обробки зерна, а також незначне механічне пошкодження матеріалу. Разом із тим ефективність сушіння в нерухомому шарі значною мірою визначається рівномірністю розподілу повітря по всьому об’єму зернової маси. Якщо повітря подається нерівномірно, окремі ділянки шару залишаються недостатньо обробленими. Зерно надходить у сушарку через завантажувальний пристрій, розміщений у верхній частині. Після завантаження воно розподіляється по робочому каналу сушарки та переміщується вздовж установки суцільним шаром. У процесі руху зернова маса послідовно проходить зони нагрівання, основного сушіння, вирівнювання температури та охолодження.

Подача теплоносія в сушильну камеру здійснюється за допомогою відцентрового вентилятора гарячого повітря (3). Гарячий повітряний потік

надходить у внутрішній об’єм сушарки та через повітророзподільні канали (4) рівномірно подається до шару зерна. При проходженні через зернову масу нагріте повітря передає їй теплоту, внаслідок чого з поверхні та внутрішніх шарів зернівок видаляється частина вологи. Таким чином відбувається основний процес сушіння.

Для підвищення ефективності використання теплоти у схемі передбачена рециркуляція частини повітряного потоку. Вологе гаряче повітря, яке ще має певний тепловий потенціал, частково повертається в систему і знову використовується у сушильному процесі. Цю функцію забезпечує рециркуляційний вентилятор (1). Завдяки цьому зменшуються питомі витрати теплової енергії та підвищується загальна економічність роботи сушарки.

Надлишок відпрацьованого повітря, насиченого вологою, видаляється з установки через вихід відпрацьованого повітря (5) та боковий вихід повітря (6). Це необхідно для підтримання стабільного тепловологісного режиму всередині сушарки та недопущення надмірного накопичення водяної пари в робочій камері.

Окрім сушильної частини, у конструкції передбачено секцію охолодження, у якій зерно обдувається холоднішим атмосферним повітрям. Подача такого повітря дає змогу знизити температуру зернової маси після теплової обробки, що є важливим для подальшого зберігання продукції. Якщо вивантажувати зерно без охолодження, воно може повторно зволожуватися або самозігріватися вже після виходу із сушарки. У нижній частині секції охолодження розміщене решітчасте дно (7), через яке проходить повітряний потік.

Переміщення зерна всередині сушарки відбувається безперервно, а після завершення циклу сушіння й охолодження матеріал виводиться з установки за допомогою шнекового вивантажувача (8). Такий спосіб вивантаження забезпечує стабільну подачу висушеного зерна на наступні операції технологічної лінії.

До складу приводу основних робочих органів входять електродвигуни (2), які забезпечують роботу вентиляторів та допоміжних механізмів сушарки. Узгоджена робота вентиляторів, системи повітророзподілу та вивантажувального пристрою формує безперервний технологічний процес сушіння.

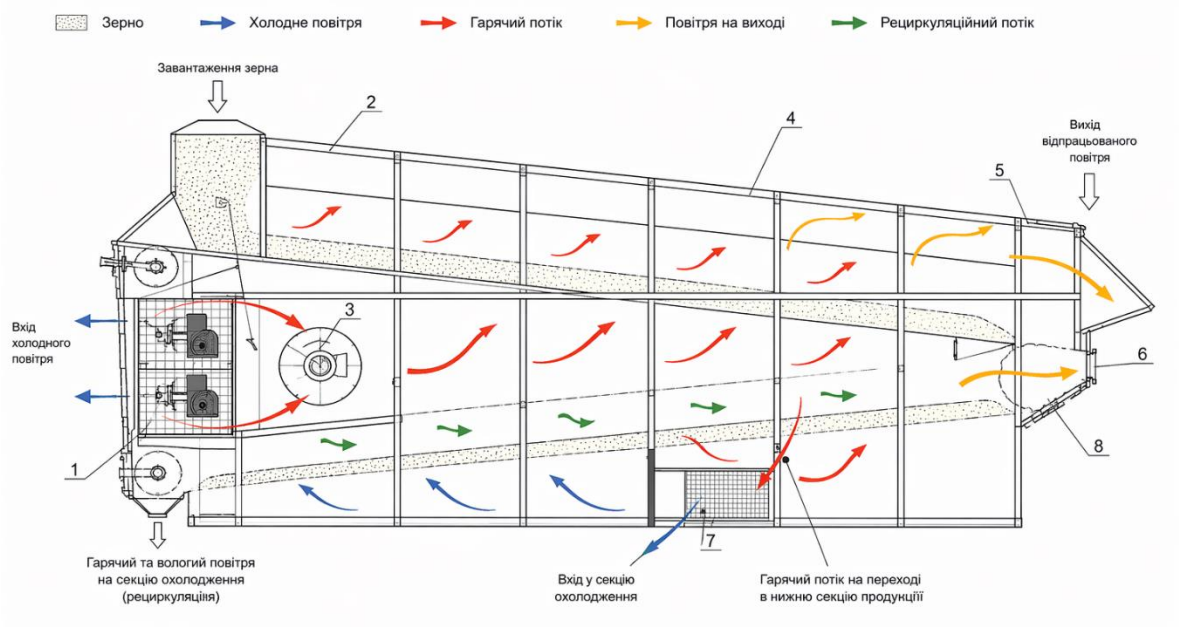




Рисунок 2.1 – Схема та фото конвеєрної зерносушарки

1 - рециркуляційний вентилятор; 2 - електродвигуни; 3 - відцентровий вентилятор гарячого повітря; 4 - повітророзподільні канали; 5 - вихід відпрацьованого повітря; 6 - боковий вихід повітря; 7 - решітчасте дно секції охолодження; 8 - шнековий вивантажувач.

Принцип роботи конвеєрної сушарки полягає у поєднанні безперервного переміщення зерна через робочі зони установки з організованою подачею гарячого та холодного повітря. Така схема дозволяє послідовно здійснювати сушіння, часткове вирівнювання стану зернової маси, охолодження та вивантаження готової продукції. Перевагою даної конструкції є безперервність роботи, можливість раціонального використання теплоти за рахунок рециркуляції та поєднання в одній установці кількох стадій технологічного процесу.

На схемі зображено шахтну зерносушарку безперервної дії (рис.2.1), призначену для зниження вологості зерна шляхом пропускання через його шар нагрітого теплоносія. Принцип роботи установки ґрунтується на поєднанні безперервного переміщення зернової маси у вертикальному напрямку та поперечної подачі сушильного агента через робочу зону сушарки.

Основним джерелом теплоти в установці є теплогенератор (1). У ньому відбувається нагрівання повітря або формування теплоносія, який надалі використовується для сушіння зерна. Після нагрівання теплоносій спрямовується в систему каналів сушарки. Для його транспортування до робочої частини установки використовується підвідний канал (2) та канал підведення теплоносія (3). Через ці елементи нагріте повітря рівномірно подається до шахти сушарки.

Основною робочою частиною є шахта (4), у якій безпосередньо відбувається сушіння зерна. У шахті зерно рухається зверху вниз під дією власної ваги. Таким чином створюється безперервний потік матеріалу через сушильну зону. Під час проходження зерна через шахту через його шар подається нагрітий теплоносій, який відбирає вологу від зернової маси та забезпечує зниження її вологості до потрібного рівня.

Перед надходженням у шахту зерно накопичується в надсушильному бункері (5). Цей елемент виконує функцію проміжного резервуара і забезпечує рівномірне завантаження шахти. Наявність такого бункера дозволяє

стабілізувати подачу зерна в сушарку, уникати перебоїв у роботі та підтримувати безперервність технологічного процесу.

Після проходження через зерновий шар теплоносій, насичений вологою, виводиться із сушильної зони через канал відведення теплоносія (6). Далі відпрацьоване повітря спрямовується у з'єднувальний канал (7), який поєднує окремі частини повітряної системи сушарки та забезпечує відведення повітряного потоку в потрібному напрямку.

Для створення необхідного руху теплоносія в системі використовується вентилятор (8). Саме він забезпечує примусову подачу та переміщення сушильного агента через канали і зерновий шар. Від режиму роботи вентилятора значною мірою залежить інтенсивність тепло- і масообміну, а отже і ефективність сушіння.

Оскільки під час сушіння разом із повітрям можуть виноситися легкі домішки, пил та дрібні частинки зернової маси, у конструкції передбачено аспіраційну систему (9). Вона служить для очищення повітря, покращення санітарних умов роботи та зменшення запиленості навколишнього середовища.

Подача зерна у верхню частину сушарки здійснюється за допомогою двопотокової норії (10). Вона транспортує зернову масу у вертикальному напрямку та подає її до надсушильного бункера. Використання норії забезпечує механізоване завантаження сушарки та дозволяє подавати зерно безперервно.

Після завершення процесу сушіння зерно виводиться з нижньої частини установки за допомогою вивантажувального гвинтового конвеєра (11). Він транспортує висушений матеріал до наступного етапу технологічної лінії - охолодження, накопичення, подальшого транспортування або закладання на зберігання.

Контроль і керування роботою сушарки здійснюється з робочого місця оператора (12). Тут зосереджені органи керування, прилади контролю та елементи регулювання режимів роботи. Оператор стежить за температурою

теплоносія, рівномірністю завантаження, роботою вентилятора, транспортних механізмів та загальним станом сушильної установки.

Отже, робота шахтної зерносушарки відбувається таким чином: зерно за допомогою норії подається у надсушильний бункер, звідки надходить у шахту і поступово переміщується вниз. Одночасно через шар зерна проходить нагрітий теплоносій, який подається від теплогенератора. У процесі контакту зерно віддає частину вологи, а відпрацьоване повітря виводиться через систему каналів та аспірації. Висушене зерно вивантажується з нижньої частини сушарки гвинтовим конвеєром. Така конструкція забезпечує безперервність роботи, достатньо високу продуктивність та можливість застосування сушарки в складі зерноочисно-сушильних комплексів.

