

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка
до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»
бакалавр, магістр

на тему: «Підвищення ефективності процесу сушіння зерна кукурудзи
шляхом вдосконалення системи розподілу теплоносія»

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-
професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

назва ОПП

спеціальності 208 Агроінженерія
код та найменування спеціальності

ступеня вищої освіти «магістр» групи
Данелейко І.І.

Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти

Керівник: Дудник В.В.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Падалка В.В.
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 53 с., 20 рис., 3 табл., 3 додатки, 32 джерела.

Об'єкт дослідження - технологічний процес сушіння зерна кукурудзи в сушильній установці конвеєрного типу.

Мета роботи - підвищення ефективності процесу сушіння зерна кукурудзи шляхом вдосконалення системи розподілу теплоносія.

Методи досліджень - теоретичні дослідження виконувалися з використанням основних положень, законів і методів класичної механіки, математики та статистики. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах на основі загальноприйнятих методик. Розрахунки і обробка результатів експериментальних досліджень виконувалися з використанням ЕОМ та пакета прикладних програм.

Результати роботи полягають в розробленні конструкції установки для сушіння зерна кукурудзи з вдосконалення системи розподілу теплоносія, яка буде застосовуватися для післязбиральної обробки, що забезпечить оптимальний температурний режим і дозволить поліпшити збереження насіння, його кормові та харчові властивості.

Ступінь впровадження - за результатами досліджень дано рекомендації та запропоновано процес сушки зерна кукурудзи з вдосконаленою системою розподілу теплоносія.

Галузь застосування - сільськогосподарське виробництво.

Економічний ефект на 1 тону висушеного зерна кукурудзи склав 934,9 грн./т, річний економічний ефект 23372 грн. Термін окупності розробленої системи розподілу теплоносія не перевищує 0,32 року.

Ключові слова: КУКУРУДЗА, ТЕПЛОНОСІЙ, СУШИЛЬНА УСТАНОВКА, ТЕМПЕРАТУРА ТЕПЛОНОСІЯ, ВОЛОГІСТЬ ЗЕРНА, КУТ НАХИЛУ, ШВИДКІСТЬ ЗНЕВОДНЕННЯ, МАСА ЗЕРНА.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	6
1	СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
	1.1 Способи сушіння зерна	8
	1.2 Аналіз технологічного обладнання та конструкції сушарок	10
	1.3 Режими сушки зерна кукурудзи	19
2	МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
	2.1 Програма досліджень	22
	2.2 Обладнання та апаратура для досліджень	23
3	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	29
	3.1 Обґрунтування необхідності проведення досліджень	29
	3.2 Дослідження рівномірності розподілу теплоносія по вихідній перетину піддону	34
	3.3 Експериментальне дослідження процесу сушіння зерна кукурудзи при різній температурі теплоносія	35
4	РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК.....	44
	4.1 Екологічна експертиза.....	44
	4.2 Охорона праці	46
	4.2.1 Проблеми безпеки людини у виробничому середовищі	46
	4.2.2 Вимоги безпеки при роботі на сушильних машинах	47
	4.3 Розрахунок економічної ефективності впровадження результатів дослідження	49
	ВИСНОВКИ.....	53
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
	ДОДАТКИ.....	57

ВСТУП

Кукурудза - одна з найважливіших зернових культур. Вона широко використовується в якості продукту харчування і сировини в багатьох галузях промисловості, з її зеленої маси отримують високоякісний корм. Силос з кукурудзи має дієтичні властивості, добре перетравлюється і багатий каротином. Маточкові стовпчики качанів кукурудзи застосовують в медицині. З стебел, листя і качанів кукурудзи виробляють папір, лінолеум, віскозу, активоване вугілля, штучну пробку, пластмасу, анестезуючі засоби.

З зерна кукурудзи отримують борошно, крупу, пластівці, крохмаль, етиловий спирт, декстрин, глюкозу, цукор, патоку, мед, масло, вітамін Е, аскорбінову та глютамінову кислоти, а також виготовляють пиво, сиропи, консерви (цукрова кукурудза). Зерно кукурудзи - цінний компонент комбікормів для тварин і птиці.

Внаслідок різноманітності природно-кліматичних умов в зерносховища може надходити вологе зерно, яке не придатне до тривалого зберігання. Це і зумовлює необхідність проведення сушки. Сушка є не тільки теплотехнічним, але і технологічним процесом, в якому змінюються технологічні властивості матеріалу. Правильно організований процес сушіння не погіршує технологічні властивості, а й дає помітне їх поліпшення. Сушка зерна при оптимальному режимі викликає підвищення схожості та енергії проростання зерна. Правильно висушене зерно дає підвищення врожаю в порівнянні з зерном, висушеним на повітрі в природних умовах.

Для зберігання сухого зерна потрібні зерносховища місткістю приблизно в 5...8 разів менше, ніж для зберігання вологого зерна. По-перше, сухе зерно можна розмістити в меншому обсязі, а по-друге, вологе зерно можна зберігати в насипу висотою до 2 м, в той час, як сухе зерно можна зберігати в насипу висотою 40 м і більше. Причому при зберіганні вологого зерна необхідно зерносховища обладнати установками активного вентилявання, будувати склади, що займають велику територію.

Сушка має важливе значення і в зернопереробних галузях промисловості.

Сушка дозволяє знизити енергоємність вальцевих верстатів, підвищити вихід борошна і крупи, знизити знос устаткування.

В даний час, як відомо, продуктивність сушильної техніки хлібоприймальних підприємств відстає від продуктивності збиральної техніки, що стримує темпи збирання [1]. При підвищенні продуктивності кукурудзяних сушарок хлібоприймальні підприємства здатні забезпечити прийом і просушування насіння кукурудзи в більш короткі терміни, що дозволить скоротити строки збирання, швидше звільнити площі від посівів кукурудзи, обробити і засіяти їх озимими культурами. Як показує практика, це може дати істотну надбавку врожаю озимих в подальшому році [2].

Актуальність роботи полягає в розробці оптимального температурного режиму для сушки зерна кукурудзи та вдосконалення процесу і устаткування для здійснення даного технологічного процесу.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу сушіння зерна кукурудзи шляхом вдосконалення системи розподілу теплоносія.

Об'єкт дослідження є технологічний процес сушіння зерна кукурудзи в сушильній установці конвеєрного типу.

Предметом досліджень є закономірності процесу сушіння зерна кукурудзи і конструктивно-режимні параметри системи розподілу теплоносія.

Методи досліджень полягають в теоретичному дослідженні основних положень, законів і методів класичної механіки, математики та статистики. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах на основі загальноприйнятих методик. Розрахунки і обробка результатів експериментальних досліджень виконувалися з використанням ЕОМ та пакета прикладних програм.

Наукова новизна полягає в отриманні аналітичних залежностей швидкості руху теплоносія від конструктивних параметрів системи розподілу сушильної установки.

Практична значимість полягає в розробці конструкції установки для сушіння зерна кукурудзи, яка застосовується для післязбиральної обробки. Застосування оптимального температурного режиму дозволяє поліпшити збереження насіння, його кормові та харчові властивості.

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Способи сушіння зерна

В даний час з літературних джерел [3] відомо більше двох десятків різних способів сушіння зерна, класифікація яких наводиться лише по основним істотним ознакам: способом нагріву або підводу теплового потоку і станом зернового шару. Але така класифікація не повністю відображає тенденцію і шляхи розвитку процесу сушіння і не дозволяє провести глибокий структурний аналіз для визначення перспективного напрямку в удосконаленні способів сушіння зерна. Звідси виникає необхідність і доцільність класифікації способів сушіння зерна 5 ознаками.

1. Класифікація сушки за характером фізичного впливу.

В даний час відомі способи сушіння розрізняються за характером фізичного впливу, які представлені в літературних джерелах [4, 5, 6, 3].

- сорбційний [4, 5] - сушка зерна цеолітом.

- сублімація [7]: волога, що знаходиться у висушуваному зерні, заморожується і виходить на поверхню у вигляді кристалів льоду, а потім випаровується, минаючи рідку фазу.

- механічне зневоднення [4, 5] застосовується при сушінні зерна при його перезволоженні в результаті випадання опадів у вигляді дощу.

- сушка у вакуумі [3, 5] проводиться при низьких температурах, так як при абсолютному тиску повітря 10 кН/м² (75 мм рт.ст) температура кипіння води становить 30° С.

- теплофізичний [3, 8] полягає у підводі тепла до зерна, що підсушується, вилученням вологи з його внутрішніх шарів на поверхню і видалення вологи у вигляді пари в навколишнє середовище.

2. За способом підведення теплового потоку або нагріву.

За способом підведення теплового потоку або нагріву прийнято розрізняти такі способи сушіння: кондуктивний, конвективний, радіаційний і струмом високої частоти в електричному полі.

- кондуктивний [3] спосіб малоефективний, вимагає багато енерговитрат, можливий перегрів зерна і, як наслідок його псування.

- конвективний спосіб [3] поширений в діючих зерносушарках, особливо ефективний в комбінації з кондуктивним нагріванням.

- радіаційний спосіб [8].

- сушка струмом високої частоти в електричному полі [8].

3. Станом зернового шару і організації його руху.

Характеристика процесу сушіння в розглянутих далі способах [3, 4, 9, 10, 11, 12] залежить від стану зернового шару і організації його руху, тому подальший розгляд способів сушки будемо розглядати в залежності від цих ознак.

- сушка в щільному нерухомому шарі [4] застосовується в підлогових установках періодичної дії.

- сушка в псевдо зрідженому шарі [12].

- сушка у віброскрапленому шарі [3].

- сушка в падаючому шарі [9].

- сушка в підвішеному шарі [3, 9].

- сушка у шарі, що фракційно розділений [10, 11].

- сушка в щільному гравітаційно-рухомому шарі [4, 9].

4. За характером взаємодії потоку теплоносія з зерновим шаром.

За характером взаємодії потоку теплоносія з зерновим шаром можна поділити способи по таким істотним ознаками, як напрямок руху теплового потоку і зернового шару, а також температура, швидкість і періодичність дії потоку теплоносія.

- сушка зерна в прямотоці [3, 8, 9] передбачає одноразове проходження зерна через сушильну й охолоджувальні камери.

- сушка зерна в протivotоці [8] найбільш сприятлива при сушінні термолабільного зерна.

- сушка з реверсуванням теплоносія при поперечному продуванні шару [9].

- сушка із змінним у напрямку потоком теплоносія щодо руху шару [8].

- сушка зі зміною швидкості теплоносія полягає в тому, що при сушінні в щільному шарі швидкість теплоносія підтримують в межах 1,0...2,0 м/с, а

продування в псевдо зрідженому шарі проводять в дві стадії, на першою з яких швидкість теплоносія підтримують рівної 5,7 м/с, а на другий - 1,0...2,5 м/с.

- сушка зі стадією зміни температури теплоносія [13].

- спосіб сушіння з циклічним нагріванням і від лежанням складається з стадій нагріву і від лежання з подальшим охолодженням матеріалу.

5. За енергозберігаючими технологічними прийомами.

До енергозберігаючих способів сушки зерна відносяться наступні: сушка з попереднім нагріванням, з використанням тепло насосних установок, з використанням сонячної енергії, сушка непідігрітим повітрям, сушка з рециркуляцією теплоносія і зерна, сушка з регенерацією тепла з відпрацьованого теплоносія.

- спосіб сушіння з попереднім нагріванням зерна [14].

- спосіб сушіння непідігрітим повітрям або активним вентиляванням [15] проводиться в насипу.

Розглядаючи безліч способів сушіння зерна, можна зробити висновок, що багато з відомих способів, таких як сорбційний, сублімаційний, ультразвуковий, вакуумний через технічну складність і низьку ефективності не знайшли широкого застосування і не вийшли за межі лабораторних досліджень. Широке поширення отримали способи з теплофізичним впливом, так як вони ефективно видаляють вологу з зерна, не порушуючи його структури і зберігаючи біологічні властивості.

За характером взаємодії потоку теплоносія і зернового шару поширені способи: протиточний, з поперечним потоком теплоносія. На цих способах засновані процеси сушіння в діючих зерносушарках. До найбільш ефективних, але технічно складних належать способи з періодичною дією або з періодичною зміною напрямку теплоносія до шару, що продувається, а також з його поступово змінною швидкістю і температурою.

1.2 Аналіз технологічного обладнання та конструкції сушарок

Результати порівняльного аналізу енергетичної ефективності сушарок з використанням електричного, екологічно чистого теплогенератора, з використанням

товстого шару і традиційних пристроїв для підігріву навколишнього повітря для сушіння зерна в місцях його приймання або переробки свідчить про доцільність використання функціональних блоків.

На великих хлібоприймальних і хлібопереробних підприємствах сьогодні використовується велика кількість різної техніки для післязбиральної обробки зерна продовольчого і насінневого призначення [12, 16]. Існуюча елеваторна техніка може бути класифікована за такими основними ознаками:

1. За призначенням: установки для очищення і калібрування; установки для сушіння зерна; установки тимчасового зберігання та сушіння зерна.

2. Сушарки за способом подачі і температурі теплоносія: однокамерні з одним вентилятором; багатосекційні з окремими вентиляторами для кожної секції установки; низькотемпературні; високотемпературні.

3. За ступенем механізації технологічного процесу: з повністю механізованими вантажно-розвантажувальними та транспортними операціями; з частково механізованими вантажно-розвантажувальними та транспортними операціями.

4. За мобільності: стаціонарні; пересувні.

