

Допущено до захисту
“ ” 20 __ р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
 А.В. Войтік
(підпис) (ініціали, прізвище)

магістр
(освітній рівень)

Виконав: студент 2 курсу, групи 23м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208
«Агроінженерія»
Фролов. М.О.
(прізвище та ініціали)

м. Умань – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма _____ магістр _____
Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

А.В. Войтік

“ _____ ” _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту _____ Фролову Максиму Олександровичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження та удосконалення конструкції пальника зерносушарки А1-ДСП-50»

керівник роботи _____ Лісовий І.О., к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“14” листопада 20 24 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи _____ 20.11.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: навчальна, наукова та періодична література за темою роботи;

4. Перелік питань, які потрібно розробити: _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як
додаток до доповіді за темою дипломної роботи:

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Техніко-економічне обґрунтування	Лісовий І.О., доцент		

7. Дата видачі завдання 18 квітня 2024 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка

Студент_____
(підпис)**Фролов. М.О.**

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи_____
(підпис)**Лісовий І.О.**

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
1.1. Аналіз технічних рішень	8
1.2 Шляхи підвищення енергетичної ефективності сушарок	13
1.3 Задачі досліджень	18
Висновки до розділу	19
РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА	20
2.1 Опис модернізованої топки зерносушарки А1-ДСП-50	20
2.2 Характеристика стану зернового шару	26
2.3 Параметри, що впливають на процес сушіння	29
Висновки по розділу	32
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	33
3.1 Методика визначення температури зерна в установці для сушіння зерна	33
3.2. Методика теплофізичних змін зерна	34
Висновки до розділу	40
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	40
4.1 Характеристика і аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникнути під час роботи зерносушарки	40
4.2 Розробка організаційно-технічних заходи по забезпеченню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці під час роботи зерносушарки	42
4.3 Моделювання небезпечних ситуацій під час роботи з сушаркою	43
Висновки до розділу	44
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО АГРЕГАТУ А1-ДСП- 50	45
Висновки до розділу	45
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47
ДОДАТКИ	51

РЕФЕРАТ

Фролов. М.О. «Дослідження та удосконалення конструкції пальника зерносушарки А1-ДСП-50». (Магістерська робота. Умань, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 51 сторінках, 21 рисунка, графічна частина підготовлено ілюстративний матеріал у вигляді презентації 12 слайдів як додаток до доповіді за темою магістерської роботи)

Ця випускна кваліфікаційна робота містить інформацію з модернізації засобів післязбиральної обробки зерна шляхом вдосконалення зерносушарки А1-ДСП-50. Містить аналіз способів сушіння зерна. Здійснено розрахунок технологічних параметрів зерносушильного агрегату. Представлена модернізація пальника, встановленого в топці зерносушильного агрегату А1-ДСП-50. Представлена економічна ефективність проекту при порівняно з зерносушаркою А1-ДСП-50, що застосовується в господарстві працює з агрегатом ЗАВ-50, та зерносушаркою А1-ДСП-50 з модернізованою топкою, що працює також із зерноочисним агрегатом ЗАВ-50.

Пропонуємо модернізувати топку шляхом встановлення після пальника відбійного перегородки. Відбійна перегородка призначена для запобігання влученню відірваних іскор відкритого полум'я в сушильну шахту; для кращого сумішоутворення в пальнику встановити лопатки.

Ключові слова: СУШІННЯ, ВОЛОГІСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА, ЗЕРНОСУШАРКА.

ВСТУП

Продукція рослинництва, а саме виробництво зерна, забезпечує продуктами харчування населення країни, також є цінною сировиною для переробних галузей. Зерно є основним компонентом при приготування комбікормів тварин і птахів.

Післязбиральна обробка зерна підвищує продовольчі та насіннєві якості зерна, що збільшує час зберігання зерна. Сушіння сприяє вирівнюванню вологості зерна, що покращує його зовнішній вигляд, відбувається дозрівання зерна [1].

При проведенні сушіння знищуються комахи, що живуть у зерні, та мікроорганізми, тому продукція переробки зерна має вищу якість. У деяких випадках після сушіння покращуються технологічні властивості дефектного зерна.

