

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

**“Дослідження конструктивних параметрів машини для  
сушіння зерна ”**

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-61

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

Володимир ГІЛЬ  
(Ім'я та прізвище)

Керівник: к.т.н. доцент Руслан ГУМЕНЮК  
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.  
“12” вересня 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу студенту  
**Гіль Володимиру Степановичу**

1. Тема роботи: **«Дослідження конструктивних параметрів машини для сушіння зерна»**

Керівник роботи: Гуменюк Руслан Васильович, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 06.12.2024 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва та розрахунків технологічного обладнання; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Стан питання, літературно-патентний пошук;

2. Програма і методика досліджень;

3. Результати досліджень;

4. Охорона праці та захист населення;

5. Економічна ефективність запропонованого технічного рішення;

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список

## 5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: Мета та завдання роботи; Окреслено процеси роботи в зерносушарках; Технологічна схема сушарки зерна ДСП- 24 та ЛСО-40; Патентний огляд існуючих конструкцій зерносушарок; Структурна схема процесу сушки зерна; Зерносушарка СЗШ-16; Залежність зміни початкового зусилля зсуву то зерен пшениці від їх вологості  $W$ , %; Залежність зміни кута внутрішнього тертя  $\varphi$  зерен пшениці від їх вологості  $W$ , %; Залежність зміни пористості  $\varepsilon$ , та об'ємної маси  $\gamma_0$  зерен пшениці від їх вологості  $W$ , %; Залежність зміни щільності  $\rho$  зерен пшениці від їх вологості  $W$ , %; Графічна залежність впливу вологості зерен  $W$  на зміну кутів природного відкосу, утвореного насипанням  $\alpha_{нас}$ , ° та обваленням  $\alpha_{обв}$ , °; Економічна ефективність запропонованого технічного рішення; Висновки та пропозиції.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	Гуменюк Р.В., к.т.н., доц. кафедри машинобудування			
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Виконання розділу: «Стан питання, літературно-патентний пошук»	12.09.24- 26.09.24	
2.	Виконання другого розділу: «Програма і методика досліджень»	27.09.24- 16.10.24	
3.	Виконання розділу: «Результати досліджень»	17.10.24- 05.11.24	
4.	Виконання розділу: «Охорона праці та захист населення»	06.11.24- 18.11.24	
5.	Виконання розділу: «Економічна ефективність запропонованого технічного рішення»	19.11.24- 27.11.24	
6.	Завершення оформлення розрахунково- пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому	28.11.24- 06.12.24	

Студент \_\_\_\_\_ Володимир ГІЛЬ  
(підпис)Керівник роботи \_\_\_\_\_ Руслан ГУМЕНЮК  
(підпис)

УДК 631. 621.35

Дослідження конструктивних параметрів машини для сушіння зерна.  
Гіль В.С. – Кваліфікаційна робота. Кафедра машинобудування. – Дубляни,  
Львівський НУП, 2024.

84 с. текст. част., 26 рис., 11 табл., 23 джерел інформації.

Проведено огляд конструкцій машин для сушіння зерна.  
Проаналізовано будову та принцип дії зернової сушарки СЗШ–16.  
Обґрунтовано режими роботи сушіння зерна. Проведено літературно –  
патентний пошук обладнання для сушіння зерна.

Запропоновано програму та методику досліджень. Проведено  
розрахунок продуктивності зерносушарки, витрат повітря та паливної  
суміші, розрахунок форсунок, вентилятора, електродвигуна. Проведено  
моделювання технологічних процесів сушіння зерна.

Розраховано витрати палива, запропоновано заходи по зниженню  
енерговитрат на сушіння зерна. Визначено показники, що характеризують  
властивості зерна під час сушіння.

Розглянуто основні питання охорони праці та безпеки в надзвичайних  
ситуаціях, розроблено заходи щодо їх покращення.

Розглянуто питання охорони довкілля та запропоновано заходи щодо  
їх покращення.

Проведено розрахунок показників економічних ефективності.

## ЗМІСТ

Вступ		
1.	СТАН ПИТАННЯ. ЛІТЕРАТУРНО – ПАТЕНТНИЙ ПОШУК..	8
1.1	Огляд конструкцій машин для сушіння зерна.....	8
1.2	Будова та принцип дії зернової сушарки СЗШ – 16.....	16
1.3	Обґрунтування режимів роботи сушіння зерна.....	18
1.4	Літературно – патентний пошук обладнання.....	23
2	ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	31
2.1	Програма досліджень.....	31
2.2	Методика досліджень.....	32
2.2.1	Розрахунок продуктивності зерносушарки.....	32
2.2.2	Розрахунок витрат повітря та паливної суміші в зерносушарці...	34
2.2.3	Розрахунок витрат тепла.....	35
2.2.4	Розрахунок продуктивності.....	39
2.2.5	Розрахунок продуктивності форсунок і розрахунок електродвигуна.....	40
3	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	42
3.1	Моделювання технологічних процесів зерносушарки.....	42
3.2	Моделі кінетики сушіння зерна.....	45
3.3	Визначення показників, що характеризують властивості зерна під час сушіння.....	49
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ.....	57
4.1	Аналіз стану охорони праці на підприємстві.....	57
4.2	Фінансування заходів з охорони праці.....	59
4.3	Аналіз умов праці, побуту і профілактики травматизму.....	60
4.4	Розробка заходів щодо покращення стану охорони праці.....	61
4.5	Заходи техніки безпеки і виробничої санітарії під час сушіння зерна.....	62
4.6	Вимоги безпеки праці під час роботи зерносушарки.....	63
4.7	Пожежна безпека.....	64

4.8	Розробка заходів щодо захисту цивільного населення.....	66
4.9	Основні вимоги до сировини та до вихідної продукції.....	70
4.10	Регулювання викидів в період несприятливих метеорологічних умов.....	72
5	<b>ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ.....</b>	<b>74</b>
	<b>ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....</b>	<b>81</b>
	<b>БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....</b>	<b>83</b>

## ВСТУП

Сьогодні розвиток машинобудування пов'язаний насамперед із питаннями сільського господарства, підвищенням ефективності машин для обробки сільськогосподарських культур, економнішим використанням ресурсів.

Все це можливо при суворому дотриманні всіх технологічних процесів при вирощуванні рослин, які культивуються. Це практика дотримання сівозміни, застосування добрив для підвищення прогнозованої врожайності, дотримання правил вирощування рослин, використання високоякісного насіння та садивного матеріалу, запобігання розвитку шкідників, хвороб чи бур'янів, організація рослин зберігаються і переробляються. Крім того, важливо ефективно використовувати побічні продукти рослинництва, що зменшує витрати на вирощування сільськогосподарських культур.

Щоб зберегти зерно цілим, його необхідно висушити. Технологія сушіння продуктів постійно вдосконалюється: розробляються нові способи сушіння, створюються нові конструкції зерносушарок, підвищується ефективність існуючих прямоточних і оборотних зерносушарок за рахунок проектування індивідуальних агрегатів та виконання заходів, спрямованих на зниження питомих витрат палива та електроенергії. Сушіння - це процес нагрівання матеріалу з метою зниження його вологості, в результаті чого підвищується якість продукту, запобігає його псуванню і злежуванню, зменшується маса, покращуються умови транспортування і зберігання. Конструкції пристроїв для сушіння залежать від обсягу виробництва і властивостей матеріалу, призначення процесу сушіння - атмосферний тиск, матеріал може бути нерухомим, рухомим або комбінованим.

Процес сушіння проводиться періодично або безперервно з використанням різних способів теплообміну: контактного, конвенційного або струмів високої частоти, інфрачервоного випромінювання, а також процесу сублімації. У переробній промисловості найбільш поширені кондуктивний і

конвективний методи сушіння. У сушарках, які мають кондуктивний механізм, тепло для сушіння матеріалу передається через контакт матеріалу з нагрітою поверхнею, тоді як в інших сушарках тепло передається безпосередньо від джерела тепла до матеріалу. Крім того, видаляється волога, пов'язана з матеріалом в результаті механічних і хімічних сил, хімічно зв'язана волога не може бути видалена через деградацію матеріалу.

Основою удосконалення технологічного процесу сушіння зерна є перехід від щільного, малорухливого шару зерна до рециркуляційного способу сушіння.

Мета дослідження – дослідити сучасні тенденції розвитку технології та методів забезпечення ефективності технологічних процесів сушіння зерна, і на основі цього визначити можливості підвищення ефективності технологічних пристроїв.

Завдання роботи:

1. Огляд та вивчення сучасних методів підготовки сировини до зберігання;
2. Відкрити потенційні напрямки дій для підвищення ефективності зерносушарки;
3. Проведення теоретичного дослідження процесу сушіння зерна;
4. Дослідження конструктивних особливостей зерносушарки.
5. Підвести підсумки виконаної роботи.



## 1. СТАН ПИТАННЯ. ЛІТЕРАТУРНО – ПАТЕНТНИЙ ПОШУК

### 1.1. Огляд конструкцій машин для сушіння зерна

Сушіння є основним технологічним процесом переведення зерна і насіння в консистенційний стан. Лише після видалення зайвої вологи із зібраної зернової маси та доведення зерна до сухого стану можна розраховувати на більш тривале збереження продукції.

Документально підтверджено, що в сухій масі зерна всі живі компоненти, крім шкідників і комах, знаходяться в анаеробному стані. Зберігання зерна в сухих умовах є основним способом збереження життєздатності насіння у великій кількості всіх сільськогосподарських культур, а також якості його живлення при тривалому зберіганні. Зерно вважається живим організмом, який має капілярно-пористу структуру. Оболонки плодів пронизані капілярами, що робить їх проникними для водяної пари. Покриття насіння і алейроновий шар відносно непроникні для водяної пари, якщо режим сушіння неправильний, цей шар може призвести до розширення зерна через затримку видалення пари, що накопичився в ендоспермі.

Застосовують три способи сушіння зерна (дегідратації): термічний, у тому числі вакуумний; сорбційний, який передбачає контакт з водою; і механічний, який передбачає віджимання або центрифугування. Найчастіше застосовують теплове сушіння, рідше — сорбційне, а механічне сушіння застосовують лише в мийних машинах на борошномельних млинах. У процесі термічної сушки рідина перетворюється на пару, яка розсіює теплову енергію. У процесі сорбції волога видаляється із зерна в пароподібному або рідкому стані, цей процес не пов'язаний з потребою в додатковому джерелі енергії.

У сільському господарстві найчастіше використовуються високопродуктивні зерносушарки, які спеціально розроблені для сушіння зерна та насіння СЗШ-8, СЗШ-16 і СЗШ-16А [4].

Сушарки складаються з вертикальних шахт прямокутної форми, заповнених повітророзподільними коробами п'ятикутної форми. Ці ящики встановлюються горизонтально. Вікно побудоване на одному з кінців кожної коробки в шахті, це вікно ізолювано від іншого кінця. Бокси організовані на припливні та дренажні: у перших вікна розташовані з боку подачі агента (сушильна шахта) або атмосферного повітря (охолоджувальна шахта), протилежні коробки відкриті з боку виходу агента (повітря).

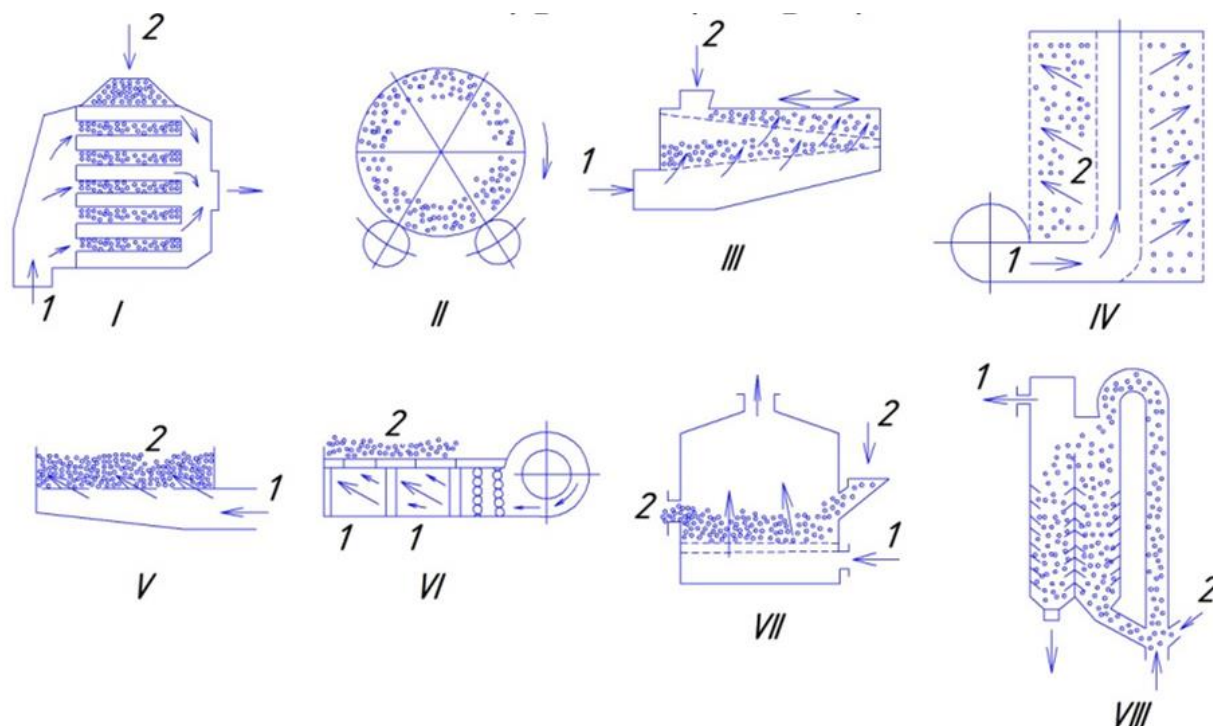


Рисунок 1.1 - Окреслено процеси роботи в зерносушарках:

I — шахтна; II — барабанна; III — вібраційна; IV — вентильований бункер; V — декова; VI — наземна; VII і VIII — пневмогазова рециркуляційна; 1 — напрямок руху повітря; 2 — зерно.

Кількість доступних розеток і боксів зазвичай однакова. Ділянка між ящиками покрита брудом. Сушильний агент (або повітря) проходить через шар зерна, який складається з товщини шару та напрямку потоку, обидва з яких визначаються положенням вхідної та вихідної коробок. Тут відбувається обмін теплом і вологою, а потім агент виділяється в атмосферу. У прямоточних сушарках шахтного типу верхня частина шахти зазвичай використовується для сушіння, а нижня — для охолодження. Перший передбачає використання дегідрататора для виробництва зерна, другий

передбачає виробництво зерна атмосферним повітрям. Конфігурація сушильно-охолоджувальної частини шахти однакова [13].

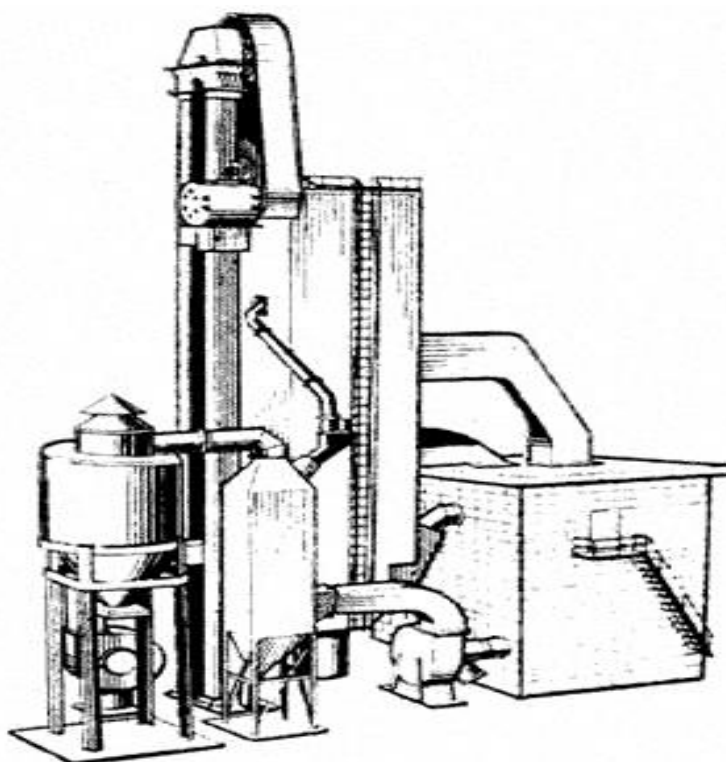


Рисунок 1.2 - Шахтна зерносушарка ДСП - 32 –ОТ

Дані сушарки можуть працювати у вакуумі або при високому тиску. У першому підході агент, відповідальний за сушку, проникає в шар зерна за рахунок нестачі вологи, створюваної вентилятором у шахті (операція відсмоктування), другий підхід подібний до першого, але агент закачується в шар вентилятором.

Ексикатори. Цей вид сушарки найбільш поширений в міжнародному протоколі сушіння зерна. Назва сушарки походить від дизайну робочої зони, яка зазвичай являє собою прямокутний металевий бункер, який є вужчим за решту сушарки. Це шахта, всередині якої по всій сушарці в ряд розміщені прямокутні ящики. Призначення ящиків – сприяти доступності зернової маси до сушильного агента і мати рівномірний розподіл газопроникності.

Барабанні сушарки. Основними складовими частинами сушарки СЗСБ-8 є: камера нагріву, камера завантаження, камера сушіння, елеватор, камера вивантаження з вентилятором і топка. Сушильний барабан довжиною

10 метрів і швидкістю 8 обертів за хвилину. У цьому типі зерносушарки робочі органи розміщені в одному або декількох барабанах, що знаходяться в поперечному перерізі, барабан розділений на шість секторів, кожен з яких має нерухому полицю, яка прилипає до зерна під час обертання. Найпоширеніші сушарки: СЗПБ-2, СЗСБ-8.

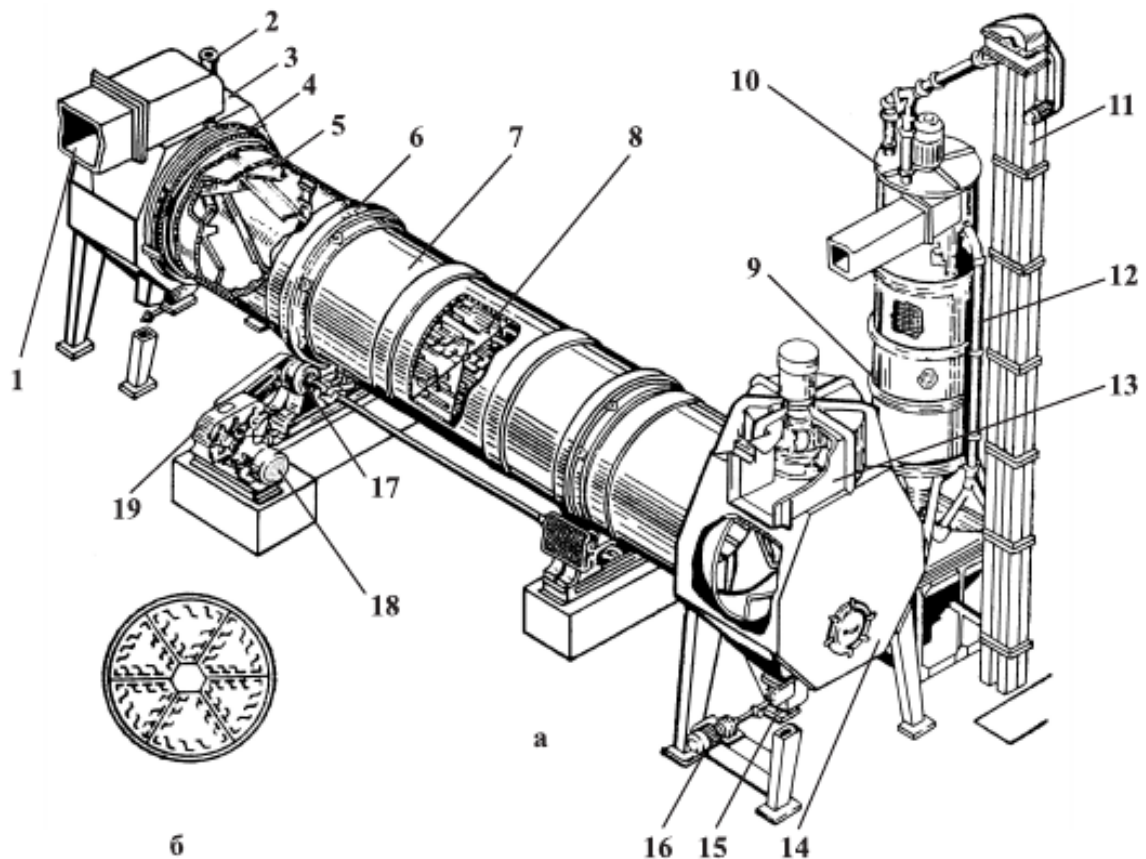


Рисунок 1.3 - Барабанна сушарка СЗСБ – 8А:

а - загальний вигляд: 1- насадка, 2- завантажувальна труба, 3- камера для завантаження, 4- ущільнення, 5- доріжка, 6- бандаж, 7- сушильний барабан, 8- система підйомних ножів. 9- охолоджуюча колона, 10, 13- вентилятори, 11- норія, 12- контроль нагнітання труби, 14- камера, 15- шлюз, 16- мотор, 17- ролик, 18- електродвигун, 19- редуктор, б- секція барабана.