У дрібнотоварних господарствах на практиці найбільшого поширення набуло зберігання зерна в бункерах або насипом. Бункери використовують, як правило, вентильовані. Недоліком вентильованих бункерів, як пристроїв для тимчасового зберігання або сушіння зерна є невисока продуктивність, а також велика товщина шару, що не дозволяє прогрівати теплоносієм більш ніж 7...10° С. Збільшення температури теплоносія призводить до нерівномірності сушіння зерна. Тому в дрібнотоварному виробництві не знаходять широкого застосування вентильовані бункери типу БВ-25, БВВ-40 або К-878 німецького виробництва незважаючи на повну механізацію їх завантаження і вивантаження. Крім того, їх велика металоємність не дозволяє оперативного переміщення їх при виробничій необхідності. Використовувані на елеваторах установки СВУ-1, СВУ-2, СВУ-63 або «Каркас» вимагають більше капітальних витрат і не є універсальними. Тому в таких господарствах зерно зберігають насипом на вирівняних закритих майданчиках з можливістю в'їзду машин для розвантаження або завантаження зерна. З засобів

механізації найбільш широке застосування знайшли підлогові стрічкові транспортери. Установка СПК-6 може бути використана в технологічних лініях укомплектованими стрічковими транспортерами типу ЛТ-8,5; ЛТ-10; КЛП-10А і КЗТ-8,5 з гвинтовими транспортерами типу УШ2-Ч, ТЗШ і ТПШ, а також з транспортерами, використовуваними як для подачі зерна в завантажувальний бункер, так і для його відводу від вивантажувального пристрою після просушування до місця зберігання, пакування або відпустки на сторону.

Конвективний спосіб сушіння передбачає роботу установки в якій перенесення тепла здійснюється від джерела тепла з більш високим температурним рівнем до джерела з низьким температурним рівнем (потенціалом) (від більш нагрітого тіла до менш нагрітого) за рахунок підведення зовнішньої енергії. Принцип роботи традиційних сушильних установок викладено в технічній літературі [3, 7].

Відповідно до закону збереження енергії тепловий баланс установки можна виразити рівнянням [17]:

$$Q_T = Q_O + E, \quad (1.1)$$

де Q_T - теплота, яка підводиться до установки, кДж;

Q_O - теплота, яка забирається установкою із навколишнього середовища, кДж;

E - енергія, яка витрачається на роботу установки, кДж.

З виразу (1) впливає кількість, що підводиться до робочої камери сушарки тепла завжди більше, ніж тепловий еквівалент, що витрачаються на її нагрівання. Енергія, що витрачається тим менше, чим менше різниця між температурою навколишнього повітря і робочою температурою в сушильній камері.

Енергетична ефективність установки характеризується коефіцієнтом перетворення μ , який виражає відношення одержуваного в установці тепла до енергії, що витрачається на роботу установки [18]:

$$\mu = \frac{Q_T}{N}. \quad (1.2)$$

Використовувані сьогодні сушильні установки з використанням товстого шару відрізняються одна від одної кількістю енергії, що витрачається на їх роботу, екологічною чистотою, можливістю вдосконалення в одному циклі роботи декількох технологічних операцій [2, 3]. Найбільш широко використовуваними

класифікаційними ознаками сушарок є: спосіб дії; вид теплоносія; напрямок руху матеріалу; спосіб створення напору для переміщення теплоносія; стан шару матеріалу; спосіб нагріву теплоносія; конструкція сушильної камери.

Кожна з класифікаційних ознак характеризує спосіб сушіння або конструктивні особливості установок, а сушарки мають свої переваги і недоліки.

Зневоднення матеріалів в товстому шарі відноситься до теплової сушки, яка супроводжується обов'язковим перетворенням рідини в пар. Для сушіння недостатньо випарувати вологу з зерна, її необхідно видалити з сушильної камери.

У конвективних сушарках в якості теплоносія застосовується атмосферне повітря або його суміш з продуктами горіння. Стан вологого повітря, так само як будь-якого газу, визначається поєднанням трьох параметрів: температурою, тиском, питомим об'ємом або щільністю. Щільність пара представляє собою відношення його маси m_n (кг) до обсягу V (м^3), зайнятому цим повітрям:

$$\rho_n = \frac{m_n}{V}. \quad (1.3)$$

Для сухого повітря щільність розраховується:

$$\rho_{cn} = \frac{m_{cn}}{V}, \quad (1.4)$$

де m_{cn} - маса сухого повітря, кг.

З літературних джерел [19] випливає, що параметри кукурудзи при високотемпературному сушінню (рис. 1.1) змінюються наступним чином. У початковий момент температура теплоносія дорівнює $t_{a,c}$, вологість – $W_{\text{Поч}}$. Далі його температура підвищується до температури мокрого термометра $t_{M,m}$, а вологість знижується до значення $W_{M,m}$. При сушінні з попереднім підігрівом умовно приймаємо, що $W_{\text{Поч}}=W_{M,m}$. Протягом всього періоду при постійній швидкості сушіння температура постійна, а вологість знижується за лінійним законом до значення перехідної вологості W_{nl} . У другому періоді вологість теплоносія наближається до рівноважної W_p . Температура і вологість теплоносія залежать від стану зерна (температури, вологості), сушку умовно можна розділити на періоди:

- I - попередній нагрів, вологість матеріалу змінюється від $W_{\text{Поч}}$ до $W_{M,m}$;
- II - постійна швидкість теплоносія, вологість змінюється від $W_{M,m}$ до W_{nl}

(значення коливається від 30 до 28%)

- III - падаюча швидкість сушіння при вологості від W_{nl} до рівноважної - W_p (в залежності від схеми післязбиральної обробки 18...20% або 14...15%).

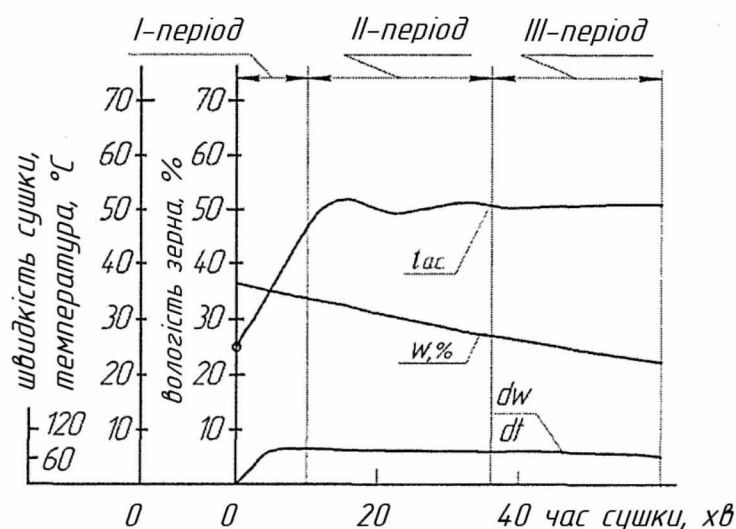


Рисунок 1.1 - Криві сушіння зерна кукурудзи

На початку I-го періоду поверхня матеріалу нагрівається через теплообмін. Зі збільшенням температури частинки води, що знаходяться на поверхні матеріалу, відриваються від матеріалу і потрапляють в приграничний шар повітря, перетворюючись на пару. Внаслідок цього з'являється різниця тисків пара над поверхнею матеріалу і навколишнім середовищем, яка викликає дифузію пара. Перший період є найкоротшим і інтенсивність теплообміну і, швидкість нагріву поверхні матеріалу, тривалість цього періоду визначаються швидкістю теплоносія [19].

У II-му періоді з випаровуванням відкритої поверхні інтенсивність процесу сушіння описується рівнянням Дальтона [20]:

$$m = a_m(\rho_M - \rho_{II}) \cdot \frac{\rho_o}{\rho}, \quad (1.5)$$

де m - інтенсивність випаровування вологи, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{г}$;

a_m - коефіцієнт вологообміну між поверхнею вологого матеріалу і навколишнім повітрям, який залежить від швидкості і напрямку руху повітря, $\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{г} \cdot \text{Па}$;

ρ_M , ρ_{II} - парціальний тиск водяної пари відповідно у поверхні матеріалу і в навколишньому середовищі (повітря) Па;

ρ_o - нормальний барометричний тиск, Па;

ρ - тиск, при якому відбувається випаровування, Па.

З рівняння (1.5) випливає, що необхідно прагнути до збільшення різниці ($p_M - p_{II}$). Цього можна досягти підвищенням температури зерна або зниженням вологості теплоносія. Слід звернути увагу на те, що у II-му періоді поверхня матеріалу насичена вологою і швидкість її переміщення з внутрішніх шарів не впливає на інтенсивність процесу. Теплоносій, що підводиться до матеріалу, витрачається тільки на випаровування, так як його температура не підвищується. Отже, все залежить від умов теплообміну. Відповідно до рівняння Ньютона [20]:

$$Q = a \cdot S(T_{a.z.c} - T_z), \quad (1.6)$$

де a - коефіцієнт тепловіддачі, Дж/(м²·°C·г);

$T_{a.z.c}$, T_z - температура відповідно теплоносія і матеріалу, °C;

S - площа тепловіддачі, м².

Значення a залежить від умови обтікання матеріалу теплоносієм. Це, в свою чергу, визначається швидкістю теплоносія і розмірами зерна. Поверхня контакту постійна, вона залежить від способу подачі теплоносія.

III-й період є найбільш тривалим і відрізняється тим, що сушка визначається швидкістю видалення вологи з внутрішніх шарів до поверхні. Волога, що знаходиться всередині матеріалу, до того, як в пароподібному стані потрапляє на поверхню матеріалу, повинна пройти через шар висушеного зерна [19]. Важливе значення мають градієнт вологості і градієнт температури, спрямованість яких прискорює сушку. Для зниження загальних енерговитрат на сушку слід виявити характер впливу, як кожного, так і комплексу режимних параметрів на процес сушіння для розглянутих періодів.

Найбільшого поширення набула сушка зерна кукурудзи в камерних сушарках секційного і коридорного типів, що розрізняються конструкцією та розташуванням сушильних камер, розподільчих коридорів, вентиляційного обладнання, топків і схемою руху теплоносія. Продуктивність залежить від числа камер, їх завантаження та кількості повітря, що подається. Конструкції камерних кукурудзяних сушарок коридорного і секційного типів описані в працях [21]. Дані сушарки мають

недостатню механізацію та автоматизацію технологічного процесу, великі теплові втрати, невисоку продуктивність, нерівномірність нагріву верхнього шару зерна.

У камерній зерносушарці А1-УСК збільшена площа сітчастих днищ камер при незмінних розмірах будівлі, що підвищує продуктивність зерносушарки. Поліпшена схема розподілу теплоносія, знижено витрати палива [22]. Камерні сушарки аналогічного улаштування набули поширення на кукурудзо переробних заводах зарубіжних фірм Емсека Gomper (ФРН), Heid, Krobath (Австрія), Pioneer Decalb, Fank (США), Limaqran (Франція) [22].

Практика експлуатації сушарок періодичної дії показала, що їх основними недоліками при сушінні кукурудзи є:

- низька середня швидкість сушіння, що не перевищує 0,25-0,35% на годину;
- підвищені теплові втрати до 25-30% і втрата теплоносія в навколишнє середовище, через неналежну герметизації камер і коридорів;
- нерівномірність висушування і нагрівання зерна кукурудзи по шарах насипу (верхній і нижній шари підсихають до меншої вологості, ніж середній, а нерівномірність нагріву середнього і крайніх шарів при температурі теплоносія +45...+50° С становить 15...18°); проблеми застосування повної механізації і автоматизації з розвантаження камер і управління технологічним процесом сушіння, значний обсяг ручних операцій;
- тривалий час впливу теплоносієм на зерно кукурудзи при односторонній продувці, що не дозволяє використовувати теплоносій з підвищеною температурою [22].

У зв'язку з зазначеними недоліками існуючі кукурудзяні сушарки періодичної дії не відповідають сучасним вимогам, що пред'являються до техніки і технології сушіння кукурудзи.

Конвеєрні універсальні сушарки дозволяють організувати потокову обробку зерна, сушіння за один прохід і подачу матеріалу на подальшу обробку. Універсальність даних сушарок дозволяє використовувати їх більш тривалий час протягом року на сушінні різних матеріалів, що економічно вигідно [4].

Сушарки конвеєрного типу поділяються на одно стрічкові з одним довгим

транспортером і багато стрічкові з декількома транспортерами.

На рис. 1.2 представлена стрічкова зерносушарка з пропускною спроможністю 25 т/год англійського виробництва ALVAN BLANCH.

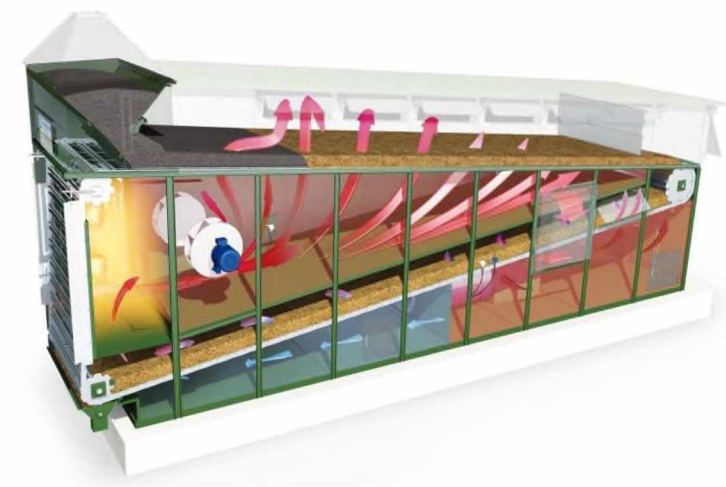


Рисунок 1.2 - Конвеєрна стрічкова сушарка ALVAN BLANCH

Модульні зерносушарки призначені для сушки зерна в нерухомому шарі (рис. 1.3). Перевагою даної сушарки є автоматичне регулювання кожної секції сушильних камер за допомогою температурних датчиків і сенсорів.



