

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

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

на тему:  
**«УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ  
КУЛЬТУР ТА РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
СИСТЕМИ НАГНІТАННЯ СУШИЛЬНОГО АГЕНТУ  
МОДУЛЬНОЇ СУШАРКИ»**

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

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи АІ- 41  
КАШУБСЬКИЙ Сергій Романович

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник: к.т.н., професор  
КІРЧУК Руслан Васильович

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

\_\_\_\_\_ (підпис)

Луцьк 2025

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри аграрної інженерії ім.  
проф. Г.А. Хайліса  
доц., к.т.н. ХОМИЧ Сергій  
Миколайович \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Кашубському Сергію Романовичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Удосконалення процесу сушіння зернових культур та розробка технічного забезпечення системи нагнітання сушильного агенту модульної сушарки

Керівник роботи: Кірчук Руслан Васильович, професор, к.т.н.

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

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

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

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

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

## 5. Перелік графічного матеріалу:

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

## 6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання «    » 202 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Кашубський Сергій Романович

(прізвище та ініціали)

Керівник

кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Кірчук Руслан Васильович

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

52 ст, 6 рисунків, 11 таблиць, 11 джерел, 2 додатки

СУШАРКА, ЗЕРНО, АГЕНТ СУШІННЯ, КАМЕРА СУШІННЯ,  
ПРИВОД, ВЕНТИЛЯТОР, СУШІННЯ.

В кваліфікаційній роботі бакалавра приведена документація на розробку модульної сушарки зернових матеріалів. Користуючись вихідними даними, в проекті розроблені вихідні вимоги до машини, що проектується, сформовані вимоги технічного завдання, визначені дані для проектування, проведено обґрунтування параметрів та вибір нагнітаючого вентилятора, побудовані схеми сушарки. Розроблено конструкції складальних одиниць і деталей. Розглянуті питання організації робіт з використанням сушарки і охорони праці.

					<i>AI.CM3.00.00.0000.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Кашубський</i>				<i>Сушарка модульна зернова</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Кірчук</i>					<i>Б</i>	<i>3</i>	<i>52</i>
<i>Т.контр.</i>						<i>ЛНТУ</i>		
<i>Н.контр.</i>	<i>Юхимчук</i>					<i>Кафедра AI</i>		
<i>Затверд</i>	<i>Хомич</i>					<i>ст. гр. AI-41</i>		

## ABSTRACT

pages, 6 figures, 11 tables, 11 literary sources, 2 appendices.

DRYER, GRAIN, DRYING AGENT, DRYING CHAMBER, DRIVE, FAN, DRYING.

The bachelor's qualification work provides documentation for the development of a modular dryer for grain materials. Using the initial data, the project developed the initial requirements for the machine being designed, formed the requirements of the technical task, determined the data for design, justified the parameters and selected the blower fan, built the dryer diagrams. The designs of assembly units and parts were developed. The issues of organizing work using the dryer and labor protection were considered.

					AI.CM3.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

# ЗМІСТ

Ст.

Вступ

## 1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

1.1. Основи сушіння зернових сільськогосподарських культур .....

1.2. Огляд теоретичних досліджень в галузі сушіння сільськогосподарської продукції .....

## 2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ .....

2.1. Напрямки вдосконалення сушарок та порівняння технологій сушіння зернових культур .....

2.2. Модернізація модульної сушарки зернових сільськогосподарських культур.

## 3. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА .....

3.1. Кінематичний розрахунок пристрою вивантаження зерна.....

3.2. Розрахунок енергетичний механізму вивантаження приводу конвеєра .....

3.3. Проектний розрахунок пасових передач шнеків механізму завантаження ..

3.4. Енергетичний розрахунок та підбір вентиляторів сушарки.....

3.5. Розрахунок пасових передач приводу вентиляторів сушарки .....

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ .....

4.1. Обґрунтування актуальності вирішення питань охорони праці та навколишнього середовища.....

4.2. Аналіз сушарки з позиції безпеки праці .....

4.3. Організація безпеки праці на робочому місці.....

4.4. Заходи безпеки праці та технічні рішення.....

4.5. Вплив на навколишнє природне середовище.....

ВИСНОВКИ .....

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....

ДОДАТКИ .....

					AI.CM3.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Формування оптимальних комплексів машин при двозмінній організації їхньої експлуатації забезпечує виконання польових робіт у належні агротехнічні терміни та скорочує потребу в техніці. Наразі це надзвичайно важливо, оскільки відкриває можливості збільшення долі технічних засобів для обслуговування орендних і фермерських господарств, особливо тих, що використовують високопродуктивні універсальні машини. Такі машини могли б ефективно забезпечувати потреби цілих регіонів, які спеціалізуються на вирощуванні різноманітних сільськогосподарських культур. Особлива увага приділяється техніці, яка застосовується у процесах збирання та первинної обробки врожаю. До цієї категорії зокрема належить і сушильне обладнання.

Використання резервів для підвищення ефективності механізованих процесів і технологій робить можливим зростання продуктивності праці, забезпечує відповідну якість і своєчасність виконання технологічних операцій, що вагомо впливає на врожайність культур. Додатково, впровадження енергоощадних технологій дозволяє суттєво поліпшити економічні показники господарської діяльності.

Західні регіони України належать до зон із підвищеною вологістю, тому більшість культур, які потребують теплової обробки, необхідно сушити. До них відносяться зернові культури, ворох льону, насіння трав, качани кукурудзи та інші сільськогосподарські продукти.

На сьогоднішній день у господарствах України широко використовують сушарки спеціального призначення. У зерновому господарстві популярними є шахтні та барабанні сушарки. Насіння цукрових буряків сушать у протитечійних сушарках і бункерах активного вентилявання. Кукурудзу, як у зерні, так і в качанах, переважно обробляють у сушарках тунельного типу. Упродовж останніх років для сушіння вороху льону було створено протитечійну сушарку СКМ-1.

Усі ці види сушарок добре зарекомендували себе для сушіння конкретних культур. Проте вони мають низку недоліків. Основними проблемами є такі: у

					АІ.СМЗ.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

шахтних сушарках спостерігається нерівномірність сушіння матеріалу по площі сушильної камери та висоті шахти; у барабанних – складно контролювати нагрів матеріалу. Напільні та коридорні сушарки характеризуються низьким рівнем механізації завантаження й вивантаження. У карусельних сушарках виникають труднощі із завантаженням і розвантаженням малосипких матеріалів, зокрема вороху льону. Тунельна сушарка позбавлена цих недоліків, однак її конструкція складна у виготовленні, металоємна та потребує значних матеріальних витрат. Її висока собівартість може спричинити зниження попиту, особливо в умовах нових економічних реалій. Крім того, вузька спеціалізація (сушіння вороху льону, конюшини) скорочує термін використання машини впродовж одного сезону, що збільшує строк її окупності.

Розширення функціональних можливостей сушарок у майбутньому дасть змогу застосовувати їх упродовж усього збирального сезону — від кінця весни до пізньої осені. Це забезпечить триваліший час експлуатації, прискорить окупність і підвищить ефективність використання техніки для сушіння. Така універсальна сушарка знайде своє застосування за різних форм власності та господарської діяльності.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є удосконалення процесу сушіння зернових культур та розробка технічного забезпечення системи нагнітання сушильного агенту модульної сушарки.

Об'єкт дослідження – технологія сушіння зернових сільськогосподарських матеріалів, нагнітання сушильного агенту в камеру сушіння з використанням відцентрових вентиляторів.

Предмет дослідження – привод вентиляторів нагнітання повітряного потоку в сушильну камеру сушарки.

Завданням кваліфікаційної роботи бакалавра є:

- аналіз літературних даних та інформації за темою роботи;
- удосконалити процес сушіння зерна злакових культур з модернізацією приводу системи вентиляторів нагнітання повітряного потоку в сушильну камеру сушарки;

					AI.SM3.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити функціональну схему сушарки;
- розрахувати параметри роботи сушарки із системою вентиляторів нагнітання повітряного потоку в сушильну камеру сушарки;
- розробити складальне креслення приводу відцентрового вентилятора системи нагнітання повітряного потоку в сушильну камеру сушарки;
- розробити робочі креслення деталей конструкції;
- визначити продуктивність сушарки;
- встановити та окреслити питання охорони праці та довкілля при роботі комплексу із сушіння злакових культур.

У кваліфікаційній роботі бакалавра удосконалено процес сушіння зерна злакових культур з модернізацією системи нагнітання повітряного потоку в сушильну камеру сушарки.

Модернізація модульної зерносушарки, а саме системи нагнітання повітряного потоку в сушильну камеру сушарки, дозволяє отримати належні умови для якісного конвективного сушіння зернового матеріалу.

					АІ.СМЗ.00.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

## 1.1 Основи сушіння зернових сільськогосподарських культур

Основним заходом для забезпечення збереження свіжозібраного зерна різних культур є зниження його вологості. Рівень вологості під час зберігання має відповідати нормам, зазначеним у ДСТУ для кожної культури. Зерно з підвищеною вологістю направляють на сушіння. Якщо сушіння у необхідні терміни неможливе, для забезпечення його збереження зерно слід розміщувати в установках активного вентилявання, попередньо очищаючи від бур'янів і олійних домішок. Сушіння необхідне для досягнення рівня вологості, який забезпечить стабільність зерна при тривалому зберіганні [1].

За правильного проведення сушіння цей процес є одним із найбільш ефективних способів покращити якість зерна та продовжити його термін зберігання. Для цього зазвичай використовують зерносушарки. Однак за сприятливих погодних умов можна також застосувати економічніший метод — повітряно-сонячне сушіння на спеціальних зернових майданчиках. Основним і найбільш результативним способом залишається сушіння в зерносушарках, яке не залежить від кліматичних умов, температури та вологості навколишнього повітря.

Щоб краще зрозуміти процес сушіння зерна, необхідно враховувати основні властивості повітря, самого зерна та зернової маси. Відомо, що зі збільшенням температури повітря його здатність утримувати вологу у вигляді пари зростає. Для кожного значення температури існує певна гранична кількість вологи, яку може утримувати повітря. Зниження температури призводить до зменшення цієї здатності, що викликає конденсацію надлишкової вологи.

Щодо сорбційних властивостей і гігроскопічності зернової маси було доведено, що її вологість залежить від рівня вологості навколишнього середовища. Тобто, при певній відносній вологості повітря встановлюється відповідна рівноважна вологість для зерна. На цій основі базуються методи його сушіння.

Залежно від біологічних властивостей зерна, встановлюють оптимальний режим сушки. Під час вибору режиму сушіння слід враховувати максимальну во-

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI. CM3.00.00.0000.ПЗ

логість зерна в партії, що надходить на переробку.