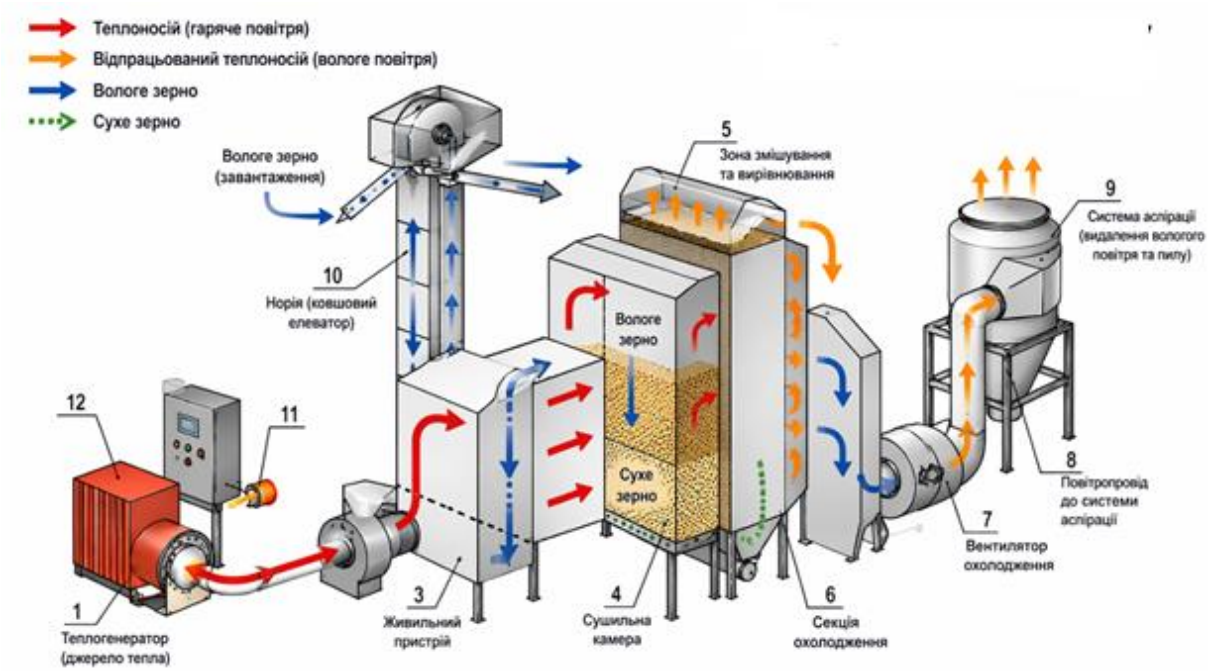




Рисунок 2.2 – Схема технологічного процесу шахтної зерносушарки

1 - теплогенератор; 2 - підвідний канал; 3 - канал підведення теплоносія; 4 - шахта; 5 - надсушильний бункер; 6 - канал відведення теплоносія; 7 - з'єднувальний канал; 8 - вентилятор; 9 - аспіраційна система; 10 - двопотокова норія; 11 - вивантажувальний гвинтовий конвеєр; 12 - робоче місце оператора

Жалюзійна зерносушарка (рис. 2.3) працює за принципом безперервного переміщення зерна зверху вниз через шахту з похилими жалюзійними каналами. Зерновий матеріал завантажується у верхню частину сушарки та під дією власної ваги поступово опускається вниз. У середній зоні через шар зерна подається гарячий теплоносій, який забезпечує випаровування вологи. Відпрацьоване вологе повітря відводиться через спеціальні канали. У нижній частині сушарки зерно додатково охолоджується холодним повітрям, після чого вивантажується.

Особливістю такої сушарки є поєднання в одній конструкції зон сушіння та охолодження. Жалюзійні елементи сприяють більш рівномірному розподілу зерна і теплоносія по перерізу шахти. Перевагами сушарки є безперервність роботи, достатньо висока продуктивність і компактність. Недоліком є складність забезпечення повністю рівномірного руху зерна та однакової інтенсивності сушіння в усьому об'ємі шахти.

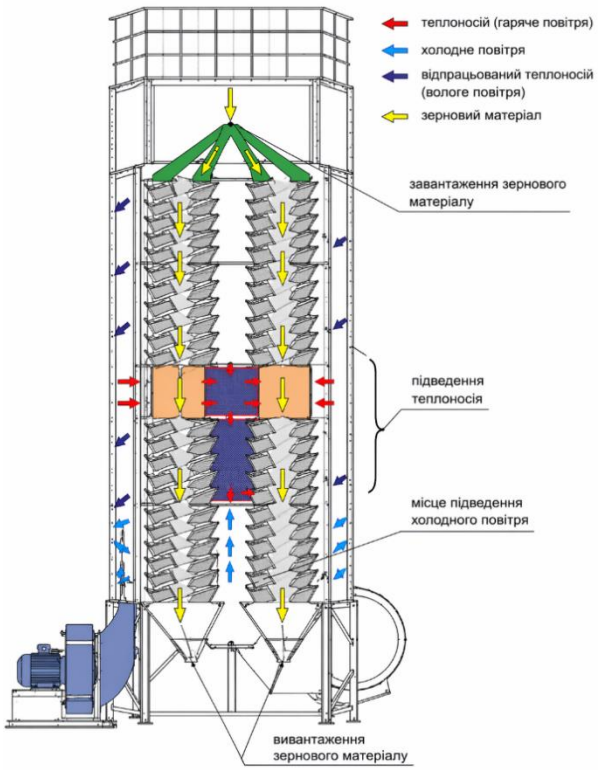


Рисунок 2.3 – Схема жалюзійної зерносушарки

Баштова зерносушарка (рис.2.4) є установкою безперервної дії, у якій зерно сушиться під час повільного переміщення зверху вниз через робочий об'єм башти. Зерновий матеріал надходить у верхню частину сушарки, накопичується і далі опускається через кільцевий зерновий простір під дією власної ваги. Нагріте повітря від теплогенератора подається в сушарку основним вентилятором через повітропровід-змішувач і проходить через шар зерна, відбираючи з нього вологу.

Для покращення рівномірності сушіння в конструкції передбачені пасивні перемішувачі зерна, які змінюють напрям його руху. Висушене зерно

збирається в нижній частині сушарки та вивантажується спеціальним пристроєм. Перевагами баштової зерносушарки є висока продуктивність, безперервність роботи та компактне розміщення робочих зон по висоті. До недоліків належать значна висота конструкції, складніше обслуговування та потреба в точному регулюванні режимів сушіння.

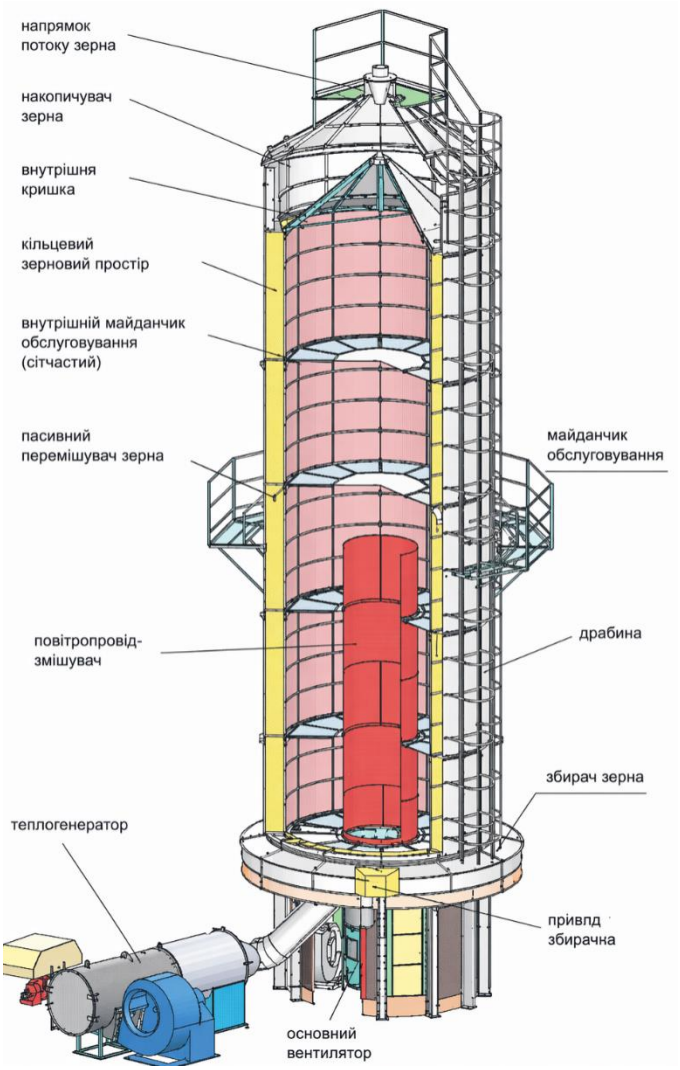


Рисунок 2.4 – Баштова зерносушарка

Сушильна установка у фонтануючому шарі (рси.2.5) працює за принципом інтенсивної подачі гарячого повітря або газу в нижню частину апарата. Вологий матеріал надходить зверху в робочу камеру, де під дією висхідного потоку газу переходить у стан активного перемішування. Частинки матеріалу піднімаються в центральній частині апарата, а потім опускаються вздовж його стінок, утворюючи циркуляційний рух, характерний для фонтануючого шару.

У процесі такого руху гаряче повітря інтенсивно контактує з матеріалом, що забезпечує швидке випаровування вологи. Відпрацьований газ, насичений вологою, відводиться через верхній патрубок, а висушений матеріал вивантажується через боковий вихід. Перевагою цієї установки є висока інтенсивність тепло- і масообміну, рівномірніше сушіння та скорочення тривалості процесу. Недоліками є підвищені вимоги до режиму подачі повітря та обмеження щодо сушіння матеріалів із неоднорідними фізичними властивостями.