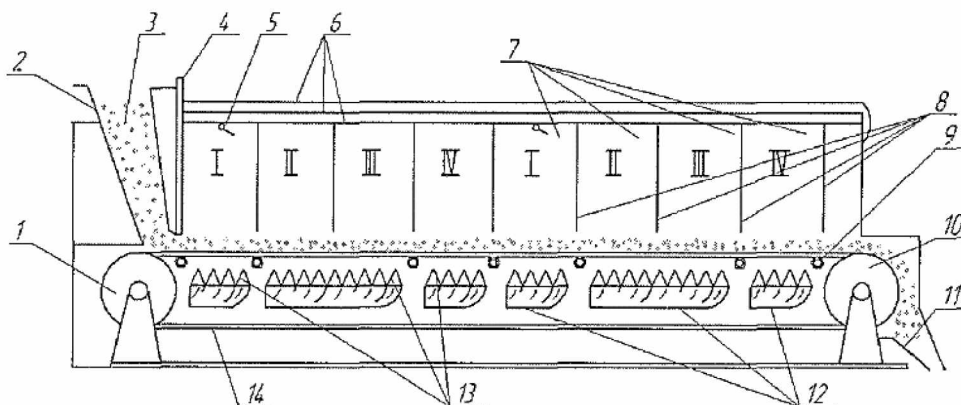
Рисунок 1.3 - Модульна зерносушарка GSI

З вищевикладеного випливає необхідність розробки принципово нової конвеєрної сушарки, що зменшує викладені недоліки існуючих конструкцій, і необхідність зміни режимів сушки.

Установка для сушіння матеріалів в киплячому шарі містить сушильну камеру

з розвантажувальним бункером і двома розвантажувальними бункерами, розміщеними в камері піддоні для подачі теплоносія, транспортер скребковий, коробка для підведення теплоносія, причому піддон розташований між гілками транспортера, розвантажувальна ділянка транспортера укладена в тунель із створенням затвора з матеріалу, що висушується.

Сушильна установка безперервної дії СПК-6, дозволяє однаково якісно сушити насіння різних сільськогосподарських культур, в тому числі і зерно кукурудзи [4], така універсальність дає можливість її більш тривалого використання протягом року на сушінні різних матеріалів. Розглянемо більш докладно конструкцію цієї сушарки, як найбільш вигідну для впровадження і реалізації різних способів сушіння (рис. 1.4).



1 - провідний барабан; 2 - завантажувальний бункер; 3 - матеріал для сушки; 4 - регулятор товщини шару качанів; 5 - люк для випуску теплоносія; 6 - розділові пластини; 7 - сушильні камери; 8 - шторки; 9 - підтримуючий ролик; 10 - ведений барабан; 11 - розвантажувальний бункер; 12 - піддони; 13 - системи розподілу; 14 - стрічково-сітчастий транспортер.

Рисунок 1.4 - Конвеєрна сушарка безперервної дії СПК-6

Установка має 4 ділянки і блокову конструкцію, яка легко збирається і перевозиться на місце експлуатації на автомобілях. Привід стрічки транспортера дев'яти швидкісний. Продуктивність становить 6 т/год при зниженні вологості з 35-40% до 18-20%. Працює вона на гасі, дизельному паливі або на газі.

Стрічково-сітчастий транспортер 14 рухається в тришаровому тунельному корпусі на двох барабанах: ведучому 10 і ведомому 1, зерно кукурудзи з завантажувального пристрою 2 потрапляє на транспортер 14 і по черзі проходить зони

сушарки, розділені прогумованими шторками 8 і продувається гарячим теплоносієм, що надходить з системи розподілу 13 [23].

У першій зоні відбувається попередній нагрів матеріалу вологим теплоносієм, що надходить з четвертої зони охолодження, у другій і третій зонах безпосередньо сушка гарячим теплоносієм, що надходить з теплогенератора. Відпрацьований теплоносій, проходячи через тришарову обшивку, нагріває атмосферне повітря, що надходить в теплогенератор. У четверту зону для охолодження надходить атмосферне повітря і після цього потрапляє в першу зону для попереднього нагріву [4].

В роботі [24] рекомендовані наступні режими для трьох зон даної установки при сушінні зерна кукурудзи: температура теплоносія для першої зони $t_{ac} = 30^{\circ} \text{C}$; для другої і третьої зон $t_{ac} = 45 \dots 55^{\circ} \text{C}$; швидкість теплоносія 0,7...1,5 м/с [19], але для четвертої зони охолодження вплив температури і швидкості теплоносія не розглянуті.

Аналіз існуючих сушильних установок показав, що основними недоліками, що впливають на якість висушеного зерна, є нерівномірний нагрів зерна по ширині транспортера і невисока швидкість теплоносія при вході в шар зерна. Необхідно розглянути питання створення системи рівномірного розподілу теплоносія, по ширині перетину і обґрунтувати її конструктивно-режимні параметри.

1.3 Режими сушки зерна кукурудзи

Теплову сушку зерна слід розглядати не тільки як засіб для зниження його вологості, але і як найважливіший фактор поліпшення його якості. При тепловій сушці зерна відбуваються певні біохімічні процеси, в результаті яких змінюються біохімічні, фізико-хімічні та технологічні властивості. В режим сушки входить поєднання чинників, що впливають на процеси сушіння: температура і вологість теплоносія, тривалість впливу теплоносія на зерно кукурудзи, початкова вологість зерна, швидкість фільтрації теплоносія, питома подача теплоносія, товщина шару зерна, температура нагріву зерна кукурудзи, характер зміни температури теплоносія.

Залежить якість продукції від способів і режимів сушіння. Процес сушіння кукурудзи відрізняється високою енергоємністю і енерговитрати помітно зростають зі збільшенням початкової вологості.

Під режимом сушіння зерна розуміють певне поєднання наступних параметрів: температура теплоносія ($t_{ar.c}$); максимальна температура нагріву зерна ($t_{max.зерна}$); час перебування зерна в нагрітому стані (експозиція сушіння τ); швидкість руху теплоносія (швидкість фільтрації $v_{ar.c}$); відносна вологість теплоносія ($d_{ar.c}$).

Для різних фаз стиглості рекомендують такі температурні режими сушіння насіння кукурудзи [4]: пізня молочна стиглість $t_{ar.c}=40...45^{\circ}\text{C}$; воскова стиглість $t_{ar.c}=45...50^{\circ}\text{C}$; повна стиглість $t_{ar.c}=50...55^{\circ}\text{C}$.

При сушінні зерна кукурудзи пізньої, молочної та повної воскової стиглості з відносною вологістю 55...57% температура t_{ac} повинна дорівнювати 40...45 $^{\circ}\text{C}$ [25]. Для сушіння зерна кукурудзи в будь-якій стиглості температура t_{ac} більше 55 $^{\circ}\text{C}$ неприпустима. Автори [19, 25] рекомендують такі режими сушіння зерна кукурудзи при вогкості:

$$w < 18\% \quad t_{ac} = 52,5^{\circ}\text{C}; \quad w = 25\% \quad t_{ac} = 47,5^{\circ}\text{C}; \quad w = 35\% \quad t_{ac} = 42,5^{\circ}\text{C};$$

$$w = 18\% \quad t_{ac} = 50^{\circ}\text{C}; \quad w = 30\% \quad t_{ac} = 45^{\circ}\text{C}; \quad w = 40...50\% \quad t_{ac} = 40^{\circ}\text{C}.$$

Як розглянуто в роботі [23], за кордоном застосовуються занижені режими сушіння кукурудзи. Так, в Англії максимальна температура t_{ac} не перевищує 43 $^{\circ}\text{C}$. З вищевикладеного випливає, що чим менше води міститься в зерні, тим вищі температури воно витримує без погіршення біологічних і фізичних властивостей [19]. При зазначених режимах підвищується енергія проростання і схожість насіння.

У процесі сушіння на підприємствах чергують нагрівання та охолодження зерна [22]. При такому режимі зерно кукурудзи піддається найменшому нагріванню. У приграничних шарах при подачі повітря для охолодження, протягом якого температура різко знижується, підвищується кількість травмованого зерна. Поява тріщин, що негативно впливають на насіннєві та поживні якості зерна кукурудзи при негайному охолодженні атмосферним повітрям відзначав Лукяшко А.К. [24]. При сушінні створюються кращі умови для зневоднення зерна з проміжним відлежуванням, протягом якого відбувається перерозподіл вологи з внутрішніх шарів в зовнішні, тому знімання вологи відбувається інтенсивно [24].

При призначенні режимів сушіння слід враховувати досить міцний зв'язок вологи з сухою речовиною зерна. При підвищенні температури і швидкості

теплоносія, як правило, не приводить до бажаного результату, зерно швидко нагрівається до граничної температури, не встигаючи віддати необхідну кількість вологи [23]. Якість матеріалу, зерна що висушується залежить від механізму перенесення вологи. Режим сушіння можна вважати ідеальним коли зона випаровування знаходиться біля поверхні зерна. В цьому випадку волога переміщається всередині зерна у вигляді рідини, перегрів поверхні виключається і це гарантує збереження якості. Необхідно забезпечити умову, коли волога буде віддалятися з внутрішніх областей зерна, а маса вологи на поверхні не змінюється.

Висновки і постановка завдань досліджень

Аналіз стану техніки і технології сушіння зерна кукурудзи свідчить про необхідність розробки нових, прогресивних технологій і технічних засобів сушіння, що дозволяють гарантувати екологічну чистоту продукції, знизити енергоємність процесу, поліпшити організацію виробництва. Теоретичні дослідження показали, що одним з ефективних шляхів вирішення завдання збереження зібраного при несприятливих погодних умовах врожаю є створення сушильних установок, які здійснюють сушку зерна. Використання методу зневоднення продуктів дозволяє значно прискорити процес сушіння.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу сушіння зерна кукурудзи шляхом вдосконалення системи розподілу теплоносія.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих технологій і технічних засобів сушіння зерна кукурудзи, виявити основні напрямки їх вдосконалення;
- розробити систему розподілу теплоносія і виконати теоретичне обґрунтування її конструктивно-режимних параметрів;
- провести дослідження процесу сушіння зерна кукурудзи з застосуванням розробленої системи розподілу теплоносія в лабораторних умовах, визначить раціональні конструктивні параметри;
- перевірити розроблену систему розподілу теплоносія в виробничих умовах і оцінити його техніко-економічну ефективність.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Програма досліджень

Для визначення найбільш ефективного технологічного процесу сушіння зерна кукурудзи передбачалося:

- провести експериментальні дослідження зерна кукурудзи після його збирання, на основі яких обґрунтувати конструкцію системи розподілу теплоносія;

- провести експериментальні дослідження процесу сушіння зерна кукурудзи в шарі різної товщини, на підставі яких визначити залежність швидкості сушіння від початкової висоти шару;

- провести експериментальні дослідження процесу сушіння зерна кукурудзи з теплоносієм різної температури, на підставі яких визначити залежність швидкості сушіння від температури повітря;

- провести експериментальні дослідження процесу сушіння зерна кукурудзи різної вологості, на підставі яких визначити залежність швидкості сушіння від початкової вологості;

Обґрунтування складу обладнання та послідовності технологічних операцій, необхідних для реалізації запропонованої технології включало проведення наступних робіт;

- розрахунок і виготовлення криволінійного профілю воздуховода для забезпечення рівномірного потоку теплоносія;

- виготовлення та випробування експериментальної лабораторної установки;

- виготовлення системи автоматичного регулювання температури теплоносія;

- розрахунок різних варіантів технологічного процесу сушіння зерна кукурудзи для розробленої сушильної установки;

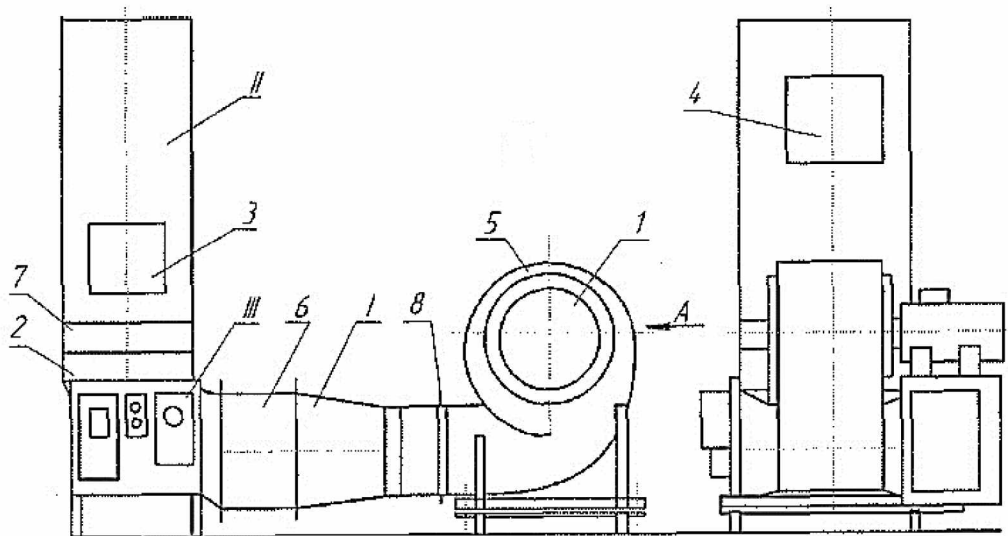
- лабораторне вивчення закономірностей нагріву, сушки та охолодження окремого шару зерна кукурудзи до 1,5 м висоти;

- проведення багатофакторного аналізу - експерименту з метою визначення впливу різних чинників на швидкість і експозицію сушки;

- розрахунок економічної ефективності від впровадження запропонованої технології сушіння зерна.

2.2 Обладнання та апаратура для досліджень

Дослідження процесу сушіння зерна кукурудзи проводили на експериментальній лабораторній установці (рис. 2.1).