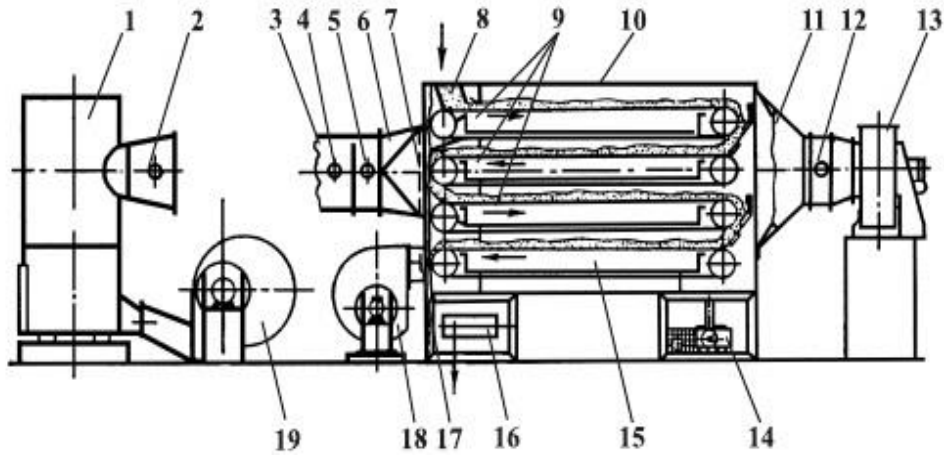


Рисунок 1.4 - Функціональна схема стрічкової сушарки Т-685

1 — топка; 2 і 5 використовуються для вимірювання температури; 3 і 11 - трубопроводи; 4, 7, 12 і 17 - клапани, що регулюють потік тепла; 6 - дифузор; 8 - приймальний бункер; 9, 15 — конвеєрні стрічки, які використовуються для транспортування тепла; 10 — сушильна та охолоджувальна камера; 13, 18 і 19 — віяла; 14 — редуктор; 16 - розвантажувальний конвеєр.

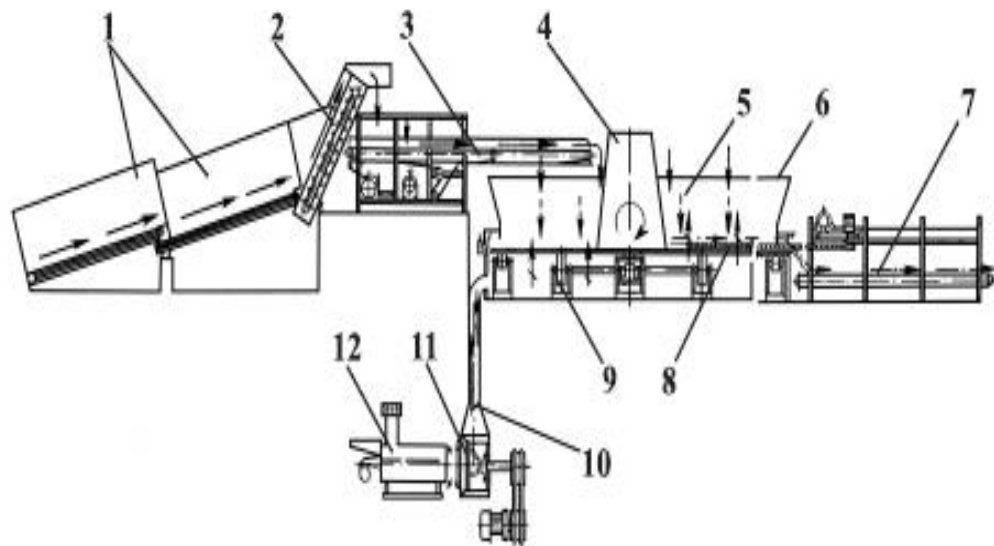


Рисунок 1.5 - Функціональна схема карусельної сушарки СКМ-1

1 і 2 — конвеєри, 3 — конвеєр-розподільник, 4 — внутрішня огорожа, 5 — сушильна камера, 6 — зовнішня огорожа, 7 — розвантажувальний пристрій, 8 — решітка, 9 — ролик, 10 — заслінка, 11 — вентилятор, і 12 — піч.

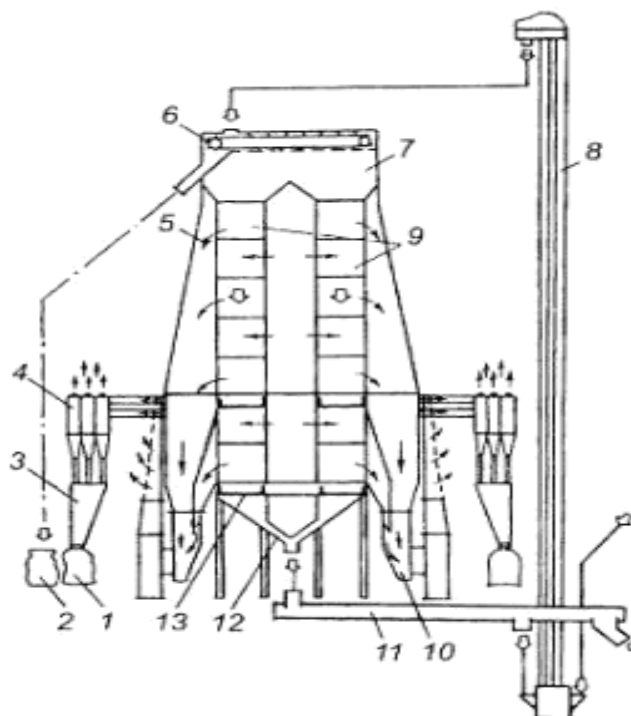


Рисунок 1.6 - Сушарка М-819 (також відома як "Rofama", Польща)

1, 2 - пилосбірник; 3 - форсунки; 4 - багаторазові циклони; 5 - дифузор; 6 - вирівнювальний конвеєр ; 7 - Бункер ультрасушки; 8 - норія; 9 - шахти; 10-вентилятор. 11 - шнек. 12 - підземний бункер; 13 - розвантажувальний механізм.

Сушарка шахтна М-819 відкритого типу, виготовлена з металу і має створкову конструкцію (рис. 1.6). Сушарки мають однакою загальною конструкцію та відрізняються конкретними розмірами та можливостями. Сушарка М-819 запланована на продуктивність 20 т/год., сушарка М-839 - 40 т/год Сушарка зерна має нагрівальний елемент, димохід, конвеєр, що завантажує зерно в силос, норію, дві паралельні шахти на землі шахти, камеру, яка розподіляє тиск на дві інші, загальну бункер пересушування, дифузор і сповідник, пристрій для очищення відпрацьованої сушарки та її повітрязбірника, загальний бункер підсушування шахти і силосу, пристрій для зберігання зібраного зерна [13].

Сушарка ДСП (рис. 1.7) складається з секції сушіння (яка розділена на дві частини) і шахти охолодження; камери розподілу тиску і нагнітання, топка, яка використовує як паливо рідину або газ, механізм випуску

періодичного типу, два вентилятори, система транспортування (норія сирого зерна, норія сухого зерна, конвеєри, гравітаційні труби), все це включено в систему контролю та управління.

ДСП-32-ОТ відкритого типу розрахований на 32 кг сировини, розміщується біля ліфтових шахт і в автоматизованих трубопроводах. [16].

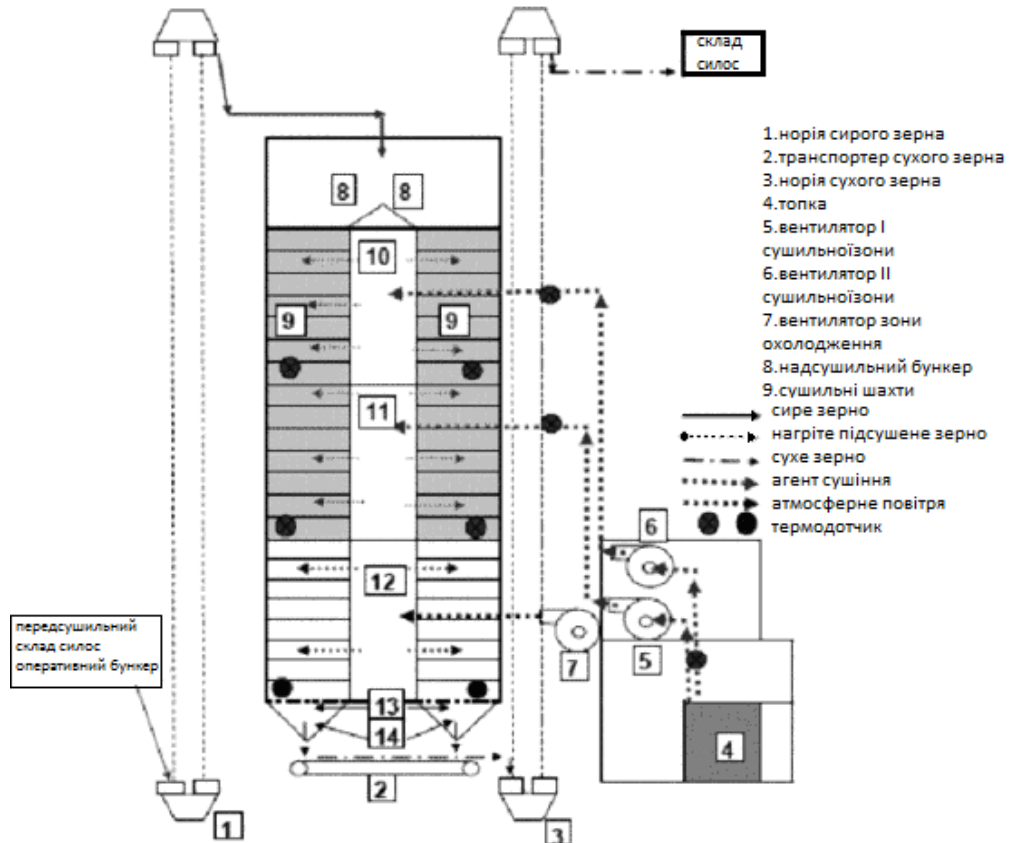


Рисунок 1.7 - Технологічна схема сушарки зерна ДСП - 24, ДСП - 32, ДСП - 32 -ОТ, ДСП – 50

Сушарка вбудована в шахту, яка встановлена на громадській території. Піч розташована в унікальній цегляній конструкції, тут також розташовані вентилятори шахти сушальної камери, електророзподільний щит і панель управління.

Зерносушарка ЛСО-40 (рис. 1.8) – чеська розробка, відкрита конструкція, виконана з металу. Складається з двох окремих шахт, кожна шахта має бункер пересушування (з конусом – це фреза, яка рівномірно



розподіляє зерно по прольоту бункера), першу та другу зони сушіння, пристрій для вивільнення зерна і бункер для підсушування (рис. 1.8)

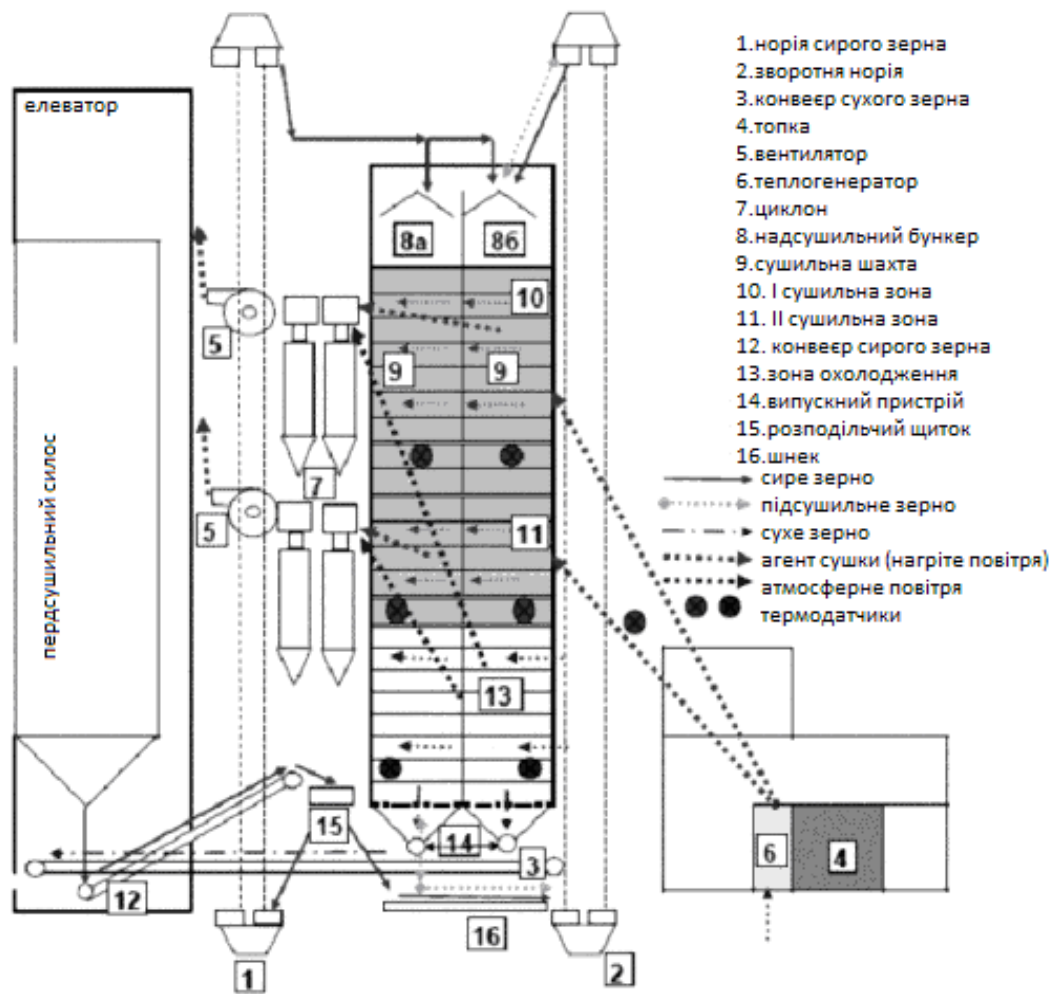


Рисунок 1.8 - Технологічний опис процесу сушіння зерна в ЛСО-40.

Сушарка працює за принципом абсорбції (розрідження) на свіжому, чистому та нагрітому повітрі. Повітря нагрівається в генераторі, який нагріває повітря, кожна шахта обладнана своїм генератором, який нагріває повітря і вентилятором.

Сушарка працює за такою схемою. Після первинного очищення зерно транспортується до роздавальної шафи № 15, де розділяється на дві нерівні частини. Значна частина зерна подається норією 1 в бункер суперсушіння 8а, менша частина подається норією 2 в бункер 8б, додаткове сире зерно з бункера 8а закладається в бункер 8б, що призводить до постійну кількість у бункерах.



У сушарках, які маюць вологість 25% або большае, працэс важна завершыць, і осушувач, што выходзіць, неэфектыўны. Цей тып зерна мае погану плиннасць і можа завесці між кантэйнерамі.

## 1.2 Будава та прынцып дзейнасці зерновай сушаркі СЗШ - 16

Статынарная сушарка для зерна СЗШ-16 - гэта статынарны прылад, які працуе на адкрытых майданчыках. Кожная з сушыльных шахт зернасушаркі складаецца з двух частак, першая ўстаноўлена паверх другой. Акрамя таго, верхнія часткі шахт разгорнуты прыблізна на 180 градусаў па адношэнню да ніжніх частак. Выхад зерна змяняецца змяненнем велічыні эксцэнтрысітэту (амплітуда каліванняў карэткаў 4-20 мм). Над кожнай шахтой разташаваны бункер закрытага тыпу з трубай, што цягнецца ўгору. Калі колькасць зерна ў шахтах будзе ніжэй разташавання датчыкаў на пульце ўправлення, загорыцца лампочка (адна на шахту) і адначасна выключыцца электродвигун вядомага прыладу. Выкід зерна ініцыюецца шахтарамі, калі шахта запоўнена да ўзроўня датчыкаў. [11].

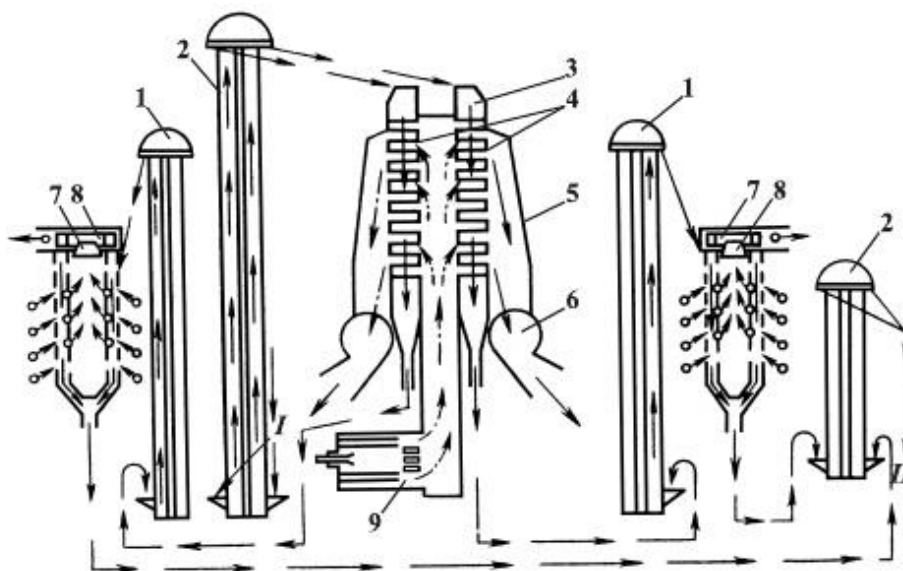


Рисунок 1.9 - Функцыянальная схема шахтнай сушаркі для зерна. СЗШ-16:

1 і 2 — норы; 3 — сухі бункер суперэфектыўны; 4 — шахты; 5 — живільнік; 6 і 7 — вентылятары; 8 — колана ахалоджэння; 9 — піч; I і II — навантажэння і вивантажэння зерна.

Пристрій для охолодження зерна виконано у вигляді двох окремих колонок, які керуються дистанційно. Колона складається з двох внутрішніх перфорованих циліндрів, а також більш холодної версії зерна, яке рухається всередині. Верхня частина колони містить вентилятор, який з'єднаний із всмоктуючим отвором у внутрішньому циліндрі, а також нижню частину, у якій розміщено затвор, який використовується для вивантаження охолодженого зерна з колони. Електродвигун шлюзу функціонує і як зупинка, і як засіб активації датчиків, що регулюють заповнення колони зерном (рис. 1.9).

Область між валами використовується як джерело тепла дифузора. У кожній сушильній шахті є один вентилятор, який з'єднується з ним дифузорами, які мають присоску. Витрачений агент видаляється дифузорами, які розташовані біля зовнішніх стінок сушильної шафи. Дифузори складаються з чотирьох частин, кожна з яких має дросель, який можна регулювати, що дозволяє контролювати кількість сушильного агента, що проходить через них. Сушарка зерна СЗШ-16 працює на низькій частоті.

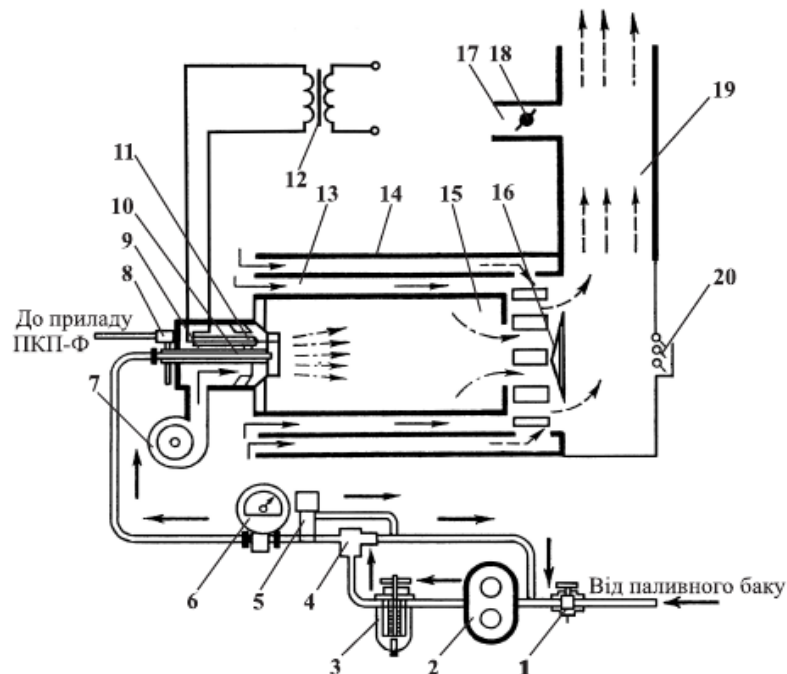


Рисунок 1.10 - Функціональна схема топки СЗШ – 16:

- - Повітря;
- ▬▶ - Паливо;

----► - Суміш паливних газів з повітрям;

=:► - Паливні гази.

1 - кран; 2 - паливна форсунка; 3 - фільтр; 4- байпас для клапана; 5 - золотник; 6 - манометр; 7 – послідовник; 8 - начальник ПКП - Ф; 9- свічка запалювання; 10 – клапоть; 11 – реєстр; 12 - нагрівач; 13 - екран для тепла; 14 – кожух; 15 - камера згоряння; 16 - світловідбиваючий екран; 17 – патрубков забору повітря; 18 – заслінка; 19 - камера для суміші; 20 - клапан.