Таблиця 1.1 – Визначення стану зерна за вологістю, % [1]

Зерно	Сухе	Середньої сухості	Вологе	Сире (понад)
Пшениці, жита, ячменю, гречки	14	15,5	17	17
Вівса	14	16	18	18
Проса	13	15	17	17
Кукурудзи	14	16	18	18
Гороху, квасолі	16	18	20	20
Соняшнику та льону	11	13	14,5	14,5
Конопель	11	12	14	14
Рицини	7	9	11	11

Рекомендується формувати партію для сушіння таким чином, щоб вологе зерно очікувало на сушарку не довше ніж 24 години. Це дозволяє уникнути початку процесу самозігрівання зернової маси. Розподіл партій за вологістю сприяє отриманню високоякісного зерна на виході з зерносушарки та істотно знижує витрати на паливо.

Особливу увагу слід приділяти сушінню пшениці, оскільки цей процес може як позитивно, так і негативно вплинути на кількість і якість клейковини, що, своєю чергою, визначає хлібопекарські властивості. Під дією тепла білок клейковини має властивість ущільнюватися. Тому для партій із сильною клейковиною температуру сушіння слід знижувати, тоді як для зерна зі слабкою клейковиною допустиме використання вищих температур.

Під час сушіння важливо регулярно контролювати температуру агента сушіння в окремих зонах сушарки, стежити за допустимою температурою нагріву зерна та його охолодження після закінчення процесу перед подачею в склад. Завершивши сушіння, необхідно провести повний аналіз якості готового зерна.

Сушіння зерна є ключовим етапом у післязбиральній технології обробки, який визначає як тривалість зберігання, так і собівартість врожаю. Важливо забезпечити належну увагу процесам підготовки зерна відповідно до вимог державних стандартів, оскільки якість цих робіт безпосередньо впливає на вартість зерна при його продажу [1].

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI. CM3.00.00.0000.ПЗ

Один з основних етапів післязбиральної обробки – сушіння зерна. Вона дозволяє зберегти зерно якісним на тривалий час. Передбачається розгляд основних елементів цієї теми. Представлено значення сушіння, безпосередній опис процесу сушіння, види та методи сушіння, вплив сушіння на якість зерна.

Сушіння - основна технологічна операція з приведення зерна та насіння до стійкого стану. Тільки після того, як зі свіжозібраної зернової маси видалили всю надлишкову вологу і зерно доведено до сухого стану, можна розраховувати на подальшу надійну безпеку продукції.

Сушіння полягає у видаленні з матеріалу будь-якої рідини, в результаті чого в ньому збільшується відносний вміст сухої частини.

У сухій зерновій масі всі шкідники та комахи знаходяться в анабіотичному стані. Зберігання зерна сухим – основний засіб підтримки високої життєдіяльності насіння у зернових партіях усіх культур, а також якості продовольчого зерна протягом тривалого терміну зберігання.

Сушіння зерна - складний технологічний тепломасообмінний процес, який повинен забезпечити збереження всіх властивостей речовин у зерні, що можливе за умови дотримання оптимальних параметрів цього процесу. Так, під час сушіння постійно змінюються термодинамічні та теплофізичні властивості зерна, зокрема теплоємність та теплопровідність.

Застосовують три способи сушіння (зневоднення) зерна: теплова (у тому числі вакуумна), сорбційна (контактна), механічна (віджимання, центрифугування). Найчастіше практикують теплове сушіння зерна, рідше - сорбційне, а механічне - тільки в мийних машинах на борошномельних заводах. Під час теплового сушіння рідина перетворюється на пару, потім витрачається теплова енергія.

Серед численних способів теплового сушіння, що відрізняються способом передачі теплоти зерну, поширений конвективний. Суть його полягає в тому, що теплота передається конвекцією від теплоносія, який вбирає вологу, та віддаляється в атмосферу. За таким принципом працюють шахтні рециркуляційні, барабанні, стрічкові та інші типи сушарок.

Процес сушіння зазвичай складається із взаємопов'язаних між собою явищ, які відбуваються в наступному порядку:

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

АІ. СМЗ.00.00.0000.ПЗ

передача тепла від сушарки до поверхні зерна, що просушується;  
випарювання вологи з поверхні матеріалу;  
перенесення тепла від поверхні зерна до внутрішнього шару;  
переміщення вологи з ядра зерна до його поверхні та одночасно випаровування вологи з поверхні.

Вся волога, що випаровується, поглинається компонентами сушарки і видаляється в атмосферу.

Темпи випаровування вологи залежать від факторів, які впливають на процес переміщення вологи з ядра зерна до його поверхні, а також від фізико-хімічної структури зерна та ступеня зв'язку вологи із сухою речовиною.

При радіаційному способі сушіння зерна використовують теплоту енергії сонця чи інфрачервоних променів. Приклад - повітряно-сонячне сушіння, в такому разі волога випаровується безпосередньо через поверхню насипу зернової маси.

Ефективність процесу сушіння залежить від товщини шару зерна, частоти його переміщення, інтенсивності сонячної радіації, сили вітру, властивостей майданчика. Останню обладнують так, щоб вона мала південний ухил. Шар зернових злакових має бути гребнистим, товщиною 10 - 20 см, зернобобових 10 - 15, проса 4-5 см.

За дотримання всіх вимог і достатньої інсоляції, якщо вологість зерна не перевищувала 17 - 18%, вона за один день знижується на 1 - 3%. Якщо вологість зерна вища, повітряно-сонячне сушіння малоефективне. Обмежене застосування повітряно-сонячного сушіння пояснюється потребою у великих майданчиках розміщення зерна, залежності його від метеорологічних чинників, низькою механізацією процесу. Найчастіше повітряно-сонячне сушіння застосовується у насінництві чи доведення до базисних кондицій невеликих партій зерна.

					AI. CM3.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

## 1.2 Огляд теоретичних досліджень в галузі сушіння сільськогосподарської продукції

Переміщення вологи в матеріалі відбувається під впливом градієнтів вологості, температури та тиску [2]. У процесі випаровування вологи з поверхні матеріалу виникає різниця у вмісті вологи між зовнішніми та внутрішніми шарами. Це створює градієнт вологості, що стимулює випаровування. Температурний градієнт також відіграє важливу роль у переміщенні вологи всередині матеріалу. Якщо температура на поверхні матеріалу вища, ніж у його внутрішніх шарах, температурний градієнт може уповільнювати випаровування, оскільки волога рухається у напрямку від зон з високою температурою до зон з нижчою.

Для зображення процесу сушіння матеріалу користуються кривими: сушіння  $W(\tau)$ , швидкості  $dW/d\tau$  і температури  $t(\tau)$  (рис. 1.1). На графіках зміни цих параметрів можна виділити найбільш характерні ділянки. Перша з них відображає процес нагрівання матеріалу, тривалість якого визначається властивостями самого матеріалу. У цей період температура матеріалу та швидкість сушіння поступово зростають, досягаючи сталого значення наприкінці етапу.

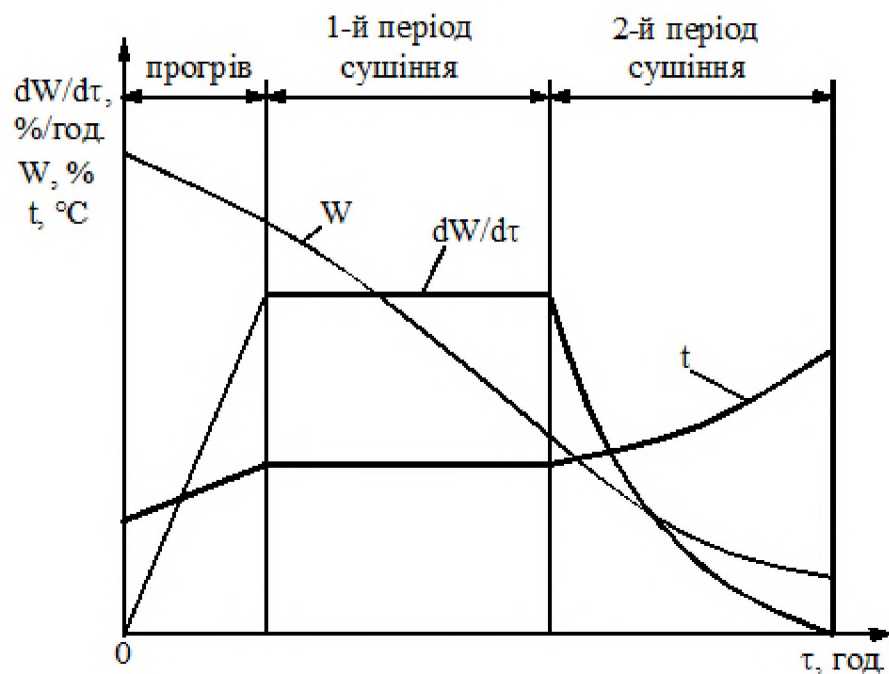


Рисунок 1.1 - Криві сушіння

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

АІ. СМ3.00.00.0000.ПЗ

Після закінчення періоду прогріву починається фаза постійної швидкості сушіння, відома як перший період сушіння. У цій фазі темп сушіння та температура матеріалу залишаються стабільними, але вологовміст зменшується лінійно. Однак у випадку сушіння лубоволокнистих матеріалів не спостерігається чітко визначеної фази постійної швидкості. Це пов'язано з тим, що такі матеріали сушать в шарі певної висоти, що є значним під час руху сушильного агента вздовж стебел. Отже, умови сушіння варіюються з висотою, що призводить до нерівномірного сушіння: матеріал із боку подачі сушильного агента пересушується, тоді як з іншого боку залишається вологим. Після досягнення критичного рівня вологості, швидкість сушіння знижується, а температура матеріалу підвищується. Саме в цей період, відомий як другий період сушіння, вологість матеріалу досягає потрібного рівня.

Сушіння товстого шару матеріалу характеризується специфічними особливостями перебігу процесу. Оскільки матеріал сохне нерівномірно, для вирішення цієї проблеми слід збільшувати швидкість руху сушильного агента. Це дозволяє скоротити період прогріву шарів та їх висушування, а також запобігти пересушуванню матеріалу з боку, де здійснюється підведення сушильного агента.

Швидкість сушіння вологого матеріалу  $dW/d\tau$  визначається механізмом тепло- і масообміну між вологим матеріалом і сушильним агентом та механізмом тепломасообміну всередині матеріалу [2]:

$$\frac{dW}{d\tau} = -N \cdot \frac{W - W_p}{W_{кр.п.} - W_p}, \quad (1.1)$$

де  $N$  – швидкість сушіння в період постійної швидкості сушіння, %/хв.;

$W_p$  – рівноважна вологість матеріалу, %;

$W_{кр.п.}$  – приведена критична вологість матеріалу, %.