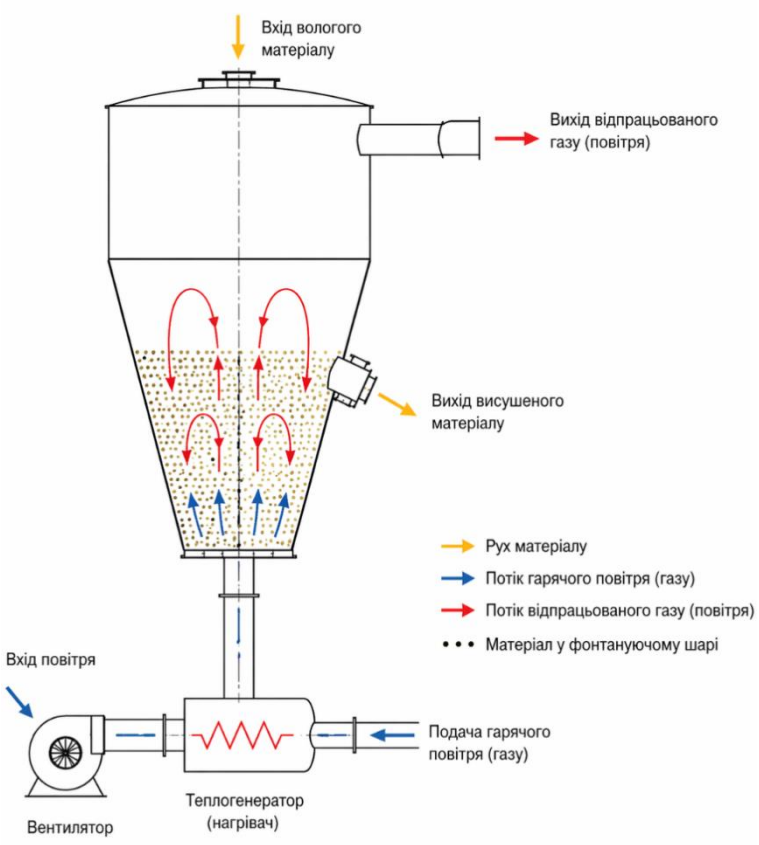


Рисунок 2.5 – Схема сушарки у фонтануючому шарі

Проведений аналіз конвеєрних, шахтних, жалюзійних, баштових сушарок, а також установок сушіння у фонтануючому шарі показує, що кожна з них має певні переваги, але водночас не позбавлена недоліків.

Конвеєрні сушарки забезпечують безперервність процесу та достатньо рівномірне проходження зерна через робочу зону, однак відзначаються

значними габаритами, складнішою конструкцією та потребують підвищених витрат енергії на переміщення матеріалу і роботу вентиляторів.

Шахтні сушарки є продуктивними й широко застосовуються у виробництві, проте для них характерна нерівномірність сушіння по перерізу шахти, особливо за нестабільного завантаження або неоднакової сипкості зернової маси. Крім того, вони потребують точного дотримання режимів роботи та достатньо складного технічного обслуговування.

Жалюзійні сушарки дозволяють поєднати сушіння та охолодження в одному агрегаті, але мають складну внутрішню будову. За їх експлуатації можливе нерівномірне проходження зерна між жалюзійними каналами, що призводить до неоднакової інтенсивності обробки окремих зон.

Баштові сушарки характеризуються високою продуктивністю та компактним розташуванням робочих зон по висоті, однак мають значну металоємність, велику висоту, складніші монтаж і обслуговування. Для них також важливо забезпечити стабільний рух зерна та рівномірний розподіл теплоносія.

Установки сушіння у фонтануючому шарі відзначаються високою інтенсивністю тепло- і масообміну, але потребують точного підбору режимів подачі повітря. Вони більш чутливі до фізичних властивостей матеріалу, а тому не завжди придатні для роботи з неоднорідною зерновою масою в умовах звичайного господарства.

Спільним недоліком більшості розглянутих сушильних установок є складність забезпечення рівномірної обробки всього об’єму зернової маси при одночасному зменшенні енерговитрат. Крім того, значна частина таких машин орієнтована саме на інтенсивне сушіння, тоді як у виробничих умовах господарства часто виникає потреба не тільки у зниженні вологості, а й у тимчасовому накопиченні, охолодженні та стабілізації стану продукції перед подальшою доробкою.

2.2 Обґрунтування використання бункеру активного вентилювання

Під активним вентилюванням насіння і зерна розуміють пропускання через шар матеріалу атмосферного або слабо підігрітого повітря, параметри якого забезпечують зниження вологості та покращення стану зернової маси.

Активне вентилювання широко застосовується в системі післязбиральної доробки сільськогосподарської продукції. Його використання пояснюється відносно невеликою енергоємністю процесу, простотою технічного оснащення та можливістю виконання кількох технологічних функцій одночасно.

Застосування активного вентилювання не обмежується лише сушінням. Його використовують для тимчасового зберігання свіжозібраного зерна підвищеної вологості, охолодження зернової маси, попередження самозігрівання, обробки насіннєвого матеріалу, а також для поліпшення умов зберігання продукції. У практиці сільськогосподарського виробництва активне вентилювання часто є проміжною операцією між збиранням урожаю та основним сушінням або закладанням зерна на зберігання.

Для сушіння зерна і насіння активне вентилювання застосовують у тих випадках, коли використання звичайних зерносушарок є обмеженим, недоцільним або потребує попередньої стабілізації стану зернової маси. Такий спосіб може бути реалізований у вентильованих бункерах, складах, камерних сушарках та інших установках. Особливо доцільним він є для насіння соняшнику, зерна бобових культур, кукурудзи та іншої продукції, яка потребує обережної обробки.

У теплий період року для активного вентилювання переважно використовують атмосферне повітря природної температури. У холодну або вологу пору повітря додатково підігрівають, щоб знизити його відносну вологість і підвищити здатність поглинати вологу із зернової маси. Зазвичай таке підігрівання є незначним, тому не потребує великої теплової потужності.

Конструкція бункера (рис.2.6) забезпечує подачу повітря в нижню частину зернової маси та його проходження через увесь об’єм матеріалу.

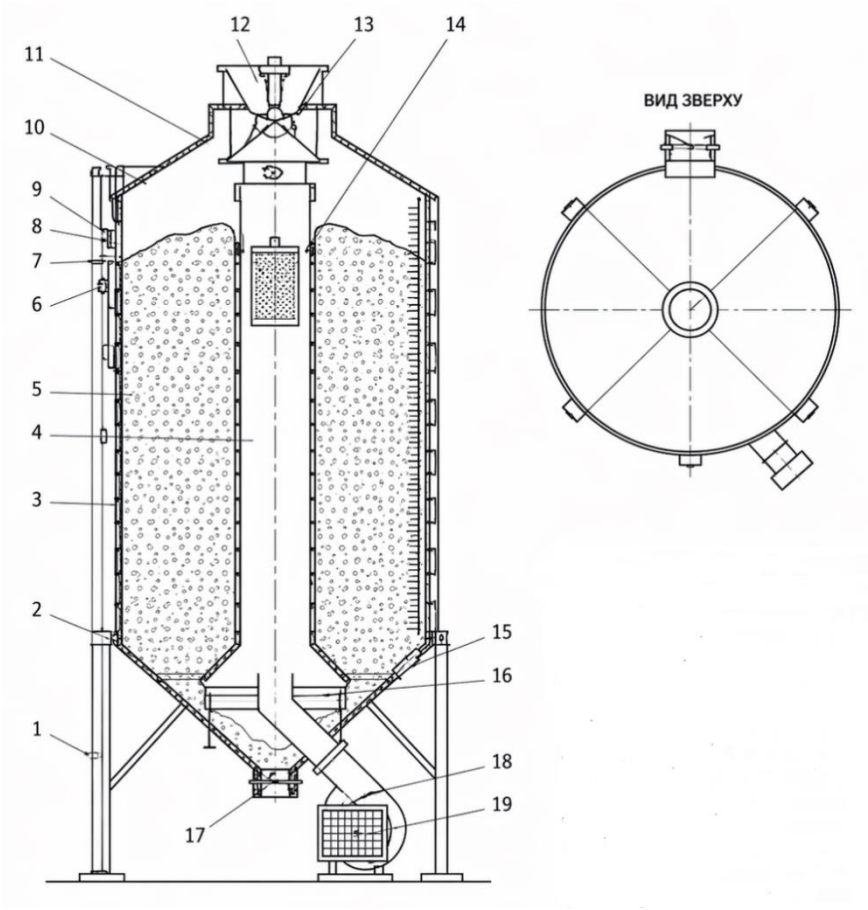


Рисунок 2.6 – Схема бункеру активного вентилювання

1 - лебідка; 2 - кільцева рама; 3 - зовнішній циліндр; 4 - пробовідбірник; 5 - регулятор вологості; 6–8 - вантажі; 9 - прапорець; 10 - кронштейн з блоками; 11 - клапан; 12 - розподільник зерна; 13 - конус; 14 - внутрішній циліндр; 15 - люк; 16 - регулювальне кільце; 17 - заслінка; 18 - вентилятор; 19 – електрокалорифер

Основу конструкції становить кільцева рама (2), на якій закріплені основні елементи бункера. Зовнішня частина робочого об’єму утворена зовнішнім циліндром (3), а всередині розташований внутрішній циліндр (14). Завдяки такій будові між зовнішнім і внутрішнім циліндрами формується кільцевий простір, який заповнюється зерновою масою. Саме через цей шар зерна проходить повітряний потік у процесі активного вентилювання.

У верхній частині бункера встановлено розподільник зерна (12) і конус (13), які забезпечують рівномірне завантаження зерна в кільцевий простір. Під час надходження зернового матеріалу розподільник спрямовує потік так, щоб

він рівномірно розміщувався по всьому перерізу бункера. Це важливо для забезпечення однакової товщини шару та стабільного проходження повітря через зернову масу.

Для контролю технологічного стану зерна в конструкції передбачено пробовідбірник (4), за допомогою якого можна відбирати зразки зерна з метою перевірки його вологості, температури та загального стану. Роботу системи контролю вологості забезпечує регулятор вологості (5). З ним пов'язані вантажі (6–8), прапорець (9) та кронштейн з блоками (10), які виконують допоміжну функцію у роботі регулювального механізму. Така система дає можливість візуально або механічно контролювати зміну параметрів зернової маси в процесі вентилювання.

У верхній частині також розміщено клапан (11), який регулює рух повітря або зерна в зоні завантаження залежно від режиму роботи установки. Доступ до внутрішньої частини бункера для огляду, очищення та технічного обслуговування забезпечує люк (15).

У нижній частині конструкції встановлено регулювальне кільце (16) та заслінку (17). Ці елементи призначені для регулювання подачі та розподілу повітря, а також для керування процесом розвантаження або зміни режиму роботи бункера. Саме в нижній зоні формується основний напрям руху повітря через зернову масу.

Подача повітря здійснюється за допомогою вентилятора (18), який створює необхідний тиск і забезпечує примусове проходження повітря через шар зерна. У разі потреби для підвищення сушильної здатності повітря використовується електрокалорифер (19), який дозволяє незначно підігрівати повітря перед його подачею в бункер. Це особливо доцільно в прохолодну або вологу погоду, коли атмосферне повітря має недостатню сушильну здатність.

Для обслуговування верхніх елементів конструкції використовується лебідка (1), яка полегшує виконання допоміжних операцій та регулювання окремих вузлів бункера.