1 - дифузор вхідний; 3 - сушильна камера; 4 - завантажувальний вікно; 5 - радіальний вентилятор ВЦ14-46-2,5-0,1 А; 6 - електрокалорифер СФ040/1Т; 2 і 7 - соплові коробки; 8 - система регулювання швидкості; І - вигнутий профіль воздуховода; ІІ - сушильна камера; ІІІ - пульт управління

Рисунок 2.1 - Схема лабораторної установки

Конструкція експериментальної лабораторної установки дозволяє проводити регулювання в широкому діапазоні температури, товщину шару і витрату повітря. Залежно від застосовуваної культури можливі наступні регулювання:

- зміна температури теплоносія від температури навколишнього повітря до 100° С;
- зміна початкової товщини шару матеріалу, що висушується до 1,5 м;
- зміна витрати повітря радіального вентилятора.

Конструктивними основними вузлами лабораторної установки є (рис. 2.1):

Канал для підводу повітря I складається з радіального вентилятора ВЦ14-46-2,5-01А (5) і вхідного дифузора (1); ділянки криволінійного профілю (2), що забезпечує рівномірне входження повітря в електрокалорифер СФ040/1Т (6), що забезпечує нагрів теплоносія до 30...120° С; системи регулювання швидкості потоку повітря (8). Сушильна камера II складається з соплових коробок (2, 7), представлених у вигляді набору різноспрямованих сопел.

Сушильна камера складається з розподільної кришки, що складається з набору пластин виконаних у вигляді щілинного сопла - 5. Соплова конструкція розподільної кришки підвищує швидкість руху теплоносія і збільшує швидкість руху теплоносія в 2...4 рази, прискорюючи процес сушіння зерна кукурудзи.

Пульт управління III сушильної установки дозволяє вмикати і вимикати електроживлення, запобігає підключення електроживлення до калорифера без підключення радіального вентилятора, регулювати температуру теплоносія за допомогою вмикання і вимикання частини нагрівальних елементів калорифера. Спеціально розроблена система автоматичного регулювання температури (рис. 2.2) дозволяє підтримувати заданий температурний режим при різних значеннях витрати теплоносія з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

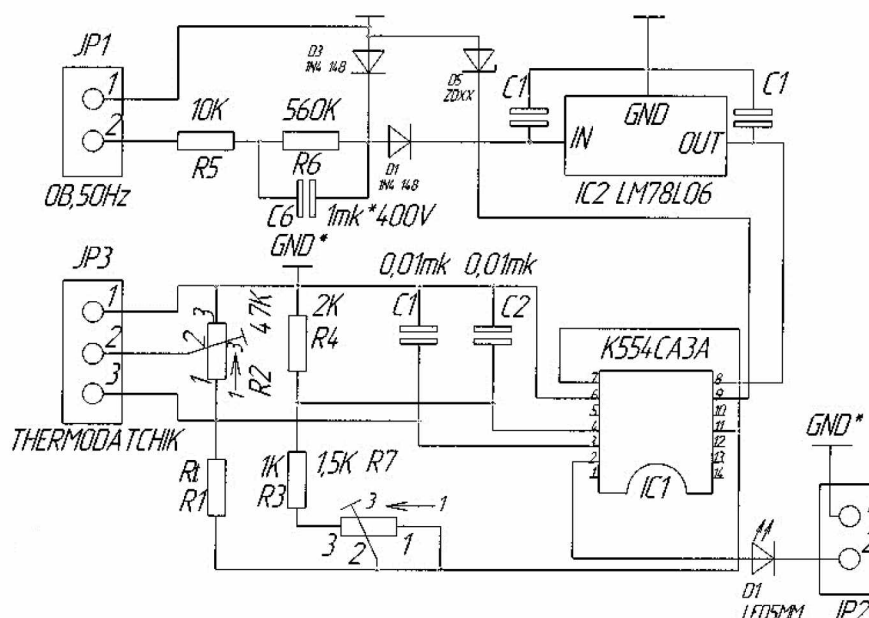


Рисунок 2.2 - Система автоматичного регулювання температури теплоносія

Терморегулятор регулює і підтримує температуру в межах від 30 до 110° С.

Його датчиком служить мікросхема K1019EM01 з лінійною залежністю вихідної напруги від температури. Робота датчика заснована на залежності різниці значень напруги на емітерний перехід ІБЕ двох транзисторів з різною щільністю емітерів струму від температури.

Значення основних електричних характеристик датчика наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Електричні характеристики датчика K1019EM1

Параметри	Значення
Струм живлення, μA	1
Гранично допустимий експлуатаційний режим:	
- струм живлення, μA	0,5...1,5
- робочий температурний інтервал, $^{\circ}C$, для K1019EM1	-45...+125
K1019EM1A	-10...+125
Вихідна напруга, μV , при струмі 1 μA і температурі	
298K (25 $^{\circ}C$)	2952...3012
398K(125 $^{\circ}C$)	3932...4032
263K (-10 $^{\circ}C$) для K1019EM1A	2582...2682
228K (-45 $^{\circ}C$) для K1019EM1	2262...2332

Датчик разом з резисторами R1, R3, R4, R7 утворюють вимірювальний міст. Баланс моста при заданій температурі забезпечується змінним резистором R6, якщо температура вище заданої, полярність напруги розбалансу моста на вході компаратора DA1 така, що вихідний транзистор останнього закритий, в іншому випадку - відкритий. На вихід 9 IC1 (колектор вихідного транзистора) подається з виходу випрямляча на діодах D2 і D4 пульсує напруга. Амплітуда його імпульсів обмежена стабілітроном D5. при температурі нижче заданої імпульси з виходу 21C1 (емітера вихідного транзистора) надходять на входи підсилювачів, відкриваючи їх. Ланцюг VD4C4 перетворює змінну напругу в постійну. Після стабілізатора DA2 ним живлять вимірювальний міст. Про спрацьовування терморегулятора сигналізує світлодіод D4.

Ця схема управляє нагрівачем тільки в одній фазі. Для застосування її в трифазній системі був використаний проміжний блок, функцією якого є управління нагрівачами в кожній фазі окремо. Його схема показана на рис. 2.3. Розглянемо її роботу на прикладі одного каналу.

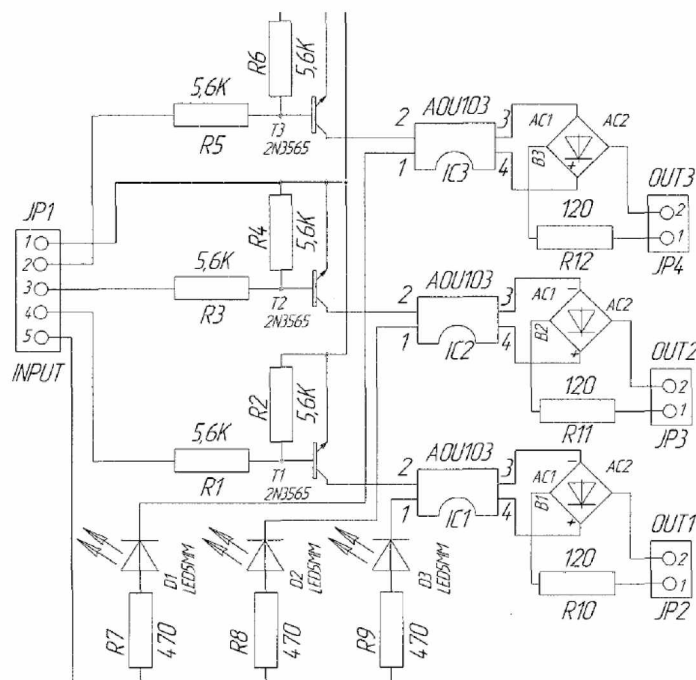


Рисунок 2.3 - Блок управління трифазної навантаженням через опорні тиристори

Резистори R1, R2 служать регуляторами напруги для управління ключовим T1, який управляє мікросхемою IC1, що містить в своєму складі тиристор і світлодіод. При подачі сигналу управління на базу транзистора T1 він відкривається і через його колектор-емітер протікає струм управління. Одночасно запалюється світлодіод D3, що сигналізує про включення нагрівального елемента. Резистор R9 обмежує струм управління. Після включення тиристора ланцюг випрямного моста B1 замикається і керуючі електроди силового ключа керують секціями тенів.

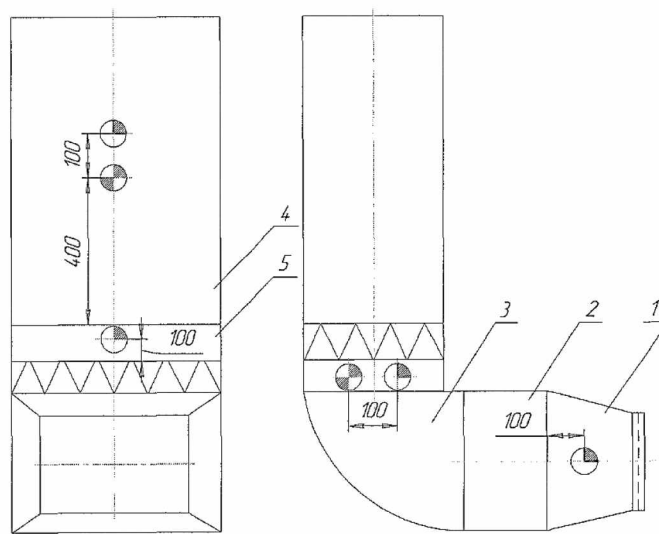
Швидкість теплоносія регулюється в камері зміною «живого перетину» воздуховода за допомогою заслінки 8 (рис. 2.1). Вимірювання температури теплоносія проводили в криволінійному профілі під сушильною камерою на відстані 170 мм від неї і в сушильній камері на відстані 400 мм від основи за допомогою ртутних термометрів з захисними гільзами.

Вимірювання температури навколишнього повітря і теплоносія проводилося рідинним ртутним скляним термометром ГОСТ-2873. Діапазон вимірюваних температур $-30^{\circ}\dots+50^{\circ}\text{C}$ з ціною поділки - 1°C і похибкою вимірювання $\pm 0,5\%$. Вимірювання температури висушування проводилося рідинним спиртовим скляним термометром ТУ25- I02.043-83ТС-4М. Діапазон вимірюваних температур $0^{\circ}\dots+100^{\circ}\text{C}$

з ціною поділки - 1°C і похибкою вимірювання $\pm 1,5\%$.

Вимірювання температури висушеного матеріалу проводилося з використанням вологоміра зерна ІВЗ М1. Діапазон вимірювання температур $\pm 10^{\circ}\dots + 35^{\circ}\text{C}$ з ціною індикації показань $0,1^{\circ}\text{C}$ і похибкою вимірювань $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Схема розташування термометрів на установці показана на рис. 2.4. Атмосферний тиск вимірювався мембранним метеорологічним барометром-анероїдом модель БАММ-1. Діапазон вимірювання тиску $80000\dots 106000\text{ Па}$ з ціною поділки шкали тиску 100 Па . Похибка вимірювань з урахуванням шкалової, температурної і додаткової поправок не перевищує: основна $\pm 0,25\%$.



- ☉ – місце установки термометра для вимірювання температури теплоносія
- ☉ – місце установки штуцера для вимірювання тиску

1-вхідний дифузор; 2-електрокалорифер; 3-криволінійний профіль;
4-сушильна камера; 5-сопловая коробка

Рисунок 2.4 - Схема розташування місць вимірювання тиску

Тиск в сушильній камері вимірювалося семи позиційним U-подібним манометром з ціною поділки лінійної шкали 1 мм . В якості робочої рідини використовувався етиловий спирт ($\rho=809,5\text{ кг/м}^3$ при $t=20^{\circ}\text{C}$), злегка підфарбований метиловим червоним барвником.

Схема розташування місць вимірювання тиску на установці показана на рис. 2.4. Кожна з решти п'яти трубок з'єднана одним гумовим шлангом з штуцером з

одним з вузлів: вхідним дифузором, криволінійні профілі в двох місцях у взаємно перпендикулярних перетинах, сушильної камерою.

Фактичний тиск в конструктивних вузлах установки визначалося розрахунковим методом за формулою:

$$P = h \cdot (p - p_{cp}) \cdot g, \quad (2.1)$$

де: h – висота, що врівноважує стовп рідини, м;

p – щільність робочої рідини, кг/м³;

p_{cp} – щільність середовища над робочою рідиною, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Швидкість руху теплоносія в сушильній камері визначалося за допомогою анемометр-адаптера моделі АТТ -1000 ГОСТ 6376-52, тип А. Межі вимірювання швидкості повітря становить 0,8...2,5 м/с, з порогом чутливості 0,5 м/с і похибкою вимірювання середньої швидкості повітря $\pm(0,04 \cdot V + 0,2$ м/с), де V – середня швидкість вимірюваного потоку повітря.

Вимірювання основного гідрометричного показника вологого стану навколишнього повітря, теплоносія до входу і після виходу з сушильної камери відносної вологості, тобто відношення кількості фактично водяної пари, що містяться в повітрі до максимально можливого складу їх при повному насиченні повітря. При тій же температурі і постійному тиску, виражене у відсотках, проводили аспіраційним гігрометром по ГОСТ-6353. Діапазон вимірювань вологості становив для досліджуваного повітря 2,5 м/с і забезпечувався аспіратором.

Вимірювання періодів часу роботи установки проводилося за допомогою двох секундомірів з годинниковим механізмом з вільним анкерним спуском. Період коливаний балансу - 0,2 секунди. Величина ділення секундної шкали - 0,1 секунди.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Обґрунтування необхідності проведення досліджень

Продувка повітрям робочої камери сушильної лабораторної установки може здійснюватися за двома схемами. При першій схемі (класичної) через установку продувається підігріте в теплогенераторі до робочої температури навколишнє повітря.

Друга схема передбачає продування повітря через робочу камеру без його підігріву в теплогенераторі. Подача теплоносія використовується при невисокій вологості зерна активним вентиляванням або для охолодження зернової маси.

Результати випробувань сушильної установки СПК-6 показали, що при конвективній сушінні зерна успішно можуть використовуватися обидві схеми. Наукову цінність представляє проведення порівняльного аналізу сушки зерна при різних схемах.