Інтегруючи рівняння (1.1) при початкових умовах  $W = W_{кр.п.} \mid \tau=0$ :

$$\frac{W - W_p}{W_{кр.п.} - W_p} = e^{-K \cdot \tau} = e^{-\chi \cdot N \cdot \tau}, \quad (1.2)$$

де  $K$  – коефіцієнт сушіння;

$\chi$  – відносний коефіцієнт сушіння.

Рівняння кривої сушіння є наближеним, проте його важливою перевагою є

						Арк.
					АІ. СМ3.00.00.0000.ПЗ	
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

наявність лише однієї сталої — відносного коефіцієнта сушіння. Було також запропоновано ряд інших рівнянь, однак вони характеризуються більшою кількістю коефіцієнтів, визначення яких вимагає проведення експериментальних досліджень. Наприклад, рівняння, запропоноване Філоненко Г.К., має наступну форму:

$$-\left(\frac{1}{N} \cdot \frac{dW}{d\tau}\right) = \frac{(W-W_p)^n}{A+B \cdot (W-W_p)^n}, \quad (1.3)$$

де  $A, B, n$  – сталі, що встановлюються експериментально.

Для лубоволокнистих матеріалів при конвективному сушінні Хомуцьким Н.Д. розроблено критеріальне рівняння вологообміну:

$$Nu = C \cdot Re^n \cdot Pr^m \cdot \frac{d_e}{H_{ш}} \cdot \psi_B^{сеп}, \quad (1.4)$$

де  $Nu$  – критерій Нуссельта;

$C$  – коефіцієнт пропорційності;

$n$  та  $m$  – показники степеня;

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Pr$  – критерій Прандтля;

$d_e$  – еквівалентний діаметр шару матеріалу, м;

$H_{ш}$  – висота шару, м;

$\psi_B^{сеп}$  – середня відносна швидкість сушіння за період зменшення середньоінтегрального вологовмісту шару матеріалу від  $U_1$  до  $U_2$ .

Як показують результати експериментальних досліджень процеси зміни вологості  $u = f(u_0, \tau, t)$  відбуваються за складними законами.

Для вирішення багатьох практичних завдань зазвичай достатньо визначити загальні характеристики процесу, побудувавши криві сушіння, швидкості та температури. Проведений аналіз цих кривих дозволяє вивести рівняння кінетики сушіння.

Вивчення закордонних джерел свідчить, що кінетичні криві сушіння матеріального шару можна з високою точністю описати типовими залежностями, які узагальнено в таблиці 1.2.

						Арк.
					АІ. СМ3.00.00.0000.ПЗ	
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Моделі, що описують кінетику сушіння тонкого шару матеріалів

	Назва моделі	Рівняння моделі
1	Ньютона (Newton)	$MR = \exp(-k \cdot t)$
2	Хендерсона-Пабіса (Henderson-Pabis)	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t)$
3	Пейджа (Page)	$MR = \exp(-k \cdot t^n)$
4	Видозмінене Пейджа (Modified Page)	$MR = \exp[-(k \cdot t)^n]$
5	Логарифмічна	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$
6	Вонга і Сінга (Wang and Singh)	$MR = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$
7	Міділлі (Midilli)	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

В рівняннях в табл.1.1  $MR$  – коефіцієнт, що характеризує зниження вологості матеріалу під час сушіння;  $a, b, c, k, n$  – невідомі коефіцієнти, що визначають властивості і стан конкретного матеріалу, а також режими сушіння;  $t$  – тривалість сушіння, хв.

$$MR = \frac{u - u_p}{u_0 - u_p}, \quad (1.5)$$

де  $u_0$  – початкова абсолютна вологість матеріалу, %;

$u$  – абсолютна вологість матеріалу через час  $\tau_j$  від початку сушіння, %;

$u_p$  – рівноважна вологість матеріалу, %.

Рівноважна вологість кожного матеріалу варіюється в залежності від температури самого матеріалу та вологості навколишнього середовища, підпорядковуючись складним законам. Для аналітичного опису цих взаємозв'язків застосовують модифіковані рівняння Гендерсона, Чанга-Фоста, Хелсі та Освіна.

Ключовим аспектом у процесі сушіння насіння є його термостійкість. Відомо, що перевищення допустимих температур нагрівання негативно позначається на якості насіння, зокрема знижує його схожість та енергію проростання.

Для насіння зернових і бобових культур гранично допустима температура нагрівання визначається за формулою С. Д. Птіцина:

$$\theta_{z.o.} = \frac{2350}{0,37 \cdot (100 - w_i) - w_i} + 20 - 10 \cdot \lg \tau, ^\circ C \quad (1.6)$$

де  $w_i$  – інтегральна вологість насіння, %;  $\tau$  – тривалість сушіння, хв.

						Арк.
					АІ. СМЗ.00.00.0000.ПЗ	
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

Для опису процесу конвективного сушіння сільськогосподарських матеріалів доцільно використовувати відому методику, засновану на спрощеному механізмі тепло- і масообміну. Цей механізм можна представити у вигляді системи диференціальних рівнянь, наведених у роботі [2]:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} + 3600 \cdot V \cdot \frac{\partial x}{\partial \tau} = - \frac{\gamma_m \cdot c_m}{\gamma_n \cdot c_n} \cdot \frac{\partial \theta}{\varepsilon \cdot \partial \tau} - \frac{\gamma_m \cdot r'}{\gamma_n \cdot c_n \cdot \varepsilon} \cdot \frac{\partial W}{\partial \tau} \cdot \frac{1}{100}, \quad (1.7)$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{\gamma_m \cdot \varepsilon}{\gamma_n \cdot c_n \cdot \varepsilon} \cdot \left( \frac{\partial d}{\partial \tau} + 3600 \cdot V \cdot \frac{\partial d}{\partial x} \right), \quad (1.8)$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} + 3600 \cdot V \cdot \frac{\partial W}{\partial \tau} = - \frac{\alpha_q \cdot \gamma_m}{\gamma_n \cdot c_n \cdot \varepsilon} \cdot (t - \theta), \quad (1.9)$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = -K \cdot (W - W_p), \quad (1.10)$$

де  $t$  – температура сушильного агента °С;

$d$  – вологовміст сушильного агента, г/кг сухого повітря;

$W$  – вологість матеріалу, %;

$\theta$  – температура матеріалу °С;

$V$  – швидкість сушильного агента, м/с;

$c_m, c_n$  – теплоємність матеріалу і повітря, кДж/кг °С;

$\varepsilon$  – пористість шару матеріалу;

$r'$  – прихована теплота пароутворення води, кДж/кг;

$\alpha_q$  – коефіцієнт тепловіддачі, ккал/кг·год, °С;

$\gamma_m$  – об'ємна маса матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma_n$  – питома вага повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$K$  – коефіцієнт сушіння, год<sup>-1</sup>;

$W_p$  – рівноважна вологість матеріалу %;

$x$  – просторова координата, м;  $\tau$  – час, год.

Рівняння (1.7) відображає закон збереження енергії, (1.8) – закон збереження речовини, а рівняння (1.9 і 1.10) характеризують закони тепло- та масообміну між матеріалом і сушильним агентом.

Ця система диференціальних рівнянь найбільш точно описує процес сушіння потоку насінневого матеріалу. В інших випадках отримані математичні моде-

						Арк.
					АІ. СМ3.00.00.0000.ПЗ	
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

лі дозволяють лише відображати фізичну сутність процесу сушіння.

					АІ. СМЗ.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

### 2.1 Напрямки вдосконалення сушарок та порівняння технологій сушіння зернових культур

Вдосконалення сушарок для зерна є актуальним завданням для підвищення енергоефективності, збереження якості зерна та зниження витрат. Ось основні шляхи вдосконалення зерносушарок. Технічна модернізація сушильного обладнання може бути наступна:

- автоматизація процесу сушіння: встановлення датчиків вологості, температури, тиску та систем керування, що адаптуються в реальному часі;
- використання теплообмінників: дозволяє ефективніше використовувати тепло, зменшуючи втрати енергії;
- рекуперація тепла: повторне використання теплого повітря для попереднього підігріву зерна;
- сучасні пальники: заміна застарілих моделей на високоефективні газові, дизельні чи комбіновані.

Покращення аеродинаміки та циркуляції повітря можна досягти шляхом оптимізація потоку повітря (рівномірний розподіл повітря в сушарці зменшує перегрівання або недосушування), або ж через використання модульної конструкція, що дозволяє гнучко адаптувати сушарку до об'ємів зерна, зменшуючи зайві витрати енергії. Енергозбереження та альтернативна енергетика:

- перехід на альтернативні джерела енергії: біомаса, агропелети, відпрацьовані олії, солома;
- сонячні сушарки: ефективні для попереднього підсушування або у малих господарствах;
- інверторні приводи вентиляторів: регулювання швидкості обертання залежно від потреби.

Оптимізація технологічного процесу можлива внаслідок:

- двоетапне сушіння: спочатку інтенсивне сушіння до певної межі, потім м'яке догрівання – зменшує тріщинуватість зерна;

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.SM3.00.00.0000.ПЗ

- контроль температурного режиму: особливо важливо для збереження посівних якостей зерна;
- інтелектуальні системи керування: адаптивне програмне забезпечення для контролю параметрів сушіння в реальному часі.

Використання новітніх матеріалів і технологій внаслідок використання:

- ізоляційних матеріалів: теплоізоляція сушарки для зменшення втрат енергії;
- антикорозійних покриттів: збільшення строку експлуатації;
- нанотехнологій: перспективні в галузі покриттів, що зменшують прилипання зерна або пилу.

Порівняльна інформація основних технологій сушіння зерна, яка включає їх принцип дії, переваги, недоліки та приклади застосування наведена у табл.2.1.