Принцип роботи бункера полягає в тому, що зерно завантажується у верхню частину установки, після чого рівномірно розподіляється по кільцевому простору між зовнішнім і внутрішнім циліндрами. Із нижньої частини вентилятором подається атмосферне або слабо підігріте повітря, яке проходить через шар зерна. У процесі такого проходження повітря відбирає надлишкову вологу, знижує температуру зернової маси та покращує її стан. Після цього повітря виходить із верхньої частини бункера в навколишнє середовище.

Перевагою такої конструкції є можливість поєднання функцій тимчасового накопичення зерна, його охолодження та часткового підсушування. Разом із тим ефективність роботи бункера значною мірою залежить від рівномірності розподілу повітря в зерновій масі, що і є основною передумовою для подальшої модернізації цієї установки.

2.3 Модернізація установки активного вентилювання

Запропонована конструкція (рис.2.7) призначена для тимчасового накопичення зернової маси, її охолодження, часткового підсушування та вирівнювання температурно-вологісного стану шляхом примусового пропускання повітря через шар зерна.

Основою конструкції є зовнішній циліндричний корпус бункера (1), який утворює основний робочий об’єм для розміщення зернової маси (3). У верхній частині корпус закритий кришкою з дефлектором (27) та має верхнє конічне днище (2), яке забезпечує спрямоване переміщення повітря та формує верхню зону виходу відпрацьованого потоку. У центральній частині конструкції встановлено центральний вертикальний повітропровід (21), який є основним елементом системи розподілу повітря по висоті бункера.

Всередині бункера розміщено внутрішню перегородку (12), що конструктивно пов’язана з центральним повітропроводом і забезпечує жорсткість системи, а також правильне формування робочого об’єму. У

нижній частині бункера передбачено конічне звуження з нижнім люком (4), через який здійснюється вивантаження зерна після завершення процесу вентилювання або при розвантаженні бункера.

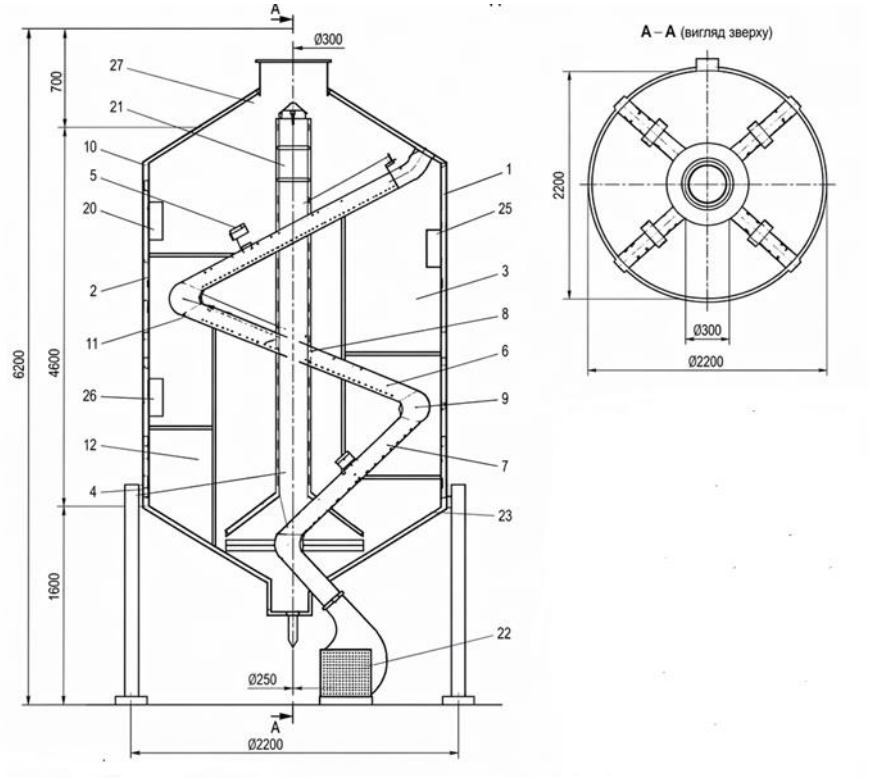


Рисунок 2.7 – Схема модернізованого бункеру

Головною особливістю модернізованої конструкції є наявність трьох похилих перфорованих розподільних рукавів: верхнього (5), середнього (6) та нижнього (7). Ці рукави з’єднані з центральним вертикальним повітропроводом і розміщені по висоті бункера на різних рівнях. Рукави виконані порожнистими, а на їх поверхні передбачені перфоровані отвори (9), через які повітря виходить безпосередньо в зернову масу. Для надійного закріплення рукавів у конструкції використано опори рукава (8).

На бічній поверхні корпусу розташовані елементи контролю й обслуговування: люк обслуговування (24), люк оглядовий верхній (11), люк оглядовий середній (25) та ревізійний люк (26). Вони призначені для огляду стану зернової маси, очищення внутрішнього простору, контролю технічного стану повітророзподільної системи та виконання профілактичних робіт. Для

контролю температурного стану зерна в бункері встановлено датчик температури (20).

Подача повітря в систему здійснюється вентилятором (22), який через перехідний патрубок (23) нагнітає повітря в нижню частину бункера і далі в центральний вертикальний повітропровід (21). Із центрального каналу повітря надходить до похилих перфорованих рукавів (5, 6, 7), а з них через отвори (9) рівномірно розподіляється по різних шарах зернової маси (3). Після проходження через зерно повітря, насичене вологою, піднімається у верхню частину бункера та виводиться назовні через вихід відпрацьованого повітря (10) і дефлектор, розміщений у верхній частині конструкції.

Таким чином, запропонована конструкція забезпечує не локальну, а багаторівневу подачу повітря в зернову масу. На відміну від традиційних бункерів, де повітря подається переважно в нижню частину шару і проходить через зерно нерівномірно, у модернізованому варіанті повітря надходить одночасно в нижню, середню та верхню зони бункера. Це дозволяє зменшити застійні ділянки, покращити рівномірність вентилювання та підвищити ефективність охолодження і часткового підсушування зерна.

Принцип роботи модернізованого бункера полягає в такому. Після завантаження зернової маси в корпус бункера вентилятор (22) подає атмосферне або слабо підігріте повітря через перехідний патрубок (23) у центральний вертикальний повітропровід (21). Звідти повітря розподіляється по трьох похилих перфорованих рукавах (5, 6, 7). Через перфорацію рукавів повітря поступає в різні шари зернової маси (3) і проходить через неї у напрямку до периферії та верхньої частини бункера. У процесі такого проходження повітря відбирає від зерна частину вологи, знижує його температуру та вирівнює стан усієї маси. Відпрацьоване повітря видаляється через вихідний патрубок (10).

Наявність центрального вертикального повітропроводу (21) забезпечує подачу повітря на всі рівні бункера, а похилі перфоровані рукави (5, 6, 7) створюють більш рівномірний розподіл потоку в об’ємі зернової маси. Це

дозволяє скоротити тривалість вентилювання, знизити ризик самозігрівання і підвищити якість підготовки зерна до подальшого сушіння або зберігання.

До основних переваг модернізованої конструкції належать: рівномірніший розподіл повітря по висоті бункера; зменшення застійних зон у зерновій масі; покращення умов охолодження та часткового підсушування зерна; можливість контролю стану зернової маси через оглядові та ревізійні люки; конструктивна простота і можливість виготовлення в умовах ремонтно-механічної дільниці господарства.

Таким чино, запропонований бункер активного вентилювання з центральним вертикальним повітропроводом і багаторівневими похилими перфорованими розподільними рукавами є більш досконалим конструктивним рішенням порівняно з традиційними схемами подачі повітря та може бути використаний для підвищення ефективності післязбиральної доробки сільськогосподарської продукції.

Висновки

1. Розроблено конструкцію модернізованого бункера активного вентилювання з центральним вертикальним повітропроводом і багаторівневими похилими перфорованими розподільними рукавами. Така схема забезпечує подачу повітря в різні шари зернової маси та покращує рівномірність вентилювання.

2. Під час роботи також було враховано результати аналізу конструкцій зерносушарок і установок активного вентилювання. Головним встановлено, що для більшості існуючих конструкцій характерним недоліком є нерівномірний розподіл повітря в зерновій масі, через що окремі зони продуваються недостатньо. Саме цей недолік і покладено в основу запропонованої модернізації.

3. Прийнято основні конструктивні параметри бункера: діаметр 2200 мм, висота циліндричної частини 3000 мм, загальна висота корпуса 4600 мм, загальна висота з опорами 6200 мм, діаметр центрального повітропроводу 300 мм, діаметр рукавів 160 мм, довжина рукава 1450 мм. Також визначено

параметри перфорації: діаметр отворів 8 мм, крок 40 мм, довжина перфорованої частини 1200 мм.

4. Запропонована конструкція дозволяє зменшити застійні зони, підвищити ефективність охолодження та часткового підсушування зерна, а також покращити умови його тимчасового зберігання.

3 ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ БУНКЕРУ

Модернізація бункера активного вентилювання (рис. 3.1) полягає в удосконаленні системи подачі та розподілу повітря в зерновій масі. На відміну

від традиційних бункерів, у яких повітря подається переважно в нижню частину і далі проходить через зерно нерівномірно, у запропонованій конструкції реалізовано багаторівневу подачу повітря по висоті бункера.