Очевидно, що критеріями ефективності сушіння є енергетичні витрати на підготовку теплоносія, а також вплив схеми і режимів сушіння на швидкість випаровування вологи з зерна. Непродуктивною фазою роботи установки є її прогрів до досягнення теплоносія робочого значення температури. Якщо напір теплоносія в робочій камері досягає робочих параметрів за короткий проміжок часу (час виходу напірного вентилятора на робочий режим), то під час досягнення теплоносієм робочого значення нагріву повітря в калорифері змінюється його ентальпія, а вологовміст залишається незмінним. Зміну ентальпії теплоносія можна визначити графічно на $J-d$ діаграмі вологого повітря [5], при тиску 745 мм рт. ст.

З цієї ж діаграми визначаються значення парціального тиску водяного (p_n) і насиченого (p_n) пара в навколишньому повітрі. Так, для умов роботи відповідно до ГОСТ-15150 початковий стан повітря (при вході в радіальний вентилятор) визначається ентальпією $J = 42,66$ кДж/кг, при цьому вміст вологи становить $d = 8,91$ г/кг сух. повітря. При робочій температурі теплоносія $35^\circ \dots 55^\circ$ С (на виході з калорифера), його ентальпія складе $983,63 \dots 1866,44$ кДж/кг при тій же волозі. Залежність підвищення температури теплоносія в залежності від часу при різній витраті повітря показана на рис. 3.1.

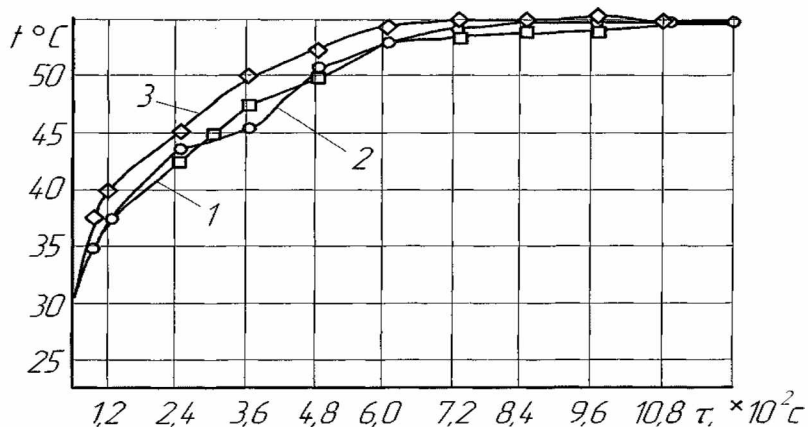


Рисунок 3.1 - Залежність підвищення температури теплоносія від витрати повітря
1- $2,2 \cdot 10^3$ м³/год; 2- $1,8 \cdot 10^3$ м³/год; 3- $1,5 \cdot 10^3$ м³/год

З графіка (рис. 3.1) видно, що при витраті повітря $2,2 \cdot 10^3$ м³/год і при витраті $1,5 \cdot 10^3$ м³/год теплоносій досягає робочої температури через $6,0 \dots 7,2 \times 10^2$ с, після включення установки. При зниженні швидкості збільшення температури з $2,4 \cdot 10^2$ с до $3,6 \times 10^2$ с пов'язане з інтенсивним нагріванням корпусу установки. Надалі після $4,8 \times 10^2$ с роботи сушарки, швидкість збільшення температури теплоносія при різних витратах повітря практично не змінюється.

В діапазоні відносної вологості 60...100% при різній витраті повітря від $1,5 \cdot 10^3$ м³/год до $2,2 \cdot 10^3$ м³/год забезпечуються одні і ті ж витрати енергії на збільшення абсолютної вологості і щільності насиченого (ρ_n) пара теплоносія. З підвищенням температури, щільність насиченого пара і транспортуюча здатність повітря різко зростає (рис. 3.2)

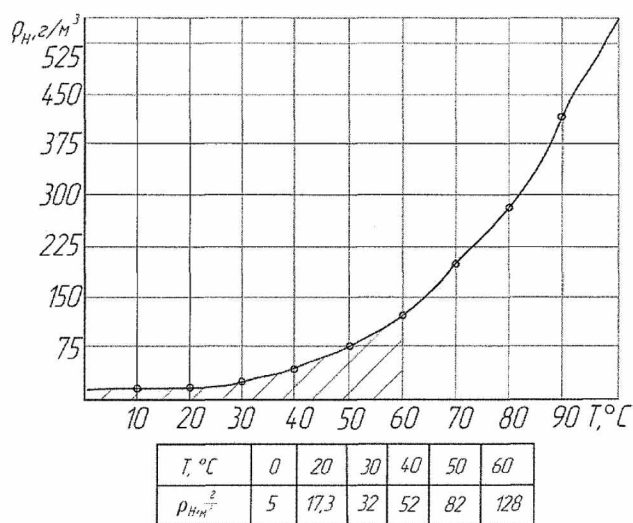


Рисунок 3.2 - Залежність зміни щільності насиченої пари теплоносія від температури повітря

Виходячи з цих залежностей, зміна транспортуючих здібностей теплоносія при різній витраті повітря має вигляд (рис. 3.3).

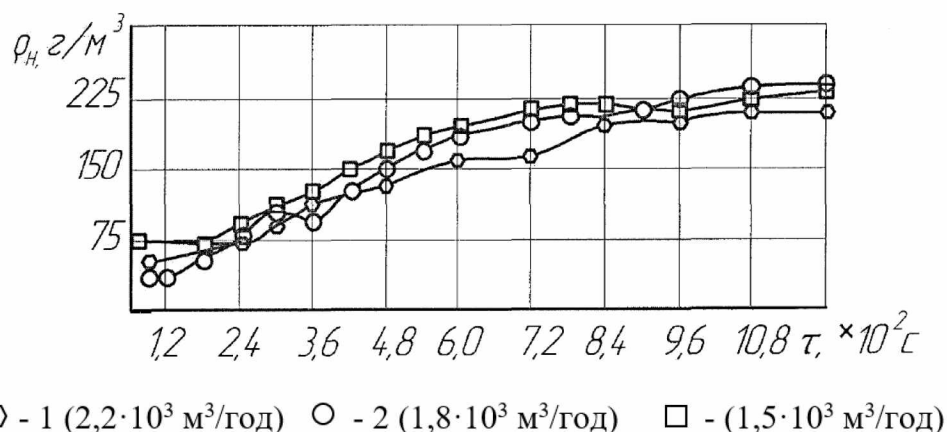


Рисунок 3.3 - Залежність зміни щільності насиченої пара при розігріві установки від різної витрати повітря

З огляду на те, що в період розігріву лабораторної установки споживана потужність не змінюється протягом усього періоду, то і графік споживання електроенергії не відрізняється від графіка залежності зміни щільності насиченої пари при розігріві сушарки.

Випаровування вологи відбувається з зовнішньої поверхні зерна кукурудзи. При сушінні зерна в товстому шарі випаровування вологи відбувається з усією площі зовнішньої поверхні зерна, що розраховується, для кукурудзи, за формулою [26]:

$$F_3 = \pi R' [R' + \sqrt{l^2 + (R')^2}], \quad (3.1)$$

де R' - середній радіус зерна кукурудзи, який розраховується по формулі:

$$R' = \frac{\alpha - b}{\pi} + \frac{b}{2}, \quad (3.2)$$

де α і b - лінійні розміри зерна кукурудзи, мм.

У період нагрівання волога випаровується з поверхні зерна аналогічно випаровуванню вологи з відкритої поверхні. У цей період, перенесення пара з поверхні зерна в навколишнє середовище відбувається в основному за рахунок різниці парціального тиску пари у поверхні зерна P_3 і навколишнього середовища. При врівноваженні цих тисків зерно переходить в стан рівноважної вологості. Зі збільшенням товщини матеріалу зернового шару, що висушується зростає вміст

вологи теплоносія всередині шару. Дослідження рівноважної вологості зерна при низьких температурах теплоносія широко представлено в роботах А.П. Гержой [27], В.І. Рідко [5]. Огляд робіт зарубіжних дослідників представлений колективом російських вчених В.І. Аніськіним, Г.С. Окунем і А.Г. Чижиковим в серії «Елеваторна промисловість» 28].

А.В. Ликов [2] запропонував розрахункову залежність для розрахунку рівноважної вологості у вигляді:

$$W_P^C = \frac{n \cdot \varphi}{k - \varphi} \quad (3.3)$$

де W_P^C - рівноважна вологість зерна (при перерахунку на суху речовину), %;

φ - відносна вологість повітря в долях одиниць;

n, k - постійні, які залежать від температури повітря і властивостей зерна.

W. Harkins запропонував розраховувати рівноважну вологість по формулі:

$$\ln \varphi = B - \frac{A}{W^c}, \quad (3.4)$$

де B - постійна складова;

A - коефіцієнт, який залежить від температури;

W^c - рівноважна вологість зерна (при перерахунку на суху речовину).

S. Henderson запропонував математичну залежність у вигляді:

$$1 - \varphi = e^{-A_1 (W_P^C)^{A_2}}, \quad (3.5)$$

де A_1 і A_2 - коефіцієнти, які залежать від виду зерна.

Математичні залежності, що дозволяють розрахувати рівноважну вологість зерна, також виведені [9]:

$$W_P^C = 1,8 - 0,1 \cdot t + (22,5 - 0,03 \cdot t) \lg \left(\frac{1}{1 - \varphi} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3.6)$$

де $0,1 \leq \varphi \leq 0,75$; $0^\circ \text{C} \leq t \leq 60^\circ \text{C}$.

Рівноважна вологість зерна, в основному, залежить від відношення парціального тиску водяної пари в повітрі P_n до тиску насичених водяних парів P_n (відносна вологість повітря) при даній температурі повітря. Ці параметри повітря в досліджуваному діапазоні температур досить добре вивчені [9].

Інтенсивність випаровування вологи з поверхні зерна розраховується за

допомогою формули [12]:

$$q_m = a_m(\rho_z - \rho_c) \cdot \frac{1,01 \cdot 10^5}{B_p}, \quad (3.7)$$

де a_m - коефіцієнт вологообміну, кг/м³·г·Па, який залежить від температури, швидкості і способу підводу теплоносія;

ρ_z - парціальний тиск у поверхні зерна, Па;

ρ_c - парціальний тиск навколишнього середовища, Па;

B_p - тиск в робочій зоні сушарки, Па.

Максимальна кількість вологи у вигляді перегрітої пари, яка може перенести 1 м³ повітря збігається з числовим значенням абсолютної вологості повітря і щільності насиченої пари p_n [18].

З усіх факторів, що впливають на кінетику сушіння в умовах товстого шару дослідниками [4] встановлено, що найбільший вплив на швидкість зневоднення зерна впливають температура і швидкість теплоносія, а також початкова вологість зерна.

Непрямим чином залежність W_p^C від вмісту вологи d розраховується за допомогою математичних виразів, до складу яких входять температура і відносна вологість повітря. Однак це не дозволяє в повній мірі оцінити вплив кількості вологи теплоносія на процес випаровування вологи з зерна різних культур при різній температурі теплоносія, так як залишається невідомим коефіцієнт сушіння (K_C):

$$\frac{\partial W^C}{\partial \tau} = K_C(W^C - W_p^C), \quad (4.8)$$

де W^C - поточна вологість зерна, % до маси сухої речовини;

W_p^C - рівноважна вологість зерна, % до маси сухої речовини;

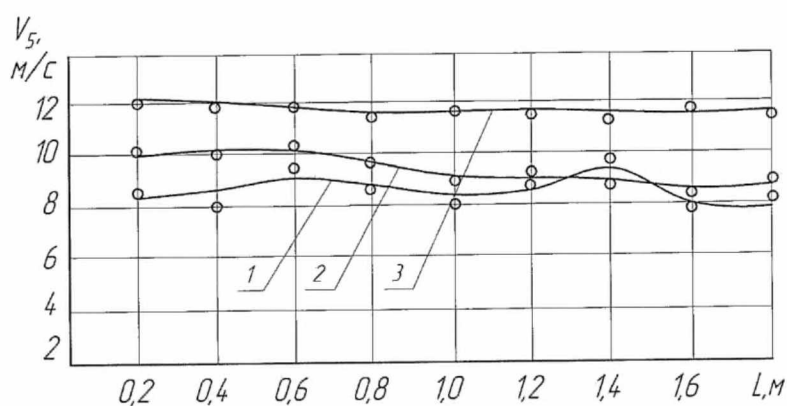
K_C - коефіцієнт сушки, с⁻¹.

Незважаючи на велику кількість накопиченого науково експериментального матеріалу, в області сушіння в товстому шарі практично немає даних, що показують вплив волого поглинаючої здатності повітря (теплоносія) розігрітого до температур вище 55° С на рівноважну вологість зерна

Це обумовлює необхідність проведення досліджень процесу сушіння зерна сільськогосподарських культур при різній висоті шару.

3.2 Дослідження рівномірності розподілу теплоносія по вихідній перетину піддону

Одним з основних чинників якісної сушки зерна кукурудзи є рівномірна подача теплоносія по ширині транспортера. Як уже зазначалося, існуючі повітроводи в конвеєрних сушарках відрізняються крайньою нерівномірністю подачі теплоносія. На лабораторній установці нами проведені дослідження і отримані криві розподілу теплоносія по вихідній перетину сопел (рис. 3.4). При цьому ми використовували різні типи піддонів з метою підбору найбільш раціонального вихідного перетину.



- 1 - піддон з отворами (5 мм); 2 - піддон з прямокутними отворами (3x15 мм);
3 - піддон з соплами ($\zeta=3...5$ мм)

Рисунок 3.4 - Розподіл теплоносія

При розгляді всієї довжини транспортера в сушарці СПК-6 сушка відбувається в обмеженій смузі, а не по всій площі транспортера. Чим більше ширина, а тим більше довжина транспортера, то більша нерівномірність. В ході досліджень був розроблений спеціальний вигнутий профіль і піддони з соплами, що дозволяють змінити напрямок і збільшити швидкість руху теплоносія.