Кожна шахта обладнана комбінованим пристроєм, який безперервно видає невелику кількість зерна, після чого періодично додається більша кількість. Вихід зерна обмежується зміною частоти коливань каретки.

Подача їжі в сушильні колони і охолоджувальні шахти здійснюється чотирма ланками. Сушильні шахти зерносушарки СЗШ-16 мають можливість працювати як паралельно, так і послідовно в залежності від вихідної вологості та призначення зерна.

### 1.3.Обґрунтування режимів роботи сушіння зерна.

У процесі сушіння слід враховувати максимальну температуру сушильного агента та рекомендовану температуру насіння та зерна. Крім того, ви повинні регулювати загальний час сушіння та встановити кількість проходів зерна через сушарку або кількість циклів, необхідних для сушіння.

Спосіб сушіння визначається:

- за видом насіння та його культурою, або видом зерна та його насінневою культурою, або тим і іншим.

- початкова вологість насіння і зерна;

- призначення та якість насіння і зерна;

- комплектація та тип сушарки для зерна.

Спосіб сушіння зерна залежить від двох основних параметрів: температури сушильної речовини та тривалості (експозиції) її впливу на

матеріал. Від величини цих параметрів залежить якість та ефективність сушіння [12].

Основним завданням у процесі сушіння зерна є робота з використанням найвищої допустимої температури в нагрівальному механізмі сушарки та нагріванні зерна, щоб забезпечити максимально можливу продуктивність із збереженням якості.

Перевищення температури сушильного агента та зерна понад заданий призведе до псування продукції, використання занадто м'якої обробки призведе до зниження продуктивності сушарки.

Температурна стабільність зерна в процесі сушіння в першу чергу залежить від температурної стабільності вмісту в ньому білка. Надмірні температури, що перевищують допустимі для прогрівання зерна, призводять до коагуляції білків, втрати насінням основних функцій і нездатності його проростати, а в зернах пшениці — до зниження розтяжності білків ендосперму, втрати якості. і кількість глютену, і зниження здатності протистояти стресу.

Зерно насіння необхідно сушити при більш м'якому температурному режимі, оскільки білки зародка менш стійкі до нагрівання, а крім того, зародок знаходиться під оболонкою, яка спочатку прогривається. В результаті продуктивність насіннєвого корму знижується вдвічі порівняно зі звичайним кормом.

Однак, оскільки зменшення об'єму спочатку обмежується периферійними шарами серцевини насіння, внутрішня частина залишається незмінною, це призводить до значного фізичного навантаження на серцевину насіння, яке згодом руйнує оболонку та ядро. У результаті насіння бобових рослин піддається впливу нижчої температури, ніж насіння злакових рослин.

Температура насіння повинна бути не вище 30-35 градусів Цельсія. В результаті ефективність сушарок також знижується.

Для запобігання розтріскування насіння, а також для проведення обробки в найбільш вигідних умовах постійної швидкості сушіння необхідно обмежувати середню вологість сушарок у межах 4-6% [12].

Значення максимальної температури джерела тепла та впливу сушіння окремих культур задокументовано в табл. 1.1. і табл. 1.2.

Таблиця 1.1 - Різні способи сушіння насіння (пшениця, жито, ячмінь, овес) у сушарках, обладнаних вентилятором.

Вихідна вологість $\omega_1$ , %	Кількість пропусків через сушарку	Максимальна температура теплоносія, $t_{\max}$ , °C	Експозиція сушіння, хв
30	1	55	32...34
	2	60	33...35
	3	65	42...46
26	1	60	31...33
	2	65	42...46
20	1	65	42...46
18	1	70	36...38

Температура і час витримки впливають на швидкість сушіння, що в свою чергу впливає на продуктивність зерносушарок.

Основною змінною, яка бере участь у процесі сушіння, є температура теплоносія: більш високі температури призводять до швидшого висихання зерна. Він обмежений максимальною температурою, яку може витримати зерно. Температура теплоносія в сушарках для насінневого матеріалу зернових культур вологістю до 18% не повинна перевищувати 70°C, а вологістю 18...20% — 65°C. При сушінні харчових продуктів вологістю до 26% температура холодоагенту повинна бути 80...90 град.

У барабанних сушарках, які використовуються для сушіння посівного матеріалу, температура теплоносія повинна бути 145,5-170,5 градусів цельсія, температура їжі - 180,5-210 градусів цельсія, температура подачі - 180,5-250 градусів цельсія. [13]

Таблиця 1.2 - Режими сушіння продовольчого зерна

Культура	Вологість зерна до сушіння, %	Температура теплоносія, град.	Гранична температура нагріву зерна, град
Жито, ячмінь	До 18	130	2
	18...22	120	60
	Більше 22	110	55
Пшениця	До 18	120	52
	18...22	110	50
	Більше 22	100	48
Гречка	До 18	120	48
	18...22	110	45
	Більше 22	100	42
Овес	До 18	100	52
	18...22	100	50
	Більше 22	100	45

Для зерна вологістю вище 23 % застосовують двоступінчастий режим сушіння.

Під час сушіння зерна та насіння пропускна спроможність визначається за допомогою коефіцієнта передачі  $K_p$ , який є ступенем віддачі вологи зерном з урахуванням рекомендованих температур сушарки та видалення вологи за один прохід (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 - Параметри сушіння зерна з різною вихідною вологістю

Вологість, %	Температура теплоносія, °С	Максимальна висота завантаження, м	Тривалість сушіння до вологості 12 - 13%, год
>40	36	2	80
35 – 40	38	2,5	70
30 – 35	40	2	60
25 – 30	42	>3.5	55
20 - 25	44	3.5	50
<20	46	>3.5	45

Найважливішою складовою процесу сушіння є температура агента і самого зерна. Різниця температури виходу сушильного агента із зазначеного діапазону не повинна бути більше 3 градусів Цельсія, температура нагріву зерна не повинна бути більше 2 градусів Цельсія.

Вимірювання проводять кожні 30 хвилин електротермометрами, які встановлені в сушарці, показання записують у журнал кожні 2 години. Температуру зерна визначити важче, ніж температуру сушильного агента.

У першу годину роботи сушарки кожні 10-15 хв оцінюють температуру насіння, відбирають проби насіння під час звільнення камери. [15].

Таблиця 1.4. Значення перевідного коефіцієнта  $K_p$

Зерно культур	Перевідний коефіцієнт $K_p$
Пшениці, вівса, ячменю, соняшнику	1,0
Жита	1,1
Гречки	1,2
Проса	0,8
Кукурудзи	0,6
Гороху, вики, рису	0,3 — 0,4
Бобів, квасолі, люпину	0,1 — 0,2

Контролюйте температуру, регулюючи температуру повітрязабірника або повітрорудки. Після початку процесу сушіння температуру зерна записують щонайменше кожні дві години.

У сучасних сушарках для зерна температура ТЕНу регулюється виносними датчиками, які встановлені в бункері, який використовується для сушіння. Однак цей контроль дає лише попередні результати.

Основною змінною, яка бере участь у процесі сушіння, є температура теплоносія: більш високі температури призводять до швидшого висихання зерна. Температура теплоносія в сушарках для насінневого матеріалу зернових культур вологістю до 18% не повинна перевищувати 70°C, а вологістю 18...20% — 65°C. Під час сушіння продовольчого зерна вологістю

до 26 % температура холодоагенту повинна бути 80...90 град. У барабанних сушарках, що використовуються для сушіння зерна, температура джерела тепла повинна бути 145...165 °С, температура подачі 180.. .250 °С.

#### 1.4. Літературно – патентний пошук обладнання

Сьогодні практика сушіння харчових продуктів у рухомому шарі з поперечним потоком повітря використовується в сільському господарстві та при виробництві хліба. Зокрема, такий спосіб сушіння використано в конструкції зерносушарки Sukup. (рис. 1.11) [17].



Рисунок 1.11 - Зерносушарка фірми Sukup. Патент №5.999.044 від 1992

Процес сушіння зерна здійснюється за допомогою сушарки Sukup 1 в поєднанні з зерновим каналом 2. Після засипки включається нагрівач 12, і починається процес сушіння.

У процесі сушіння гаряче повітря певної температури і з надлишковим тиском, створюваним вентилятором теплогенератора, проходить рівномірно рухомий шар зерна, нагріваючи його. Накопичена таким чином волога виводиться назовні через перфоровані стінки контейнерів для зберігання.



Електронна система контролю та моніторингу 11 підтримує датчики вологості та датчики верхньої межі 4, обидва з яких розташовані по обидва боки від зони сушіння камери, а також термостатичні датчики, які вказують верхню межу температури в зоні сушіння камери 5. Ці датчики надають оператору всю необхідну інформацію через РК-дисплей із підсвічуванням. Також комп'ютер розраховує загальну тривалість роботи сушарки, ККД по струму та загальний об'єм висушеного зерна.

Ці установки мають наступну проблему: потік сушильного агента односторонній, зсередини, і шар зерна нерівномірно рухається вздовж стовпа зерна.

Одним із методів вирішення цієї проблеми є зниження температури сушіння або, загалом, зниження продуктивності, що, як правило, вважається неприйнятним.

При переході на спосіб сушіння з інверсією розподільна камера розбивається хрестоподібними перегородками 6, в результаті чого утворюються чотири зони..

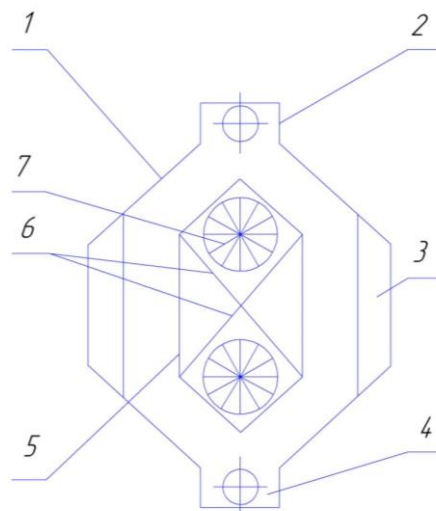


Рисунок 1.12 - Описано конструкцію зерносушарки Sukur з реверсивним потоком сушильного агента. Патент № 5,999,044 від 1992 року:

1 - Зовнішня стіна; 2 - приймальний пристрій; 3 - збирач, 4 - вивідний пристрій; 5 - внутрішня стінка; 6 - прямокутні поділки; 7 - система опалення - вентиляція.

Визнані й інші винаходи в області зерносушарок:

Патент № 2161398 1997 р. (рис.1.13). Процес видалення води із зерна за допомогою вакууму. Винахід відноситься до сільськогосподарських і механічних обробних пристроїв. У методі вакуумного сушіння зерна *últimos* зверху в камеру з вакуумом, яка утворена двома однаковими трубами, які розташовані в коаксіальному сполученні одна з одною. Вони встановлюються на відкритому повітрі на вертикальній осі. Після запуску вакуумного насоса тиск в камері знизиться до 10-30 мм рт.ст. Водяна пара, яка утворилася в результаті процесу конденсації, витягується насосом, який вакуумується, і викидається в атмосферу.

При несприятливих погодних умовах робота насоса переходить з безперервного на циклічний, при цьому тиск знижується до 1-3 мм рт.ст., після чого насос вимикається. Ст. вище рекомендованого мінімуму і ставиться з тиском 1 - 3 мм рт.ст. нижче рівня рівноваги тиск водяної пари при атмосферній температурі дорівнює нулю. Цей метод використовується для скорочення часу, необхідного для сушіння зерна, при збереженні його здатності до проростання. [18].

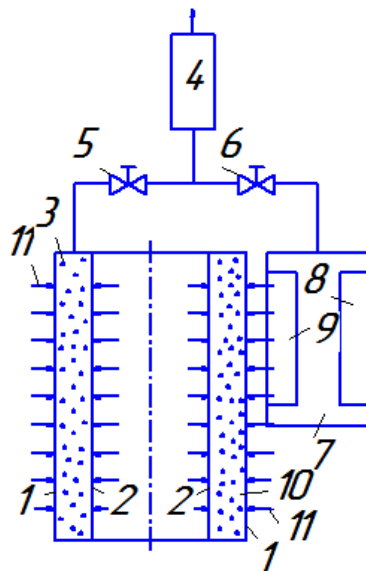


Рисунок 1.13 - Спосіб вакуумної сушки зерна. Патент № 2163993

При погіршенні погоди тиск в камері нижче 10 мм рт.ст. знизиться на відміну від середньостатистичного значення. Процес екстрагування зерна переводиться з безперервного режиму на циклічний, при цьому з метою скорочення часу сушіння зерна насос відключається при тиску 1-3 мм рт.ст. вище мінімально необхідного і має тиск 1-3 мм рт.ст. нижче рівноважного, розглядається тиск водяної пари при атмосферній температурі під час процесу сушіння.

Для посилення процесу нагрівання зерна та зменшення необхідного обсягу продуктивності вакуум-насосу додається холодильник. При спрацьовуванні клапана 6 частина води, яка відкачується, конденсується на поверхні випарника 8. Теплота, що відводиться конденсатором 9 холодильної машини 7 під час роботи, використовується для додаткового підігріву, підсушування зерна. Коли досягається необхідний вміст вологи, дно камери порожнє, а залишок води видаляється.

Патент № 2161398 від 1997 р. (рис.1.14). Вібросушарка. Винахід відноситься до сільського господарства і може бути використане для підсушування зернових культур. При реалізації способу сушіння зернових культур, який передбачає пропускання через шар зерна електроактиваторів, що містять озонову суміш іонів, які переносяться повітрям, а також вплив постійного електричного поля на шар зерна, додатковий електричний поле зайнято. Останні впливають на шар зерна одночасно з підтриманням постійного електричного поля. Процедуру впливу електроактиваторів, постійних і змінних електричних полів на зерновий шар проводять циклічно, окремо за часом, з експозицією процедури. Така послідовність і циклічність електричних полів сприяє здешевленню сушіння насіння зернових, а також скороченню тривалості їх зберігання. [18].

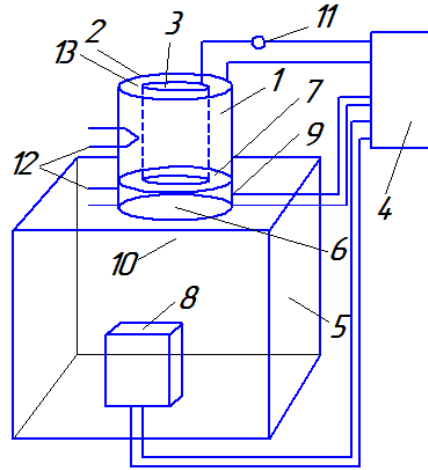


Рисунок 1.14 - Сушарка. Патент № 2161398.

Функція пристрою полягає в наступному: при підключенні блоку живлення 4 до внутрішнього електрода - анода 2 і зовнішнього електрода - катода 3 в просторі між електродами шару 13 в зерновій культурі відбувається процес електроосмосу.

Молекули надмірної вологи в зерні насіння піддаються дії електричного поля, це змушує скелет насіння рухатися до поверхні насіння. Протікання електролізу в зернових культурах визначають за збільшенням вимірювання амперметра 11. Через визначений період збільшення показань амперметра припиняють, вологу в насінні видаляють продувкою всього шару зерна. з хімічним агентом, який активується електрикою, це робиться за допомогою вентилятора. 6.

Патент № 2156932. Вібросушарка. Він включає в себе сферичне тіло, всередині якого знаходяться металеві кульки, електромагнітну котушку з сорочкою охолодження, яка встановлена навколо неї, і сферичне тіло розташоване вертикально і з'єднане з опорними рамами, які встановлені на пружних компонентах, верхня рама - обладнаний вібраторами та сорочкою, причому нижня рама є бункером для потрібного продукту, тоді як сорочка охолодження з'єднана з патрубками, розташованими по периметру корпусу під настилом, на якому розміщені металеві кульки. Винахід сприятиме збільшенню питомої продуктивності установки при одночасному зниженні

питомої енергоємності установки. Для цього він створить оптимальні режими роботи, які підвищують теплообмін і підвищують продуктивність. [18].

На рис. 1.15 зображена запропонована принципова схема вібраційної сушарки.

Сушарка вібраційна містить вертикальний одномірний корпус, який кріпиться до верхньої та нижньої рами та з'єднується з еластичними елементами. На верхній рамі 2 встановлено бочку, яка має завантажувальний пристрій 6 і патрубок 7 для відведення газів і парів. Також до рами прикріплені вібратори 8. До нижньої рами підключено пристрій для перенесення матеріалу в нижнє положення, це називається розвантажувальним пристроєм.

Усередині корпусу розташована решітка глибиною менше 10 дюймів, під якою розташовано 11 металевих сфер, які розташовані в кілька рядів, розміри сфер менші за діаметр кулі. Електромагнітна котушка 12, що містить водяну баню 13, обладнану нагрівачем (рис. 1.15.), Стационарно закріплена на корпусі 1 з круглим зазором.

Корпус 13 має вхідний отвір 14, з'єднаний з вентилятором (не показано), а також випускні отвори 15, які з'єднані з отворами 16, розташованими по периметру корпусу 1 під плитою 10 гриля. Це досягається за допомогою термостійкі шланги 17 гнучкі.

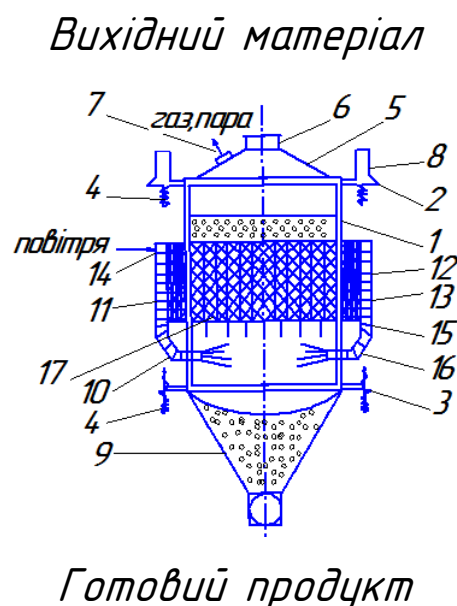


Рисунок 1.15 - Вібросушарка. Патент № 2156932

Наступний винахід має назву патент № 21522571. Сушарка для великих обсягів матеріалу (рис.1.16). Винахід відноситься до обладнання для сушіння зерна. Після переміщення зерна в силос включають механізм обертання 14 (швидкість обертання від 3 до 10 об/хв), генератор НВЧ 5, нагрівач 9 і вентилятор 11. Оскільки обертання барабана 1 повільне, сипучий матеріал ( гранули або зерна) важчий за повітря в кімнаті та не розпилюється по всьому об'єму барабана 1, натомість лише приблизно на 45 градусів система з 6 хвильово-щілинних резонансних випромінювачів була повернута на цей кут, щоб випромінювати мікрохвилі перпендикулярно до шару зерна. Завдяки ребрам 4 зерно агрегується для підвищення рівномірності процесу нагрівання мікрохвилями.

Волога із зерна випаровується, гаряче повітря нагрівається, а потім видаляється через 10-й канал за допомогою вентилятора 11. Використання магнетрона потужністю 1 кВт, який знаходиться в діапазоні мікрохвиль з температурою 60 градусів за Цельсієм і потужністю потужністю 1 кВт дозволяє висушити до 50 кілограмів зерна приблизно за 40 хвилин. Винахід дозволяє скоротити час висихання на невеликий відсоток вологості (не більше 3%) при зовнішній по відношенню до матеріалу температурі не більше 60 градусів.

На рис. 1.16 зображена сушарка для великогабаритних продуктів (вид спереду), на рис. 1.18 — вид спереду. [18].

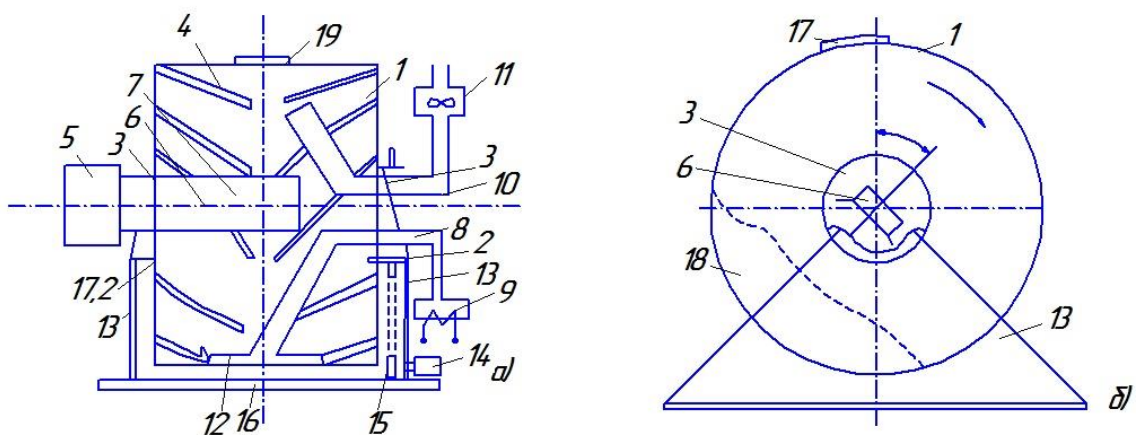


Рисунок 1.16 - Сушарка для сипучих матеріалів.

Патент № 2152571 а) вид спереду; б) вид збоку.