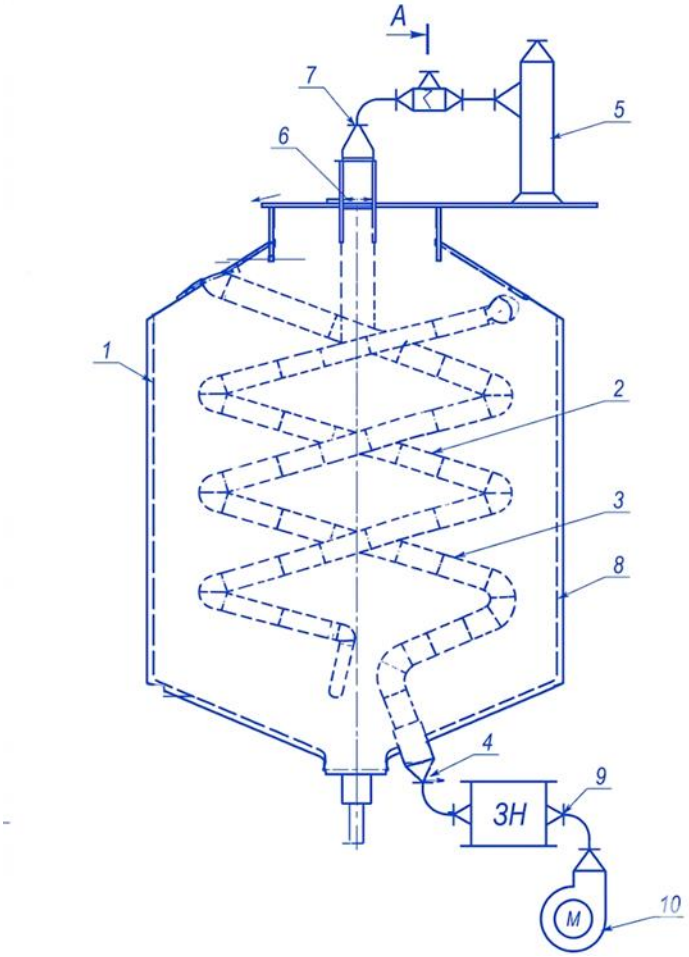


Рисунок 3.1 – Елементи модернізації бункеру

Згідно зі схемою, основним елементом модернізації є система похилих перфорованих розподільних рукавів 2, 3, 4, розміщених усередині корпуса бункера 1. Рукави встановлені по висоті бункера зигзагоподібно та охоплюють різні шари зернової маси. Така схема дає можливість подавати повітря не в одну локальну зону, а рівномірніше розподіляти його по всьому об’єму продукції.

Подача повітря в систему здійснюється від вентилятора 10 через повітронагрівач 9 і патрубок підведення повітря 8. Далі повітря надходить до нижньої частини бункера та через систему рукавів переміщується у внутрішній простір зернової маси. Наявність перфорації на поверхні рукавів

забезпечує дозований вихід повітря по всій довжині каналів, завдяки чому поліпшується рівномірність продування зерна.

Після проходження через шар зерна повітря, насичене вологою, відводиться через вихідний патрубок 7, проходить через регулювальний клапан 6 і виводиться у верхню частину через патрубок відпрацьованого повітря 5. Це створює впорядкований напрям руху повітряного потоку: від вентилятора і повітронагрівача до розподільних рукавів, далі через зернову масу і після цього - до виходу з бункера.

Таким чином, суть модернізації полягає в заміні звичайної нижньої подачі повітря на багаторівневу систему його розподілу через похилі перфоровані рукави. Це дозволяє:

- зменшити застійні зони у зерновій масі;
- підвищити рівномірність вентилювання по висоті бункера;
- покращити охолодження та часткове підсушування продукції;
- знизити ризик самозігрівання зерна під час тимчасового зберігання;
- скоротити тривалість обробки зернової маси.

3.1 Конструкторсько-технологічні розрахунки модернізованого бункера активного вентилювання

Для модернізованого бункера активного вентилювання приймаємо такі основні розміри, що відповідають складальному кресленню: зовнішній діаметр бункера D = 2,2 м; висота циліндричної частини $H_{ц}$ = 3,0 м; висота верхнього конічного днища $H_{вк}$ = 0,7 м; висота нижнього конічного днища $H_{нк}$ = 0,9 м; діаметр центрального повітропроводу $d_{ц}$ = 0,3 м; діаметр нижнього розвантажувального отвору $d_{н}$ = 0,25 м; кількість рукавів n = 3; зовнішній діаметр рукава $d_{р}$ = 0,16 м; довжина одного рукава $L_{р}$ = 1,45 м.

$$V_{ц} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H_{ц}$$

$$V_{ц} = \frac{3,14 \cdot 2,2^2}{4} \cdot 3,0 = 11,40 \text{ м}^3$$

Верхню частину розглядаємо як зрізаний конус з нижнім діаметром D = 2,2 м і верхнім діаметром $d_{ц}$ = 0,3 м:

$$V_{ВК} = \frac{\pi H_{ВК}}{12}\left(D^2 + Dd_{ц} + d_{ц}^2\right)$$

$$V_{ВК} = \frac{3,14 \cdot 0,7}{12}\left(2,2^2 + 2,2 \cdot 0,3 + 0,3^2\right) = 1,02 \text{ м}^3$$

Нижню частину також розглядаємо як зрізаний конус:

$$V_{НК} = \frac{\pi H_{НК}}{12}\left(D^2 + Dd_{Н} + d_{Н}^2\right)$$

$$V_{НК} = \frac{3,14 \cdot 0,9}{12}\left(2,2^2 + 2,2 \cdot 0,25 + 0,25^2\right) = 1,28 \text{ м}^3$$

Загальний внутрішній об'єм корпуса:

$$V_{к} = V_{ц} + V_{вк} + V_{нк}$$

$$V_{к} = 11,40 + 1,02 + 1,28 = 13,70 \text{ м}^3$$

Об’єм, зайнятий центральним повітропроводом:

$$V_{П} = \frac{\pi d_{ц}^2}{4} \cdot L_{ц}$$

де

$L_{ц}$ = 3,6 м - висота центрального повітропроводу.

$$V_{П} = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} \cdot 3,6 = 0,25 \text{ м}^3$$

Об’єм, зайнятий трьома похилими рукавами:

$$V_р = n \cdot \frac{\pi d_р^2}{4} \cdot L_р$$

$$V_р = 3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} \cdot 1,45 = 0,087 \text{ м}^3$$

Корисний об’єм бункера для зернової маси:

$$V_{кор} = V_к - V_п - V_р$$

$$V_{кор} = 13,70 - 0,25 - 0,087 = 13,37 \text{ м}^3$$

Для розрахунку приймаємо насипну густину зернової маси:

$$\rho_н = 700 \text{ кг/м}^3$$

Тоді маса зерна в бункері:

$$m = V_{кор} \cdot \rho_н$$

$$m = 13,37 \cdot 700 = 9359 \text{ кг} \approx 9,36 \text{ т}$$

Отже, корисний об’єм бункера становить 13,37 м^3, а його місткість - близько 9,36 т.

Для режиму активного вентилювання з одночасним охолодженням і частковим підсушуванням приймаємо питому подачу повітря:

$$q_{пит} = 200 \quad \text{м}^3/\text{год} \cdot \text{т}$$

Тоді загальна витрата повітря:

$$Q = q_{пит} \cdot m$$

$$Q = 200 \cdot 9,36 = 1872 \ \text{м}^3/\text{год}$$

Переведемо у секунди:

$$Q_c = \frac{1872}{3600} = 0,52 \quad \text{м}^3/\text{с}$$

Отже, для роботи модернізованого бункера необхідна витрата повітря становить 1870 – 1900 м^3/год або приблизно 0,52 м^3/с.

де

зовнішній діаметр $D_{\text{ц}} = 300$ мм;

товщина стінки $\delta_{ц} = 3$ мм;

внутрішній діаметр:

$$d_{вн} = 300 - 2 \cdot 3 = 294 \ \text{мм} \ = 0,294 \ \text{м}$$

Площа живого перерізу центрального повітропроводу:

$$F_{ц} = \frac{\pi d_{вн}^2}{4}$$

$$F_{ц} = \frac{3,14 \cdot 0,294^2}{4} = 0,0679 \ \text{м}^2$$

Швидкість повітря в центральному повітропроводі:

$$\upsilon_ц = \frac{Q_c}{F_ц}$$

$$\upsilon_ц = \frac{0,52}{0,0679} = 7,66 \text{ м}^3/\text{с}$$

де

зовнішній діаметр рукава $D_р = 160$ мм;

товщина стінки $\delta_р = 2,5$ мм;

внутрішній діаметр:

$$d_{рвн} = 160 - 2 \cdot 2,5 = 155 \text{ мм} = 0,155 \text{ м}$$

Площа живого перерізу одного рукава:

$$F_р = \frac{\pi d^2_{рвн}}{4}$$

$$F_р = \frac{3,14 \cdot 0,155^2}{4} = 0,01887 \text{ м}^2$$

Оскільки рукавів три, приймаємо рівномірний розподіл повітря між ними:

$$Q_р = \frac{Q_c}{3} = \frac{0,52}{3} = 0,174 \text{ м}^3/\text{с}$$

Швидкість повітря в одному рукаві:

$$\upsilon_p = \frac{Q_p}{F_p}$$

$$\upsilon_p = \frac{0,174}{0,01887} = 9,19 \text{ м/с}$$

Осі рукавів розміщено від нижнього торця повітропроводу на висотах: нижній рівень - 900 мм; середній рівень - 1700 мм; верхній рівень - 2500 мм.

Це забезпечує подачу повітря в нижню, середню та верхню частини зернової маси.

Перфорований рукав прийнято:

діаметр отворів d_o = 8 мм = 0,008 м;

крок отворів t = 40 мм;

кількість рядів - 4;

довжина перфорованої частини $L_{пер}$ = 1200 мм.

$$z_1 = \frac{L_{пер}}{t} = \frac{1200}{40} = 30$$

Загальна кількість отворів на одному рукаві:

$$z = z_1 \cdot 4 = 30 \cdot 4 = 120 \text{ отворів}$$

Площа одного отвору:

$$f_1 = \frac{\pi d_o^2}{4}$$

$$f_1 = \frac{3,14 \cdot 0,008^2}{4} = 0,0000503 \text{ м}^2$$

Сумарна площа перфорації одного рукава:

$$F_{пер1} = z \cdot f_1$$

$$F_{пер1} = 120 \cdot 0,0000503 = 0,00603 \text{ м}^2$$

Сумарна площа перфорації трьох рукавів:

$$F_{пер\Sigma} = 3 \cdot F_{пер1}$$

$$F_{пер\Sigma} = 3 \cdot 0,00603 = 0,0181 \text{ м}^2$$

Швидкість виходу повітря через перфорацію:

$$\upsilon_{вих} = \frac{Q_c}{F_{пер\Sigma}}$$

$$\upsilon_{вих} = \frac{0,52}{0,0181} = 28,7 \text{ м/с}$$

Отримане значення є швидкістю виходу повітря з отворів рукава. Після виходу з перфорації потік швидко гальмується в зерновій масі, тому така схема може бути використана для активного вентилювання.

Отже, сумарна площа перфорації трьох рукавів становить 0,0181 м^2, а розрахункова швидкість виходу повітря - 28,7 м/с.