В процесі дослідів з'ясували, що під час продування теплоносієм уздовж короткої сторони піддону рівномірність тиску стабільна. Повторні дослідження з наявними піддонами показали (рис. 3.4), що використання подібних повітроводів дозволяє значно поліпшити рівномірність розподілу теплоносія по вихідній перетину воздуховода. Найбільш рівномірний потік теплоносія спостерігається при використанні піддону з вихідними отворами у вигляді сопел. Крім того, використання

сопел дозволяє збільшити швидкість фільтрації теплоносія без зміни об'ємної подачі на виході з сопла до $V_5 = 12,8$ м/с. Результати проведених досліджень дозволяють поліпшити систему розподілу теплоносія, забезпечуючи тим самим рівномірну сушку зерна кукурудзи, що підвищить якість сушіння. Таким чином, усувається недолік існуючих конструкцій конвеєрних сушарок - нерівномірний розподіл теплоносія.

3.3 Експериментальне дослідження процесу сушіння зерна кукурудзи при різній температурі теплоносія

Метою проведених досліджень було визначення залежностей, що характеризують вплив температури теплоносія на швидкість випаровування вологи з зерна різних культур в товстому шарі, при використанні соплових коробок і коефіцієнта сушіння з рівноважною вологістю зерна.

Експерименти проводили на спроектованій і виготовленій лабораторній сушильній установці, що дозволяє змінювати температуру, тиск в сушильній камері, товщину шару.

Наведено основні експериментальні залежності і встановлені раціональні параметри системи розподілу теплоносія. На рис. 3.5 приведена залежність швидкості теплоносія V_5 від кута γ нахилу стінок сопла, згідно з якою максимальна швидкість досягається при установці кута під стінами сопла в межах $58...62^\circ$.

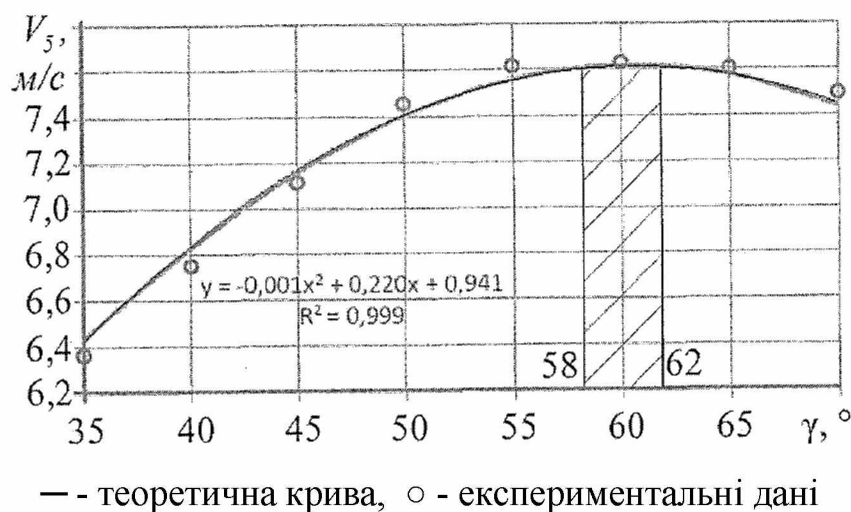


Рисунок 3.5 - Залежність швидкості V_5 від кута γ нахилу стінок сопла

За результатами досліджень отримано залежності, що показують зміну вологості зерна кукурудзи на різних ділянках системи розподілу теплоносія. Визначено залежності зміни вологості зерна кукурудзи при різній температурі теплоносія (рис. 3.6). Температура теплоносія змінювалася від 35°C до 55°C з кроком 5°C .

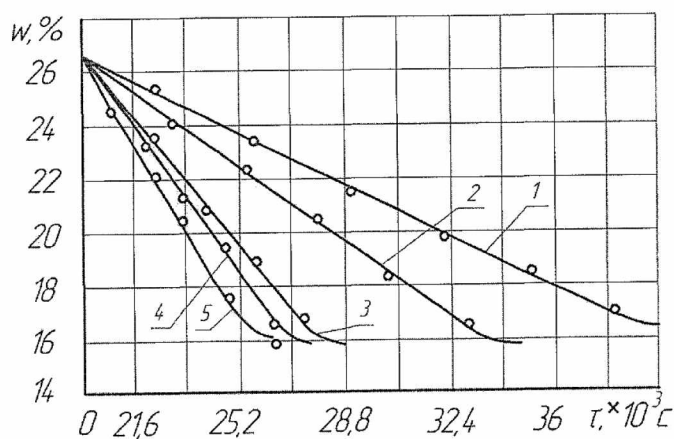
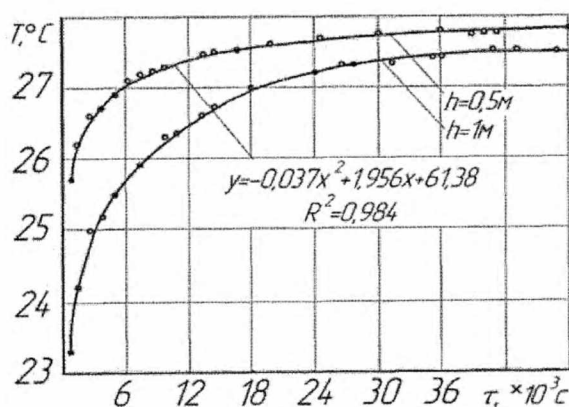


Рисунок. 3.6 - Залежності зміни вологості зерна кукурудзи при різній температурі теплоносія

Встановлено залежність температури зерна кукурудзи від тривалості сушіння при постійній температурі теплоносія $t = 28^{\circ}\text{C}$; вологості $W_n = 22\%$ і при висоті шару $h=0,5\text{ м}$ і $h=1\text{ м}$ в зоні попереднього нагріву сушіння. При висоті шару $h=0,5\text{ м}$ температура зерна досягає 27°C через $\tau = 6 \times 10^3\text{ с}$, а при висоті шару $h=1\text{ м}$ через $\tau=20 \times 10^3\text{ с}$ (рис. 3.7), через більшу висоту.



— - теоретична крива, \circ - експериментальні дані

Рисунок 3.7 - Залежності температури зерна кукурудзи при температурі теплоносія $t = 28^{\circ}\text{C}$ вологості $W_n = 22\%$ і різній висоті шару h

Швидкість, що продувається через висушуваний шар зерна кукурудзи теплоносія (1...1,5 м/с) була достатньою для сушіння зерна.

За результатами проведених досліджень отримано графік залежностей температури (T , °C) зерна протягом певного проміжку часу (τ) при різній температурі (t , °C) теплоносія при різній висоті шару (рис. 3.6 і рис. 3.7).

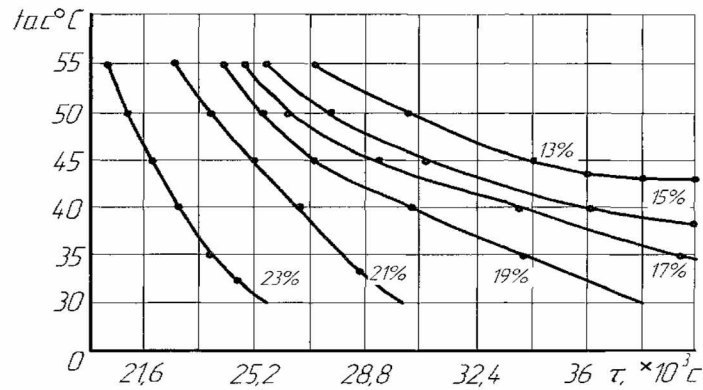


Рисунок 3.8 - Залежність тривалості τ висушування зерна від температури теплоносія

З використанням представлених на рис. 3.6 графічних залежностей побудовано діаграму $\tau(t)$ (рис. 3.8), що дозволяє в дослідженому діапазоні температур (t) повітря, оцінити вплив параметрів теплоносія (φ, D) на величину τ , а також визначити необхідні для досягнення заданого значення тривалості сушіння зерна кукурудзи зміни цих параметрів.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що на швидкість процесу зневоднення зерна кукурудзи в значній мірі впливає волого поглинаюча здатність теплоносія, що залежить від його температури. Чим вище швидкість випаровування вологи, тим на більшу величину скорочується тривалість сушіння.

Проведені дослідження визначення енергії проростання і схожості зерна кукурудзи (рис. 3.9) дозволяють зробити висновок, що змінюються параметри теплоносія, які змінюються не привели до помітного зниження посівних якостей, оскільки температура насіння не перевищувала гранично допустимих значень 35...50° C. Оптимальна температура теплоносія склала для проростання і схожості 43...48° C. При такому режимі енергія проростання і схожість насіння кукурудзи після сушки підвищилася на 2% (рис. 3.9).

Було розглянуто вплив факторів температури і швидкості теплоносія на тривалість процесу сушіння в лабораторній установці.

В результаті обробки даних отримали рівняння регресії:

$$\tau_I = 85,4 - 2,612 \cdot t_{a.c} - 48,584 \cdot v_{a.c} + 0,586 \cdot t_{a.c} \cdot v_{a.c} + 12,111 \cdot v_{a.c}^2; \quad (3.9)$$

$$\tau_{II} = 70,4 - 2,112 \cdot t_{a.c} - 46,544 \cdot v_{a.c} + 0,186 \cdot t_{a.c} \cdot v_{a.c} + 11,811 \cdot v_{a.c}^2; \quad (3.10)$$

$$\tau_{III} = 34,004 - 0,162 \cdot t_{a.c} - 41,84 \cdot v_{a.c} + 0,386 \cdot t_{a.c} \cdot v_{a.c} + 10,911 \cdot v_{a.c}^2; \quad (3.11)$$

$$\tau_{IV} = 30,24 - 0,122 \cdot t_{a.c} - 39,78 \cdot v_{a.c} + 0,286 \cdot t_{a.c} \cdot v_{a.c} + 9,911 \cdot v_{a.c}^2; \quad (3.12)$$

де $\tau_I, \tau_{II}, \tau_{III}, \tau_{IV}$ - тривалість сушки в періодах, с;

$t_{a.c}$ - температура теплоносія, °С;

$v_{a.c}$ - швидкість теплоносія, м/с.

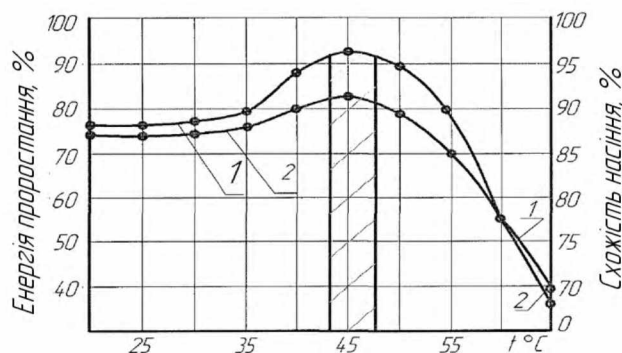


Рисунок 3.9 - Залежність енергії проростання (1) і схожості (2) насіння кукурудзи від температури нагріву теплоносія

Достовірність рівнянь за критерієм Фішера склала 0,956. Найбільший вплив у I-му періоді на тривалість сушіння надають температура і швидкість теплоносія.

У II-му періоді вплив температури теплоносія на тривалість зберігається, а вплив швидкості теплоносія незначно зменшується. У III-му періоді вплив температури теплоносія на тривалість сушіння незначний, вплив швидкості теплоносія продовжує зменшуватися. У IV-му періоді на його тривалість впливає тільки швидкість теплоносія. В цілому, вплив цих факторів на сушку показано на рис. 3.10. та А.1-А.3 додатку А.

За обґрунтованим конструктивним параметрам була виготовлена система розподілу теплоносія, яка була змонтована на сушильній установці СПК-6 в ході експериментальних досліджень. Конструкція системи дозволила встановити сопла з різними кутами нахилу стінок у прямолінійний профіль воздуховода з різними кутами.

В ході експериментальних досліджень системи розподілу в сушарці СПК-6 було встановлено, що найбільш інтенсивне пронизування теплоносієм рухомого шару

зерна кукурудзи відбувається при розташуванні бічних стінок сопел піддону під кутом $\gamma = 58 \dots 62^\circ$ і кута нахилу піддону $\beta = 18 \dots 23^\circ$ (рис. А.4. додатку А).