Таблиця 2.1 - Порівняння основних технологій сушіння зерна

Технологія сушіння	Принцип роботи	Переваги	Недоліки	Застосування
Конвекційна (традиційна)	Конвекційна (традиційна)	Конвекційна (традиційна)	Конвекційна (традиційна)	Конвекційна (традиційна)
Шахтна сушарка	Шахтна сушарка	Шахтна сушарка	Шахтна сушарка	Шахтна сушарка
Барабанна сушарка	Барабанна сушарка	Барабанна сушарка	Барабанна сушарка	Барабанна сушарка
Інфрачервоне сушіння	Інфрачервоне сушіння	Інфрачервоне сушіння	Інфрачервоне сушіння	Інфрачервоне сушіння
Мікрохвильове сушіння	Мікрохвильове сушіння	Мікрохвильове сушіння	Мікрохвильове сушіння	Мікрохвильове сушіння
Сонячне сушіння	Сонячне сушіння	Сонячне сушіння	Сонячне сушіння	Сонячне сушіння
Вакуумне сушіння	Вакуумне сушіння	Вакуумне сушіння	Вакуумне сушіння	Вакуумне сушіння

Рекомендації залежно від потреб зведено у табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Рекомендації вибору технологій сушіння та відповідного обладнання

Потреба	Оптимальна технологія
Масштабне сушіння на елеваторі	Шахтна або барабанна
Збереження якості насіння	ГЧ, мікрохвильова або вакуумна
Мінімальні витрати	Сонячна або модернізована конвекційна
Висока енергоефективність	Сушарки з рекуперацією тепла, шахтні з автоматикою

Модульні зерносушарки — це сучасні сушильні установки, які складаються з окремих функціональних блоків (модулів), що можуть комбінуватись і масштабуватись залежно від потреб господарства. Це дозволяє максимально гнучко адаптувати обладнання до різних обсягів зерна та умов експлуатації (табл.2.3).

Переваги модульних зерносушарок наступні: Швидкий монтаж і демонтаж, Можливість модернізації без повної заміни системи, Підвищена енергоефективність за рахунок автоматичного керування та теплоізоляції, Масштабованість — від фермерського господарства до великого елеватора, Мінімізація простоїв — у разі ремонту можна вивести з ладу лише один модуль.

Можливі недоліки:

- Вища початкова вартість порівняно зі звичайною сушаркою
- Потребують кваліфікованого обслуговування автоматики
- Обмежена потужність одного модуля — велика продуктивність досягається лише при комбінації кількох

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.SM3.00.00.0000.ПЗ

Таблиця 2.3 - Ключові особливості роботи модульних зерносушарок

Параметр	Особливості
1. Конструкція	Збірна, секційна конструкція з окремих модулів (теплогенератор, шахта, вентилятори, бункери, автоматика). Модулі можуть додаватися або зніматися.
2. Гнучкість	Легко масштабуються - від 5 до 100+ т/год. Можна розширити продуктивність без повної заміни сушарки.
3. Мобільність	Часто бувають мобільними або напівмобільними. Легше перевозити чи змонтувати в іншому місці.
4. Управління	Оснащені сучасними системами автоматики: контроль вологості, температури, тривалості сушіння. Підтримка віддаленого моніторингу через інтернет.
5. Енергозбереження	Можуть оснащуватись системами рекуперації тепла, модулями попереднього нагріву зерна, інверторними вентиляторами.
6. Різноманіття палива	Працюють на газі, дизелі, рідше - на біопаливі. Деякі моделі підтримують зміну типу палива.
7. Універсальність	Підходять для сушіння різних культур — кукурудзи, пшениці, ріпаку, сої, соняшнику. Часто мають адаптивні режими.

Типовими виробниками модульних сушарок є: Fratelli Pedrotti (Італія) - мобільні модульні сушарки, MECMAR (Італія) - зерносушарки з модульною автоматикою, KMZ Industries (Україна) - шахтні сушарки з модульною системою, Grain Handler, GSI (США) - високопродуктивні модульні шахтні сушарки.

Для післязбирального обробітку зерна має суттєве значення організація виробництва. Тобто, увесь технологічний процес збирання зернових залежить від взаємного використання машин, які здійснюють переробку зібраної продукції.

За машину-аналог (рис.2.1) запропоновано модульну зерносушарку CF-1000H. Вона призначена для роботи в комплекті обладнання сушильно-очисного комплексу для обробітку зерна та іншої сільськогосподарської продукції. До

										Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата						

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

склад сушарки входить завантажувальний пристрій, камера сушильна, дифузор, тепловентиляційний блок та вентилятор, завантажувально-розвантажувальний пристрій, пункт керування і площадка. Привод робочих органів сушарки є від мережі трифазного струму.



Рисунок 2.1- Модульна зерносушарка CF-1000H

Процес збирання зернових має низку специфічних особливостей. Для цієї роботи зазвичай застосовуються зернозбиральні комбайни, які забезпечують ефективно обмолочування. Перевезення зерна здійснюється за допомогою транспортних причепів, таких як, наприклад, модель 2ПТС-4-887А. Окрім цього, потрібен ряд додаткових технічних засобів, що забезпечують навантаження, переміщення та транспортування зерна на короткі відстані. Для таких задач використовуються шнекові, стрічкові та ковшові транспортери, а також елеватори.

## 2.2 Модернізація модульної сушарки зернових сільськогосподарських культур

Сушарка для зернових призначена для зниження вологості очищеного та неочищеного насіння трав і зернових культур із початкового рівня 25-30% до кінцевої вологості 12-14%. Розглянемо технологічний процес функціонування су-

						Арк.
					AI.SM3.00.00.0000.ПЗ	
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

шарки на прикладі сушіння пшеничного зерна.

На початковому етапі роботи сушарки активується паливний блок разом із вентилятором високого тиску. Після прогрівання камери сушіння запускається завантажувальний шнек, який транспортує вологе зерно через піднімальну норію до камери сушіння. Камера має ромбоподібну форму з перфорованими стінками, крізь які видаляється використаний сушильний агент. У процесі завантаження шнекові конвеєри періодично вмикаються для забезпечення повного заповнення камери сушіння.

У верхній частині сушильної камери розташований розподільчий механізм у вигляді шнека, який рівномірно розподіляє сипучий матеріал по всій площі камери. У ході сушіння зерно поступово переміщується вниз, одночасно перемішуючись і розпушуючись. Це сприяє інтенсифікації процесу сушіння та підвищує його ефективність.

Під час переміщення насіння через шари зерна сушильний агент проникає крізь матеріал і поступово знижує його вологість. У нижній частині камери сушіння розташоване днище, через яке, за допомогою вивантажувального шнека, насіння видаляється назовні.

Сушарка модульного типу складається з кількох ідентичних секцій сушіння (у даному проєкті два модулі). Після завершення сушіння в першій секції зерно вивантажується та одразу подається на подальшу обробку до другого модуля.

Система розподілення повітря функціонує таким чином: у електрокалорифері атмосферне повітря нагрівається до заданих параметрів і перетворюється на сушильний агент. Далі вентилятор подає його через дифузор у камеру сушіння. Проходячи через шари матеріалу, агент переносить надлишкову вологу та виходить у повітря через бокові отвори в сушильній камері.

У представленій моделі сушарки реалізовано принцип бокової подачі сушильного агента по відношенню до матеріалу, що піддається сушінню. Такий підхід забезпечує більш раціональне використання агента.

Крім того, окреме видалення вологи кожним модулем сушарки сприяє інтенсифікації всього процесу сушіння. Витрату сушильного агента регулюють за допомогою повітряної заслінки, а температуру на вході в розподільну систему

						Арк.
					AI.CM3.00.00.0000.ПЗ	
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

контролюють температурні датчики.

Модульна сушарка є складним обладнанням, що складається з декількох взаємозалежних механізмів. Кожен із цих механізмів оснащений автономними електричними приводами, що забезпечує незалежність їхньої роботи. Розглянемо детальну кінематичну схему функціонування робочих елементів сушарки. Оскільки всі модулі мають однакову кінематичну структуру та принцип дії, аналіз буде проведено на прикладі одного модулю, розташованого в нижній частині конструкції.

Привід осьового вентилятора, який забезпечує подачу сушильного агента в сушильну камеру, здійснюється за допомогою електродвигуна з потужністю 2,2 кВт і частотою обертання 1500 об/хв. Двигун з'єднаний із вентилятором безпосередньо, що знижує втрати енергії.

Щоб забезпечити рівномірне завантаження матеріалу по площі сушарки, використовується шнек-розподільник. Діаметр шнека становить 250 мм, а його крок дорівнює 250 мм. Привід шнека оснащений електродвигуном моделі 4A901ЛУЗ із потужністю 2,2 кВт та частотою обертання 1500 об/хв. Крутний момент від двигуна передається через пружно-втулково-пальцеву муфту на швидкохідний вал одноступінчастого циліндричного редуктора моделі Ц2У-125-16-12КУ2.

Вертикальне переміщення матеріалу забезпечується завантажувальною норією. Її привод оснащений електродвигуном 4A112М4УЗ потужністю 1,1 кВт із частотою обертання 1500 об/хв. Крутний момент від двигуна через пружні втулково-пальцеві муфти передається на швидкохідний вал одноступеневого циліндричного редуктора. Далі момент передається на вал вертикального транспортера через ланцюгову передачу з параметрами  $Z=27$ .

Для переміщення зерна в сушильну камеру та його рівномірного розподілу по її площині передбачено ромбовидний розподільник. У камері матеріал проходить сушіння, після чого самопливом переміщується до зони вивантаження.

Вивантаження здійснюється за допомогою транспортного шнека. Привід шнека базується на двигуні потужністю 2,2 кВт із частотою обертання 1000 об/хв. Крутний момент передається від двигуна через пружну втулково-пальцеву

										Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата						

AI.SM3.00.00.0000.ПЗ

муфту на швидкохідний вал циліндричного редуктора. Далі матеріал транспортується назовні за допомогою транспортера, що розташований перпендикулярно до осі машини.

Привід транспортера реалізовано електродвигуном 4A90L4Y3 із використанням редуктора Ц2У-125-16-12КУ2 і ланцюгової передачі з параметрами  $Z=13$  та  $Z=31$ . Для уникнення провисання полотна транспортера в конструкції передбачені підтримуючі пасивні циліндри, що встановлені на підшипникових опорах.

Сушарки можуть виготовлятися як у мобільному варіанті на колесах, що дозволяє легко транспортувати їх на значні відстані, так і в стаціонарному виконанні, яке монтується на спеціальні опори. Деякі моделі мають можливість підвищення продуктивності шляхом додавання вертикально встановлюваних модулів у кількості до чотирьох штук. Це є вагомою перевагою для підприємств, які швидко розвиваються, оскільки дозволяє поступово збільшувати ефективність обладнання відповідно до зростання компанії, спираючись на вже наявний модуль.

Цей тип сушарок відзначається високою надійністю та здатністю працювати безперервно протягом багатьох тижнів. За умови правильного підготування до експлуатації та регулярного профілактичного обслуговування, обладнання навіть через кілька років використання зберігатиме ті ж технічні характеристики, що й на початку його експлуатації.

Під час сушіння гаряче повітря заданої температури під високим тиском, яке створюється потужним теплогенератором, проходить через рівномірний шар зерна, нагріваючи його. Водночас волога, яка утворюється в процесі нагрівання, виводиться назовні через перфоровані стінки зернових камер.