Сушарка має металевий барабан, який встановлений з можливістю обертання на двох підшипниках ковзання, які закріплені на кришках, які розташовані в бічних отворах барабана, на внутрішній поверхні яких розташовано ряд протилежно нахилених стрічок, які складаються з 4 Вихід генератора 5 підключений до системи 6 хвильово-щілинних генераторів. Система 6 має відбивачі 7 і введена в камеру барабана 1 через нерухому кришку 3, яка вставлена в бокові отвори барабана 1. Через іншу нерухому кришку 3 проходить канал 8 для подачі повітря, нагрітого встановлений нагрівач 9, а також канал 10 для видалення вологого повітря, на іншому кінці якого розташований вентилятор 11 на кінці екрану 12.

## 2. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Програма досліджень

Основною інформацією, необхідною для розрахунку сушарки, є назва сировини, що висушується, її температура і вологість на вході в сушильну камеру.

Також документується (наприклад, на сировині) теплоємність повністю сухого матеріалу, максимально допустима температура сушіння і тривалість сушіння.

Крім того, враховується температура і відносна вологість продукту, що виходить із сушильної камери. Інформація, яка використовується для розрахунку даних, - це порядок, у якому матеріал поміщається в камеру згоряння.

Суттєве значення має район і місто, де знаходиться або працює установка, температура і відносна вологість зовнішнього повітря в цьому районі або місті в зимовий і літній період.

Крім того, інформацією щодо розрахунку є тиск і ступінь сухості пари, що використовується в камері сушарки.

Пропонується наступний порядок дослідження:

1. Оцінити ефективність продуктивності сушарки;
2. Розрахувати кількість повітря і палива, що витрачаються в сушарці, і визначити питомі витрати тепла;
3. Оцінити ефективність роботи вентилятора;
4. Оцінити ефективність форсунки, розрахувати електродвигун;
5. Виконати моделювання технологічного процесу.



## 2.2. Методика досліджень

### 2.2.1. Розрахунок продуктивності зерносушарки.

Продуктивність сушарок вимірюється різними способами: кількістю вологи, яка випаровується в кілограмах на годину, відсотком вологості, що знижується і т.д. Оскільки продуктивність сушарок залежить від початкового та кінцевого рівнів вологості та цільового призначення, і типу зерна встановлено єдиний вимір.

Продуктивність — планова одиниця зневоднення, що описує зниження вологості 1 тонни продовольчої пшениці на 6% (з 20 до 14).

Кількість зерна, яке проходить через сушарку, а також його фактична продуктивність для вологого зерна документується наступним чином.

Розраховуємо кількість проходжень зерна через канал СЗШ сушарки - 16, враховуючи, що ККД сушарки дорівнює 20-15 відсотків (планових тонн) і за один прохід через сушарку буде надбавка вологи не більше ніж 6 відсотків. У результаті порівнюють початкову та кінцеву вологість зерна з 6%-м відходом вологи та визначають кількість пропусків  $k = \Delta w / 6$  [16].

Якщо можливо, розділіть вказану різницю між початковим і кінцевим рівнями вологості зерна на кількість проходів і знайдіть діапазон значень вологості для кожного проходу зерна через сушарку, а потім виберіть коефіцієнт перетворення в очікувані тони, який пов'язані з кожним проходом з каталогу.

Загальний об'єм води, яка буде випарована під час проходження, оцінюємо в планових тоннах:

$$Q = \frac{G_n K_n K_{np}}{K}, \text{ т.} \quad (2.1)$$

де  $G_n$  - загальний об'єм зерна, що пройшов через сушарку за  $N$ -ну ітерацію.

Для першого пропуску  $G_n = G_1$  відповідає заданій кількості зерна за вихідними даними [16].

Кількість зерна, що надходить на другий пропуск:

$$G_2 = G_1 \frac{100 - W_1}{100 - W_2}, \text{ а на третій } G_3 = G_2 \frac{100 - W_2}{100 - W_3} \text{ і т. д.} \quad (2.2)$$

Тут  $W_2, W_3$ —кінцева вологість зерна в кінці першого і другого пропуску, %;

$K_{\text{пр}}$  - термін, який описує цільове призначення насіння. Для продовольчого зерна  $K_{\text{пр}}=1$  і насіння 2 [12].

$K$ - коефіцієнт, який враховує тип культури, вибраний із каталогу.

У цьому випадку визначається загальний обсяг необхідного сушіння в планових тоннах за один прохід.

Для визначення кількості всихання, яке відбувається, визначимо врожайність з району 780 га пшениці. Дані господарсько-виробничої діяльності свідчать про те, що середня урожайність зернових становить 34 ц/га.

$$G_n = 1030 \text{ т.}$$

Вологість зерна до сушіння становить 20 %, а після сушіння — 15 %.

Далі визначимося, скільки часу необхідно для сушіння такої ж кількості зерна:

$$\tau = \frac{Q}{P}, \text{ год.} \quad (2.3)$$

де  $P$  – ступінь пропуску осушувача.

Визначаємо фактичну величину продуктивності сушарки для вологих товарів:

$$P_{\text{ф}} = \frac{G}{\tau}, \text{ т.} \quad (2.4)$$

Знайдемо об'єм висушеного зерна за допомогою рівняння:

$$G_2 = G_1 \frac{100 - W_1}{100 - W_2}, \text{ т.} \quad (2.5)$$

а усушка зерна становитиме:

$$G_w = G_1 - G_2 = G_1 \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2}, \text{ т.} \quad (2.6)$$

Оцінюємо потужність сушарки.

У технічних характеристиках сушарки СЗШ-16 зазначено, що максимальна кількість пшениці, яку можна висушити за первинний час, становить 16 тонн.

Пропускна здатність  $\epsilon$ :

$$q_{o,i} = \frac{q_{o,n} k_i}{k_\omega}, \quad (2.7)$$

де  $k_i$  – коефіцієнт, який залежить від виду культури;

$k_\omega$  - коефіцієнт, що враховує початкову і кінцеву вологість речовини;

$q_{o,i}$  - об'єм зерна сушарки записується в вимірюванні потужності сушарки.

### 2.2.2. Розрахунок витрат повітря та паливної суміші в зерносушарці.

Беручи до уваги, що побічні продукти згоряння в основному складаються з повітря та паливних газів, для полегшення відповідних розрахунків цю суміш слід вважати вологим повітрям. Для полегшення розрахунку споживання тепла і повітря в сушарках, які використовують гаряче повітря як єдине джерело сушіння, а також для уточнення розрахунку необхідно використовувати діаграму  $i$ - $d$  для вологого повітря [12].

У нас є технічні характеристики прямої сушарки (рис.2.1):

$w$  — відносна вологість повітря в %;

$d$  — вологовміст повітря сухого повітря (г/кг);

$i$  — тепломісткість повітря сухого повітря (Дж/кг).

$t$  — температура повітря, град;

Індекси відносяться:

0 — для свіжого повітря, що подається в сушильну установку.

1 — для повітря, що надходить до сушарки.

2 — для звільнення сушарки або на секунду, нехай залишиться як  $\epsilon$ .

$v$  - до стелі, слідуючи за ходом змішувальної камери.

Вологе свіже повітря з параметрами  $t_0$ ,  $d_0$ ,  $i_0$  надходить у топку, де підігрівається до температури  $t_1$ .

Атмосферне повітря підвищує температуру в топці зі швидкістю  $d = \text{const}$ . Оскільки температура повітря не збільшується за рахунок додавання вологи, процес нагрівання повітря буде проходити по лінії  $d$ -, тому замість перетину з заданою температурою  $t_1$ , він просто слідуватиме по лінії  $d$ -so.

Пункт 1 (рис. 2.1) описує специфіку повітря, яке виходить з топки і надходить до сушарки.

У теоретичній сушарці, коли тепло, що втрачається в навколишнє середовище, замінюється теплом від самого матеріалу, процес сушіння відбуватиметься за постійною температурою повітря ( $i = \text{const}$ ). Лінія 1 - 2 розташована горизонтально (під кутом  $45^\circ$ ) і перетинається з температурною лінією  $t_2$ . У результаті кількість вологи, яка випаровується 1 кг сухого повітря через сушарку, дорівнює  $d_2 - d_0$ . Витрати тепла на випаровування вологи дорівнюють  $i_1 - i_0$ .

Витрата свіжого (в розрахунку на сухе) повітря в кубічних метрах, необхідного для випаровування 1 кубічного метра води, складе [12]:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_0}, \text{ кг} \quad (2.8)$$

Для сушіння виробів із частковим повторним використанням повітря, що використовується (рис. 2.1, в, г), пункти 1 і 2 описують властивості повітря:

1, що допускається до сушарки.

2, що виходить із сушарки.

Точка С описує склад повітря після сушарки.

Кількість свіжого повітря, необхідна для охолодження зерна, буде –  $19000 \text{ м}^3/\text{год}$ .

### 2.2.3. Розрахунок витрат тепла.

Питомі витрати тепла на підігрівання повітря в топці:

$$q = l_{\text{п}}(t_1 - t_2) = \frac{1000(t_1 - t_2)}{d_2 - d_1}, \text{ кДж/кг} \quad (2.9)$$

Для сушарки, яка має кілька ступенів нагріву повітря (проміжну) між ступенями сушіння (рис. 2.1 д,е):  $t_1$  – температура повітря, що надходить у

сушарку.  $t_2$  – температура повітря, що виходить із сушарки.  $d_2, d_1$  – параметри свіжого повітря, що надходить у топку.

Таким чином, питома кількість теплоти для повітря в топці сушарки становить 5040 кДж/кг.

З рисунка 2.1 можна визначити температуру джерела тепла.

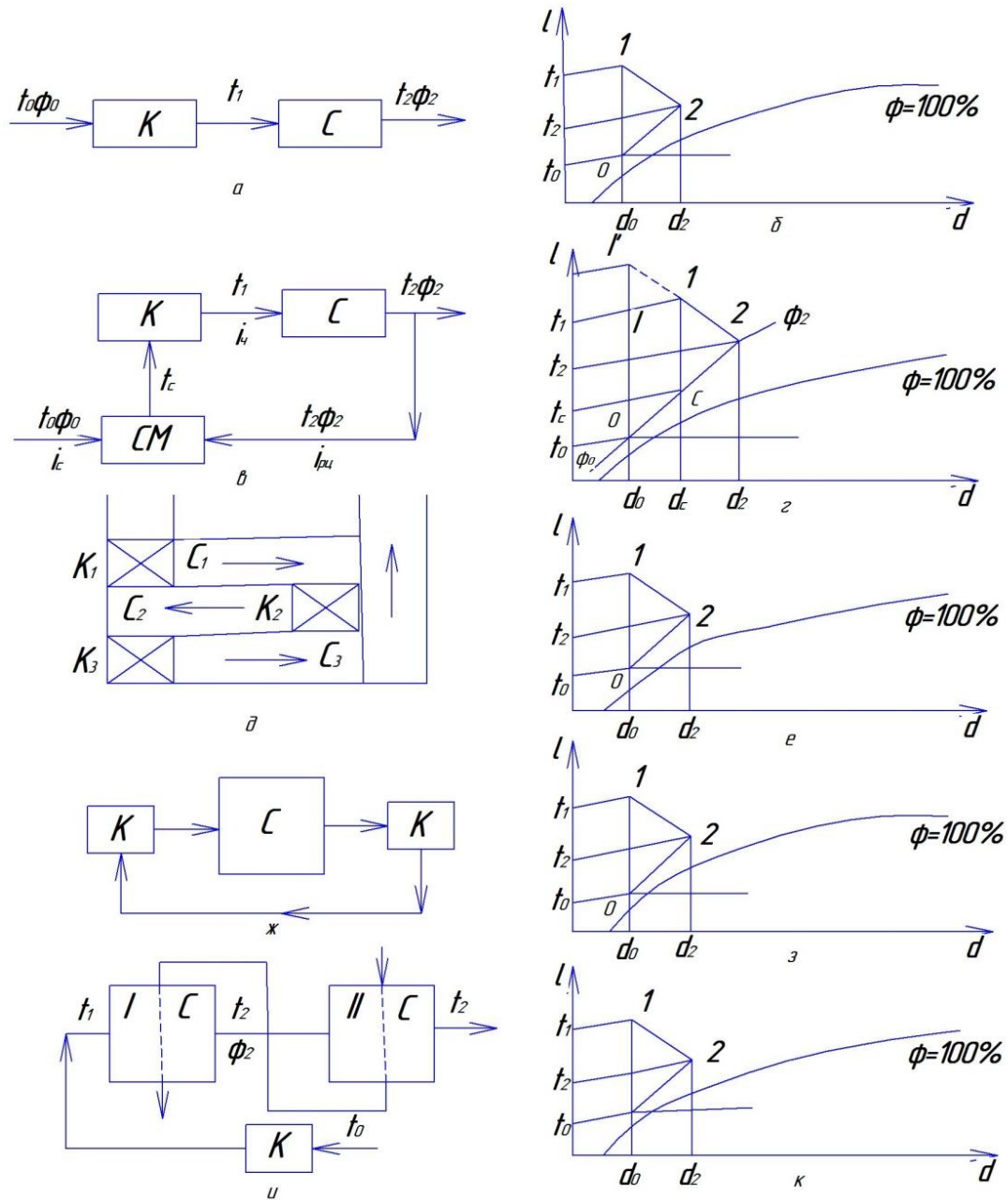


Рисунок 2.1 - Технічна організація та конструкція процесу сушіння:

а, б - постійний струм; в, г - з частковою рециркуляцією повітря; д, е - з багатоступеневим нагріванням повітря; ж - із закритою циркуляцією; з - двоступеневим випаровуванням.

Нагрівання повітря шляхом поєднання його з продуктами згоряння призводить до збільшення  $d$  і  $t$  відносно їх значень на свіжому повітрі.

Для отримання точки 1, яка пов'язана з параметрами суміші, що надходить у сушарку, рекомендовано два способи. Перший спосіб ведеться у форматі пучка АВ (рис. 2.2, а) під певним кутом, який виходить із параметрів газової суміші при заданих  $t_0$  і  $d_0$ , розрахованих за відповідними формулами; відповідно до заданої температури суміші  $t_1$  і вологості суміші  $d_1$ , що залежить від типу палива та сезону.

З рисунка 2.2,б видно, що при спалюванні газу з вугілля міститься багато водяної пари, кінцевий газовий склад після згоряння цього палива матиме більший вміст вологи, ніж газу, які утворюються в результаті згоряння природного газу.

Маючи дані для розрахунку сушарок, які використовують як основне джерело тепла димові гази, важливо знати температуру суміші, яка надходить в сушарку ( $t_1$ ), ця температура залежить від технологічних умов і умов сушіння. Наприклад, ми беремо параметри повітря, пов'язані з  $d_0$ ,  $t_0$  і температурою газоповітряної суміші, яка утворюється в результаті спалювання природного газу та змішування зі свіжим повітрям у літніх умовах.,  $t_1=300$  °С.

Після цього вологість цієї суміші, що надходить у сушарку, становитиме 23 г/кг. Тепер проінтегруємо отриману інформацію на у-графіку (рис. 2.2, а), причому точка 1 буде визначатися параметрами  $t_1 = 300$  °С і  $d_1 = 23$  г/кг, а точка 0 – параметрами  $t_0$  і  $d_0$ . Щоб знайти точку 2, проводимо лінію 1-2, яка представляє процедуру сушіння в теоретичному циклі по лінії  $i = \text{const}$  до точки зустрічі з лінією бажаної кінцевої температури  $t_2$ .

Одночасно витрачений об'єм палива ( $\text{м}^3/\text{год}$ ) (в нормальних фізичних умовах):

$$G = \frac{Q}{q \eta} \quad (2.10)$$

Де  $Q$  - робоча теплотворна здатність палива (у нормальних фізичних умовах), Дж/м<sup>3</sup>;

$\eta$  — к.к.д. топки.

Теплоту (Дж/кг), яку відчуває матеріал у процесі сушіння, можна приблизно оцінити за формулою:

$$Q = W[2,48 \cdot 10^6 + 1,97 \cdot 10^3 (t_2 - t_0)] + c_2 G_2 (t'_1 - t'_0), \quad (2.11)$$

де  $W$  — кількість води, що випаровується, кг/год;

$t_0, t_2$ , — температура повітря до і після топки відповідно топка, °С;

$t'_0, t'_2$  — температура виробу до і після сушіння., °С;

$G_2$  — маса готової продукції в кг;

$c_2$  — теплота готової продукції в Дж / (кг·град).

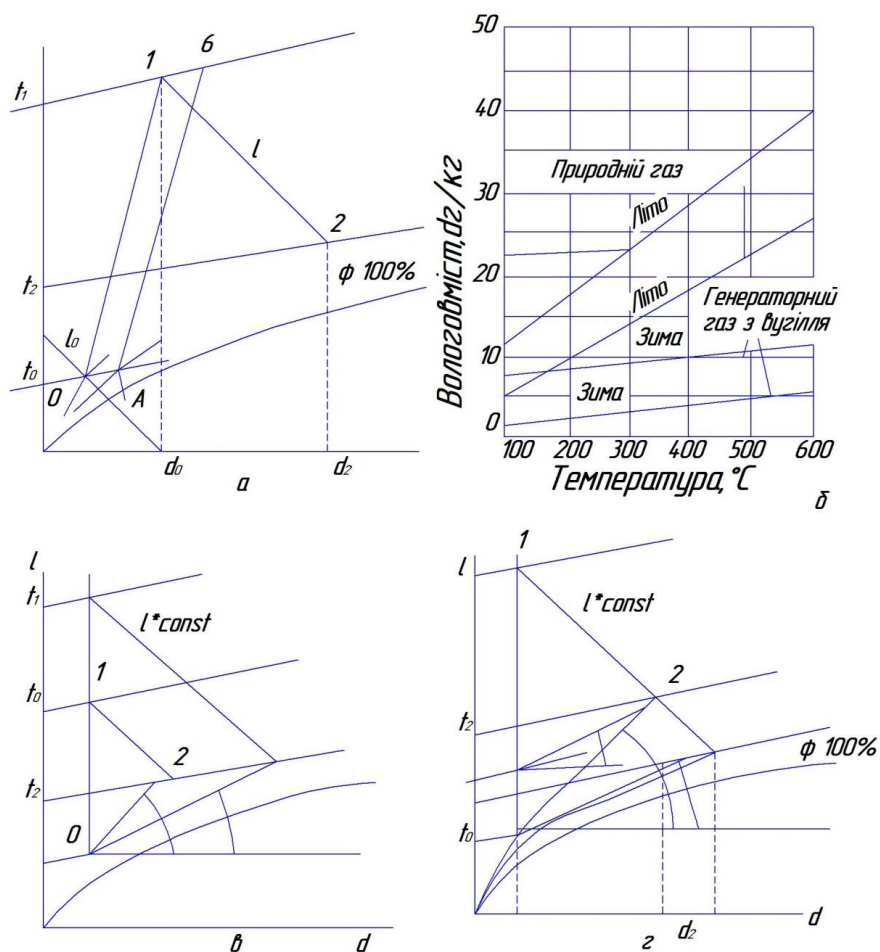


Рисунок 2.2 - Схеми: а — побудова процесу сушіння; б — визначення вологості суміші при роботі на паливі; в, г — створення процесу сушіння для прямої теоретичної сушарки.

Можна використовувати кілька методів нагрівання (у багатоступеневих сушарках) або використовувати подвійне нагрівання повітря парою, газом або електрикою в одноступінчастих сушарках; при постійному  $t_1$  доступна можливість зменшення швидкості випаровування або повної зупинки процесу (рис. 2.2, d, процедура 0- 1 - 2 - 2') або шляхом використання тепла відпрацьованого повітря для нагрівання свіжого повітря (рис. 2.2, г, і процес 0'- 1'- 2', а також ін.

Числові значення к.к.д., кількість вологи в повітрі визначають за формулою:

$$K = \frac{r(d_2 - d_0)}{i_1 - i_0} \quad (2.12)$$

де  $r$  — в якості умови вибирається прихована теплота пароутворення при конкретній температурі. ( $t = 15$  °C), Дж/кг;

$d_0, d_2$  — оцінюють вологість повітря та суміші повітря і газів до і після сушарки., г/кг;

$i_0, i_1$  - теплоємність повітря або суміші повітря і газу до і після джерела тепла., Дж/кг.

Визначаємо поверхні, які передають тепло до печі. Площа поверхні теплообміну ( $m^2$ ) топки до сушарок визначається за формулою [12]:

$$F = \frac{Q}{k\Delta t} \quad (2.13)$$

де  $Q$  — максимальна кількість тепла, яку можна подати до печі, Дж/год;

$k$  — коефіцієнт теплопередачі, Дж/( $m^2$  град год);

$\Delta t$  — різниця температур між теплоносіями, °C.

#### 2.2.4. Розрахунок продуктивності.

Оцінюємо ефективність роботи сушарки, який переносить повітря в зону сушіння. Вентилятор вибирають, виходячи з максимального об'єму повітря або повітря-газу, що закачується в сушарку або видаляється з башти, а також продуктивності сушарки по випаровуваній волозі. ( $m^3$ /год) :

$$V = V_0 L = V_0 l W, \quad (2.14)$$



де  $V_0$  — об'єм водяної пари в повітрі на 1 кг сухого повітря, м<sup>3</sup>/кг;

$l$  — особливі переваги щодо споживання повітряно-газових сумішей, кг/кг;

$L$  — загальна вартість об'єднання, кг/год;

$W$  - продуктивність сушарки, кг/год.

$$V = 3,55 \cdot 14,5 \cdot 16000 = 82300 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Отримані результати свідчать про те, що при об'ємі повітря 82300 м<sup>3</sup>/год ми повинні вибрати тип вентилятора, який ВМЕУ–7–3.