Для зниження експлуатаційних витрат потрібна велика увага приділяти зменшенню витрати газу та електроенергії. У процесі сушіння волога з зерна видаляється за допомогою гарячого агента сушіння. Агент сушіння представляє собою нагріте повітря. Удосконалення конструкцій зерносушарок може бути досягнуто різними шляхами: напрямки відпрацьованого агента сушіння на рециркуляцію, використання відпрацьованого агента сушіння для нагрівання води для опалення приміщень або більш повного перемішування повітря з газом при приготуванні паливної суміші. Більш повне сумішоутворення дозволить знизити витрати газу до п'яти відсотків [2].

У господарстві післязбиральну обробку зерна виконують агрегатами ЗАВ 50, потім виробляють сушку А1-ДСП-50.

На зерносушарках із нагріванням зерна за допомогою відкритого полум'я можливе займання домішок зерна в зерносушильній шахті. В результаті це призводить до втрати врожаю, виходу з ладу зерносушарки та подальшого її дорогого капітального ремонту.

У цій роботі зробили розрахунок конструктивних та технологічних параметрів топки зерносушарки, внаслідок чого розраховали пропускну здатність, що склала 43 т/год [1, 2]. Зниження витрат природного газу становитиме 3...4 %.

У зерносушильному агрегаті сушіння зерна здійснюють підігрітим до встановлену температуру повітрям. Гаряче повітря одержують за рахунок його нагріву природним газом. Повітря нагрівають відкритим полум'ям.

Зменшення собівартості процесу сушіння зерна можна здійснити, якщо знизити витрати природного газу.

Виконані в розрахунково-пояснювальній записці розрахунки вказують на правильність модернізації газового пальника зерносушильного агрегату А1-ДСП-50.

Метою роботи є дослідження впливу зерносушильного агрегату на змін показників якості зерна після сушіння.

Об'єктом дослідження є вплив сушіння на показники якості зерна.

Предмет дослідження - особливості впливу різних способів сушіння на показники якості зерна.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз технічних рішень

Для нагрівання повітря використовується енергія, що міститься в газовому паливі. Енергія, укладена в газовому паливі, звільняється внаслідок реакції окиснення, тобто. згоряння газу змішаного з повітрям. Газ із повітрям

змішується в пальнику і там відбувається згоряння палива. Для нормального процесу горіння необхідно забезпечити співвідношення кількості повітря та палива, чотирнадцять-п'ятнадцять одиниць повітря, віднесеної до однієї одиниці палива [1-4].

При роботі пальник повинен забезпечувати такі режими:

1. паливо з повітрям необхідно подавати в заданих обсягах, забезпечуючи їм відповідний напрямок та швидкості руху;
2. підготовлену горючу суміш направляти в робочий простір пальника;
3. забезпечувати стабільність отримання полум'я.

Залежно від призначення газовий пальник може виконувати не всі вказані функції. Приготування паливної суміші можуть виконувати в окремій змішувальній камері до її подачі в газовий пальник [2, 5].

Горіння палива можна уявити трьома, що послідовно змінюють один одного етапами: одержання горючої суміші (перемішування газу з повітрям); підігрів горючої суміші до температури займання; основний процес горіння (окислення) із теплом. Горіння відбувається за надзвичайно мінімальний проміжок часу [2].

Змішування газу з повітрям та підігрів горючої суміші відбувається повільніше. Від однорідності робочої суміші залежить витрата газу, стабільність горіння полум'я, температура горіння факела, температура в камері згоряння [5].

Основним вузлом топки є пальник, тому при виборі будь-якої моделі пальника звертають увагу на технологію сушіння. Запропоновані газові пальники можуть класифікувати за різними ознаками, такими як місце процесу сумішоутворення, спосіб займання горючої суміші, можливості роботи на

різних видах палива, характер потоків, що спливають та інші технологічні особливості [2].