Повний аеродинамічний опір системи визначаємо як суму втрат тиску в окремих елементах:

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_{вх} + \Delta P_ц + \Delta P_р + \Delta P_м + \Delta P_{пер} + \Delta P_з + \Delta P_{вих}$$

де:

$\Delta P_{вх}$ - втрати у підвідному патрубку;

$\Delta P_ц$ - втрати в центральному повітропроводі;

$\Delta P_р$ - втрати в рукаві;

$\Delta P_м$ - місцеві втрати;

$\Delta P_{пер}$ - втрати на перфорації;

$\Delta P_з$ - опір шару зерна;

$\Delta P_{вих}$ - втрати на виході відпрацьованого повітря.

За формулою Дарсі:

$$\Delta P_{вх} = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \upsilon^2}{2}$$

Приймаємо:

$\lambda = 0,03$;

$L = 0,5$ м;

$d = 0,25$ м;

$\upsilon = 10,59$ м/с;

$\rho = 1,2$ кг/м³.

Тоді:

$$\Delta P_{вх} = 0,03 \cdot \frac{0,5}{0,25} \cdot \frac{1,2 \cdot 10,59^2}{2} = 4 \text{ Па}$$

Втрати в центральному повітропроводі:

$$\Delta P_ц = 0,03 \cdot \frac{3,6}{0,294} \cdot \frac{1,2 \cdot 7,66^2}{2} = 13 \text{ Па}$$

Втрати в одному рукаві:

$$\Delta P_р = 0,03 \cdot \frac{1,45}{0,155} \cdot \frac{1,2 \cdot 9,19^2}{2} = 14 \text{ Па}$$

На вході, у місцях повороту потоку та розподілу повітря приймаємо сумарно:

$$\Delta P_{м} = 120 \text{ Па}$$

Для перфорованих рукавів приймаємо:

$$\Delta P_{пер} = 290 \text{ Па}$$

Середню товщину продуваного шару зерна визначаємо як:

$$h_{з} = \frac{D - d_{ц}}{2} - \frac{d_{р}}{2}$$

$$h_{з} = \frac{2,2 - 0,3}{2} - 0,08 = 0,87 \text{ м}$$

Для прийнятого режиму активного вентилювання опір такого шару зерна приймаємо:

$$\Delta P_{з} = 870 \text{ Па}$$

Втрати на виході повітря:

$$\Delta P_{вих} = 80 \text{ Па}$$

Загальний аеродинамічний опір:

$$\Delta P_{\Sigma} = 4 + 13 + 14 + 120 + 290 + 870 + 80 = 1391 \text{ Па}$$

Приймаємо з округленням:

$$\Delta P_{\Sigma} \approx 1400 \text{ Па}$$

За витратою повітря:

$$Q = 1870 - 1900 \text{ м}^3/\text{год}$$

та повним тиском:

$$\Delta P_{\Sigma} \approx 1400 \text{ Па}$$

Необхідно застосувати радіальний вентилятор середнього тиску з такими параметрами:

продуктивність не менше 1900 м³/год;

повний тиск не менше 1400 Па.

$$N = \frac{Q_c \cdot \Delta P_{\Sigma}}{\eta \cdot 1000}$$

Приймаємо ККД вентилятора $\eta = 0,65$.

$$N = \frac{0,52 \cdot 1400}{0,65 \cdot 1000} = 1,12 \text{ кВт}$$

З урахуванням запасу приймаємо електродвигун потужністю:

$$N_{\text{дв}} = 1,5 \text{ кВт}$$

Отже, для бункера слід прийняти радіальний вентилятор продуктивністю близько 1900 м^3/год, повним тиском 1400 Па та електродвигуном 1,5 кВт.

Товщина стінки корпуса за кресленням:

$$\delta_к = 3 \text{ мм} = 0,003 \text{ м}$$

Максимальний боковий тиск зерна оцінюємо за формулою:

$$p_{max} = \lambda \gamma h$$

де:

$\lambda = 0,4$ - коефіцієнт бокового тиску;

$$\gamma = 700 \cdot 9,81 = 6867 \text{ Н/м}^3;$$

$$h = 4,6 \text{ м.}$$

$$p_{max} = 0,4 \cdot 6867 \cdot 4,6 = 12635 \text{ Па}$$

Напруження в циліндричній стінці:

$$\sigma_к = \frac{p_{max} \cdot D}{2\delta_ц}$$

$$\sigma_к = \frac{12635 \cdot 2,2}{2 \cdot 0,003} = 4,63 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження для сталі Ст3 значно більше, тому міцність корпуса забезпечена.

Товщина стінки:

$$\delta_ц = 3 \text{ мм}$$

Напруження від внутрішнього тиску:

$$\sigma_ц = \frac{\Delta P_\Sigma \cdot d_ц}{2\delta_ц}$$

$$\sigma_ц = \frac{1400 \cdot 0,3}{2 \cdot 0,003} = 0,07 \text{ МПа}$$

Товщина стінки:

$$\delta_р = 2,5 \text{ мм } = 0,0025 \text{ м}$$

Напруження від тиску:

$$\sigma_p = \frac{\Delta P_\Sigma \cdot d_p}{2\delta_p}$$

$$\sigma_p = \frac{1400 \cdot 0{,}16}{2 \cdot 0{,}0025} = 0{,}045 \text{ МПа}$$

Маса одного рукава зі сталі становить приблизно:

$$m_p \approx 14{,}3 \text{ кг}$$

Вага одного рукава:

$$G_p = m_p \cdot g = 14{,}3 \cdot 9{,}81 \approx 140 \text{ Н}$$

За наявності двох опор на рукав навантаження на одну опору становить близько:

$$P_{on} = \frac{140}{2} = 70 \text{ Н}$$

Для опори з листової сталі товщиною 6 мм таке навантаження є незначним, тому жорсткість і міцність опори достатні.

Висновки

1. Проведені розрахунки показали, що геометричні параметри модернізованого бункера відповідають прийнятим на кресленнях розмірам. Корисний об’єм бункера становить 13,37 м^3, а місткість - близько 9,36 т. Необхідна витрата повітря для активного вентилювання становить приблизно 1870 – 1900 м^3/год.
2. Розрахунок центрального повітропроводу, похилих перфорованих рукавів та площі перфорації підтвердив працездатність прийнятої схеми. Загальний аеродинамічний опір системи становить близько 1400 Па, що дає підстави прийняти радіальний вентилятор середнього тиску з

електродвигуном 1,5 кВт. Конструктивна перевірка показала, що товщина стінок корпуса, повітропроводу і рукавів є достатньою.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУНКЕРА АКТИВНОГО ВЕНТИЛЮВАННЯ

4.1 Аналіз умов праці під час експлуатації бункера активного вентилювання

Експлуатація модернізованого бункера активного вентилювання пов’язана з виконанням завантаження зернової маси, контролю роботи

вентилятора, повітронагрівача, системи подачі та відведення повітря, а також із періодичним оглядом внутрішніх вузлів і очищенням робочих поверхонь. Під час роботи обладнання обслуговуючий персонал перебуває в зоні дії рухомих механізмів, електротехнічного обладнання, пилоповітряних сумішей та шуму.

Робоче місце оператора повинно бути організоване таким чином, щоб забезпечувались безпечний доступ до органів керування, зручність спостереження за роботою обладнання та можливість швидкого відключення системи у разі аварійної ситуації. Особливу увагу слід приділяти безпечному доступу до верхньої частини бункера, оглядових люків, вентилятора та повітропроводів.

Під час роботи бункера можливі такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- рухомі частини вентилятора та приводу;
- можливість ураження електричним струмом;
- запиленість повітря в робочій зоні;
- підвищений рівень шуму;
- небезпека падіння з висоти при обслуговуванні верхньої частини бункера;
- можливість самозігрівання зернової маси;
- небезпека займання пилу та сухих рослинних решток;
- підвищена температура окремих елементів повітронагрівача.

Під час експлуатації модернізованого бункера активного вентилювання основними небезпечними факторами є механічні, електричні, теплові та пожежні небезпеки.

До механічних небезпек належать обертові елементи вентилятора, можливе затягування одягу або частин тіла в рухомі вузли, а також травмування при обслуговуванні заслінок, патрубків і люків. Підвищену небезпеку становить виконання робіт на висоті під час огляду верхньої частини бункера.

Електрична небезпека пов’язана з використанням електродвигуна вентилятора, контрольно-пускової апаратури та, за потреби, повітронагрівача. У разі пошкодження ізоляції, відсутності заземлення або порушення правил експлуатації можливе ураження працівників електричним струмом.

До шкідливих факторів належать пил зернової маси та органічні домішки, які потрапляють у повітря під час завантаження, вивантаження і вентилювання. Тривалий вплив пилу негативно впливає на органи дихання, зір і шкіру працівників. Крім того, в зоні роботи вентилятора спостерігається підвищений рівень шуму.

Теплова небезпека проявляється під час роботи повітронагрівача та при нагріванні окремих ділянок повітропроводів. У разі порушення режиму вентилювання можливе підвищення температури зернової маси, що створює умови для самозігрівання.

Суттєвим фактором є також пожежна небезпека, оскільки сухий пил, полова та інші органічні домішки здатні займатися від джерел запалювання, нагрітих поверхонь або несправного електрообладнання.

4.2 Вимоги безпеки під час експлуатації бункера

До роботи з бункером активного вентилювання допускаються особи, які пройшли інструктаж з охорони праці, ознайомлені з будовою обладнання та правилами його безпечної експлуатації. Перед початком роботи необхідно перевірити технічний стан вентилятора, електродвигуна, повітропроводів, рукавів, заслінок, оглядових люків та кріпильних елементів.

Забороняється:

- запускати вентилятор при знятих захисних кожухах;
- виконувати очищення, підтягування кріплень або ремонт під час роботи обладнання;
- відкривати люки та проникати всередину бункера при наявності зернової маси або ввімкненого вентилятора;

- використовувати несправне електрообладнання;
- допускати накопичення пилу на гарячих поверхнях та біля електрообладнання.

Усі рухомі елементи приводу повинні бути закриті захисними огородженнями. Огляд і ремонт вентилятора, повітронагрівача та внутрішніх елементів бункера дозволяється проводити лише після повної зупинки обладнання та його відключення від джерела живлення.

При обслуговуванні верхньої частини бункера слід використовувати справні драбини, майданчики з огородженням і, за потреби, запобіжні пояси. Роботи всередині бункера допускаються лише за нарядом-допуском, у присутності відповідальної особи та після повного спорожнення бункера.