2.2.5. Розрахунок продуктивності форсунок і розрахунок електродвигуна.

Обсяг води, що виробляється форсункою (м<sup>3</sup>/с) механічним способом, розраховується за формулою:

$$G = kF \sqrt{\frac{2\Delta N}{\rho}} \quad (2.15)$$

де,  $k$  — коефіцієнт витрати води, який залежить від консистенції розпиленої маси, діаметра отвору (0,1...0,9), а для малих отворів і більшої консистенції (1 має максимальне значення);

$F$ - загальна площа вихідного отвору сопла, (діаметр отворів в соплі).

$d = 1...2,5$  мм);

$\Delta N$  — повний напір, Н/м<sup>2</sup>;

$\rho$  — об'єм розпиленої маси, кг/м<sup>3</sup>.

Тоді,

$$G = 0,9 \cdot 4,91 \sqrt{\frac{2 \cdot 73}{970}} = 0,71 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Потужність двигуна (кВт) до насоса, який відповідає за подачу води до форсунки, розраховується за формулою:

$$P = \frac{M_0}{3600 \cdot 1000}, \quad (2.16)$$

де  $M_0$  — продуктивність сушарки, м<sup>3</sup>/год;

$p$  — тиск, створюваний насосом, Н/м<sup>2</sup>;

Тоді,

$$P = \frac{73 \times 17}{3600 \cdot 1000 \times 0.95} = 3,63 \text{ кВт}$$

Загальний об'єм бункера дорівнює ( $\text{м}^3$ ) і обмежений максимальним навантаженням, яке може витримати бункер [12]:

$$V = \frac{w^3}{W}, \quad (2.17)$$

Тоді,

$$V = \frac{29,5}{3.5} = 8,5 \text{ м}^3.$$

де  $W$  - здатність бункера випаровувати воду, виражена як кількість випарованої вологи, кг/год;

$w$  — напруга сушильної вежі, яка залежить від типу продукту, температури повітря та способу сушіння, її можна зменшити, кг/( $\text{м}^3 \text{ год}$ ).

У випадку висушування зерна при  $t_1 = 135^\circ$   $w = 3 \dots 3,6$ ; при  $t_1 = 185^\circ$   $w = 5 \dots 7$ ; при  $t_1 = 210 \dots 240^\circ$   $w = 10 \dots 13$ ; при  $t_1 = 310 \dots 360^\circ$   $w = 16$ .

Висота вежі (м):

$$H = V/\pi R^2, \quad (2.18)$$

Тоді,

$$H = 8,5/3.14 \cdot 0,84^2 = 3,26 \text{ м.}$$

Діаметр вежі (м), становить:  $D = 1,63 \text{ м.}$

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Моделювання технологічних процесів зерносушарки

Для створення математичних моделей сушіння зерна зберемо в підсистему стислий опис і схему ділянки сушіння зерна.

Згідно з первинним конструктивним рішенням (рис. 3.1), атмосферне повітря протікає через топку 1, де утворюється газ з високою температурою, потім через змішувач 2, де утворюється суміш газів з печі та холодного повітря, це процес, за допомогою якого утворюється сушильний агент.

Зерносушарка може мати декілька змішувачів, які відповідають кількості ділянок із сушильними агентами. Зерно спочатку можна частково нагріти в камері 9 за допомогою відпрацьованого агента з нагрівача 4, потім агент потрапить у змішувач 8, де він буде з'єднаний з висушеним зерном. [13].

Транспортний пристрій 10 подає зерно в сушильний бункер 3, яке потім нагрівається нагрівальною камерою 4. При цьому зерно короткочасно нагрівається, потім теплова маса обмінюється вологою і теплом. З теплообмінника зерно розділяється на два потоки, які надходять в сушильну камеру 6 і 7, ці камери обладнані або нагрівачем, або охолоджувачем (атмосферним) повітрязабірником.

Висушене зерно з камери 7 передається в змішувач 8 і т.д. для з'єднання з вологим зерном.

Фракція потоку води, яка направляється в камери 6 і 7, змінюється в залежності від початкової точки і кінцевого вмісту вологи в зерні.

Узагальнена структурна схема ілюструє різні способи сушіння зерна в різних сушарках і відповідає основним вузлам газових оборотних сушарок. Відсутність елементів 3 і 4 є загальною для пневмогазу, оскільки нагрівання зерна суміщено з транспортуванням в елементі 10, також відсутня подача

сушильного агента до елементів 6 і 7 (штрихова лінія). Є елемент 6 для використання шахтних сушарок, камер і сушарок.

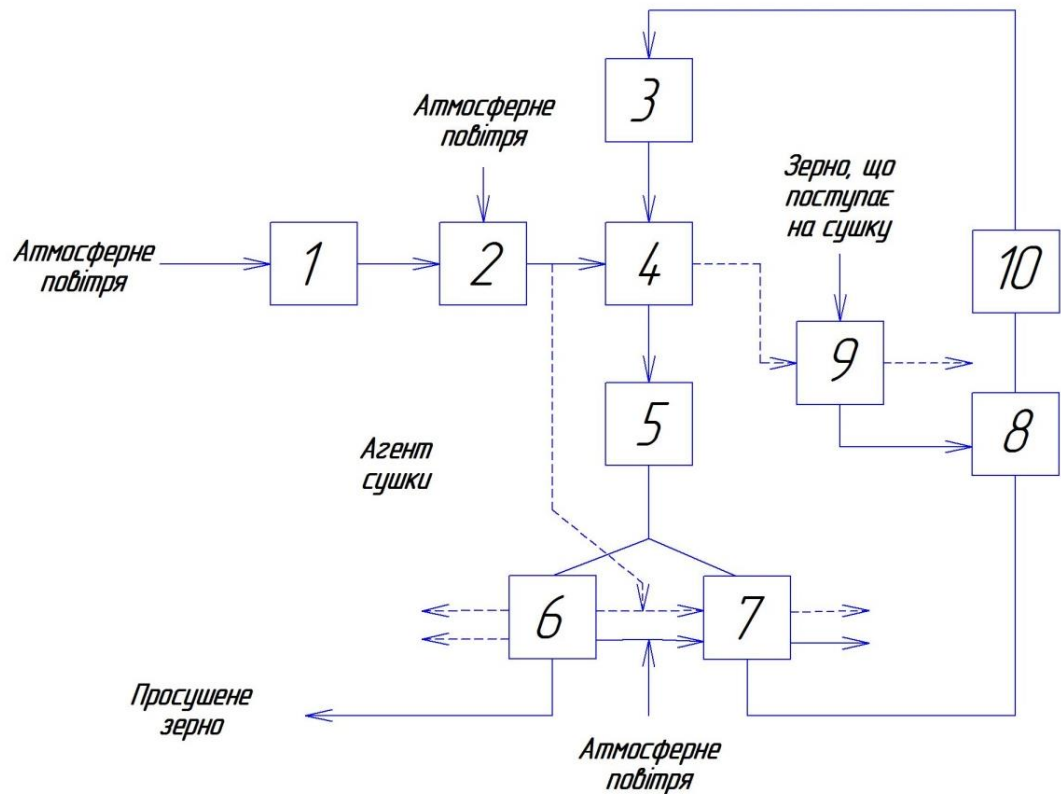


Рисунок 3.1 - Структурна схема процесу сушки зерна:

1 - топка; 2 - змішувач гарячого і холодного повітря; 3 - верхній сушильний бункер; 4 - камера для підігріву зерна; 5 - теплообмінник; 6,7 - сушильні камери, що працюють сумісно; 8 - змішувач, що приймає висушене та рециркуляційне зерно; 9 - камера попереднього підігріву зерна; 10 - транспортний пристрій.

Для всіх сушарок, які попередньо нагрівають, елемент 4 є вирішальним. Поведінка елемента 6 і напрямок потоку агента і зерна різні. Підігрівач для зерна, що використовує відпрацьований сушильний агент (поз. 9), вигідний для всіх різновидів сушарок. Елементи 4, 5, 6, 7 і 9 залежать від типу процедури та дизайну та можуть мати цільові або розподілені параметри.

Кількість зв'язків вибирається виходячи з необхідної точності математичного опису, що ускладнюється зі збільшенням кількості зв'язків,

але збільшується точність опису процедури. Структурний аналіз, як перший крок чисельного моделювання, є неповним, якщо рівні деталізації, пов'язані з кожним компонентом процесу сушіння, не розділені. Класичним прикладом першого рівня є відомі процеси, які відбуваються в зерні на молекулярному та клітинному рівнях.

З цією допомогою можна визначити загальну дію закономірностей вологи в прояві зерна; швидкість його руху, енергія, необхідна для створення рушійної сили процесу тощо. До другого рівня слід віднести процеси в зерновому шарі, тобто передачу вологи і тепла шляхом внутрішньої і зовнішньої дифузії, включаючи утворення явищ на прикордонних ділянках. На цьому етапі можна визначити найефективніший спосіб видалення вологи з шару зерна, необхідну для цього кількість енергії, продуктивність процесу та якість висушеного зерна.

На третьому рівні розглядаються не тільки технологічні, а й економічні показники складових конструктивної схеми, в тому числі сушильної камери. За допомогою моделей третього рівня можна визначити ефективність машини, витрати будматеріалів, витрати на експлуатацію, витрати на сушіння. На четвертому рівні концептуалізується весь технологічний процес. За допомогою цього можна зробити висновок про загальні витрати на зберігання зерна, включаючи вартість сушіння, одним із компонентів загальних витрат є вартість зберігання. Компоненти структурної схеми мають різні підходи до дії та конструктивної реалізації принципів. У зв'язку з цим, рекомендується проводити аналіз процесів за допомогою математичних моделей, які точно описують рішення поставлених завдань, реальні процеси в перерахованих компонентах.

Якість процесу сушіння зерна визначається чотирма показниками: вологістю, температурою, збереженням (підвищенням) якості та витратами. Перший показник базується насамперед на вологості зерна, яка має бути від 13 до 14 відсотків. Температура висушеного зерна повинна бути вище температури навколишнього середовища не більше ніж на 5 градусів Цельсія.

### 3.2. Моделі кінетики сушіння зерна

Процесом висихання вважається середня вологість предмета, яка змінюється з часом. У більш загальному сенсі кінетика стосується зміни однієї з таких властивостей зерна: температури нагрівання, якості та кількості клейковини та інших показників. Найбільш повно задокументовано та математично описано зміни вологості та температури нагрівання зерна в процесі сушіння.

Унікальний опис зміни вологи на поверхні зерна під час процесу сушіння полягає в тому, що крива має точку (критичну вологість), яка розділяє процес на періоди постійної швидкості та зменшення прискорення. Перший період характеризується рівнянням прямої лінії, а другий — кривою, яка зазвичай є експоненціальною.

Загальний опис процесу сушіння у другому періоді зазвичай дається наступними диференціальними рівняннями [15, 17]:

$$\frac{dw}{d} = \exp(1-k) \text{ або } \frac{dw}{d} = e^{-k}, \quad (3.1)$$

де  $\frac{dw}{d}$  – середня кількість вологи в зерні.

$$\frac{dw}{d} = k(w_{\text{кр}} - w_p) \exp(1-k); \quad (3.2)$$

$$\frac{dw}{d} = k(w_{\text{кр}} - w_p) \exp(-k); \quad (3.3)$$

$$\frac{dw}{d} = -\frac{A}{(A+B)^2}; \quad (3.4)$$

$$\frac{dw}{d} = k(w_{\text{кр}} - w_p), \quad (3.5)$$

де  $w_{\text{кр}}$ ,  $w_p$  - відповідно значення вологості при критичному і рівноважному.;

$k$ ,  $A$ ,  $B$  - постійні коефіцієнти, які визначаються експериментально..

Через опис кінетики двома різними типами рівнянь структурна діаграма аналогової моделі повинна мати перемикач, який починає працювати при критичному рівні вологи. Якщо  $>$ , емулюється перший

період, а якщо < другий. Якщо перший період відсутній, конструкція залишається незмінною.

Щоб скористатися калькулятором, рівняння сушіння записується як трансцендентне рівняння. [12].

$$w = w_p + (w_0 - w_p)^{-[AFP_{\text{нас}} \frac{(w_0)}{0} 1]}, \quad (3.6)$$

де  $w_0$  – початкова вологість зерна 3,6 г/100 г, коефіцієнт А залежить від культури, для пшениці  $3,4 \cdot 10^{-8}$ , питома поверхня випаровування  $F = 295 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Час висихання 40 хвилин при температурі 0 градусів Цельсія.

У цьому рівнянні:

$$P_{\text{нас}} = 2,9 (1,7 + 0,005 w_0)^{0,1 t_3^{\text{max}}}, \quad (3.7)$$

$$(w_0) = 1,35 + 1,32 w_0 - 0,022 w_0^2, \quad (3.8)$$

Якщо початкова температура відмінна від нуля, то тривалість сушіння розраховують за формулою:

$$P = P_0 (1 - 0,005 t_{30}), \quad (3.9)$$

Наведене рівняння модифіковано для розрахунку відповідних режимів сушіння в шахтній сушарці.

Наведені описи форми впливають на зміну типового вмісту води в зерні за вагою. Процес сушіння розглядається як зміна поля утримання води, яке описується серією диференціальних рівнянь, що описують часткові похідні вологості. Щоб уточнити опис, багатовимірну проблему зазвичай зводять до одновимірної проблеми. Для цього мокре тіло необхідно розглядати як одновимірне тіло (необмежену пластину, шар, необмежений циліндр). Зерно зазвичай вважається шаруватою або сферичною структурою.

Застосовувана до однієї ситуації та без загального градієнта тиску система рівнянь, яка описує поведінку сушіння, має вигляд [12]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( a_m \frac{\partial u}{\partial x} + a_m \delta \frac{\partial t_3}{\partial x} \right); \quad (3.10)$$

$$c_{30} \frac{\partial t_3}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t_3}{\partial x} + \epsilon r \frac{\partial u}{\partial x} \right), \quad (3.11)$$

Специфікації системи рівнянь можна розширити, щоб включити шар порошкоподібного матеріалу, який є дисперсним. Зерно являє собою звичайне сферичне тіло, яке переважно сушать конвективним способом.

Це полегшує обчислення значення  $u$  при різних значеннях  $x$ , що досягається зведенням диференціальних рівнянь до алгебраїчних. Поряд із методом Ейлера та його різновидами існують інші підходи, задокументовані в літературі. Числові методи, які дають не точні значення, а скоріше приблизні, оскільки похідна насправді зменшується між  $x_0$  і  $x_1$ . Похибка зростає зі збільшенням кроку, тобто похибка, пов'язана з методом Ейлера, прямо пропорційна числу кроків (ділянок), на які розділений діапазон (межі) інтегрування. Оскільки формулювання задачі в нашому випадку є більш простим, ніж у математичному розв'язанні технологічної задачі, чисельні методи підходять для вирішення технологічних питань. [9].

Найпоширенішим підходом до чисельного розв'язування диференціальних рівнянь у частинних похідних є метод скінченних різниць (сіток). В основі методу лежить заміна плоскої області сіткою, що складається з однакових комірок, і заміна диференціальних рівнянь кінцево-різницевиими рівняннями, пов'язаними з сіткою. Після розв'язування системи рівнянь початкове значення функції знаходиться у вузлах сітки. Крайнім випадком сіткового методу є лінійний метод, який використовується з прямокутною сіткою, один із лінійних розмірів сітки дорівнює нулю, а набір точок біля кордонів заповнює систему прямолінійних сегментів. Для вирішення наведених двовимірних диференціальних рівнянь, які описують збільшення вологи в процесі сушіння, ми використовуємо саме цей обмежуючий сценарій [12].

Вони звели систему часткових похідних до системи звичайних рівнянь:

$$\frac{\partial u_k}{\partial r} = \frac{u_{k+1} - u_k}{h}; \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial^2 u_k}{\partial r^2} = \frac{u_{k+1} - 2u_k + u_{k-1}}{h^2}, \quad (3.13)$$



де  $h$  - величина інтервалу.

Враховуючи, що  $r = kh$ , отримаємо:

$$(\Delta u)_k \approx \frac{1}{2h^2k} [(2k+1) u_k^4 k u_k + (2k-1) u_{k-1}], \quad (3.14)$$

а для прямиї з номером  $k = n$ :

$$(\Delta u)_n = \frac{2}{h} \left( \frac{\partial u}{\partial R} \frac{u_n u_{n-1}}{h} \right) + \frac{1}{R} \frac{du}{dr}, \quad (3.15)$$

де  $k = 1, 2, 3 \dots; n = 1; n$  - номер прямиї, яка відноситься до  $r = R$ .

Розв'язавши цю систему рівнянь у відомих початкових умовах, можна зробити висновок про розподіл температури та вологості по довжині сушильної камери.

Реалізацію системи легко виконати на комп'ютері за допомогою комп'ютерного алгоритму. Для кроку інтегрування, який передбачає змінну  $x$ , що дорівнює 0,11, було досягнуто наступний розподіл середнього вмісту вологи по довжині сушильної установки.

Отриманими даними є:  $a_m = 0,622 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ ;

$c_3 = 1,46 + 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;

$R = 0.0016 \text{ м}$ ;

$u_p = 0,10 \text{ кг}/\text{кг}$ ;

$u_r = 0,31 \text{ кг}/\text{кг}$ ;

$r = 2500 \text{ кДж}/\text{кг}$ ;

$B = 0,87 \cdot 10^{-8} t_3$  при  $v_{a.c} = 0,40 \text{ м}/\text{с}$  (щільний шар);

$B = 3,50 \cdot 10^{-8} t_3$  при  $v_{a.c} = 1,80 \text{ м}/\text{с}$ .

Під час моделювання прогресування процесу сушіння було використано два основних підходи. У першому, більш простому сценарії, ми усереднюємо змінну вологість зерна, а в іншому, більш складному сценарії, ми досліджуємо поле утримання вологи. Метод розрахунку швидкості сушіння шляхом зміни поля вологостійкості підходить лише для аналізу процесу сушіння або для його оптимізації. У цьому останньому сценарії математичний опис має бути зведений до добре відомого методу оптимізації.

### 3.3. Визначення показників, що характеризують властивості зерна під час сушіння

Зерносушарка СЗШ-16 призначена для сушіння продовольчого та насіннєвого зерна різних зернових культур.

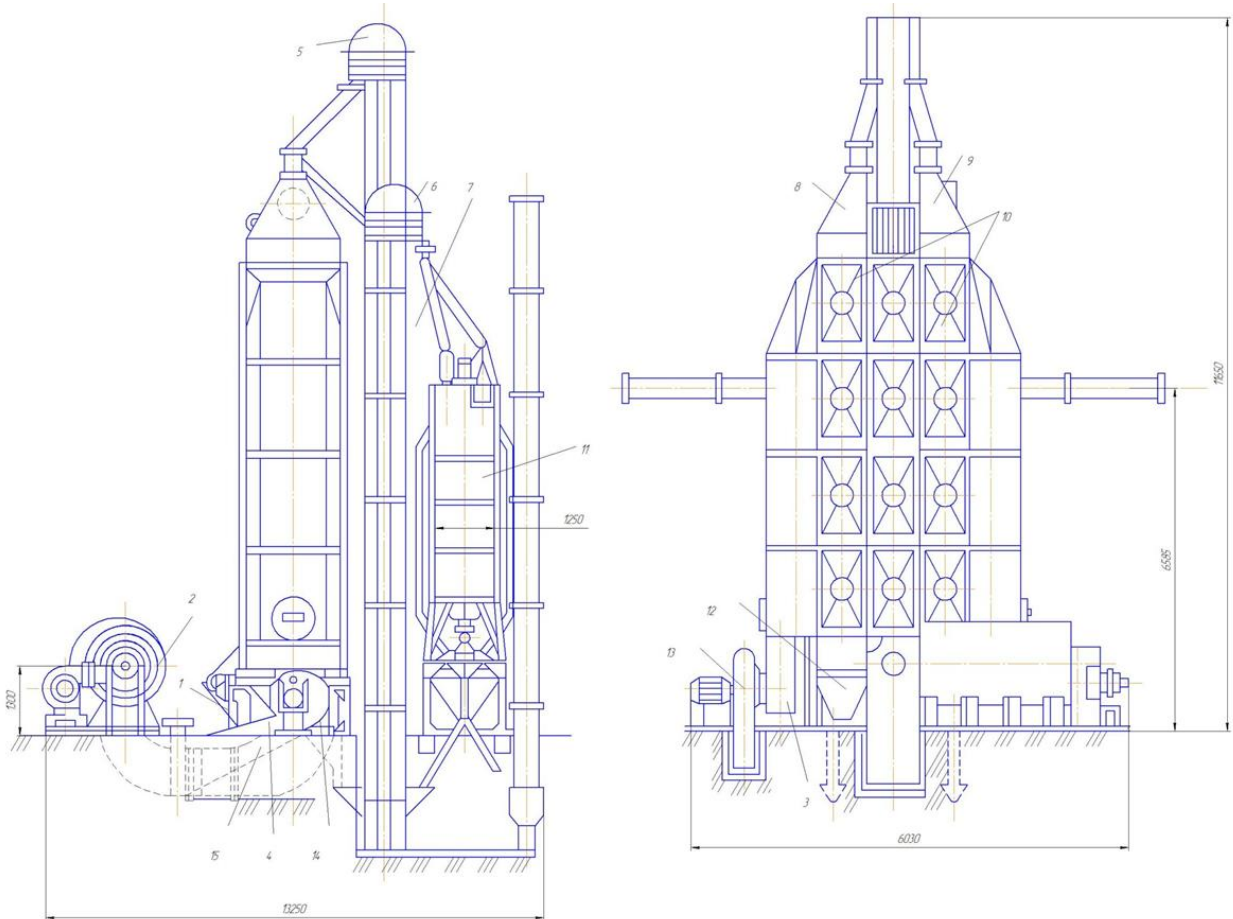


Рисунок 3.2 - Зерносушарка СЗШ-16

Зерносушарка складається з двох паралельно розташованих шахт 10, встановлених на загальній станині 1, двох виносних охолоджувальних камер 11, вентиляторів 13 та 14 сушильних шахт, дифузорів 3 та 4.