Для сушіння зерна у господарствах (не на елеваторах) перспективні газові пальники, які здійснюють непрямий нагрів агента сушіння. У цих зерносушарках трохи менший ККД, порівняно із зерносушарками, здійснюють прямий нагрівання агента сушіння. На підприємстві на сушіння зерно подають не завжди очищеним. На зерносушарках із прямим нагріванням агента сушіння це призводить до займання домішок та зерна в зерносушарці. Що призводить до втрати врожаю, виходу з ладу зерносушарки та подальшого її дорогого капітального ремонту [2, 6]. Після проведеного технічного аналізу були запропоновані деякі схеми отримання агента сушіння, що відрізняються видом палива, способом змішування палива з повітрям, технологічним процесом, конструкцією камери горіння тощо. На малюнку 1.1 представлено технологічна схема французької зерносушарки FAO.

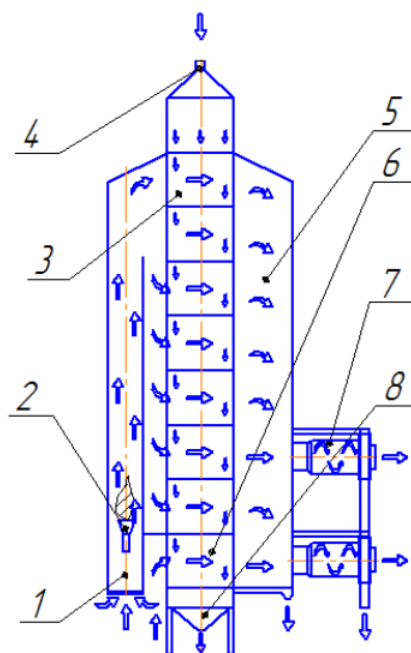


Рис 1.1 Зерносушарка шахтного типу FAO 1-труба всмоктувальна; 2-пальник; 3-камера сушильна; 4-норія завантажувальна; 5-труба відпрацьованого агента сушіння; 6-камера охолодження; 7-вентилятор; 8-пристрій розвантажувальний.

Це високопродуктивний сушильний агрегат. Його конструювання виконана таким чином, що зерно із сушильної камери в камеру охолодження надходить за рахунок дії гравітаційних сил, що економить експлуатаційні витрати. Пальник зерносушильного агрегату виконаний таким чином, що теплоносії є одночасно агентом сушіння (повітря, нагрівається пальником, надходить у сушильну шахту). У пальниках іноді виникає відрив полум'я [7]. Відрив полум'я має місце у випадку, коли швидкість переміщення горючої суміші при виході з пальника вище швидкості руху полум'я. При цьому відбувається переміщення факела пальника по напрямки перебігу газоповітряного середовища від пальника. Якщо у зерні містяться домішки, це може призвести до пожежі зерносушильного агрегату [8-10].

На рис. 1.2 представлено топку відкритого типу. Усередині теплообмінника встановлений пальник. Для зменшення витоку тепла зовні теплообмінник із камерою згоряння захищені захисним екраном. Теплообмінна камера виконана у формі циліндра та на її прогрів витрачається велика кількість енергії [4].