Завантажувальний шнек забезпечує рівномірне наповнення зерносушарки зерном. Спеціальні перегородки, виготовлені з оцинкованої або нержавіючої сталі, розділяють сушарку на колони. Рифлені перфоровані зовнішні й внутрішні листи, також виконані з оцинкованої або нержавіючої сталі, складаються з трьох частин, що сприяє рівномірному руху зерна всередині колон.

Контроль за вологістю забезпечується датчиками, розташованими по обидва боки сушильної камери. Також встановлені сенсори термостатів, що обмежують

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

верхню межу температури. Розвантажувальний шнек оснащений пробовідбірником для зерна і автоматично припиняє роботу при спрацьовуванні датчика, що фіксує підпір зерна. Регульовані засувки та допоміжні люки полегшують доступ для ручного очищення колон.

Завдяки унікальному дизайну системи дозування і дозаторам із пресованого алюмінію досягається рівномірне вивантаження зерна по всій ширині колон. Усі деталі конструкції покриті спеціальним шаром фарби, нанесеним методом порошкового спікання, що забезпечує високу зносостійкість.

Запатентована електронна система контролю та моніторингу максимально спрощує управління обладнанням. Вона надає оператору необхідну інформацію через підсвічений дисплей, виключаючи необхідність припущень. Система також підраховує загальний час роботи сушарки, поточну продуктивність у тоннах за годину та загальну кількість висушеного зерна. У пам'яті комп'ютера зберігається історія роботи та звіти про функціонування.

Для нагрівання використовуються високоефективні пристрої, що об'єднують вентилятор і пальник. Усі вентилятори працюють на низьких швидкостях, що зменшує шум і водночас забезпечує оптимальний потік гарячого повітря для процесу сушіння. Використовуються лопаті вентиляторів із поліпропілену, армованого скловолокном. Вони відзначаються низьким стартовим навантаженням, високою продуктивністю повітряного потоку при різних рівнях статичного тиску, точною балансувальністю та безшумністю роботи.

Сушарки цього типу оснащені спеціально розробленими камерами повітрозмішувачів. Ці камери ретельно змішують тепло від пальника з навколишнім повітрям, забезпечуючи однорідну температуру для більш ефективного процесу сушіння.

Контроль за процесом сушіння виконується оператором з пульта керування разом із двома робітниками.

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

### 3. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Кінематичний розрахунок пристрою вивантаження зерна

Кінематичні параметри приводів шнеків завантажуючого і вивантажуючого механізмів зведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 -Кінематичні параметри приводів шнеків

Типорозмір вентилятора	Частота обертання двигуна, об/хв	Частота обертання вентилятора, об/хв	Передатне число
Завантажуючий механізм	1500	140	10,7
Вивантажуючий механізм механізм	1500	140	10,7

Таким чином, частоти обертання та передатні числа передач можна звести в таблицю за розподілом передач.

Таблиця 3.2- Частоти обертання а також передатні числа шнекових приводів

Передача	Передатна відношення	Частота обертання, об/хв
Пасова передача	2,7	139,0
Одноступінчатий редуктор	4	375,0
Електродвигун	-	1500

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

Час вивантаження матеріалу, що піддається сушінню, безпосередньо залежить від швидкості руху транспортера, який відводить висушений зерновий матеріал убік від сушарки. Механізм цього процесу конструктивно представлений стрічковим транспортером із лопатками на його поверхні. Рух транспортеру забезпечується електродвигуном у поєднанні з приводом, що складається із системи зубчастих і ланцюгових передач. Схема приводу завантажувальних транспортерів для сушильної камери зображена на рис. 3.1.

Регулювання швидкості виведення матеріалу із зони сушіння можливе за допомогою комплекту змінних зірочок у ланцюговій передачі. Значення передатного відношення цих зірочок визначається режимними параметрами процесу сушіння, станом матеріалу, що сушиться, та низкою інших факторів.

Розрахунок приводу механізму транспортера для відведення матеріалу із зони сушіння виконаємо для умов мінімальної лінійної швидкості його руху.

Продуктивність конвеєра, що транспортує сипкий матеріал, визначається за допомогою наступної формули:

$$Q_c = \gamma \cdot V_k \cdot b_k \cdot h, \quad (3.1)$$

де

$\gamma$  - об'ємна маса зерна пшениці, кг/м<sup>3</sup>;

$V_k$  - швидкість поступальна конвеєра, м/с;

$b_k$  - ширина конвеєра, м;

$h$  - приведена товщина шару зерна, що переноситься конвеєром, м.

Тоді приймаємо  $h = 0,02l$ ,  $b_k = 0,5$  м.

Отже, з формули (3.1) можливо визначити значення лінійної швидкості транспортера, враховуючи задану величину продуктивності. Продуктивність стрічкового відвідного транспортера механізму вивантаження приймається рівною продуктивності шнека для вивантаження в цьому ж механізмі.

						Арк.
					AI.SM3.00.00.0000.ПЗ	
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

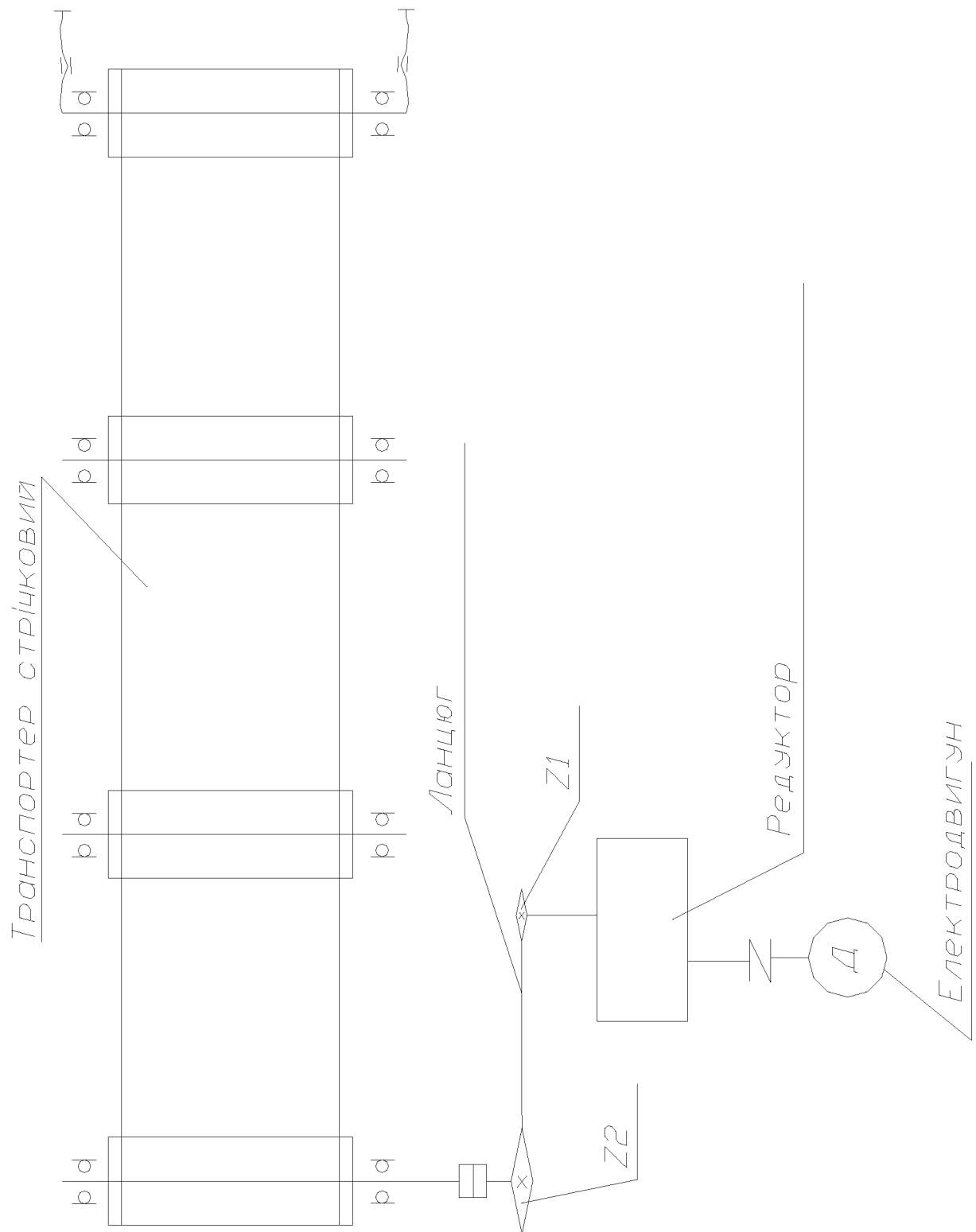


Рисунок 3.1- Схема привода транспортера транспортування зерна

					AI.CM3.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

$Q_c \approx 35$  т/год.

$$V_k = \frac{Q_c}{\gamma \cdot b_k \cdot h}. \quad (3.2)$$

$$V_k = \frac{35000}{810 \cdot 0,5 \cdot 0,02} \cdot \frac{1}{3600} = 1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Отже, вихідними даними для розробки приводу конвеєрів сушильної камери є:

- лінійна швидкість транспортерів  $V = 1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;
- радіус барабанів що на транспортері 0,1 м;
- щільність зернових культур 810-850 кг/м<sup>3</sup>.

Кутова швидкість обертання приводної зірочки транспортера визначається як:

$$\omega_{\delta\varphi} = \frac{V_c}{r_{\delta\varphi}},$$

де  $V_c$  - лінійна швидкість транспортера, м/с;

$r_{pz}$  - радіус ролика приводного транспортера.

Тоді:

$$r_p = 0,10 \text{ м.}$$

Отже:

$$\omega_{\delta\varphi} = \frac{1,2}{0,10} = 12,0 \text{ рад/с., або } 115 \text{ об/хв.}$$

Розподіл передавальних відношень приводу транспортера виглядає наступним чином.

						Арк.
					AI.CM3.00.00.0000.ПЗ	
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

Для ланцюгової передачі приймається рекомендоване передатне відношення  $u_{лз} = 3$ .

У випадку одноступінчастого редуктора з циліндричними зубчастими колесами рекомендоване передатне число становить  $u_{рз} = 5$ .

Тоді, кутова швидкість обертання валу тихохідного редуктора для привода буде:

$$\omega_{рз} = u_{лз} \cdot \omega_{тз} = 3 \cdot 12,0 = 36,0 \text{ с}^{-1}.$$

Або це складе 344 об/хв.

Кутова швидкість обертання валу електродвигуна для цього механізму приво-  
воду буде наступною:

$$\omega_{едз} = u_{рз} \cdot \omega_{рз} = 5 \cdot 36,0 = 180,0 \text{ с}^{-1}.$$

Або це буде 1718 об/хв.