Сушильна шахта 10 складається з двох однотипних секцій, встановлених одна на одну. У шахті розташовано 14 рядів коробів, по 8 ряду. Кожна сушильна шахта має по одному вентилятору Ц9-57 або Ц4-70, які з'єднані з нею дифузорами з всмоктувальним коробом. Зерносушарка СЗШ-16 працює під розрідженням. Топка 2 з сушильними шахтами з'єднана повітровою системою 15 для агента сушіння та дифузором.

Над кожною шахтою розташовуються надсушильні бункери 8 і 9. Надлишок матеріалу з бункерів зсипається через зливний самоплив 7 норій 5 або 6 для сирого зерна. Зерносушарка має випускні механізми безперервної дії. Вони здійснюють безперервний рух з амплітудою коливання 4...20 мм та періодичний рух з амплітудою 135 мм (через кожні 4 хв).

Зерно охолоджується в охолоджувальній камері 11 та двох вертикальних бункерах 12 з перфорованими стінками та конусними днищами, шлюзовими затворами та вентиляційним обладнанням.

Однією з причин неякісної роботи зерносушарки та її продуктивної роботи є нерівномірне надходження зерна до відповідного технологічного обладнання чи вузла зерносушарки або несвоєчасне надходження його на перший об'єкт (об'єкт) сушарки.

Велика кількість зернової маси, яка осідає в приймальному бункері норії або потім в бункері надсушки зерносушарки, призводить до нерівномірного накопичення маси та її налипання на стінки бункерів.

У сільськогосподарському виробництві існують різні засоби для видалення зерна з бункерів, а також для знищення зернової маси в бункерах.

Відомі пристрої, які перемішують і потім вивантажують зерно з бункера, мають середній приводний механізм, встановлений в бункері. Відомі й інші пристрої, які перемішують і вивантажують зерно з бункера, вони мають привід вертикальний і з'єднані з ним за допомогою стрижнів: це ударники радіально орієнтовані.

Іншим відомим пристроєм є механізм для переміщення та передачі зерна з бункера в приймальний пристрій, цей механізм має зовнішні приводи, встановлені поза бункером, ці пристрої мають електромагнітні поля, пов'язані з ними, які підключені до джерела живлення, яке є імпульсним.

На рис 3.3 зображено схему пристрою, який кріпиться до стінки бункера. [14].

Функція пристрою полягає в наступному: на зарядно-розрядний пристрій 12 подається змінний струм напругою 220 В, яке підвищується до 2-5 кВ, випрямляється і накопичується в конденсаторі. Для завершення процедури енергія, що зберігається в пристрої, вивільняється через розрядний механізм на котушку 1. Оскільки час вивільнення є відносно коротким (приблизно 0,0005 секунди), котушка виробляє електромагнітне поле значної інтенсивності, це поле повертається на поверхню матеріалу, в результаті чого ударник отримує друге поле. Під час взаємодії між двома полями бойок 2 витісняється з котушки 1. Бойок 2 рухається через фланець 7, який змушує стрижень 6 рухатися вперед, це через п'яту 8 загострює пластину 10. Таким чином, основна маса частина зерна зісковзує з лотка та стінки.

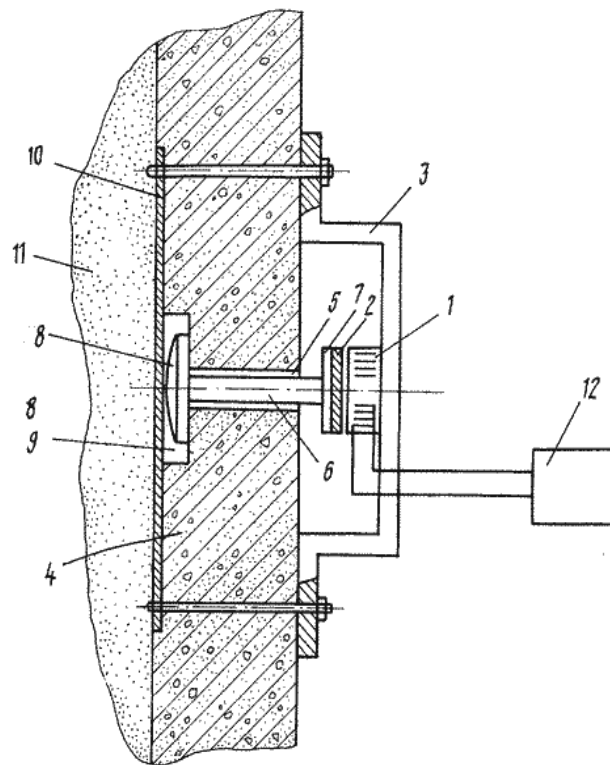


Рисунок 3.3 - Пристрій для переміщення зерна з бункера в силос:

1- електромагнітна котушка, 2- бойок, 3- кронштейн, 4- стінка бункера, 5- отвір, 6- рухомий стрижень, 7- фланець, 8- п'ята, 9- виїмка, 10 - пластина еластична, 11- зернова маса, 12- зарядно-розвантажувальний пристрій.

В результаті процес перемішування і вивантаження зерна з бункера здійснюється за рахунок кріплення пристрою до стінки бункера, що створює отвір, штока з заслінкою, яка кріпиться до шайби, і підшипника на іншому кінці. разом із пластиною з еластичного матеріалу, яка з'єднана з внутрішньою поверхнею бункера і закриває отвір.

Вивчивши причини неякісної, невдалої роботи сушарки СЗШ-16 внаслідок несвоєчасної подачі зерна на відповідне технологічне обладнання чи агрегат у сушарку, нерівномірного розподілу від одного до іншого (наступних) об'єктів завдання, ми виявили показники, які описують сипкість пшениці, у цьому випадку це сушарка.

Потік зерна визначається максимальним дотичним напруженням  $\tau$ , внутрішнім кутом повороту  $\varphi$  і початковою силою  $\tau_0$ .

На основі експериментів, які були проведені для визначення максимального дотичного та нормального напружень, а також коефіцієнта внутрішнього тертя  $f$  та початкового напруження в напрямку зсуву  $\tau_0$ , використано формули для розрахунку цих величин [12].

Результати дослідження як середніх значень внутрішніх кутів тертя  $\varphi$  та початкового напруження зерен задокументовано в табл.3.1.

Таблиця 3.1 - Результати досліджень у вигляді середнього значення кутів внутрішнього тертя  $\varphi$  та початкової сили, необхідної для зсуву зерен пшениці.

Параметр	Вологість зерен пшениці $W$ , %			
	9,8	12,9	17,1	20,8
Початкове зусилля зсуву $\tau_0$ , кПа	1,16	0,81	0,56	0,54
Кут внутрішнього тертя $\varphi$	11,4	5,9	4,6	4,2

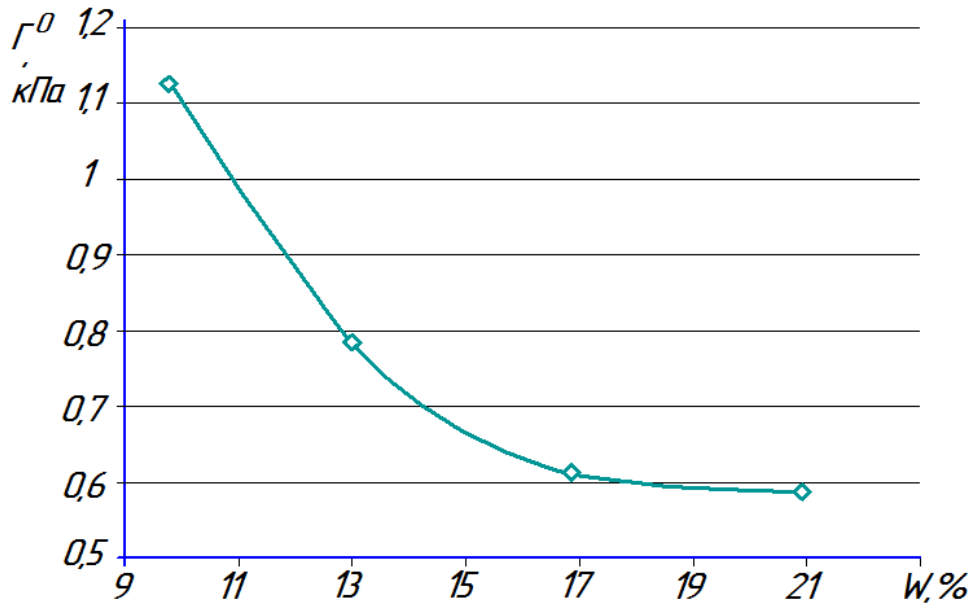


Рисунок 3.4 - Залежність зміни початкового зусилля зсуву  $\tau_0$  зерен пшениці від їх вологості  $W$ , %

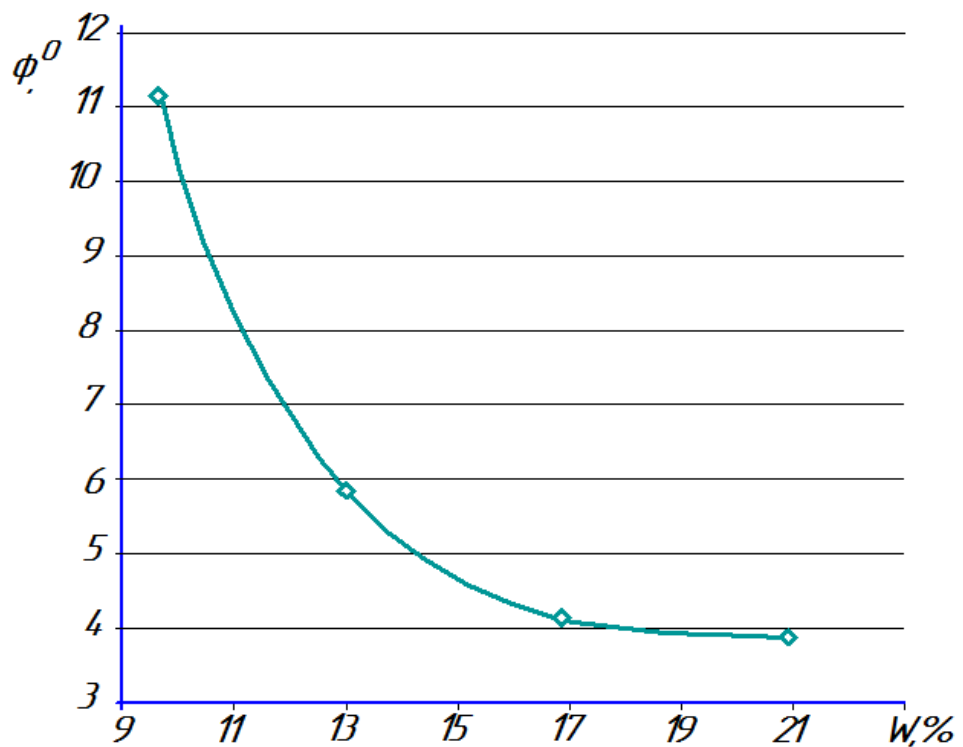


Рисунок 3.5. Залежність зміни кута внутрішнього тертя  $\varphi$  зерен пшениці від їх вологості  $W$ , %.

З отриманих експериментальних кривих видно, що вологість зерен пшениці суттєво впливає на початкову величину сили та кут внутрішнього тертя.

Експериментальні тенденції зменшуються, що означає, що ці показники зменшуються зі збільшенням вмісту вологи в зерні.

Розраховуємо також пористість і щільність зерна пшениці за їх індексом. Ідентифікація цих показників дозволить нам оцінити фізико-хімічні властивості матеріалу, його зберігання в контейнерах, бункерах і місткість завантажувальних пристроїв для зерна.

Середні концентрації пористості, насипної маси та щільності зерен пшениці, задокументовані в досліді і наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Наведено середні значення щільності, пористості та об'єму зерна пшениці у масовому перерахунку.

Показник	Вологість зерен пшениці $W$ , %			
	9,8	12,9	17,1	20,8
Щільність $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,21	1,20	1,19	1,18
Пористість $\varepsilon$	0,81	0,82	0,83	0,84
Об'ємна маса $\gamma_o$ , г/см <sup>3</sup>	0,76	0,73	0,69	0,66

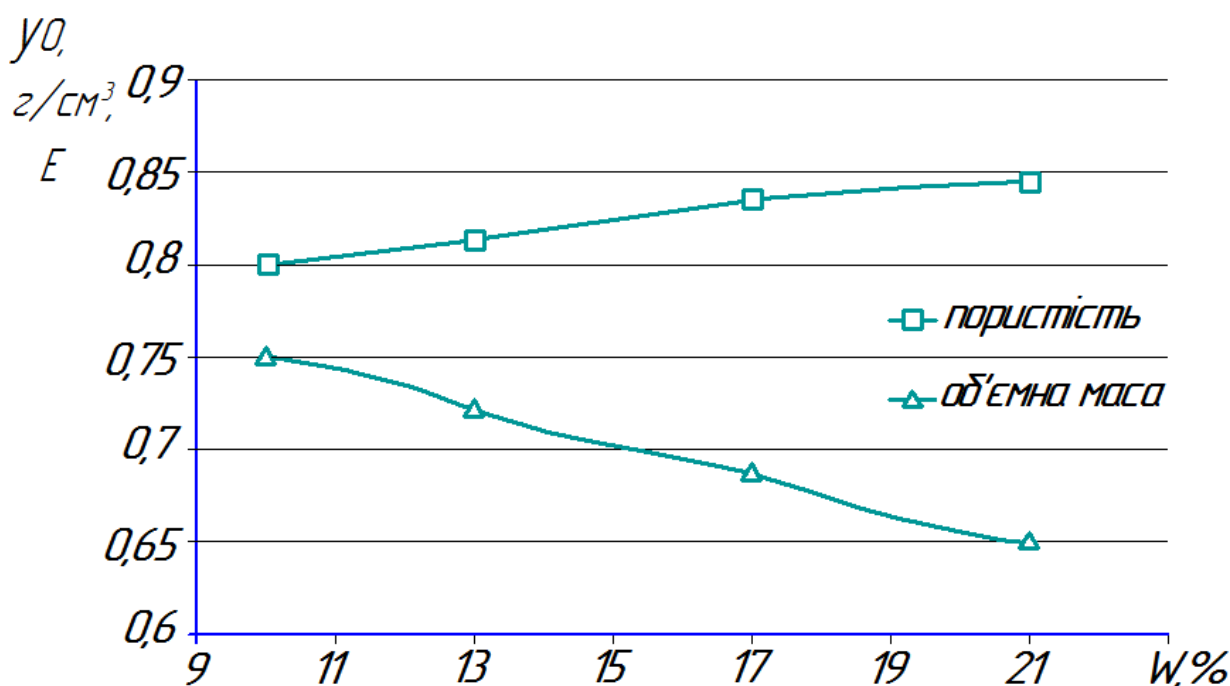


Рисунок 3.6 - Залежність зміни пористості  $\varepsilon$ , та об'ємної маси  $\gamma_o$  зерен пшениці від їх вологості  $W$ , %.

Аналіз результатів експерименту показує, що зі збільшенням вологості матеріалу зменшується об'єм і збільшується пористість. Це пояснюється тим, що за рахунок підвищення вологості зерна збільшуються в розмірах і стають більш компактними, в результаті чого зменшується обсяг їх вкладення в бункер.

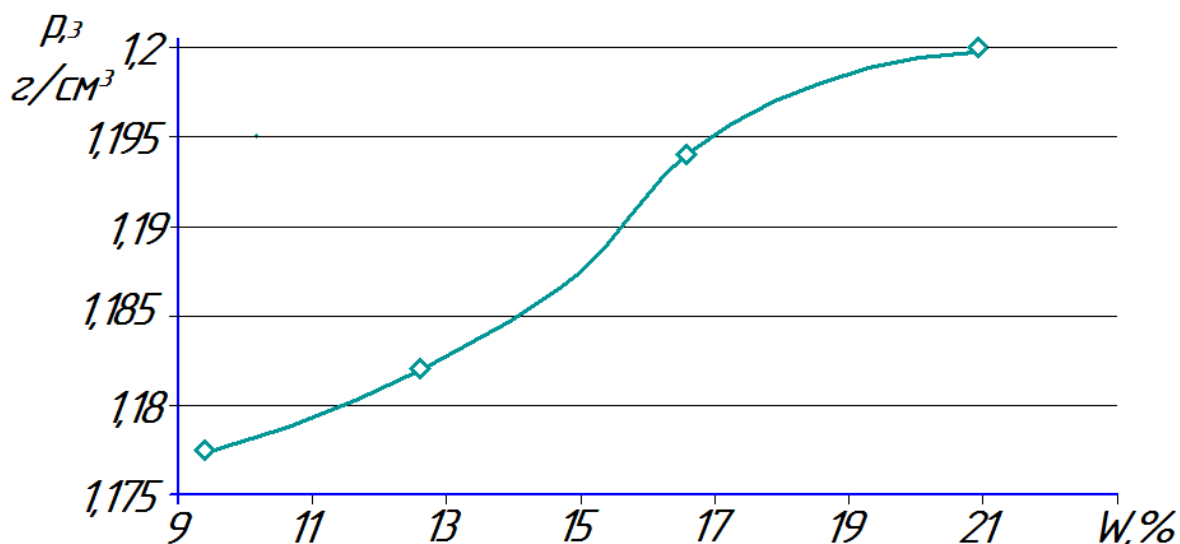


Рисунок 3.7 - Залежність зміни щільності  $\rho$  зерен пшениці від їх вологості  $W$ , %.

Збільшення об'єму зерен при збільшенні їх вологості, ймовірно, зумовлене зміною складу та заповненням проміжків між зернами, що призводить до їх групування та прикріплення до стінок бункерів.

Також розраховуємо градус ухилу природного схилу. Стандартний кут надає загальне розуміння руху сипучого вмісту. При переробці пшениці враховується кут природного укусу, утвореного засипкою. Вони враховуються при проектуванні рефугіумів та ємності сушарки для зерна. Технологічність виробу визначається ступенем гостроти природного ухилу. Маючи кут напрямку природного схилу, можна завчасно передбачити ймовірність засмічення, зависання матеріалу.

Середні значення отриманих результатів досліджень природних кутів схилу наведені в таблиці 3.3.



Таблиця 3.3 - Середні значення кутів природного відкосу

Вологість зерен $W$ , %	$\alpha_{нас.}^{\circ}$	$\alpha_{обв.}^{\circ}$
12,9	30,2	33,3
17,1	31,4	38,8
20,8	32,4	42,8

Для аналізу впливу вологості зерен на зміну кута природного відкосу побудували графічну залежність (рис. 3.8).

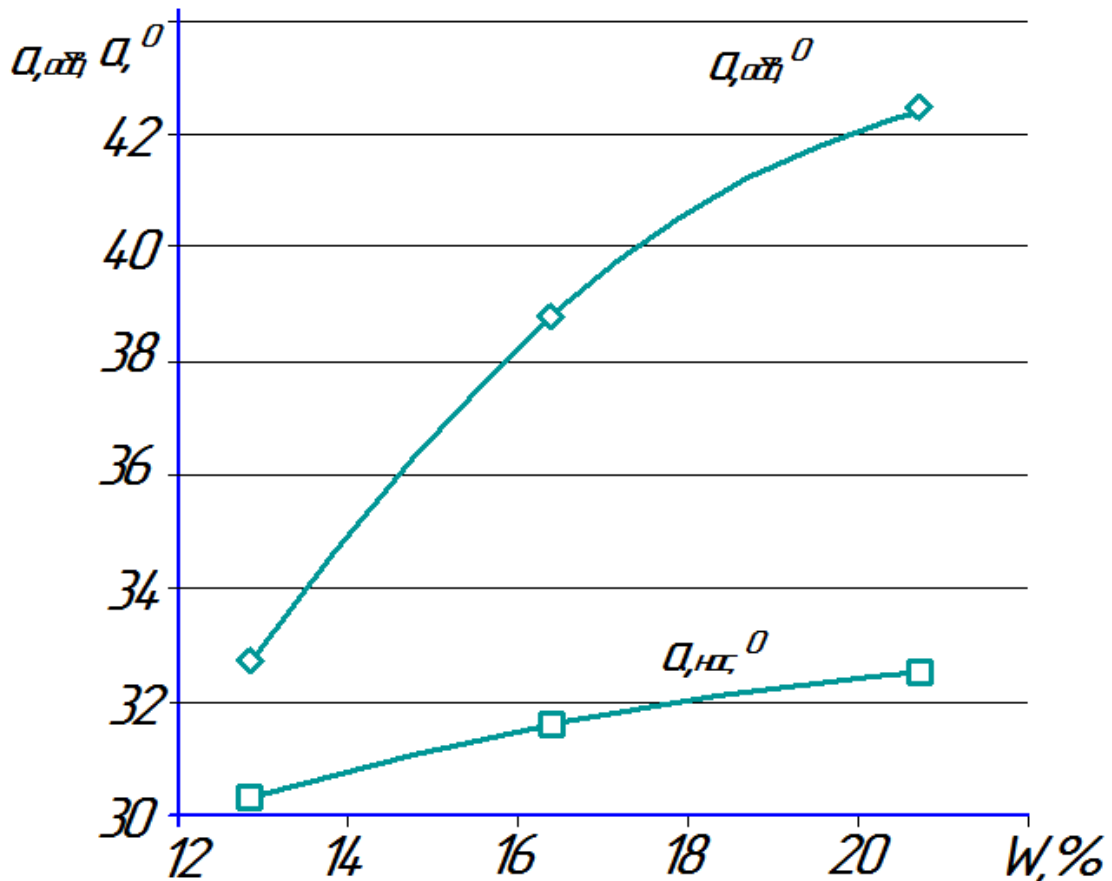


Рисунок 3.8 - Графічна залежність впливу вологості зерен  $W$  на зміну кутів природного відкосу, утвореного насипанням  $\alpha_{нас.}^{\circ}$  та обваленням  $\alpha_{обв.}^{\circ}$ .