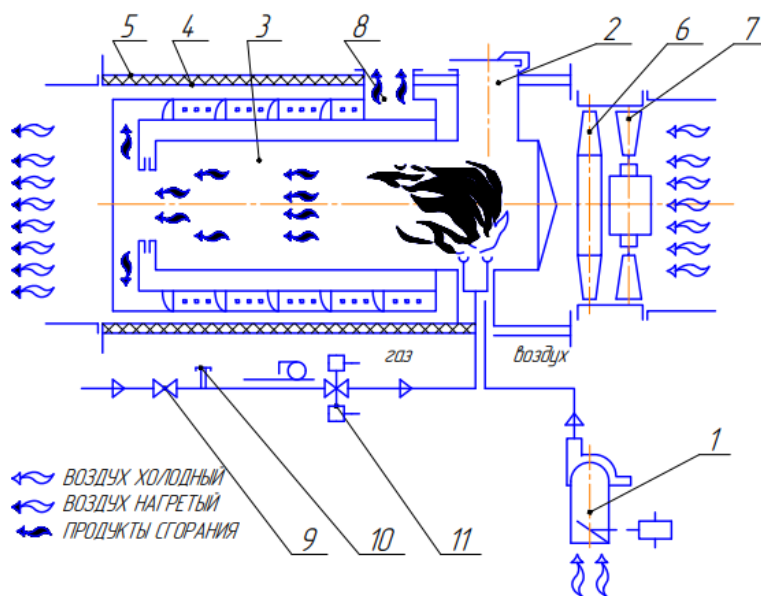


Рис 1.2 Топка відкритого типу 1-Вентилятор пальника; 2-клапан вибуховий; 3-теплообмінник із камерою згоряння; 4-екран; 5-каркас; 6-вентилятор головний; 7-жалюзі, 8-труба димова; 9 – екран; 10 – штуцер продувної свічки; 11-датчик мінімального тиску газу

Внаслідок невеликого заповнення барабана зерном вологонапруга при температурі гарячого повітря 150...200° С не перевищує 30...40 кг випареної вологи/(м³ год). У зв'язку з цим барабанні зерносушарки високої продуктивності по питомій металоємності значно поступаються сучасних шахтних сушарок. Крім того, вони вимагають установки окремо стоять охолоджувальних камер [8-10].

На рис 1.3 представлено топку закритого типу, тобто. агент сушіння на пряму не контактує із полум'ям пальника. Камера згоряння виготовлена з жароміцної сталі Х12Т25 та виконана у формі циліндра, який герметизований з боків. Передня стінка камери згоряння плоска, виконана знімною, оснащена термічним відбивачем, який виконаний з жароміцної сталі Х12Т25, закріплена за допомогою болтових з'єднань. Теплообмінник складається із зовнішньої та внутрішньої обшивок з фланцями. Недоліками топки є велика кількість шкідливих речовин, зокрема СО², що виникає під час горіння дизельного палива. Також в результаті неповного згоряння палива на внутрішній поверхні теплообмінника відкладається сірка, яка може призвести до корозії металевих стінок теплообмінника, зниження його ККД [11]. Це призводить до зменшення ресурсу. Принцип роботи пальника з водяною сорочкою полягає в наступному: пальник відкритим полум'ям нагріває стінку теплообмінника, яким проходить вода. Потім вода проходить трубопроводом до сорочці охолодження [9, 12]. Сорочку охолодження продувають вентилятором, який переноситиме тепло до матеріалу сушіння. Пальник з водяною сорочкою рис. 1.4.

Недоліками даного пальника є: низька температура агента сушіння, низький ККД пристрою – спочатку пальник нагріває воду, потім вода нагріває агент сушіння [13].

Топкові блоки теплової потужністю 0,8...2,5 МВт застосовують як джерело утворення тепла для сушіння зернових, зернобобових, олійних культур, а також для підігріву системи вентиляції тваринницького або птахівничого

приміщення, або інших підсобних, або виробничих приміщень (рисунок 1.5) [5, 6, 7].

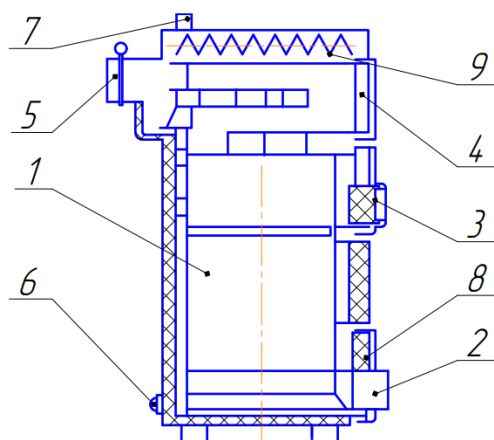


Рис 1.4 – Пальник із водяною сорочкою

1- Топка; 2, 3 – двері для обслуговування; 4 – дверцята для чищення; 5 – димар; 6, 7 – трубки сполучні; 8 - пристрій газопальникове; 9 – водопідігрівач.