У якості двигуна доцільно вибрати асинхронний електродвигун серії 4А з частотою обертання 1500 об/хв. Для зручності частоти обертання та передатні числа передач можна звести в таблицю.

Таблиця 3.2 - Частоти обертання та числа передатні привода транспортерів-  
заванатжувачів камери сушильної

Передача	Передатна відношення	Частота обертання, об/хв
Зірочка ведена (вал барабана транспортера)	3	100
Зірочка ведуча (тихохідний вал редуктора)	5	300,0
Електродвигун	-	1500

						Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	AI.CM3.00.00.0000.ПЗ	

В якості редуктора приймаємо одноступінчатий редуктор Ц2У-125-16-12КУ2 за ДСТУ 16162-78.

### 3.2 Розрахунок енергетичний механізму вивантаження приводу конвеєра

Вихідні дані для проектування приводу конвеєра сушильної камери:

- Довжина конвеєра становить 3,0 м;
- Ширина конвеєра — 0,50 м;
- Кількість конвеєрів, підключених до одного приводу — 1 одиниця;
- Лінійна швидкість транспортера — 1,2 м/с;
- Щільність зернових у межах 810-850 кг/м<sup>3</sup>;
- Продуктивність системи — 35,0 т/год.

З літературних даних потужність, необхідна на привод стрічкового транспортера, становить [6,7]:

$$N_1 = \frac{Kn \cdot Q \cdot L}{367} (W \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (3.3)$$

де  $Kn$  – коефіцієнт, який враховує втрати при запуску та перегинання стрічки на барабані, в зоні завантаження та ін.,  $Kn = 5,8$ ;

$Q = 35,0 \text{ м}^3/\text{год}$  – продуктивність транспортера, яка рівна продуктивності сушарки;

$L$  – довжина транспортера, за ескізною компоновкою машини,  $\text{м}$ ;

$W$  – коефіцієнт опору руху, який залежить від продуктивності транспортера

і для  $Q = 35,0 \text{ м}^3/\text{год}$   $W = 2,2$ ;

$\alpha$  - кут нахилу транспортера.

Для розглянутого випадку  $\alpha = 0$ .

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

$$N_1 = \frac{5,8 \cdot 35,0 \cdot 3,0 \cdot 2,2}{367} = 3,6 \text{ кВт} .$$

Потужність привода транспортерів у сушаркц встановлюється Як:

$$N_n = \frac{N}{\eta}, \quad (3.4)$$

де  $\eta$  - загальний коефіцієнт корисної дії привода.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) привода визначається як добуток ККД усіх передач привода, враховуючи також ККД підшипників.

На основі кінематичної схеми привода загальний ККД визначатиметься так:

$$\eta = \eta_1^6 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4^2, \quad (3.5)$$

де  $\eta_1$  - ККД підшипникових опор;

$\eta_2$  - ККД зубчатої передачі;

$\eta_3$  - ККД ланцюгової передачі;

$\eta_4$  - ККД муфти.

Тому:

$$\eta = 0,99^6 \cdot 0,94 \cdot 0,95 \cdot 0,9^2 = 0,7 .$$

Тоді загальна потужність привода буде:

$$N_n = \frac{3,6}{0,7} = 5,1, \text{кВт}$$

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

Остаточно беремо  $N_{н} = 5$  кВт, і для головного приводу конвеєра сушарки беремо електродвигун 4A90L4У3 потужністю  $N = 5$  та частотою обертання  $n = 1500$  об/хв.

### 3.3. Проектний розрахунок пасових передач шнеків механізму завантаження

Кінематичні параметри, необхідні для розрахунку пасових передач, наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Кінематичні параметри привода вентиляторів сушарки

Тип передачі	Частота обертання двигуна, об/хв	Частота обертання на редуктор, об/хв	Передатне число
Пасова	1500	735	2,7

Геометричні параметри шківів були розраховані за допомогою програмного забезпечення MathCad. Отримані результати наведені нижче.

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

### 3.4 Енергетичний розрахунок та підбір вентиляторів сушарки

Оскільки модулі сушарки мають схожу конструкцію, вибір вентилятора виконується окремо для кожного модуля. Підбір радіальних вентиляторів здійснюється за певною методикою, основні принципи якої наведені нижче:

1. Вибір типорозміру вентилятора зазвичай базується на мінімальному споживанні електроенергії, тобто перевага надається пристроям із найвищим ККД.

2. Підбір вентилятора здійснюється згідно з відомими значеннями продуктивності та повного тиску за допомогою зведеного графіка. Обирається вентилятор із характеристикою, яка найближче відповідає заданим параметрам. Отримана точка зі значеннями продуктивності та робочого тиску називається робочою точкою.

3. Робочий режим вентилятора визначається за графіком індивідуальної характеристики пристрою. Ця характеристика перетинає пряму, що паралельна лініям рівного ККД, у точці заданого робочого режиму. На основі робочої точки виконують остаточний розрахунок системи з урахуванням допусків на повний тиск відповідно до стандарту ГОСТ 5976-90 для радіальних вентиляторів.

4. Використання режимів роботи вентилятора, у яких ККД становить менше 85% від максимального значення, не рекомендовано.

5. Типорозмір вентилятора визначається за робочою точкою на графіку індивідуальних характеристик пристрою.

6. Потужність двигуна вентилятора розраховується за табличними даними або за формулами.

7. Для вибраного типорозміру уточнюються габаритні, приєднувальні й установочні розміри, а також рівень шуму від вентилятора.

Відповідно до проведеного аналізу аналогічних машин, витрата повітря складає приблизно кількість  $5,0 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>/год.

Швидкість руху повітряного потоку (сушильного агента) на вході у спрямовувачі визначається загальною витратою сушильного агента:

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.SM3.00.00.0000.ПЗ

$$\bar{\omega}_0 = \frac{V}{F_{нов.}}$$

де  $F_{нов.}$  – площа поперечного перерізу повітропроводу перед ковпаком.

Приймаємо приблизно, що діаметр повітропроводу становить 0,3 м. У такому разі швидкість потоку повітря можна обчислити наступним чином:

$$\bar{\omega}_0 = \frac{5000}{3,14 \cdot 0,15^2} = 70735 \text{ м/год.}$$

Або це становить  $\bar{\omega}_0 = 19,65 \text{ м/с.}$

Приймаємо для подальших розрахунків  $\bar{\omega}_0 = 20 \text{ м/с.}$

Повітропровід, який сполучає вентилятор та ковпаки має коліно з кутом повороту  $\alpha_k = 30$  град. Втрати тиску в коліні, нехтуючи втратами на тертя:

$$P_c = \frac{\gamma_{нов.} \bar{\omega}_0^2}{2g} \xi_k. \quad (3.6)$$

Коефіцієнт опору (місцевого):

$$\xi_k = 0,946 \sin^2 \frac{\alpha_k}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\alpha_k}{2}. \quad (3.7)$$

$$\xi_k = 0,946 \sin^2 \frac{30^\circ}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{30^\circ}{2} = 0,072$$

Тиск динамічний у повітропроводі:

$$P_d = \frac{\gamma_{нов.} \bar{\omega}_0^2}{2g}. \quad (3.8)$$

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

З літературних джерел питома вага повітря для різноманітних температур перебуває в межах 1,23...1,29 кг/м<sup>3</sup>. Беремо для подальших розрахунків

$$\gamma_{\text{пов}} = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Тоді:

$$P_c = \frac{1,29 \cdot 20^2}{2 \cdot 9,8} \cdot 0,072 = 1,89 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} = 18,9 \text{Па}.$$

$$P_{\partial} = \frac{1,29 \cdot 4,6^2}{2 \cdot 9,8} = 26,33 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} = 263,3 \text{Па}.$$

Повний тиск вентилятора складе:

$$P_n = P_c + P_{\partial}. \quad (3.9)$$

$$P_n = 18,9 + 263,3 = 282,2 \text{Па}.$$

Допускаємо, що вентилятор, створюючи повний тиск у 300 Па при роботі сушарки, відповідає необхідним параметрам. Виходячи з наведених характеристик на рис. 2.5, обираємо радіальний вентилятор ВЦ 14-46 типорозміру 3,15 згідно з ДСТУ 5976-90.



Рисунок 3.2 - Вентилятор радіальний ВЦ 14-46 із типорозміром 3,15 за ДСТУ 5976-90

						Арк.
					АІ.СМ3.00.00.0000.ПЗ	
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		



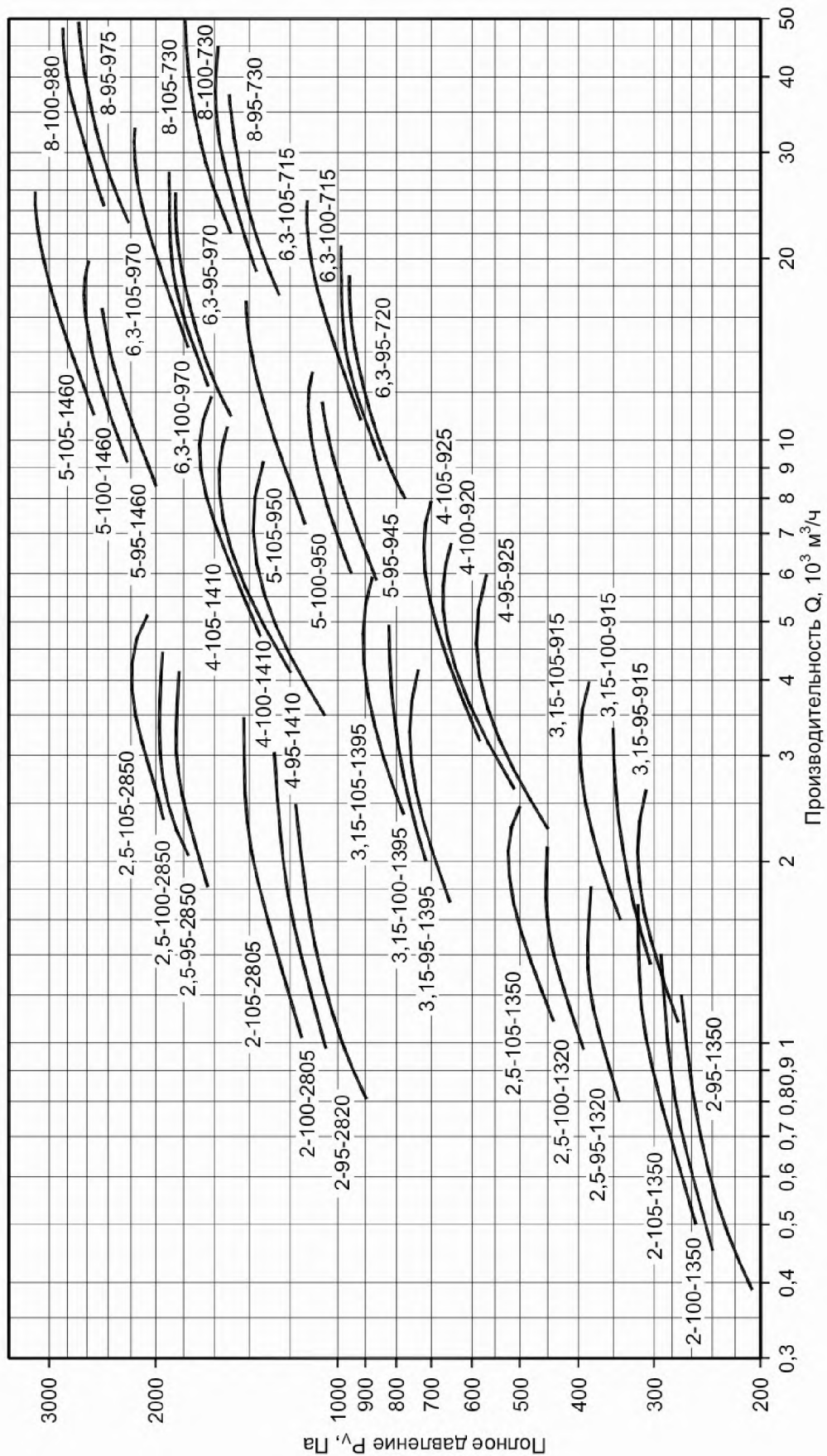


Рисунок 3.3 - Приведений графік характеристик вентиляторів ВЦ14-46

Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

Арк.