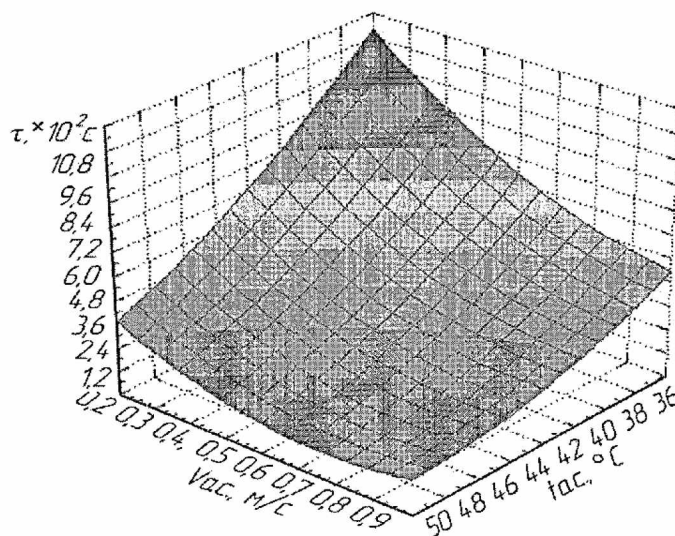
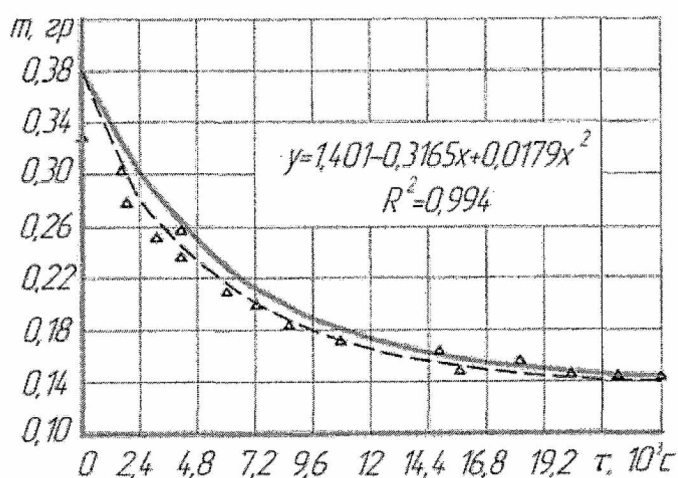


Рисунок 3.10 - Залежність тривалості сушіння від температури і швидкості теплоносія для 1

$$v_{a.c} = 128,20 + 4,089\gamma + 2,64\beta - 0,02\gamma^2 - 0,03\gamma\beta - 0,0073\beta. \quad (3.13)$$

Експерименти, проведені з встановленими раціональними параметрами системи розподілу в виробничих умовах на сушарці СПК-6 дозволили перевірити також адекватність розробленої моделі руху вологи, зокрема зміни вмісту вологи.

При цьому результати, отримані експериментальним шляхом відповідають теоретичним, рівень значущості становить 0,964 за критерієм Фішера (рис. 3.11). Розбіжність теоретичних та експериментальних даних не перевищує 7,6%.



— - теоретична крива, - Δ - експериментальні дані

Рисунок 3.11 - Залежність зміни вмісту вологи від тривалості сушіння в III-му періоді

За отриманими дослідженнями сушіння зерна кукурудзи були отримані зображення поверхні відгуку швидкості сушіння N по двом вхідним змінним параметрам швидкості і температурі теплоносія (рис. 3.12 та Б.1-Б.3 додатку Б) на кожному з періодів.

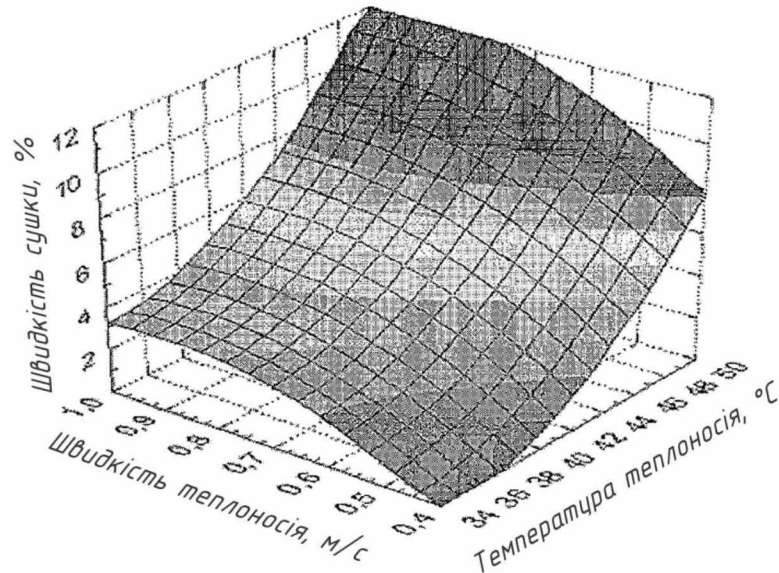


Рисунок 3.12 - Залежність швидкості сушіння від температури і швидкості теплоносія для 1 періодів

Аналіз залежностей показує, що в першому періоді досягається велика швидкість сушіння в порівнянні з іншими. Для другого і третього періоду вплив швидкості теплоносія на швидкість сушіння зерна кукурудзи сильно виражений при великих значеннях температури $t_{a.c} = 35...50^{\circ}\text{C}$.

$$N_I = 60,54 - 1,910 \cdot t_{a.c} - 20,43 \cdot v_{a.c} + 0,163 \cdot t_{a.c} \cdot v_{a.c} + 4,94 \cdot v_{a.c}^2; \quad (3.14)$$

$$N_{II} = 27,09 - 2,54 \cdot t_{a.c} - 38,83 \cdot v_{a.c} + 0,356 \cdot t_{a.c} \cdot v_{a.c} + 11,10 \cdot v_{a.c}^2; \quad (3.15)$$

$$N_{III} = 24,54 - 0,145 \cdot t_{a.c} - 38,89 \cdot v_{a.c} + 0,295 \cdot t_{a.c} \cdot v_{a.c} + 9,891 \cdot v_{a.c}^2; \quad (3.16)$$

$$N_{IV} = 0,652 - 0,125 \cdot t_{a.c} + 1,59 \cdot v_{a.c} + 0,009 \cdot t_{a.c} \cdot v_{a.c} - 0,871 \cdot v_{a.c}^2; \quad (3.17)$$

де $N_I, N_{II}, N_{III}, N_{IV}$ - швидкість сушки в періодах, %/г.

В результаті аналізу поверхонь відгуку, побудованих за рівняннями (3.14-3.17) виявлені оптимальні значення режиму сушіння зерна кукурудзи: середня температура теплоносія $t_{a.c} = 35...50^{\circ}\text{C}$, час сушіння зерна кукурудзи $\tau = 1,4...6,5\%$ /год, швидкість теплоносія на виході з шару $V_{a.c} = 1...1,5$ м/с. При цьому режимі вологість склала 8%.

Оскільки зерно, в процесі сушіння безперервно продувається потоками

теплоносія, тому весь шар приймається за елементарний. Процес зниження вологості, в елементарному зерновому шарі описується рівнянням:

$$\frac{\partial w^c}{\partial \tau} = K_c \cdot (W^c - W_p^c), \quad (3.18)$$

де W^c, W_p^c - поточна і рівноважна вологість зерна, % до маси сухої речовини;
 K_c - коефіцієнт сушки, c^{-1} .

Необхідними даними для розрахунку тривалості процесу сушіння крім вихідної і поточної вологості зерна кукурудзи є залежності коефіцієнта сушіння і рівноважної вологості матеріалу від температури і вмісту води теплоносія, отримані в результаті обробки експериментальних даних.

Визначення коефіцієнта сушіння проводили за відомим методом «випрямлення» кривих сушіння [29], який передбачає побудову цих кривих в системі координат у вигляді рівняння:

$$f(\tau') = \ln(w_t^c - w_p^c), \quad (3.19)$$

де w_t^c, w_p^c - відповідно поточна і рівноважна вологість зерна, (по відношенню до маси «сухої речовини» зерна);

τ' - час сушки.

Використовувану в рівнянні рівноважну вологість зерна в спеціальній літературі часто називають «динамічною», так як спосіб її визначення відрізняється від традиційного способу визначення рівноважної вологості матеріалу, заснованого на встановленні рівноваги між вологістю досліджуваного зерна кукурудзи і параметрами теплоносія. Поняття «динамічної» рівноважної вологості введено стосовно методу «випрямлення» кривих сушіння, який передбачає підбір рівноважної вологості зерна таким чином, щоб відбулося максимальне випрямлення кривих. При цьому криві побудовані для однієї температури теплоносія, повинні бути паралельні між собою. Тоді рівняння (3.19) запишеться у вигляді:

$$f(\tau') = \ln(w_t^c - w_p^d), \quad (3.20)$$

де w_p^d - «динамічна» рівноважна вологість.

Значення w_p^d використовувалося для розрахунку часу висушування в сушильній установці при визначенні числа циклів рециркуляції зерна. В основі розрахунку лежить рівняння (3.18). Розрахунок проводили з використанням рівноважної вологості w_p^c , визначеної традиційним способом, при визначенні залежності

коефіцієнта від температури зерна, визначеної при тих же умовах, що і рівноважна вологість. Значення коефіцієнта сушіння зерна кукурудзи розраховували за формулою [14]:

$$K_C = \frac{\ln(W_1^c - W_p^d) - (W_2^c - W_p^d)}{\Delta\tau'}, \quad (3.21)$$

де W_1^c, W_2^c - початкова і кінцева вологість зерна;

τ' - час сушки протягом якого вологість зерна зменшилась від значення W_1^c , до значення W_2^c .

Коефіцієнт сушки зерна кукурудзи від температури наведено на рис. В.1 додатку В. На основі регресійного аналізу залежності методом підбору оптимальних функцій виведені розрахункові рівняння визначення коефіцієнта сушки зерна в шарі:

$$K_C = 0,01(0,05 \cdot t + 0,182)^{1,45} + 0,047 \quad (3.22)$$

де t - температура теплоносія ($^{\circ}\text{C}$).

Похибка розрахунку коефіцієнта сушіння не перевищує 5%. Рівняння дійсне в діапазоні температур теплоносія від 20° до 55° С.

Отримані значення «динамічної» рівноважної вологості зерна кукурудзи представлені на рис. В.1 додатку В, для цих значень методом підбору оптимальних функцій виведені розрахункові рівняння, що виражають залежність W_p^d від вмісту водяної пари в теплоносії:

$$W_p^d = 5,3 - 1,21 \cdot t^{0,261} + \frac{d}{(0,0396 \cdot t^{0,82} + 0,081)^{7,85} - 4,85}, \quad (3.23)$$

де W_p^d - динамічна рівноважна вологість зерна, %;

t - температура теплоносія, $^{\circ}\text{C}$;

d - тиск водяного пару в агенті сушки, кПа.

Виведені рівняння дійсні в дослідженому діапазоні температур ($t = 35 \dots 60^{\circ}$ С) і вмісту водяної пари в теплоносії ($p = 51,15 \dots 600$ г/м³) при його відносній вологості не більше 60%. На рис. В.2 додатку В це рівняння представлено у вигляді кривої лінії і виражає залежність динамічної рівноважної вологості зерна від тиску водяної пари в теплоносії.

Незважаючи на те, що «динамічна» рівноважна вологість введена як умовна величина, розрахована при обробці результатів експериментальних даних, її значення лежать в області реальних значень рівноважної вологості зерна. Виведене аналітичний вираз (рівняння 3.23) дозволяє розрахувати значення яке дещо більше,

ніж рівноважна вологість зерна кукурудзи, отримана за формулою А.В. Ликова (рівняння 3.3), але менше W_p^c кукурудзи, розрахованої за формулою Гіндерсона [28]:

$$W_p^c = \left[\frac{\ln(1-\varphi)}{5.47 \cdot 10^6 (273,6+t)} \right]^{0,4494}, \quad (3.24)$$

де W_p^c - рівноважна вологість зерна, %;

φ - відносна вологість повітря в долях, %;

t - температура теплоносія, °С.

Висновки за результатами експериментальних досліджень

1. Експериментальні дослідження процесів сушіння зерна дозволили визначити залежності коефіцієнта сушіння і «динамічної» рівноважної вологості зерна кукурудзи від параметрів теплоносія.

2. Результати експериментального і аналітичного дослідження процесу сушіння зерна сушильної установки СПК-6 показали її ефективну роботу, як при передпосівної підготовки насіння, так і при післязбиральної обробки чи переробки зерна в умовах підприємств або в якості резервного технологічного обладнання, коли існуючі виробничі потужності не забезпечують сушку в місцях зберігання, що надходить на хлібоприймальні пункти.

3. Аналіз роботи сушильної установки за критерієм сумарних (з урахуванням витрат на вентилявання) енергетичних витрат на сушку показали ефективність використання установки для організації сушіння зерна в місцях безпосереднього зберігання або переробки.

4. Встановлено вплив швидкості теплоносія на розподіл його вологості по висоті шару. Мінімальне значення швидкості теплоносія, при яких не відбувається «запарювання» зерна кукурудзи верхніх шарах при товщині шару до 0,5 м - 1,5 м/с.

5. Процес сушіння зерна кукурудзи доцільно розділити на 4 періоди: I період від $w_{ноч}$ до w_{nl} 30-35% і температурі $t_{a.c} = 30^\circ \text{C}$; II період від w_{nl} до w_{n2} 20-22% і температурі $t_{a.c} = 40^\circ \text{C}$; III період від 18-20% і температурі $t_{a.c} = 50^\circ \text{C}$; IV період від 18 до кінцевої вологості і температурі 18 до 20°C .

6. Запропонована схема проходження теплоносія через два ряди різноспрямованих сопел дозволяє збільшити швидкість теплоносія на виході з сопла на 35...45%.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза являє собою врегульовану нормами діяльність експертів по аналізу, перевірці і оцінці документації об'єктів і рішень, на їх відповідність правилам і вимогам охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування в цілях попередження можливих негативних наслідків для навколишнього середовища.

Цілі екологічної експертизи [30]: забезпечення наукового визначення відповідності проектних рішень сучасним екологічним вимогам перед їх затвердженням в компетентних державних органах; попередження можливого негативного втручання на екосистему функціонуючих і проектних об'єктів в процесі її реалізації.

Екологічна експертиза буває державною, громадською, а також інших видів. Вона є обов'язковою умовою законодавчої роботи господарства і іншої діяльності, яка впливає на стан навколишнього середовища. В останні роки відбуваються негативні зміни навколишнього середовища, тому у 1991 році 25 червня був прийнятий Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», а 9 лютого 1995 року був прийнятий Закон України «Про екологічну експертизу». Зазначені закони визначає правові, екологічні і соціальні основи організації охорони навколишнього середовища, вимоги до проведення екологічної експертизи [30].

Громадська екологічна експертиза може здійснюватися в будь-якій сфері діяльності, що потребує екологічного обґрунтування, за ініціативою громадських організацій чи інших громадських формувань. Громадська екологічна експертиза може здійснюватися одночасно з державною екологічною експертизою шляхом створення на добровільних засадах тимчасових або постійних еколого-експертних колективів громадських організацій чи інших громадських формувань.