Аналіз результатів експерименту показує, що природний кут відкосу зерна пшениці збільшується зі збільшенням вологості матеріалу. Це відбувається через підвищення вологості, зменшується рухливість матеріалу, що призводить до збільшення природного кута відкосу.

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ

### 4.1. Аналіз стану охорони праці на підприємстві

Охорона праці – це система заходів, спрямованих на створення безпечних і здорових умов праці. У процесі трудової діяльності людина за допомогою певних знарядь (машин, інструментів, пристроїв) діє на предмет праці в умовах існуючого середовища [14].

Залежно від характеру праці на людину можуть впливати різні середовища: механічні, хімічні, теплові, електричні, електромагнітні, радіаційні, біологічні та інші.

Організм людини здатний переносити без наслідків такі дії лише якщо вони не перевищують певних рівнів та тривалості.

За межами цих рівнів і тривалості виникає пошкодження організму, яке при досягненні певного ступеня кваліфікується як нещасний випадок, травма. Безпосереднім джерелом таких пошкоджень може бути будь-який з компонентів праці.

Будь-який шкідливий або небезпечний виробничий фактор може діяти на людину при певних умовах. Кожен небезпечний виробничий фактор незалежно від виду має певну зону своєї дії, яка може бути фіксованою або змінною.

Кожну дію, внаслідок якої людина потрапляє до небезпечної зони, позначимо як небезпечну. Вони виникають внаслідок порушення регламентованого режиму роботи обладнання, нормативних вимог охорони праці, тощо.

Недоліки технологічного обладнання, низький рівень організації виробництва, низький професійний рівень працюючих визначають небезпечні умови.

Посилені вимоги повинні ставитися до вентиляції. Специфіка виробництва може створити наявність в повітрі великої кількості домішок, що шкідливо відбивається на здоров'ї людей, які обслуговують виробництво.

На підприємстві має діяти власний медпункт і робітники у встановлений термін в обов'язковому порядку повинні проходити медогляд.

Високі вимоги ставляться до утилізації відходів виробництва, які можуть нанести велику шкоду довкіллю і створити небезпеку для життя людини. Всі підрозділи та об'єкти підприємства обладнані заземленням, величина якого розрахована згідно з ДСТУ [14].

Корпуси електричних апаратів в обов'язковому порядку приєднуються до заземлення, що унеможлиблює потрапляння обслуговуючого персоналу під напругу при коротких замиканнях.

Виробничі приміщення та територія розподільчого пристрою обладнані пристроями роти грозового захисту, які надійно захищають і обслуговуючий персонал під час розряду блискавки.

Всі технологічні і технічні рішення, які приймаються при розробці електропостачання комплексу спрямовані на підвищення надійності його живлення, створення безпечних умов роботи для обслуговуючого персоналу.

Одним з підпунктів (варіанту) рекомендацій щодо покращення стану охорони праці може бути розробка чи удосконалення окремих завдань чи функцій системи управління охороною праці у галузі, районі/області, господарстві, підрозділі тощо [14].

Також, важливе місце у покращанні стану охорони належить забезпеченні трудової дисципліни.

У комплекс санітарно-гігієнічних факторів входять: освітлення робочих місць, рівень шуму, вібрація, наявність шкідливих речовин тощо.

Відповідно до Закону України “Про охорону праці” за безпосередню організацію і проведення заходів з охорони праці відповідають керівники підприємства та інженер з охорони праці, а також адміністративно-технічний персонал на виробничих підрозділах, цехах, тощо. В відповідальність за організацію охорони праці несе керівник або інженер з техніки безпеки.

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин і механізмів, санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону [14].

Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилась виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для людей, які його оточують і навколишнього середовища.

На керівника або уповноважений ним орган накладається також систематичне проведення інструктажу працівників з охорони праці.

Розрізняють вступний, первинний на робочому місці, повторний і неплановий інструктаж.

Вступний інструктаж з техніки безпеки проводять при прийомі на роботу працівників. Він проводиться керівником виробничого підрозділу.

Про проведення інструктажу роблять запис в журналі реєстрації інструктажів з техніки безпеки.

Показник тяжкості травм характеризує кількість днів тимчасової непрацездатності, що припадає на одного потерпілого.

Аналіз виробничого травматизму показує, що майже всі нещасні випадки відбуваються внаслідок порушення правил та інструкцій з техніки безпеки.

#### 4.2. Фінансування заходів з охорони праці

Згідно чинного законодавства фінансування заходів з охорони праці здійснюється із фонду охорони праці. Кошти, виділені на охорону праці, мають цільове призначення і їх заборонено використовувати в інших цілях [7].

Витрати коштів проводяться у таких напрямках:

- закупівлю засобів індивідуального захисту;
- придбання спецодягу;
- витрати на спеціальні потреби;
- покращення санітарно-побутового стану;
- навчання з питань охорони праці;
- придбання спецхарчування.

Створення оптимальних умов праці є складною задачею, вирішити яку можна наступними заходами [14]:

- вчасно провести паспортизацію умов праці на робочих місцях і до встановленого терміну заповнити книгу санітарно-технічного стану. Скласти специфікацію на устаткування і матеріали, які необхідні для виконання намічених заходів і направити пропозиції у відповідні органи для виділення коштів;

- працівникам своєчасно видавати спеціальний одяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту;

- вчасно провести аналіз виробничого травматизму і професійної захворюваності, підвести підсумки виконання комплексного плану покращення умов охорони праці;

У результаті реалізації заходів з охорони праці створюється певний соціальний і економічний ефект, який виражається з одного боку підвищенням продуктивності праці, збільшення обсягу випуску продукції за рахунок повного використання номінального фонду робочого часу і основних виробничих фондів; з іншого – зниженням матеріальних затрат внаслідок травматизму і захворювань за рахунок зниження оплати листків непрацездатності.

#### 4.3 Аналіз умов праці, побуту і профілактики травматизму

У процесі виробничої трудової діяльності на працівників можуть впливати певні небезпечні фактори, а саме: механічні, хімічні, біологічні і психофізичні.

Аналізуючи умови праці необхідно усунути такі недоліки, а саме:

- низький рівень механізації на окремих ділянках;
- підвищену вологість;
- відсутність місцевої витяжної вентиляції біля заточних верстатів і на місцях зварювальника;

- недостатню забезпеченість працівників спецодягом і засобами захисту.

Поряд із існуючими недоліками умов праці необхідно відмітити, що при усуненні вище наведених чинників, умови праці можна визнати добрими.

Побутові умови відповідають вимогам охорони праці. На підприємстві є санітарно-побутова кімната, яка обладнана всім необхідним, для створення побутових умов.

Для зниження виробничого травматизму за останні роки на підприємстві було підвищено рівень проведення таких заходів:

- проведення своєчасних інструктажів з питань охорони праці;
- навчання та перевірка знань з охорони праці працівників;
- забезпечення засобами індивідуального захисту;
- проведення дня охорони праці ;
- чітке дотримання і виконання вимог інструкції з охорони праці.

#### 4.4. Розробка заходів щодо покращення стану охорони праці

Основна мета охорони праці – попередження виробничого травматизму та професійних захворювань. Основними організаційними аспектами цієї мети є [14]:

- створення відповідних служб з охорони праці і забезпечення їх функціонування;
- розроблення і реалізація комплексних заходів щодо охорони праці, впровадження прогресивних технологій;
- усунення причин, що приводять до нещасних випадків, професійних захворювань і виконання профілактичних заходів;
- дослідження умов праці, атестація робочих місць та їх відповідність нормативним актам;
- розробка та затвердження положень, інструкцій та інших нормативних документів про охорону праці;

- постійний контроль за умовами проходження виробничого процесу та дотримання правил експлуатації машин, механізмів, пристроїв тощо.

Організація охорони праці здійснюється у відповідності із ДСТУ 12.03.004-96, а відповідальність за її організацію покладено на керівника підприємства.

#### 4.5. Заходи техніки безпеки і виробничої санітарії під час сушіння зерна

Правила техніки безпеки і виробничої санітарії наказують огорожувати всі обертові частини обладнання (вали, шківни, зубчасті передачі). Заборонено змащувати та ремонтувати рухомі частини на ходу, одягати, скидати та переводити привідні паси на ходу без відповідних пристосувань. Якщо огорожі відсутні або несправні, зерносушарку заборонено пускати в роботу.

Обслуговувати машини і механізми треба у комбінезонах, беретах, шлемах, тому що волосся та кінці одягу можуть бути захоплені і намотані обертовими частинами. В приміщенні зерносушарки і топки створюють потрібні санітарно-гігієнічні умови, встановлюють обладнання. Недопустимо проникнення в приміщення агенту сушіння, який може утримувати окисел вуглецю (чадний газ).

Перед пуском конвеєрів та інших машин з рухливими частинами попередньо дають попереджувальний умовний сигнал. Пуск і зупинку обладнання передбачають як з пульту управління, так і з місць обслуговування. Для запобігання нещасних випадків від враження струмом слідкують за тим, щоби електромережа та пускові пристосування були у повній справності.

Електродвигуни, світильники, електромережі, вкладені в трубах, щільно заземлюють. Електрообладнання, мережі вторинної комутації, схеми диспетчеризації, сигналізації і автоматичного контролю сушіння обслуговує

електрик не нижче IV розряду. Для правильного та безпечного обслуговування обладнання добре освітлюють робочі місця і приміщення зерносушарки і топки [14]

При загоранні зерна в камері нагрівання рециркуляційної зерносушарки вимикають топку, зупиняють вентилятори камера нагрівання, шахт охолодження і, збільшивши подавання сирого зерна, ліквідують загорання. Перед наступним пуском зерносушарки вияснюють причини загорання та усувають їх. Контроль температури агента сушіння після камери нагрівання – важливі заходи при експлуатації рециркуляційних зерносушарок з протитоковою камерою нагрівання. Підвищення температури до 100°С супроводжується попереджувальною звуковою сигналізацією, а до 120°С – відключення топки [14].

#### 4.6. Вимоги безпеки праці під час роботи зерносушарки

1. Перед пуском в роботу зерносушарки подайте попереджувальний сигнал [11].

2. У початковий момент пуску сушарок, що працюють на рідкому паливі, продуйте в топку повітря і стежте за тим, щоб не було передчасної подачі палива до запалювання свічок , інакше може статися вибух . Використання факела для розпалювання топки не допускається.

3. Для розпалювання топок зерносушарок, що працюють на твердому паливі , що не застосовуйте легкозаймисті рідини. Запас твердого палива у приміщенні сушильного пункту не повинен перевищувати добової потреби .

4. Не залишайте без нагляду працююче обладнання зерносушильного пункту.

5. Під час роботи сушарки здійснюйте контроль за температурою зерна шляхом відбору проб через кожні дві години. При нагріванні зерна вище граничних значень температури знизьте температуру теплоносія.

6. Постійно стежте за станом паливо-проводів , не допускайте підтікання палива.



7. При зриві факела в топці негайно припиніть подачу палива, усуньте несправність і після продувки топки повітрям з протягом 10-15 хв приступіть до повторного розпалювання .

8. Ремонт зерносушарок проводите тільки після їх повної зупинки і охолодження нагрітих частин до температури, що не перевищує 45 °С.

9. Під час знаходження робітника в зерносушильному апараті або в нижньому бункері щільно закрийте засувки для впускання і випуску зерна.

10. Для виключення випадкового відкривання засувок або пуску вентилятора на пускових пристроях електродвигунів і на засувках вивісіть попереджувальні написи "Не відкривати , працюють люди ", "Не включати, сушильному апараті працюють люди " .

11. При обслуговуванні топки, що працює на твердому паливі, для видалення шлаку з колосникових ґрат користуйтеся різакми та іншими пристосуваннями, що забезпечують безпеку цих робіт. Шлаки вигрібайте в металевий ящик з кришкою і після охолодження вивозите з приміщення.

12. При обслуговуванні топки працюйте в запобіжних окулярах і рукавицях.

13. При технічному обслуговуванні зерносушарок усуньте тріщини і нещільності , щоб виключити можливість проникнення топкових газів у виробничі приміщення.

#### 4.7. Пожежна безпека

Правовою основою діяльності в галузі пожежної безпеки є Конституція, Закон України «Про пожежну безпеку », та інші закони України, Постанови Верховної Ради України, укази та розпорядження Президента України, рішення органів державної виконавчої влади, місцевого та регіонального самоврядування, прийняті в межах їх компетенції. Забезпечуючи пожежну безпеку слід також керуватись Правилами пожежної безпеки в Україні, стандартами, будівельними нормами, Правилами

улаштування електроустановок, нормами технологічного проектування та іншими нормативними актами, виходячи із сфери їх дій, які регламентують вимоги пожежної безпеки [14].

Пожежа – це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі та створює загрозу життю і здоров'ю людей, навколишньому середовищу, призводить до матеріальних збитків.

Пожежна небезпека – можливість виникнення та (або) розвитку пожежі в будь-якій речовині, процесі, стані. Слід зазначити, що пожеж безпечних не буває.

Для успішного проведення протипожежної профілактики на підприємстві важливо знати основні причини пожеж. На основі статистичних даних можна зробити висновок, що основними причинами пожеж на виробництві є [5]:

- необережне поводження з вогнем;
- незадовільний стан електротехнічних пристроїв та порушення правил їх монтажу та експлуатації;
- порушення режимів технологічних процесів;
- несправність опалювальних приладів та порушення правил їх експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Основними причинами пожеж на підприємствах є:

- застосування відкритого вогню в різних місцях, виникнення іскор механічного і електричного походження;
- виникнення вогню в місцях короткого замикання електричних провідників;
- поява вогню від механічного перегрівання оброблювальних матеріалів;
- джерела вогню, що виникають внаслідок вибухів та інші.

Основними правилами поведінки людини при пожежах є:

- остерігатися високої температури, задимленості і загазованості, вибухів, падіння дерев і будівель, провалів у прогорілий ґрунт;
- небезпечно входити в зону задимлення, якщо видимість менше 10 м;
- в дуже задимлених місцях необхідно плазувати, оскільки внизу менша задимленість;
- для захисту від чадного газу необхідно дихати через вологу тканину;
- якщо на людині загорівся одяг, треба лягти на землю та збити полум'я, бігти не можна ні в якому разі, оскільки це ще більше роздуває полум'я;
- виходити із зони пожежі треба проти вітру, тобто в тому напрямку, звідки дує вітер.

При проектуванні у будівництві промислових підприємств передбачаються заходи, які запобігають поширенню вогню шляхом [14]:

- поділу будівлі протипожежними перекриттями на пожежні відсіки;
- поділу будівлі протипожежними перегородками на секції;
- влаштування протипожежних перешкод для обмеження поширення вогню по конструкціях, по горючих матеріалах (гребені, бортики, козирки, пояси);
- влаштування протипожежних дверей і воріт;
- влаштування протипожежних розривів між будівлями.

#### 4.8. Розробка заходів щодо захисту цивільного населення

Одним з найважливіших завдань держави є забезпечення захисту населення і територій у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій.

Актуальність проблеми забезпечення природно-технічної безпеки населення і територій зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіями, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру неупинно зростає [14].

Забезпечення захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань не лише підприємства, але й цілої держави.

Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Захист населення є системою загальнодержавних заходів, які реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, виконавчими органами влад, органами управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення, підпорядкованими їм силами та підприємств, що забезпечують виконання організаційних, інженерно-технічних, санітарно-гігієнічних, протиепідемічних та інших заходів у сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Відповідно до характеру подій бувають різні види надзвичайних ситуацій [14]:

- надзвичайні ситуації техногенного характеру: транспортні аварії(катастрофи), пожежі, неспровоковані вибухи чи їх загроза, аварії з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптове руйнування споруд та будівель, гідродинамічні аварії на греблях, дамбах;

- надзвичайні ситуації природного характеру: небезпечні геологічні, метеорологічні, гідрологічні явища, деградація ґрунтів чи надр, природні пожежі, зміна стану повітряного басейну, інфекційна захворюваність людей, сільськогосподарських тварин, масове ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміна стану водних ресурсів та біосфери.

- надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру: пов'язані з протиправними діями терористичного і антиконституційного спрямування; здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і утримання важливих об'єктів, ядерних установок, і матеріалів,

системи зв'язку та телекомунікацій), встановлення вибухових пристроїв у громадських місцях, виявлення застарілих боєприпасів;

- надзвичайні ситуації воєнного характеру пов'язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення внаслідок зруйнування атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відходів, транспортних та інженерних комунікацій.

Загрози життєво важливих інтересів громадян, держави, суспільства поділяються на зовнішні та внутрішні і виникають під час надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру та воєнних конфліктів. Зовнішні загрози безпосередньо пов'язані з безпекою життєдіяльності населення і держави у разі розв'язання сучасної війни або локальних збройних конфліктів, виникнення глобальних техногенних екологічних катастроф за межами України, які можуть спричинити негативний вплив на населення та територію держави. Внутрішні загрози пов'язані з надзвичайними ситуаціями техногенного і природного характеру або можуть бути спровоковані терористичними діями.

Основними завданнями захисту населення і території під час надзвичайних ситуацій є [14]:

- розроблення і реалізація нормативно-правових актів, додержання державних технічних норм та стандартів з питань забезпечення захисту;

- населення і території від наслідків надзвичайних ситуацій; забезпечення готовності органів управління, сил і засобів до дій, призначених для запобігання надзвичайних ситуацій та реагування на них;

- розроблення та забезпечення заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;

- збирання та аналітичне опрацювання інформації про надзвичайні ситуації;

- здійснення державної експертизи, нагляду і контролю в галузі захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій;
- організація захисту населення (персоналу) та надання безкоштовної медичної допомоги;
- здійснення заходів щодо соціального захисту постраждалого населення;
- навчання та тренування населення способів захисту в разі виникнення надзвичайних ситуацій;
- міжнародне співробітництво у галузі захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій.

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має проводитися спеціальний комплекс заходів.

Оповіщення та інформування, яке досягається завчасним створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної, територіальних та об'єктових систем оповіщення населення.

Укриття в захисних спорудах, якому підлягає усе населення відповідно до приналежності, досягається створенням фонду захисних споруд.

Евакуаційні заходи, які проводяться в містах та інших населених пунктах, які мають об'єкти підвищеної небезпеки, а також у воєнний час, основним способом захисту населення є евакуація і розміщення його у позаміській зоні.

Інженерний захист проводиться з метою виконання вимог ІТЗ із питань забудови міст, розміщення ПНО, будівлі будинків, інженерних споруд та інше [14].

Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій.

Біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу

адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних і спеціальних протиепідемічних та медичних заходів.

#### 4.9 Основні вимоги до сировини та до вихідної продукції

Організація виробництва в сучасних умовах неможлива без урахування екологічних проблем.

Усі питання організації виробництва повинні вирішуватися у взаємодії з основними вимогами природовикористання. Не менш гостро стоїть перед агропромисловим комплексом проблема зниження забруднення атмосферного повітря.

Причина – низька оснащеність підприємств по переробці сільськогосподарської продукції пилегазоочисним обладнанням, відсталі технології, застаріле обладнання. Відповідно до прийнятих стандартів на підприємствах по переробці сільськогосподарської продукції повинні дотримуватися правил по охороні навколишнього середовища.

Охарактеризуємо район розміщення підприємства по рівню забрудненості атмосферного повітря. Перелік забруднюючих речовин, що контролюються, включає: пил зерновий, сажа, сірковий ангідрид, азоту двоокис, окис вуглецю, вуглеводень.

Контроль за викидами шкідливих речовин в атмосферу здійснюється відповідно з вимогами “Типової інструкції по організації системи контролю виробничих викидів в атмосферу в галузях промисловості” санепідемстанцією і інспекцією Управління охорони навколишнього природного середовища і ядерної безпеки України.

Головний метод контролю – метод зовнішньої фільтрації (гравіметричної). Відбор проб на вміст пилу 1 раз на рік відповідно плану-графіку [19].

Максимальна приземна концентрація зернового пилу в районі проживання людей складає 0,7 ПДК. Фонова концентрація пилу – 0,4 мг/м<sup>3</sup>.