Габаритні та приєднувальні розміри вибраного вентилятора наведено в табл. 3.5

Таблиця 3.5 - Габаритні та приєднувальні розміри вентилятора, мм

№ вентилято- ра	A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	a	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	B	D	D <sub>1</sub>	H <sub>max</sub>	H <sub>1</sub>	L <sub>max</sub>	l	n	N <sub>1</sub>	t
3,15	208	340	560	198	224	255	200	27,5	602	323	345	660	240	686	178	2	12	100

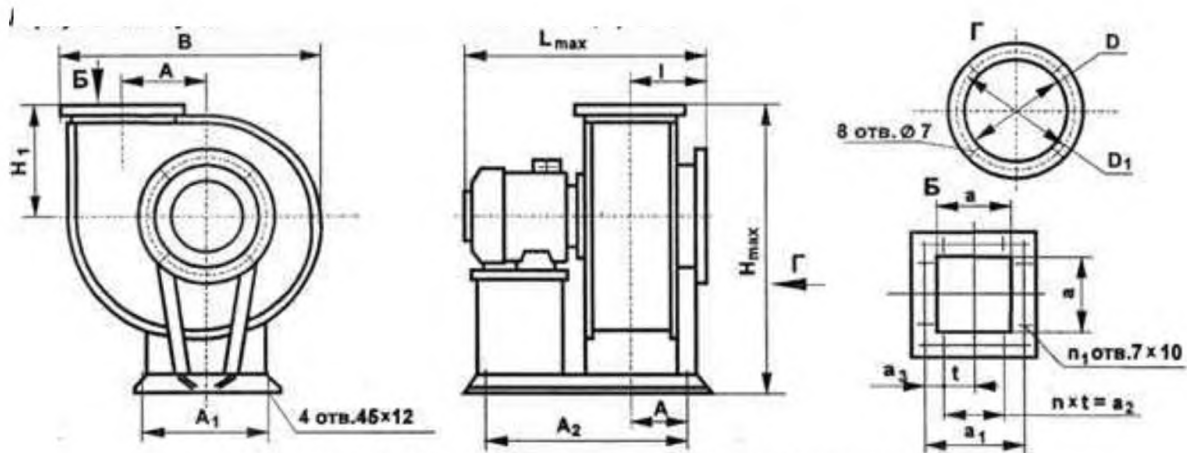


Рисунок 3.4 - Габаритні та приєднувальні розміри вентилятора

Потужність  $N$  (кВт·год) електродвигуна вентилятора:

$$N = \frac{Q_B \cdot H_B}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_B \cdot \eta_{II} \cdot \eta_K},$$

де  $Q_B$  - очікуваний обсяг сушки, що постачається вентилятором, м<sup>3</sup>/год (орієнтовно можна прийняти:  $Q_{a_1} = 5300$  м<sup>3</sup>/год - для ВЦ 14-46 із типорозміром 3,15).

$H_B = 800$  Па - повний тиск, який розвивається вентилятором під час роботи сушарки;

$\eta_B$  - ККД вентилятора ( $\eta_{B_1} = 0,7$  - ВЦ 14-46 із типорозміром 3,15);

$\eta_{II} = 1$  - ККД пасової передачі;

$\eta_K = 0,9$  - ККД, яким враховують втрату в підшипниках.

																			Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата															

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

Потужність електродвигуна вентилятора першої зони сушіння:

$$N_1 = \frac{5300 \cdot 800}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,9} = 1,87 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Отже, вибираємо електродвигун вентилятора [6,7]:

Приймаємо електродвигун – 4A90L4У3 для якого N=2,2 кВт, n=1500об/хв;

### 3.5. Розрахунок пасових передач приводу вентиляторів сушарки

Кінематичні параметри привода вентилятора зведені у таблицю 2.6.

Таблиця 3.6 - Кінематичні параметри привода вентиляторів

Типорозмір вентилятора	Частота обертання двигуна, об/хв	Частота обертання вентилятора, об/хв	Передатне число
ВЦ 14-46 із типорозміром 3,15	1500	735	2,0

Геометричні параметри шківів були розраховані за допомогою системи MathCad. Результати наведені нижче.

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

Сушарка для сипучих матеріалів (зокрема зерна) має ряд компонентів і вузлів, які можуть становити потенційну небезпеку, оскільки належать до категорії сільськогосподарської техніки. Її технологічний процес передбачає використання електрообладнання, серед якого є електрокалорифери та електродвигуни.

Для зменшення впливу на навколишнє середовище, зокрема уникнення викидів шкідливих речовин у атмосферу та ґрунт, а також для забезпечення безпечних умов праці обслуговуючого персоналу, необхідно вже на етапі розробки конструкції передбачити максимальну кількість засобів безпеки. Особливу увагу слід приділити впровадженню пиловловлюючого та повітроочисного обладнання, такого як повітряні фільтри, циклони тощо [8-11].

### 4.1 Обґрунтування актуальності вирішення питань охорони праці та навколишнього середовища

Сушарка сипучих матеріалів (зерна) є технічним пристроєм, що складається з деталей і вузлів, які можуть становити потенційну загрозу для життя та здоров'я обслуговуючого персоналу.

Під час експлуатації сушарки найбільшу небезпеку становлять вузли, такі як завантажувально-розвантажувальний механізм, системи первинного та вторинного очищення сипучих матеріалів (зерна), механізми обертання сушильної камери, транспортні стрічки та інші елементи. У процесі роботи ці частини здійснюють як поступальні, так і обертальні рухи. З огляду на значні навантаження, існує ризик пошкодження робочих органів і деталей приводу. Особливо небезпечними є ситуації, коли в завантажувальний пристрій потрапляють сторонні тверді предмети, адже це може призвести до розриву приводу, створюючи загрозу травмування для персоналу.

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.SM3.00.00.0000.ПЗ

Сушильна камера — це простір, у якому функціонують рухомі робочі органи. У процесі експлуатації зростає ймовірність ослаблення кріплень деталей і вузлів, що може призвести до їхнього відриву. Робота приводу сушильних камер здійснюється за допомогою ланцюгових і зубчастих передач. Через тривалу експлуатацію або перевантаження можливий їх розрив. Система приводу завантажувально-розвантажувального механізму працює зі шнеками та розподільниками, які при перевищенні навантаження можуть стати причиною травмування персоналу.

Крім того, під час експлуатації може виникати ослаблення кріплень шківів і зірочок на валах, зріз шпонок, пошкодження болтів чи заклепок, що фіксують деталі.

Однак не лише рухомі частини можуть становити небезпеку, але й пасивні елементи сушарки для рулонів. До таких належать гарячі стінки сушильних камер і дифузорів або оголені дроти й кабелі, доторк до яких може спричинити опіки чи електротравми. Додатково існує ризик ослаблення кріплень дифузорів до камер сушіння, що може призвести до прориву гарячого повітря назовні, створюючи загрозу для безпеки працівників.

#### 4.2 Аналіз сушарки з позиції безпеки праці

Технологічний процес роботи сушарки базується на використанні суміші підігрітого та атмосферного повітря. Основними факторами, що негативно впливають на мікроклімат робочого місця обслуговуючого персоналу, є підвищена концентрація вуглекислого газу та інших побічних продуктів сушіння. Під час експлуатації сушарки відбувається розпушування і часткове подрібнення матеріалу, що спричиняє запиленість приміщення. Додатково робота електродвигунів, редукторів, мотор-редукторів, а також ланцюгових і пасових передач, разом із функціонуванням вентиляторів і паливного блоку, створює значний рівень шуму. Важливим фактором, який також впливає на стан мікроклімату, є інфрачервоне випромінювання, що походить від нагрітих камер сушіння.

						Арк.
					AI.SM3.00.00.0000.ПЗ	
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

### 4.3 Організація безпеки праці на робочому місці

Для запобігання нещасним випадкам під час експлуатації сушарки для сипучих матеріалів (зокрема вороху насіння трав) слід дотримуватись таких правил техніки безпеки:

– До обслуговування сушарки допускаються особи, яким виповнилося 18 років, які пройшли вступний інструктаж, медичний огляд, навчання за програмою підготовки операторів сушильних установок, успішно склали іспити та отримали посвідчення кваліфікаційної комісії, що дає право працювати з цими установками.

– Усі пасові й ланцюгові передачі, а також обертові частини обладнання мають бути надійно закриті металевими кожухами червоного кольору.

– Завантажувальний бункер повинен бути обладнаний захисним огороженням.

– Будь-які роботи з технічного обслуговування, ремонту або регулювання слід виконувати тільки при вимкненому обладнанні.

– Корпуси сушарки, електродвигунів, мотор-редукторів та магнітних пускатрів повинні бути надійно заземлені.

– Стінки сушильних камер, дифузорів і повітропроводів мають бути забезпечені теплоізоляцією.

– Кабелі та проводи електрообладнання повинні прокладатися всередині трубок з ізоляційного матеріалу та розташовуватись на відстані не менше ніж 0,5 м від вузлів і деталей, які нагріваються під час роботи.

– Перед початком роботи слід перевірити герметичність з'єднань між дифузором, камерою сушіння та нагнітаючим патрубком вентилятора.