Еколого-експертний процес складається з трьох основних етапів [30]: підготовчого; основного; заключного.

Екологія в сільськогосподарському виробництві займає чинне місце, оскільки здійснюється суттєвий вплив на оточуюче середовище, особливо в наш час і з

розвитком нових технологічних процесів, що впроваджуються у виробництво, застосуванням модернізованої техніки в Україні.

Спрямована екологічна експертиза на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам та вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Завдання екологічної експертизи полягають у регулюванні суспільних відносин в галузі для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища, раціонального використання та відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян держави.

Мета екологічної експертизи - запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на природне середовище та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях та об'єктах.

Вимоги до проведення екологічної експертизи такі:

1. Дотримання пріоритету права суспільства на сприятливе екологічне середовище.
2. Гармонійне поєднання екологічних та економічних інтересів.
3. Екологічна сутність об'єктів з вимогами охорони довкілля.
4. Комплексна оцінка існуючого чи передбачуваного впливу на навколишнє середовище.
5. Альтернативні варіанти зменшення негативних впливів об'єктів експертизи на оточуюче середовище.
6. Суворе дотримання законодавства та державних норм природокористування.

Порядок проведення екологічної експертизи включає:

1. Перевірку наявності та повноти матеріалів та реквізитів на об'єкти екологічної експертизи.
2. Аналітичне опрацювання матеріалів екологічної експертизи.
3. Узагальнення окремих експертних досліджень та наслідків діяльності об'єктів експертизи.
4. Підготовку висновків.

Технологія сільськогосподарського виробництва має базуватися на екологічно-

обґрунтованих раціональних нормах [30].

Відповідно до теми роботи об'єктом забруднення навколишнього середовища є установка для сушки. Тому, в роботі проводиться комплекс заходів по захисту довкілля від негативного її впливу.

Робота установки впливає на стан оточуючого середовища, тому ми пропонуємо деякі заходи по попередженню забруднення навколишнього середовища.

В підприємстві джерелом виходу пилу в атмосферу є обладнання установки.

За санітарними нормами СН 2.45-71, а також ГОСТ 12.1.005-76 для робочих зон виробничих приміщень встановлені гранично-допустимі концентрації пилу - 4 мг/м³.

В зв'язку з цим для забезпечення чистоти повітря, крім діючої вентиляції у приміщенні, пропонуємо встановити пристрій для очищення повітря від пилу. Для видалення пилу пропонуємо до загальної системи вентиляції додати циліндричний циклон ЦН-15, який очищує повітря.

Пропонуємо застосовувати місцеву вентиляцію з очищенням повітря у сопловому вихровому пиловловлювачі. Він добре очищає повітря від дрібнодисперсних частинок, розміром менше 3 мкм.

Одне з основних завдань, що вирішуються за допомогою вентиляційних та циліндричних установок - забезпечення чистоти повітря при запиленості, що не перевищує межі ГДК. Чистоту повітря в робочих приміщеннях (при запиленості) можна забезпечити циліндричними установками за допомогою ефективної вентиляції всього устаткування, в якому утворюється пил. Чистоту повітря, що викидається в атмосферу, можна забезпечити в тому числі застосуванням вискоелективних пиловловлювачів (бажано фільтрів).

Дані заходи забезпечать мінімальний вплив на екологічну систему при сушці зерна.

4.2 Охорона праці

4.2.1 Проблеми безпеки людини у виробничому середовищі

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому покращенню умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують

травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Умови праці - це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва [31].

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва - важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

4.2.2 Вимоги безпеки при роботі на сушильних машинах

1. До роботи оператором сушильних машин допускаються особи не молодші 18 років, що пройшли медичний огляд, навчання і мають не нижче другої групи допуску по електробезпеці та пройшли інструктаж по охороні праці на робочому місці.

2. Оператор повинен знати, де знаходяться засоби пожежогасіння і вміти користуватися ними.

3. Перед допуском до самостійної роботи працівник на протязі 2-5 днів проходить стажування під керівництвом досвідченого оператора. Допуск до самостійної роботи оформляється завідуючим током чи бригадиром в журналі інструктажу по техніці безпеки.

4. Слід дотримуватись внутрішнього трудового розпорядку. Не допускається: присутність в робочій зоні сторонніх, куріння, робота в нетверезому стані.

Оператор повинен виконувати тільки ту роботу, по якій пройшов інструктаж і на виконання якої отримав наряд. Не можна передоручати виконання своєї роботи іншим.

5. Основні небезпечні фактори: можливість потонути в зерні, поява

вуглекислого газу в бункерах, прямках норій, особливо при заповненні їх вологим зерном; можливість бути засипаним зерном в завальній ямі.

6. Бункери, прямки норій повинні закриватись суцільним перекриттям з влаштуванням лазових люків. Завальна яма на всю поверхню обладнується захисною решіткою, в якій також передбачається лазовий люк. Всі лазові люки в бункери, прямки норій обладнуються запасними решітками з розміром вічок не більше 25x75 мм, розмішують їх не глибше 60 мм від поверхні підлоги. Всі решітки люків виконуються на петлях і закриваються на замок або кріпляться на болтах.

7. Електролампочки повинні бути обладнані скляними ковпаками.

8. Запуск і включення агрегату, усунення поломок проводить оператор. Усунення поломок електрообладнання проводить тільки електрик.

9. Для обслуговування верхньої частини обладнання слід користуватися надійною драбиною, кінці якої повинні оббиті матеріалом, що не дає можливості проковзування.

4.2.3 Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які [31]:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактору визначається як травма.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої

функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно.

Висновки та пропозиції.

За умов складання на підприємстві планів попередження, а у разі виникнення локалізації і ліквідації пожеж, а також проведення тренувань серед персоналу можна уникнути виникнення надзвичайної ситуації або її важких наслідків.

Для того щоб на підприємстві трапилося менше випадків які закінчуються травмами необхідно дотримуватись наступних заходів:

1. Забезпечити видання стандартних розмірів спецодягу та головних уборів.
2. Забезпечити біля кожного робочого місця наявність інструкції по вимогам безпеки та знаки з попереджувальними написами.
3. Обладнати приміщення для проведення інструктажів та навчання працівників з питань охорони праці.
4. Організувати постійний контроль за станом охорони праці.

Виконання запропонованих заходів сприятиме зниженню ризику небезпек, що призведе до зниження рівня виробничого травматизму.

4.3 Розрахунок економічної ефективності впровадження результатів дослідження

Дані для розрахунку прямих витрат і питомих капіталовкладень по порівнюваним варіантів наведені в таблиці 4.1.

Річні витрати по порівняльному варіанту визначається за формулою [32]:

$$C = A + C_{TOP} + C_e + C_n + C_{zn}, \quad (4.1)$$

де A - амортизаційні відрахування, грн.;

C_{TOP} - витрати на технічне обслуговування і ремонт, грн.;

C_e - витрати на електроенергію, грн.;

C_n - витрати на паливо, грн.;

C_{zn} - витрати на заробітну плату з нарахуваннями, грн.

Таблиця 4.1 - Характеристики порівнюваних сушарок

Найменування показника	СПК-6	
	Базова	Удосконалена
Продуктивність, пл. т/год	6	6,2
Встановлена потужність, кВт	134,6	134,6
Річне нормативне завантаження, год	1320	1320
Витрата палива (природного газу), м ³ /год	180	180
Кількість обслуговуючого персоналу, чел	2	2

Амортизаційні відрахування пристроїв [32]:

$$A = \frac{K \cdot H_a}{100}, \quad (4.2)$$

$$A_{II} = 10829,4 \text{ грн.}; \quad A_C = 11440 \text{ грн.}$$

де K - балансова вартість (капіталовкладення) пристрою, грн.;

$H_a = 14,3\%$ - норматив річних амортизаційних відрахувань по обладнанню;

A_{II} і A_C - амортизаційні відрахування запропонованої і порівняльної системи відповідно, грн.

Витрати на ремонт і технічне обслуговування:

$$C_{TOP} = \frac{K \cdot H_{TOP}}{100}, \quad (4.3)$$

$$C_{TOP}^P = 8330,33 \text{ грн.}; \quad C_{TOP}^C = 8800 \text{ грн.}$$

де H_{TOP} - норматив річних відрахувань на ремонт і технічне обслуговування;

C_{TOP}^P і C_{TOP}^C - витрати на ремонт і технічне обслуговування запропонованої і порівняльної системи відповідно, грн.

Річні витрати на електроенергію:

$$C_e = \frac{N \cdot K_{OD} \cdot C_e}{\Pi}, \quad (4.4)$$

де N - потужність пристрою, кВт;

K_{OD} - коефіцієнт одночасної роботи енергопристроїв, приймається рівним 1;

C_e - вартість електроенергії (грн./кВт-г);

Π - продуктивність, т/год.

$$C_e^{\Pi} = 41465,5 \text{ грн.}; \quad C_e^C = 42847,6 \text{ грн.}$$

Річні витрати на дизельне паливо:

$$C_n = Q \cdot C_n \cdot \Pi, \quad (4.5)$$

де Q - витрата палива, м³/г.;

C_n - вартість палива(грн. м³)

$$C_{\Pi}^{\Pi} = 502,2 \text{ грн.}; \quad C_{\Pi}^C = 486 \text{ грн.}$$

Витрати на заробітну плату з нарахуваннями [32]:

$$C_{3\Pi} = \frac{2(f_m \cdot K_m + n_p \cdot f_p \cdot K_p)}{T_{CM} \cdot \Pi}, \quad (4.6)$$

де f_m і f_p - денні тарифні ставки робочого механіка, грн./день;

K_m і K_p - галузеві підвищуючі коефіцієнти для механіка і робочих (відповідно 1,8 і 1,3)

n_p - кількість працівників, які обслуговують пристрій;

T_{CM} - тривалість зміни, год.;

2 - коефіцієнт, який враховує податки і нарахування на заробітну плату.

$$C_{3\Pi}^{\Pi} = 24,7 \text{ грн.}; \quad C_{3\Pi}^C = 25,23 \text{ грн.}$$

Річна економія експлуатаційних витрат:

$$P_e = C^C - C^{\Pi} = 23372,4 \text{ грн.}$$

Витрати на одиницю продукції [32]:

$$B_l = \frac{C}{V_p}, \quad (4.7)$$

$$B_1^{\Pi} = 242,6 \text{ грн./т.}; \quad B_1^C = 1177,5 \text{ грн./т.}$$

де V_p - річний об'єм продукції.

Річний економічний ефект на 1 тону продукції:

$$E_l = B_1^C - B_1^{\Pi} = 934,9 \text{ грн./т.}$$

Термін окупності капітальних вкладень на виготовлення системи розподілу теплоносія:

$$O_{KB} = \frac{K}{P_e} = 0,32 \text{ роки.}$$

Результати розрахунків представлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 Техніко-економічні показники сушарки

Найменування показника	СПК-6	
	Базова	Удосконалена
Сумарні капіталовкладення, грн.	994075	989800
витрати на електроенергію, грн.	43847,6	41465,5
Економічний ефект на 1 тону висушеного зерна кукурудзи, грн./т	-	934,9
Річний економічний ефект, грн.	-	23372,4
Термін окупності, років	-	0,32

При впровадженні сушарки СПК-6 забезпечується не тільки екологічна, а й суттєва економічна ефективність, яка представлена в табл. 4.2.

В результаті виробничої апробації підтверджені технологічні параметри сушіння зерна кукурудзи в системі розподілу теплоносія. Основні показники роботи сушильної установки СПК-6 і лабораторного зразка відхиляються не більше ніж на 3,8%.

Економічний ефект на 1 тону висушеного зерна кукурудзи склав 934,9 грн./т, річний економічний ефект 23372 грн. Термін окупності розробленої системи розподілу теплоносія не перевищує 0,32 року.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що для підвищення ефективності сушильної установки конвеєрного типу необхідно підвищити рівномірність розподілу теплоносія і підвищити його швидкість в сушильній камері. Рівняння криволінійного профілю воздуховода залежить від змінного радіуса кривизни. Для збереження біологічних властивостей зерна кукурудзи швидкість теплоносія на виході з шару висушуваного зерна повинна становити 1...1,5 м/с.

2. Розроблено конструкцію системи розподілу теплоносія, яка включає два криволінійних і один прямолінійний профіль для зміни напрямку руху теплоносія і підвищення рівномірності його розподілу, а також два ряди різноспрямованих сопел для підвищення його швидкості на вході в сушильну камеру. Встановлено, що швидкість теплоносія змінюється від $V_1 = 8$ м/с на вході і до $V_5 = 12,8$ м/с на виході з сопел піддону.

3. Обґрунтовано вплив на процес сушіння зерна кукурудзи конструктивних і режимних особливостей системи розподілу теплоносія, що інтенсифікують процес віддачі вологи в формі запропонованих рівнянь регресії.

4. Визначено оптимальні конструктивні параметри системи розподілу теплоносія: кут нахилу стінок сопел $\gamma = 58..62^\circ$, кут нахилу піддону $\beta = 18..23^\circ$, а також технологічні параметри процесу віддачі вологи: швидкість сушіння від 1,4...6,5%/год при початковій вологості зерна кукурудзи 32..35%, температурі теплоносія $t_{ar.c} = 50^\circ \text{C}$, часу експозиції $\tau = 20..50$ с.

5. Встановлено, що при обґрунтованих раціональних параметрах процесу сушіння біологічні властивості насіння кукурудзи не знижуються, схожість насіння і енергія їх проростання підвищується на 2%. Економічний ефект на 1 тону висушеного зерна кукурудзи склав 934,9 грн./т, річний економічний ефект 23372 грн. Термін окупності розробленої системи розподілу теплоносія не перевищує 0,32 року.