Електробезпека забезпечується застосуванням справного електрообладнання, захисного заземлення, автоматичних вимикачів та ізоляції струмоведучих частин. Корпуси електродвигуна, вентилятора, щита керування і повітронагрівача повинні бути заземлені. Пускова апаратура має бути захищена від пилу і вологи.

Для попередження пожежі необхідно:

- регулярно очищати обладнання від пилу, полови та рослинних залишків;
- не допускати перегрівання електродвигунів і повітронагрівача;
- контролювати температуру зернової маси;
- виключити використання відкритого вогню поблизу обладнання;
- забезпечити наявність вогнегасників у зоні роботи установки.

Важливим заходом є недопущення утворення вибухонебезпечних пилоповітряних сумішей. Для цього необхідно підтримувати чистоту виробничої зони, своєчасно видаляти пил і забезпечувати герметичність повітропроводів та патрубків.

4.3 Заходи щодо зменшення запиленості та шуму

Зниження запиленості повітря досягається за рахунок герметизації місць стикування елементів повітропроводів, своєчасного очищення бункера, використання місцевих відсмоктувачів або аспіраційних пристроїв у місцях

інтенсивного виділення пилу. Під час завантаження і вивантаження зерна працівники повинні користуватися засобами індивідуального захисту органів дихання.

Для зменшення шуму рекомендується:

- встановлювати вентилятор на амортизуючі опори;
- проводити балансування робочого колеса;
- своєчасно змащувати підшипники;
- не допускати роботи вентилятора при розбалансуванні або зношенні деталей.

Працівники, які перебувають поблизу вентилятора тривалий час, повинні використовувати протишумові засоби.

4.4 Безпека під час ремонтних і налагоджувальних робіт

Ремонтні, оглядові та налагоджувальні роботи дозволяється проводити лише після зупинки обладнання, відключення електроживлення та вивішування попереджувального плаката про заборону вмикання. Перед початком робіт усередині бункера необхідно перевірити відсутність зернової маси, зависання продукту та залишкового тиску в повітропроводах.

При виконанні зварювальних робіт слід видалити з робочої зони пил і легкозаймисті матеріали, а також забезпечити наявність первинних засобів пожежогасіння. Після завершення ремонту необхідно перевірити надійність кріплень, справність огороджень і герметичність повітропроводів.

4.5 Захист довкілля при експлуатації бункера

Експлуатація бункера активного вентилювання супроводжується викидом повітря, що містить пил та дрібні органічні частинки. Для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище необхідно забезпечити

герметичність з’єднань, організований відвід відпрацьованого повітря та регулярне очищення обладнання.

Зібраний пил і відходи зернової очистки слід видаляти в спеціально відведені місця або використовувати відповідно до прийнятої на підприємстві системи утилізації. Не допускається їх накопичення в безпосередній близькості до обладнання.

Зменшенню впливу на довкілля також сприяє підвищення ефективності вентилювання, оскільки скорочення тривалості роботи вентилятора та повітронагрівача знижує енергоспоживання і навантаження на виробниче середовище.

Висновки

Для забезпечення безпечної роботи необхідно передбачити захисні огородження, заземлення електрообладнання, засоби пожежогасіння, організоване очищення обладнання від пилу, контроль температури зернової маси та безпечний доступ до вузлів бункера.

Запропоновані заходи з охорони праці та захисту довкілля дозволяють знизити виробничі ризики, забезпечити безпечну експлуатацію модернізованого обладнання та покращити умови праці обслуговуючого персоналу.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЄКТУ

Техніко-економічна оцінка модернізації бункера активного вентилювання виконується з метою визначення доцільності впровадження запропонованого конструктивного рішення в умовах сільськогосподарського підприємства. Основна сутність модернізації полягає в удосконаленні системи розподілу повітря за рахунок застосування центрального вертикального повітропроводу та багаторівневих похилих перфорованих рукавів. Це

дозволяє забезпечити більш рівномірне вентилювання зернової маси, зменшити застійні зони, підвищити ефективність охолодження і часткового підсушування зерна.

Економічний ефект від запропонованої модернізації досягається за рахунок: зменшення тривалості вентилювання; зниження питомих витрат електроенергії; зменшення втрат зерна від самозігрівання та погіршення якості; покращення умов тимчасового зберігання зернової маси; підвищення загальної ефективності роботи дільниці післязбиральної доробки.

Для виконання розрахунків приймаємо, що модернізований бункер використовується для обробки зернової маси в обсязі, який відповідає його реальній місткості та умовам роботи господарства.

Таблиця 5.1

Вихідні дані

Показник	Позначення	Значення
Місткість бункера, т	m	9,36
Кількість циклів роботи за сезон	n	120
Річний обсяг зерна, що проходить через бункер, т	$Q_р$	1123,2
Потужність електродвигуна вентилятора, кВт	N	1,5
Середня тривалість роботи бункера до модернізації, год/цикл	t_1	8,0
Середня тривалість роботи бункера після модернізації, год/цикл	t_2	6,5
Вартість 1 кВт·год електроенергії, грн	$C_{ел}$	6,0
Орієнтовна вартість модернізації, грн	K	42000
Орієнтовні втрати зерна до модернізації, %	α_1	1,2
Орієнтовні втрати зерна після модернізації, %	α_2	0,7
Середня ціна зерна, грн/т	$C_з$	7000

Річний обсяг зерна, що проходить через бункер, визначається за формулою:

$$Q_p = m \cdot n$$

$$Q_p = 9,36 \cdot 120 = 1123,2 \quad \text{т}$$

Річні витрати електроенергії до модернізації становлять:

$$W_1 = N \cdot t_1 \cdot n$$

$$W_1 = 1,5 \cdot 8,0 \cdot 120 = 1440 \ \text{кВт·год}$$

Річні витрати електроенергії після модернізації становлять:

$$W_2 = N \cdot t_2 \cdot n$$

$$W_2 = 1,5 \cdot 6,5 \cdot 120 = 1170 \quad \text{кВт·год}$$

Економія електроенергії за рік:

$$\Delta W = W_1 - W_2$$

$$\Delta W = 1440 - 1170 = 270 \quad \text{кВт·год}$$

Грошова економія від зменшення споживання електроенергії:

$$E_{ел} = \Delta W \cdot C_{ел}$$

$$E_{ел} = 270 \cdot 6,0 = 1620 \quad \text{грн}$$

Маса втрат зерна до модернізації:

$$G_1 = Q_p \cdot \frac{\alpha_1}{100}$$

$$G_1 = 1123,2 \cdot \frac{1,2}{100} = 13,48 \quad \text{т}$$

Маса втрат зерна після модернізації:

$$G_2 = Q_p \cdot \frac{\alpha_2}{100}$$

$$G_2 = 1123,2 \cdot \frac{0,7}{100} = 7,86 \text{ т}$$

Зменшення втрат зерна:

$$\Delta G = G_1 - G_2$$

$$\Delta G = 13,48 - 7,86 = 5,62 \text{ т}$$

Грошовий ефект від зменшення втрат зерна:

$$E_з = \Delta G \cdot C_з$$

$$E_з = 5,62 \cdot 7000 = 39340 \text{ грн}$$

Загальний річний економічний ефект визначається як сума економії електроенергії та зменшення втрат зерна:

$$E_р = E_{ел} + E_з$$

$$E_р = 1620 + 39340 = 40960 \text{ грн}$$

Отже, очікуваний річний економічний ефект від модернізації бункера активного вентилювання становить:

$$E_р = 40960 \text{ грн}$$

Строк окупності модернізації визначаємо за формулою:

$$T = \frac{K}{E_p}$$

$$T = \frac{42000}{40960} = 1,03 \quad \text{року}$$

Отже, строк окупності запропонованої модернізації становить приблизно:

$$T \approx 1,0 \ \text{року}$$

Таблиця 5.2

Порівняння техніко-економічних показників

Показник	**До модернізації**	**Після модернізації**
Тривалість одного циклу вентилювання, год	8,0	6,5
Річні витрати електроенергії, кВт·год	1440	1170
Втрати зерна, т/рік	13,48	7,86
Вартість втрат зерна, грн	94360	55020
Загальні експлуатаційні витрати, грн	вищі	нижчі
Рівномірність вентилювання	нижча	вища
Умови зберігання зерна	гірші	кращі

З таблиці видно, що після модернізації зменшуються витрати електроенергії, скорочується тривалість обробки зерна і суттєво знижуються втрати продукції.

Висновки

1. У результаті розрахунків визначено, що річна економія електроенергії становить 270 кВт·год, або 1620 грн, а зменшення втрат зерна забезпечує додатковий економічний ефект у розмірі

39340 грн на рік. Загальний річний економічний ефект від модернізації становить 40960 грн.

2. За капітальних витрат на модернізацію 42000 грн строк окупності становить близько 1 року, що свідчить про економічну доцільність упровадження запропонованого технічного рішення в умовах сільськогосподарського підприємства.

ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз господарства, його виробничого напряму, структури посівних площ, матеріально-технічної бази та організації післязбиральної доробки продукції. Встановлено, що існуюча система тимчасового накопичення і вентилювання зерна не повністю забезпечує рівномірний повітрообмін у зерновій масі, що негативно впливає на якість продукції та ефективність роботи дільниці.

2. Проведено аналіз основних типів зерносушильного обладнання, зокрема конвеєрних, шахтних, жалюзійних, баштових сушарок та установок сушіння у фонтануючому шарі. Встановлено, що для більшості розглянутих конструкцій характерними є значні енерговитрати, складність забезпечення рівномірної обробки зернової маси та обмежені можливості тимчасового накопичення продукції. Головним для подальшої модернізації встановлено те, що в існуючих системах важко забезпечити рівномірний розподіл повітря по всьому об'єму зерна.
3. На основі проведеного аналізу обґрунтовано доцільність використання бункера активного вентилювання як проміжної ланки між прийманням зерна та його подальшим сушінням або зберіганням. Визначено, що вдосконалення саме системи повітророзподілу є найбільш раціональним напрямом модернізації.
4. Виконано модернізацію бункера активного вентилювання з центральним вертикальним повітропроводом і багаторівневими похилими перфорованими розподільними рукавами. Запропонована конструкція забезпечує подачу повітря в нижню, середню та верхню частини зернової маси, що дозволяє зменшити застійні зони і підвищити рівномірність вентилювання.
5. У результаті розрахунку геометричних параметрів визначено, що корисний об'єм бункера становить 13,37 м³, а його місткість - близько 9,36 т зерна. Прийняті конструктивні розміри дозволяють використовувати бункер як установку для тимчасового накопичення, охолодження та часткового підсушування зернової маси.
6. Визначено, що необхідна витрата повітря для активного вентилювання становить приблизно 1870–1900 м³/год. Розрахунок центрального повітропроводу та похилих рукавів показав, що швидкість повітря в центральному каналі становить 7,66 м/с, а в рукавах - 9,19 м/с, що відповідає прийнятій схемі роботи установки.