Характеристика джерел викидів, що забруднюють атмосферу приведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Характеристика джерел викидів, що забруднюють атмосферу

№п/п	Найменування речовини	ПДК мг/м <sup>3</sup>	Клас шкідливості
1	2	3	4
1	Пил зерновий	0,2	3
2	Диоксид азоту	0,085	2
3	Сажа	0,15	4
4	Сірковий ангидрид	0,5	4
5	Вуглецю оксид	5,0	4
6	Окис азоту	0,4	3
7	Вуглеводні	1,0	3

Одним з головних джерел забруднення повітря є сміття та пил, які виділяються з різноманітних нещільностей обладнання. Для запобігання попадання пилу та сміття в навколишнє середовище цеху всі з'єднання повинні бути загерметизовані. Норія повинна бути оснащена щільними, не пропускаючи ми пил, заслінками. При сепарації зерна на сепараторі пил з лузгою повинні повністю відсмоктуватися з сит за допомогою потужного вентилятора. Для зменшення викидів пилу в навколишнє середовище застосовують циклони-пилевловлювачі. Ці циклони повинні через деякий час очищуватися. Використання пиловідокремлювачів дасть можливість зменшити викид забруднюючих речовин в атмосферу.

Валовий викид зернового пилу в атмосферу від організованих джерел складає 2,1086 т/рік [19].

Пристрій для відвантаження відходів на автотранспорт насипом з бункеру здійснює відвантаження 6 раз на добу по 0,5 тонни. Всього за добу відпускає 3 тонни відходів. Кожний відпуск на протязі 30 хвилин. Продуктивність відвантажувальної точки – 1т/год.



Секундний викид розраховується за формулою:[19]

$$M_c = (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot B \cdot G \cdot 10^6) / 3600 \quad (4.1)$$

де  $K_1$  - вагова доля пилової фракції в відходах;

$K_2$  – доля пилу від всієї маси, що переходить в аерозоль;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує місцеві метеороумови;

$K_4$  – коефіцієнт, що враховує ступінь захищеності вузла від зовнішнього впливу;

$K_5$  – коефіцієнт, що враховує вологість відходів, при  $W \geq 10\%$   $K_5 = 0,1$ ;

$K_7$  – коефіцієнт, що враховує крупність відходів;

$B$  – коефіцієнт, що враховує висоту пересипання, при  $H=1,5$ м,  $B=0,6$ ;

$G$  – продуктивність пристрою.

$$M_c = (0,14 \cdot 0,02 \cdot 1,2 \cdot 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 1,0 \cdot 10^6) / 3600 = 0,0099 \text{ т/с.}$$

Річний викид становитиме [19]:

$$M_p = 900 \cdot 3600 \cdot M_c \cdot 10^6 \quad (4.2)$$

$$M_p = 900 \cdot 3600 \cdot 0,0099 \cdot 10^6 = 0,0288 \text{ т/рік.}$$

#### 4.10. Регулювання викидів в період несприятливих метеорологічних умов

Метеорологічні умови значно впливають на вміст забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери. При однаковій інтенсивності викидів вміст високодисперсного пилу та газів залежить від стійкості приземного шару атмосфери, швидкості та напрямлення повітря.

В залежності від рівня забруднення атмосфери, який ми передбачаємо, складається три ступені попередження на яких відповідають три режими роботи підприємства в період НМУ. Ці заходи призведуть до зниження викидів забруднених речовин на 17-31 % [19].

В період НМУ. передбачається можливість повної зупинки роботи відпускних відходів, бо ємності розраховано на 2 добовий запас, що знизить викид на 8%. Передбачається можливість зупинки обладнання зерноочисного відділення, бо оперативні бункери забезпечують роботу відділення на протязі 16 годин, що знижує викид на 60%. Всього викид зменшується на 68% [19].

В зв'язку з зупинкою зерноочисного відділення відпадає необхідність в парі на технологічні потреби, що знижує викид забруднюючих речовин в атмосферу на 70%.

При настанні несприятливих умов третього режиму передбачається виконання всіх заходів для першого та другого режимів, а також припинення роботи зерносушарок, що призведе до зниження викидів у цілому по підприємству на 50%.

## 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ

У відповідності з методикою (основні положення) визначення економічної ефективності використання в народному господарстві нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій економічну ефективність нової техніки виявляють тільки зрівнянням її показників з показниками що існує. Останнє слугує базою зрівняння. При визначенні річного економічного ефекту нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій базу зрівняння обирають в залежності від етапів і призначень здійснюваних розрахунків [10].

При формуванні планів конструкторських робіт, виборі оптимального варіанту нової зерносушарні за базу зрівняння приймають техніко-економічні показники кращої зерносушарки, наведені витрати по якій в розрахунку на планову тону просушеного зерна найменші.

При визначенні річного економічного ефекту в розрахунковому році за базу зрівняння приймають:

- при експлуатації нової техніки взамін аналогічної - техніко-економічні показники зерносушарки, яка замінюється на даному підприємстві;
- при використанні нової техніки на підприємстві, раніше її не експлуатували – техніко-економічні показники зерносушарки, що експлуатується на інших підприємствах

Щоб забезпечити порівнянність порівнюваних варіантів, витрати по базовій техніки приводять до умов підприємства, що втілює нову зерносушарку. Річна економічна ефективність  $E$  (р. на рік) від реконструкції діючої або втілення нової зерносушарки є [10].

$$E = [(C_1 + 0,15 K_1) - (C_2 + 0,15 K_2)] B, \quad (5.1)$$

де  $C_1$ ,  $C_2$  – відповідно собівартість сушки 1 пл. т зерна по порівнюваній (базовій) і впроваджуваним зерносушаркам, р./пл. т;  $K_1$ ,  $K_2$  – відповідно питомі капітальні вкладення в виробничі фонди на обладнання

підприємств зрівнюваній (базовій) і впроваджуваної установки р./пл. т, визначають із відношення балансової вартості будівельної частини і обладнання зрівнювальних зерносушарок до річного об'єму  $B$  (пл. т) сушки зерна впроваджуваною сушаркою; 0,15 – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень [10].

Строк окупності додаткових капіталовкладень на реконструкцію або впровадження нової зерносушарки визначають за формулою:

$$T = (B_2 - B_1) / E, \quad (5.2)$$

де  $B_1$ ,  $B_2$  відповідно балансова вартість порівнюваною (базовою) і впроваджуваною зерносушарок, р.

Тривалість річного робочого періоду зерносушарок складає: 615 год – при сушці лише зернових культур; 1230 год. – при сушці зернових і пізньостиглих культур (кукурудзи, рису, рицини, насіння соняшника) [10].

При визначенні собівартості сушки враховуємо наступні статі витрат (у розрахунку на сушку 1 пл. т зерна): основну заробітну плату обслуговуючого персоналу; додаткову заробітну платню в розмірі 20% від основної; відрахування на соціальне страхування (4,4% від основної); амортизаційні відрахування (11% від балансової вартості стаціонарної і 14,9% - пересувної зерносушарки); витрати на текучій ремонт обладнання зерносушарки (25% від суми амортизаційних відрахувань на хлібоприймальних підприємствах і 50% на промислових підприємствах); витрати на паливо (залежить від витрат і вартості конкретного виду палива) і електроенергію (при фактичній вартості на даному підприємству); інші витрати (по охороні праці, на спецодяг) у розмірі 5% від загальної заробітної плати (з врахуванням додаткової заробітної плати і відрахувань на соціальне страхування) [10].

Вартість додатково встановленого обладнання беруть з преїскуранта оптових цін на машини і обладнання для млинарсько-елеваторною промисловістю і запасних частин до них. Витрати на монтаж додаткового обладнання приймають у розмірі 10% від вартості. Вартість будівельних робіт визначають розрахунком по існуючим розцінкам.

До капіталовкладень, пов'язаних із створенням і впровадженням нових конструкцій відносять:

- витрати на проектування ;
- витрати підприємства на придбання, транспортування, монтаж, налагодження устаткування і систем;
- інші витрати (облаштування фундаментів, споруд, вартість компенсуючих пристроїв тощо).

Величину капіталовкладень і-того варіанту  $K_i$  можна визначити за формулою:

$$K_i = C_{oi} + K_{тр.i} + K_{мі} + K_{спор.i} + \frac{K_{осв.i}}{N_i} \quad (5.3)$$

де  $C_{oi}$  - витрати на придбання підприємством і-того устаткування, (грн);  
 $K_{тр.i}$ ,  $K_{мі}$  - витрати на транспортування, монтаж і наладку і-того устаткування, (грн);

$K_{спор.i}$  - інші витрати, пов'язані з облаштуванням фундаментів, мереж тощо (грн.);

$K_{осв.i}$  - витрати на підготовку, освоєння використання і-того устаткування, (грн);

$N_i$  – обсяг продукції в перші 2-3 роки після освоєння, (шт.).

$$K_1 = 339750 + 23700 + 12300 + 13700 + 52500 = 441950 \text{ грн.}$$

$$K_2 = 332300 + 23500 + 12100 + 13500 + 52700 = 434100 \text{ грн.}$$

Витрати на транспортування, монтаж і наладку ( $K_{тр.i}$ ,  $K_{мі}$ ) розраховуються за допомогою цін, прейскурантів, тарифів підприємств-перевізників та підприємств, які займаються монтажними і пусконаладжувальними роботами. Також можна застосувати метод укрупнених розрахунків і визначити ці витрати на рівні 10%-20% від  $C_{oi}$ .

Вартість будівельних робіт а також робіт з облаштування комунікацій визначають за методом укрупнених розрахунків. Рекомендовано приймати вартість облаштування 1 м<sup>3</sup> фундаменту для електрообладнання 1300 грн.; витрати на облаштування комунікацій рекомендовано визначити на рівні 10% від  $C_{oi}$  [10].

Варіант 1 – аналоги сушарки зерна.

Варіант 2 – вдосконалена шахтна сушарка зерна СЗШ - 16.

Результати розрахунків капітальних витрат доцільно подано у табл.5.1

Таблиця 5.1 - Капіталовкладення за варіантами, що порівнюються

№ п/п	Найменування витрат	Значення, грн.	
		1 варіант	2 варіант
1.	Витрати на придбання устаткування, $C_{oi}$	339750	332300
2.	Витрати на транспортування, $K_{тр.i}$	23700	23500
3.	Витрати на монтаж і наладку, $K_{мі}$	12300	12100
4.	Інші витрати, $K_{спор.i}$	13700	13500
5.	Витрати на підготовку і освоєння виробництва, $\frac{K_{осв.}}{N}$	52500	52700
6	Разом витрат, $K_i$	441950	434100
7	Разом витрат з урахуванням коефіцієнта еквівалентності, $a=0,85$	375657,5	368985

Визначення економічної ефективності нового устаткування передбачає встановлення величини витрат на експлуатацію цього устаткування. Експлуатаційні витрати  $C_i$  складаються з амортизаційних відрахувань, витрат на ремонт і обслуговування, витрати на електроенергію і розраховуються за формулою:

$$C_i = C_{ai} + C_{обсл.i} + C_{ei} \quad (5.4)$$

де  $C_{ai}$  - амортизаційні відрахування, грн;

$C_{обсл.i}$  - витрати на поточний ремонт і обслуговування, до яких входять річна вартість матеріалів, необхідних для ремонту і експлуатації, і заробітна плата ремонтного і обслуговуючого персоналу, грн;

$C_{ei}$  – вартість річних витрат активної і реактивної електроенергії, грн.

Загальні амортизаційні відрахування  $C_{ai}$  можна визначити за формулою [10]:

$$C_{ai} = \frac{H_{ai} \cdot K_i}{100} \quad (5.5)$$

в якій  $H_{ai}$  - річна норма амортизаційних відрахувань, (%).

$$C_{a1} = 15 \cdot 441950 / 100 = 66292,5 \text{ грн};$$

$$C_{a2} = 15 \cdot 434100 / 100 = 65115 \text{ грн};$$

Витрати на обслуговування обладнання можна визначити за формулою:

$$C_{обсл.i} = Ч_0 \cdot \Phi_{ср.рік} \cdot \frac{F_0}{F_g} \quad (5.6)$$

де  $Ч_0$  - кількість обслуговуючого персоналу, (осіб);

$\Phi_{ср.рік}$  - середньорічний фонд заробітної плати одного працівника, (грн./рік); для розрахунку береться середня по галузі.

$F_0$  - середній час роботи одного працівника по обслуговуванню устаткування, (годин);

$F_g$  - дійсний річний фонд часу одного працюючого, (годин); приймається в розмірі 1775 -1780 годин/рік;

$$C_{обсл.1} = 2 \cdot 240000 \cdot 7/1780 = 1\,887,64 \text{ грн};$$

$$C_{обсл.2} = 1 \cdot 240000 \cdot 7/1780 = 943,82 \text{ грн}.$$

Витрати на поточний ремонт (включаючи вартість матеріалів) можна прийняти в розмірі 15-20% від амортизаційних відрахувань  $C_{ai}$ .

Результати розрахунків щорічних експлуатаційних витрат подано в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Щорічні експлуатаційні витрати за варіантами, що порівнюються.

п/п	Найменування витрат	Сума, грн.	
		1 варіант	2 варіант
1.	Амортизаційні відрахування $C_{ai}$	66292,5	65115
2.	Витрати на поточний ремонт і обслуговування $C_{обсл.i}$	1 887,64	943,82
3.	Разом витрат, $C_i$	66292,5	66058,82
4.	Разом витрат з урахуванням коефіцієнта еквівалентності, $a=0,85$	56348,625	56149,997

Результати значень капітальних витрат і щорічних експлуатаційних витрат для кожного з варіантів, що порівнюються використовуються для визначення приведених витрат.

Приведені витрати розраховуються за формулою [10]:

$$V_i = E_n \cdot K_i + C_i \quad (5.7)$$

де  $V_i$  – приведені витрати  $i$ -того варіанту технічного рішення, грн/рік;

$K_i$  - капітальні витрати  $i$ -того варіанту, ( грн);

$C_i$  - щорічні експлуатаційні витрати (собівартість продукції)  $i$ -того варіанту, (грн /рік);

$E_n$ - нормативний коефіцієнт економічної ефективності, який визначає той мінімальний економічний ефект, який можна отримати, вкладаючи капітал у дану галузь економіки,  $E_n=0,2$ .

$$V_1 = 0,2 \cdot 441950 + 66292,5 = 154682,5 \text{ грн/рік};$$

$$V_2 = 0,2 \cdot 434100 + 66058,82 = 152878,82 \text{ грн/рік}.$$

Розрахунковий строк окупності додаткових капіталовкладень за рахунок економії на собівартості.

$$T_p = \left| \frac{K_1 - K_2}{C_1 - C_2} \right| \quad (5.8)$$



$K_2$  і  $K_1$  – капіталовкладення варіанту 1 і варіанту 2 відповідно;

$C_1$  і  $C_2$  - щорічні експлуатаційні витрати варіантів 1 і 2 відповідно.

$$T_p = 441950 - 434100 / 66292,5 - 66058,82 = 2,79 \text{ роки.}$$

Отримані результати заносимо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3. Звідні економічні показники за варіантами, що порівнюються

№ п/п	Найменування витрат	Одиниці виміру	Варіанти	
			1 варіант	2 варіант
1.	Капітальні витрати, К	грн	441950	434100
2.	Щорічні експлуатаційні витрати, С	грн/рік	66292,5	66058,82
3.	Приведені витрати, В	грн/рік	154682,5	152878,82
4.	Строк окупності додаткових капіталовкладень, $T_p$	років	-	2,79

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Для дослідження параметрів конструкції зерносушарки було проведено огляд різних конструкцій машин для сушіння зерна. Розглянуто конструкцію та принцип роботи зерносушарки СЗШ-16. Досліджено способи сушіння зерна. Проведено пошук літератури щодо обладнання, що використовується для сушіння зерна.

Окреслено порядок денний дослідження та методологію. Прийняті рішення обґрунтовані та підтверджені рисунками, таблицями, графіками та діаграмами.

Розглянуто першочергові питання охорони праці та безпеки під час надзвичайних ситуацій, охорони навколишнього середовища та внесено пропозиції щодо їх удосконалення.

Проведено економічні розрахунки ефективності прийнятих рішень.

Для посилення та енергозбереження процесу сушіння в зерносушарках обґрунтовано конструктивні параметри сушарки. Результати досліджень були використані для розробки способу сушіння та комплекту обладнання для переходу на цей спосіб, зроблено ряд удосконалень порівняно зі стандартними показниками продуктивності, пов'язаними з сушаркою:

1. Підвищення інтенсивності процесу сушіння і відповідне збільшення продуктивності зерна сушарки на 50-70% в процесі сушіння призводить до збільшення внутрішнього і зовнішнього вологообміну зерна, температура останнього залежить від його вологості. Це також сприяє більшому ступеню використання підведеного тепла для випаровування вологи із зерна, що зменшує кількість енергії, що витрачається.

2. Значне підвищення ефективності використання теплової енергії зерносушарки. Лише нещодавно нові температурні режими та перемикання від підвищеної до зниженої температури холодоагенту в зонах були замінені процесом контролю.

Спостерігалось зниження питомих витрат палива для сушіння на 15-25% (незалежно від складу зерна та атмосферних умов). При використанні інших тактик енергозбереження, в першу чергу відпрацьованих теплоносіїв, середня економія становить 35-40%.

3. Зниження питомої витрати електроенергії прямо пропорційно зростанню ефективності продуктивності зерносушарки, а при простих схемах вони ідентичні, оскільки немає додаткових витрат, пов'язаних із підвищенням ефективності.

4. Суттєве зниження трудомісткості супроводу та управління процесом сушіння, оскільки ручне регулювання здійснюється лише на вихід сухого зерна відповідно до заданого значення його вологості та температури.

6. У сушарці досягається поліпшення гігієнічних умов навколо сушарки, а також видалення з шахти більшої частини пилу та домішок.

7. За рахунок збільшення в 1,5-2 рази швидкості руху зерна в шахтах, підвищення стабільності роботи, рівномірності сушіння та охолодження зерна, протипожежної безпеки це підвищило продуктивність.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бабич А. О. Зернобобові культури / А. О. Бабич. – Киев : Урожай, 1987. – 378 с.
2. Бутко Д. А., Луценков В. Л., Лехман С. Д. Практикум з охорони праці /Д. А. Бутко, В. Л. Луценков, С. Д. Лехман. – К.: Урожай, 1995. – 144 с.
3. Герасимчук В. Г., Розенплентер А. Е., Кривда В. І. Економіка і організація виробництва.: Навч. посібник / В. Г. Герасимчук, А. Е. Розенплентер, В. І. Кривда.– К.: Політехніка, 2007р. – 312 с.
4. Дідух В. Ф. Підвищення ефективності сушіння сільськогосподарських матеріалів: монографія / В. Ф. Дідух . – Луцьк: ЛДТУ, 2002. – 165 с. 11.
5. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С.. Проектування та виробництво заготовок. Підручник для студентів машинобудівних спеціальностей ВНЗ. / Під редакцією Коренькова В.М. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014 – 353 с
6. Залога В.О. Пуховський Є.С., Малафєєв Ю.М. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування. Навчальний посібник для студентів ВНЗ машинобудівних спеціальностей / Частина I / Під ред. Коренькова В.М. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 286 с.
7. Жемела Г.П. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції: Підручник.-Ніжин, 1999.-384с
8. Жидецький В.Ц., Джигерей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Підручник. — Вид. 5-те доповнення. — Львів: Афіша, 2000. - 350 с.
9. Загальна технологія харчових виробництв у прикладах і задачах: Підручник. / Л.Л.Товажнянський, С.І.Бухкало, П.О.Капустенко, Є.І.Орлова – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 496 с.
10. Копець К. Є. Розробка та обґрунтування параметрів пристрою підготовки зерен сої до сушіння.: Дис. канд. наук: 05.05.11/ К. Є Копець. Луцьк .- 2016.- 189 с.
11. Марченко В. І. Сільськогосподарські машини :Підручник / В. І. Марченко — К.: Вища школа, 1999. — 344 с.

12. Маньківський А.Я., Скалецька Л.Ф., Подпратов Г.І., Сеньків А.М. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції.- К.: Урожай. 1999. - 378 с.

13. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов та ін.; За ред. І.С. Гулого. – Вінниця: Нова книга, 2001. –576 с.

14. Подпратов Г. І. Технологія обробки, переробки зерна та виготовлення хлібопекарської продукції. - К.: Вид-во МАУ, 2000.

15. Подпратов Г. І., Скалецька Л. Ф. Технологія виробництва борошна, крупи та олії. - К.: Вид-во НАУ, 2000.

16. Плахотін В.Я., Тюрікова І.С., Хомич Г.П. Теоретичні основи технологій харчових виробництв: Навч. посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 640 с.

17. Пуховський Є.С., Малафєєв Ю.М. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування. Навчальний посібник для студентів ВНЗ машинобудівних спеціальностей / Частина I / Під ред. Коренькова В.М. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 286 с.

18. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: Навч. посібн. / В.Г. Мирончук, Л.О.Орлов, А.І.Українець та ін. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 288 с.

19. Серіков Я. О. Безпека життєдіяльності – секьюритологія. Проблеми. Завдання. Шляхи вирішення : монографія : в 2-х. ч. / Я. О. Серіков, Л. Ф. Коженєвські. – Харків : ХНАМГ ; Краків : ЕАС, 2012. – Ч. 1. – 168с. Ч. 2. – 337 с.

20. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В.О. Залога, О.О. Залога, В.Д. Гончаров; за загальн. ред. В.О. Залоги. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 371 с.

21. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://trans-real.biz-gid.ua>.

22. Електроннийресурс. Режим доступу: [https:// youpat – international. com](https://youpat – international. com).

23. Електронний ресурс. Режим доступу: [https:// ukrpat . com.ua](https://ukrpat . com.ua).