– Ремонт і технічне обслуговування необхідно виконувати в спеціальному одязі, призначеному для захисту від високих температур.

Для забезпечення захисту персоналу від шкідливих факторів та підтримання комфортних метеорологічних умов на робочому місці сушарка повинна бути оснащена:

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.SM3.00.00.0000.ПЗ

- пультом керування, розташованим в окремій кабіні. Кабіна повинна включати вентилятор і охолоджувач повітря для створення оптимальних умов;
- якщо сушарка встановлена у приміщенні легкого типу, то приміщення має бути обладнане системою приточно-витяжної вентиляції;
- робоче місце оператора з боку сушарки необхідно відгородити теплоізоляційним екраном.

Запропоновані заходи сприяють зменшенню негативного впливу інфрачервоного випромінювання на мікроклімат робочого простору.

Для захисту персоналу від шуму важливо, щоб сушарка мала максимально закриту конструкцію, тобто всі її робочі механізми повинні бути укріті кожухами. Засобами індивідуального захисту від шуму є спеціальні навушники та протишумні вкладки («біруші»).

Для захисту від пилу необхідно використовувати респіратори та захисні окуляри.

#### 4.4 Заходи безпеки праці та технічні рішення

Під час монтажу рухомих механізмів на сушарці додатковий шум будуть утворювати редуктори та транспортери. Обчислимо рівень шуму, створюваного редуктором. У випадку зубчастої передачі:

Основна частота, що залежить від числа обертів визначається за формулою:

$$\varphi_{зк} = \frac{n_1 z}{60} = \frac{400 \cdot 17 \cdot 3}{60} = 340 \text{ Гц,}$$

де  $n_1$  - число обертів ( $\text{хв}^{-1}$ );

$z$  - число зубів.

Рівень шуму зубчастої передачі:

$$L_{зк} = L_{зк0} + 12 \lg u + 4,1 \lg p = 75 + 12 \cdot \lg 1,05 + 4,1 \cdot \lg 1188 = 87,86 \text{ дБ,}$$

									Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата					

AI.CM3.00.00.0000.ПЗ

де  $L_{зк0}$  - рівень шуму зубчатого колеса без навантаження;

$u$  - колова швидкість;

$p$  - колове зусилля.

Основна частота кулькових підшипників:

$$f_n = \frac{n}{60} = \frac{74}{60} = 1,25 \text{ Гц.}$$

Рівень шуму підшипників:

$$L_n = L_{n0} + 30 \lg d + 2 \lg n = 1 + 30 \lg 15 + 2 \lg 14 = 40 \text{ дБ,}$$

$L_{n0}$  - рівень шуму підшипника без навантаження;

$d$  - діаметр роликів;

$n$  - частота обертання роликів.

Сумарний рівень шуму редуктора буде визначатись зубчатим зачепленням, так як шум роликотідшипників значно нищий:

$$L = L_{zn} \approx 88 \text{ дБ}$$

Корпус редуктора зі стінками товщиною 8 мм дозволяє знизити шум до рівня 40 дБ. Це дає підстави вважати, що  $L$  дорівнює 48 дБ. Таким чином, загальний рівень шуму становить 48 дБ за частоти  $f = 359$  Гц, що значно перевищує допустимий рівень звукового тиску в 85 дБ при аналогічній частоті 350 Гц.

Під час проектування сушарок і сушильних комплексів особливу увагу слід приділяти пожежній безпеці. Основними факторами, що спричиняють пожежі під час експлуатації сушарок, є такі:

- необережне поводження з нагрітими предметами;
- порушення вимог пожежної безпеки під час монтажу обладнання;
- несправність у роботі блока формування сушильного агента;
- самозаймання сухих матеріалів, які піддаються сушінню;
- коротке замикання, іскріння через пошкоджену ізоляцію або перевантаження, що призводять до нагріву провідників до температури займання ізоляції;

					АІ.СМЗ.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

– удари блискавки чи атмосферні розряди.

Для запобігання виникнення пожежі необхідно встановити сушарку і блок формування сушильного агенту на відстані не менше 10 м від складів і не вогнестійких споруд; бак формування сушильного агенту (електрокалорифер) повинен з'єднуватись собою металевим трубопроводом; запаси палива та мастильних матеріалів слід зберігати в спеціально відведених місцях не ближче 30 м від сушарки; у випадку короткого замикання необхідно негайно виключити вимикач; на даху приміщення під сушарку встановлювати блискавковідводи.

При експлуатації сушарки необхідно дотримуватись низки заходів безпеки. Забороняється накривати брезентом камери сушіння або інші частини сушарки, працювати без заземлення, курити та використовувати відкритий вогонь поблизу блоку формування сушильного агенту та сировини. Сушарка має бути обладнана пожежною сигналізацією для виявлення аварійних режимів роботи електродвигунів. Окрім цього, біля сушарки обов'язково слід встановити протипожежний щит із необхідним спорядженням.

Сушарка сипучих матеріалів, таких як зерно, як і будь-яка інша сільськогосподарська техніка, може чинити негативний вплив на екологію. Зокрема, це призводить до збільшення концентрації газів і парів, що перевищують граничнодопустимі норми, негативно впливаючи на рослинний і тваринний світ прилеглих територій. Для зменшення запиленості повітря над завантажувальним пристроєм рекомендується встановлення місцевої витяжної вентиляції з трубопроводом, оснащеним циклоном відцентрового типу. Зниження токсичності газів у процесі роботи сушарки можливо досягти шляхом регулювання апаратури блоку формування сушильного агенту, забезпечуючи раціональний нагрів теплів.

Щоб уникнути забруднення ґрунту та вод мастильними матеріалами, необхідно стежити за герметичністю проводів і обладнання. Ємності з паливом і мастильними матеріалами мають встановлюватися на бетонних фундаментах і, за можливості, підніматися щонайменше на 20 см над рівнем землі.

Оцінюючи травмонебезпечні та забруднюючі фактори, які супроводжують експлуатацію сушарки, можна зробити висновок, що для мінімізації ризиків не-

						Арк.
					AI.SM3.00.00.0000.ПЗ	
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

обхідно суворо дотримуватись правил техніки безпеки. Крім того, всі робочі органи та деталі повинні бути надійно закриті кожухами або, за можливості, інтегровані у корпус сушарки. Такий підхід сприятиме захисту людей та довкілля від шкідливого впливу.

					AI.CM3.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі бакалавра наведена документація для розробки модульної сушарки сипучих матеріалів. На основі вихідних даних було створено основні вимоги до конструкції машини, сформульовано технічне завдання, визначено параметри для проектування та проведено обґрунтування характеристик нагнітаючого вентилятора і технічної схеми сушарки.

2. Розроблено конструктивні елементи складальних одиниць і деталі приводу нагнітаючого вентилятора, виконано вибір його типорозміру.

3. Розглянуто питання організації роботи з використанням сушарки та дотримання норм охорони праці.

4. Продуктивність розробленої сушарки становить 14 т/год, а встановлена потужність – 21 кВт.

5. Також подано матеріали щодо застосування цієї сушарки в поєднанні із зернооброблювальними комплексами.

					AI.CM3.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сушка зерна. Головне управління Держпродспоживслужби в Чернігівській області // URL: <https://dpssc.gov.ua/fitosanitariia-kontrol-u-sferi-nasinnystva-ta-rozsadnystva/aktualna-informatsiia/3190/sushka-zerna.html> (дата звернення: 01.06.2025).
2. Дідух В.Ф. Науково-технологічні основи механізованого сушіння неоднорідних матеріалів: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Тернопіль, 2003. 274 с
3. Андреа Файффер. Особливості збирання зернових культур. Журнал «Агрохімічні технології» // URL: <https://www.agronom.com.ua/osobennosty-uborky-zernovyh-kultur/> (дата звернення: 19.05.2025).
4. Сучасні технології зберігання зерна. Журнал «Агровектор» // URL: <https://agrovektor.com/art/410-sovremennye-tehnologii-hraneniya-zerna.html> (дата звернення: 16.05.2025).
5. Full-Heat Mixed-Flow Dryer. Website “Sukup” // URL: <https://www.sukup.com/products/full-heat-mixed-flow-dryer> (дата звернення: 17.05.2025).
6. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навчальний посібник – Київ: Видавництво УСГА, 1992.-240с.
7. Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських машин. Конспект лекцій для студентів спеціальності „Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва” машинобудівного факультету денної та заочної форм навчання –Цизь І.Є.-Луцьк : ЛНТУ, 2008.-140с.
8. Безпека життєдіяльності / Піскунова Л.Е., Прилипко В.А., Зубок Т.О. Підручник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. – 456 с.Зеркалов Д.В. Безпека життєдіяльності. Навч. посіб. / – К.: Основа, 2016. 267 с.
9. Жидецький В.Ц. - 5-те вид., доповн. Основи охорони праці. Підручник — К.: Знання, 2014. – 336 с.
10. Зеркалов Д. В. Безпека життєдіяльності. Навч.посіб./.– К.: Основа,2014.– 364 с.
11. Пожарова О. В. Охорона праці: навчальний посібник / О. В. Пожарова. - Одеса, 2022. - 86 с.

										Арк.
Змн.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата						

AI.SM3.00.00.0000.ПЗ

## ДОДАТКИ

					AI.CM3.00.00.0000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	К-ть	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			AI.CM3.05.00.0000 СК	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	AI.CM3.05.01.0000 СК	Рама	1	
		2	AI.CM3.05.02.0000 СК	Електродвигун привідний	1	
		3	AI.CM3.05.03.0000 СК	Кожух захисний	1	
		4	AI.CM3.05.04.0000 СК	Вентилятор	1	
				<u>Деталі</u>		
		5	AI.CM3.05.00.0001	Кріплення	1	
		6	AI.CM3.05.00.0002	Кріплення	1	
		7	AI.CM3.05.00.0003	Шків ведучий	1	
		8	AI.CM3.05.00.0004	Шків ведений	2	
		9	AI.CM3.05.00.0005	Кріплення	1	
		10	AI.CM3.05.00.0006	Шпилька	10	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		11		Шайба 18.65ГО29	2	
				ГОСТ 6402-70		
		12		Гайка М18-10Н.5	2	
				ГОСТ 5916-70		
		13		Болт М18-16dх16.66.029	2	
				ГОСТ 7808-70		
		14		Шайба 14.65ГО29	2	
				ГОСТ 6402-70		
				AI.CM3.05.00.0000 СК		
Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		
Розробив		Кашубський			Літера	Аркуш
Перевірів		Кірчук			Б	1
						2
Н. контр.		Сацюк			ЛНТУ	
Затверд.		Дідух			Каф. AI ст.зр. AI-41	
					Привод вентилятора	