7. Розрахунком перфорації встановлено, що за діаметра отворів 8 мм, кроку 40 мм, чотирьох рядів отворів і перфорованої довжини 1200 мм сумарна площа перфорації трьох рукавів становить 0,0181 м², а розрахункова швидкість виходу повітря через перфорацію - 28,7 м/с. Це підтверджує можливість реалізації багаторівневого повітророзподілу в зерновій масі.
8. Загальний аеродинамічний опір системи становить близько 1400 Па, що дало змогу обґрунтувати вибір радіального вентилятора середнього тиску продуктивністю близько 1900 м³/год з електродвигуном потужністю 1,5 кВт. Конструктивна перевірка основних елементів показала, що прийнята товщина стінок корпуса, повітропроводу та рукавів є достатньою.
9. У розділі з охорони праці встановлено основні небезпечні та шкідливі фактори при експлуатації бункера активного вентилювання: запиленість, шум, електронебезпека, наявність рухомих частин, можливість самозігрівання зерна та пожежна небезпека. Запропоновано комплекс заходів, спрямованих на безпечну експлуатацію обладнання, захист обслуговуючого персоналу та зменшення впливу на довкілля.
10. Техніко-економічна оцінка показала, що внаслідок модернізації річна економія електроенергії становить 270 кВт·год, або 1620 грн, а зниження втрат зерна забезпечує додатковий економічний ефект у розмірі 39340 грн. Загальний річний економічний ефект становить 40960 грн, а строк окупності модернізації - близько 1 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ, 2016. 16 с.

2. Сисолін П. В., Петренко М. М., Свірень М. О. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / за ред. М. І. Черновола. Київ : Фенікс, 2007. 432 с.

3. Ялпачик В. Ф., Ломейко О. П., Циб В. Г., Ялпачик Ф. Ю., Самойчук К. О., Олексієнко В. О., Шпиганович Т. О. Монтаж, експлуатація і ремонт машин та обладнання переробних підприємств : навч. посіб. : практикум. Мелітополь : Таврійський державний агротехнологічний університет, 2014. 235 с.

4. Самойчук К. О., Паляничка Н. О., Верхоланцева В. О. Технологічне обладнання галузі : конспект лекцій. Ч. 1. Мелітополь : видавничо-поліграфічний центр «Forward press», 2020. 255 с.

5. Подпрятов Г. І., Бобер А. В. Післязбиральна доробка та зберігання продукції рослинництва : навч. посіб. Київ : Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, 2019. 492 с.

6. Котов Б. І. та ін. Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (очищення, сепарація, сушіння, активне вентилювання, охолодження) : колект. монографія. Київ ; Ніжин : Лисенко М. М., 2017. 551 с.

7. Котов Б. І., Панцир Ю. І., Герасимчук І. Д., Калініченко Р. А., Грищенко В. О. Математична модель теплоенергетичних режимів теплонасосної сушильної установки. Сільськогосподарські машини. 2021. Вип. 47. С. 7–14. DOI: 10.36910/acm.vi47.616.

8. Постнікова М. В., Коваль С. Д. Автоматичні системи регулювання сучасних типів бункерів активного вентилювання зерна // Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем : матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В. В. Овчарова, 15–29 квіт. 2021 р. Мелітополь : Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2021. С. 75–77.

9. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. Дата звернення: 18.04.2026.

10. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві : наказ Міністерства соціальної політики

України від 29.08.2018 № 1240 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. Дата звернення: 18.04.2026.

11. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні : наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. Дата звернення: 18.04.2026.

12. Про затвердження Технічного регламенту зернового складу : наказ Міністерства аграрної політики України від 15.06.2004 № 228 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. Дата звернення: 18.04.2026.

13. Технологія зберігання зерна з основами захисту від шкідників : навч. посіб. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2016. 248 с

14. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2014. 393 с.

15. Снєжкін Ю. Ф., Пазюк В. М., Петрова Ж. О., Чалаєв Д. М. Теплонасосна зерносушарка для насіннєвого зерна. Київ : ТОВ «Поліграф-Сервіс», 2012.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ТРАКТОРІВ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

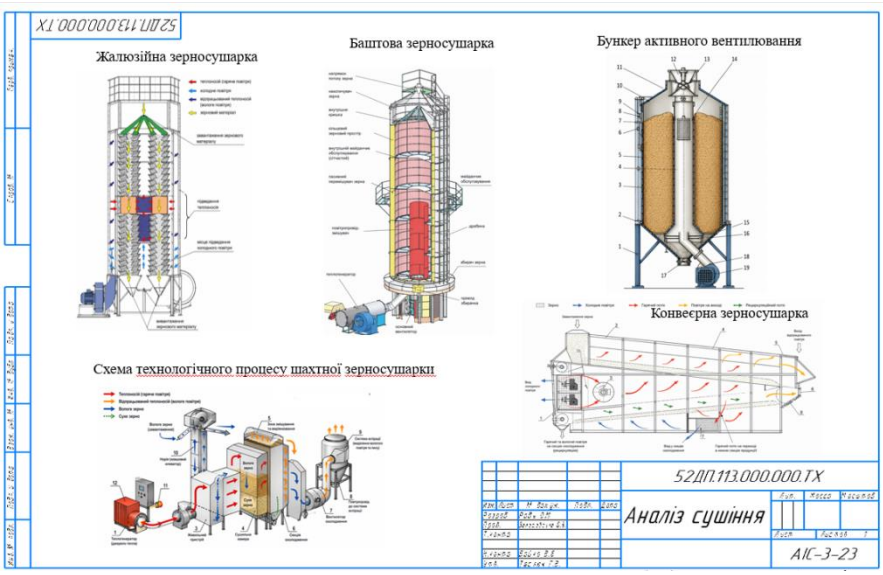
Модернізація бункера активного вентилювання сільськогосподарської продукції з регульованим розподілом повітря

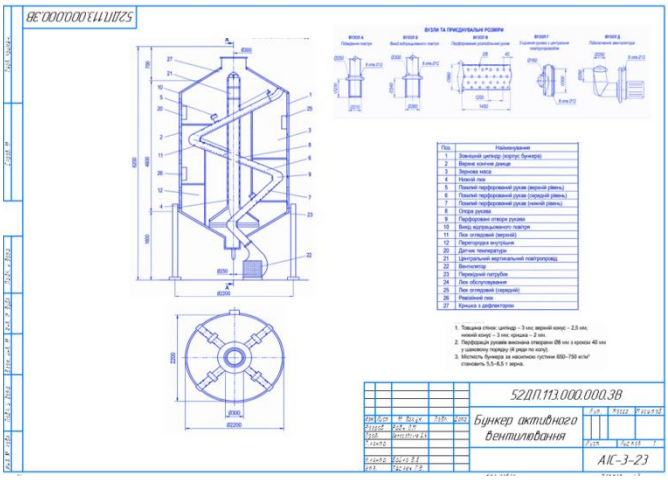
Демонстраційний матеріал до дипломного проєкту освітнього ступеня «Бакалавр»

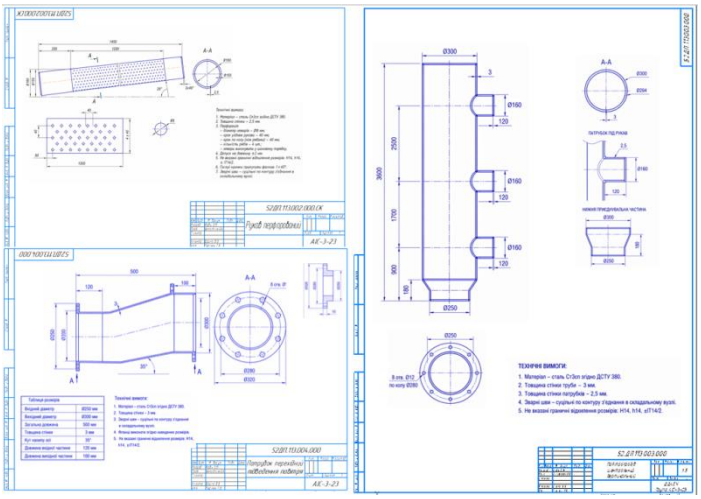
Виконав: здобувач групи АІС-2-23
Родь Олександр Миколайович

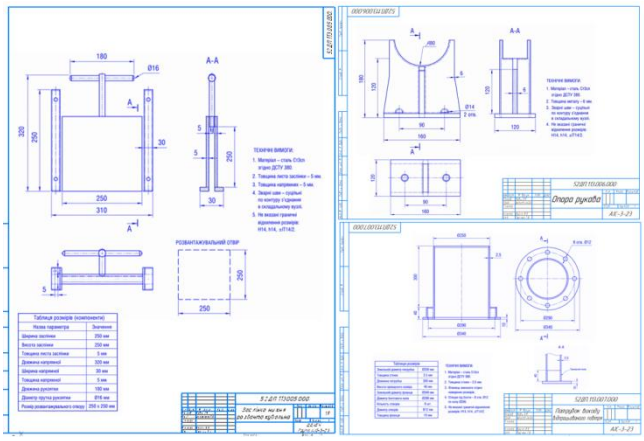
Керівник: к.т.н., доцентка
Золотовська Олена Володимирівна











Показник	Одиниця вимірювання	Базовий варіант	Проектний варіант
Річний обсяг обробки зерна	т	1123,2	1123,2
Тривалість циклу вентилювання	год	8,0	6,5
Річні витрати електроенергії	кВт·год	1440	1170
Вартість електроенергії	грн	8640	7020
Втрати зерна	т	13,48	7,86
Вартість втрат зерна	грн	94360	55020
Загальні річні витрати	грн	103000	62040
Річний економічний ефект	грн	–	40960
Капітальні вкладення	грн	–	42000
Строк окупності	роки	–	1,03