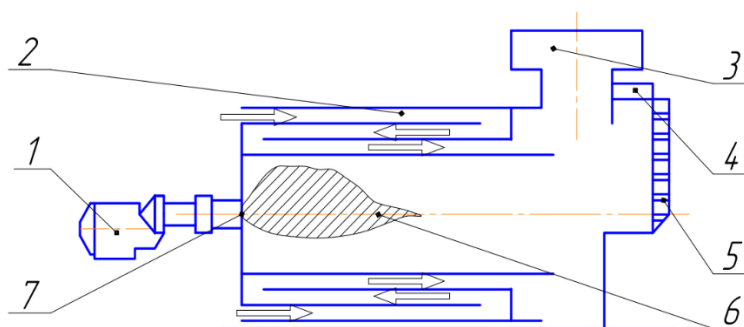


Рис 1.5 Блок топковий 1 – Пальник; 2 – контур нагріву; 3 – патрубок агента сушіння; 4 – клапан вибуховий; 5 – труба для топкових газів; 6 – камера згоряння; 7 – зона смолоскипа.

Топковий блок складається з наступних вузлів: камери згоряння, пальника, теплообмінника у зборі, труби для видалення газів, противибухового клапана [14].

При нагріванні повітря в топці відбувається змішування повітря з продуктами згоряння палива. У цьому випадку агент сушіння є суміш повітря з теплоносієм (топковими газами) [15].

Отриманий таким способом агент сушіння має незначну відмінність з атмосферним повітрям, зважаючи на великий вміст вуглекислого газу, окису вуглецю, вуглеводнів та інших сполук. Однак концентрація теплоносія в агенті сушіння дуже мала. Так, у прямоточних шахтних зерносушарках вона не перевищує 5%, а в камерних кукурудзосушарках — 1...2% [2, 3, 8].

Тому такий агент сушіння за фізичними властивостями у багатьох випадках майже відрізняється від атмосферного повітря. Деяке збільшення вмісту баластної вологи, що утворилася при згорянні палива, помітного впливу процес сушіння не надає [7].

Під час нагрівання повітря в електрокалорифері (рисунок 1.6) відбувається взаємодія холодного повітря із нагрівальними елементами. Отриманий у такий спосіб гаряче повітря має відмінності по хімічному складу з атмосферним повітрям через більший вміст вуглекислого газу. Однак концентрація теплоносія в агенті сушіння дуже мала [16-18].

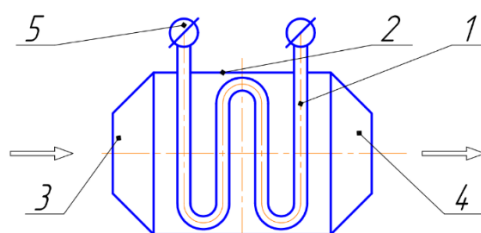


Рис 1.6 – Електрокалорифер 1-Елемент нагрівальний; 2 – корпус теплообмінника; 3 – вікно для підведення холодного повітря; 4 – вікно для відведення теплоносія; 5 – клеми підключення до електромережі

Недоліком даного блоку топки є велика маса металу. Це можна пояснити тим, що охолоджувальні колонки розміщені не внизу сушильних камер, а поряд з ними та їх завантаження відбувається достатньо повільно.

1.2 Шляхи підвищення енергетичної ефективності сушарок

За загальною класифікацією, що наведена в [17, 18], методи енерго- і ресурсозбереження можна розділити на три групи: 1) утилізаційні операції; 2)

операції енергетичної модернізації; 3) операції інтенсивного енергоресурсозбереження. При цьому визначальною умовою при дослідженні енерго- і ресурсозберігаючих заходів повинна бути умова використання заощадженої або утилізованої теплоти в самому технологічному процесі. Порівнюючи питомі витрати теплоти в сушарках для сушіння насіння, найбільш економічною є шахтні рециркуляційні та колонкові з питомими витратами теплоти 4350 - 4840 кДж/кг (рис. 1.7) [18]. Витрати теплоти сушарок наведені на рис. 1.7 для насіннєвого насіння, що вищі за нормативні (4000 кДж/кг вип. вологи) на 10 – 25% [17].

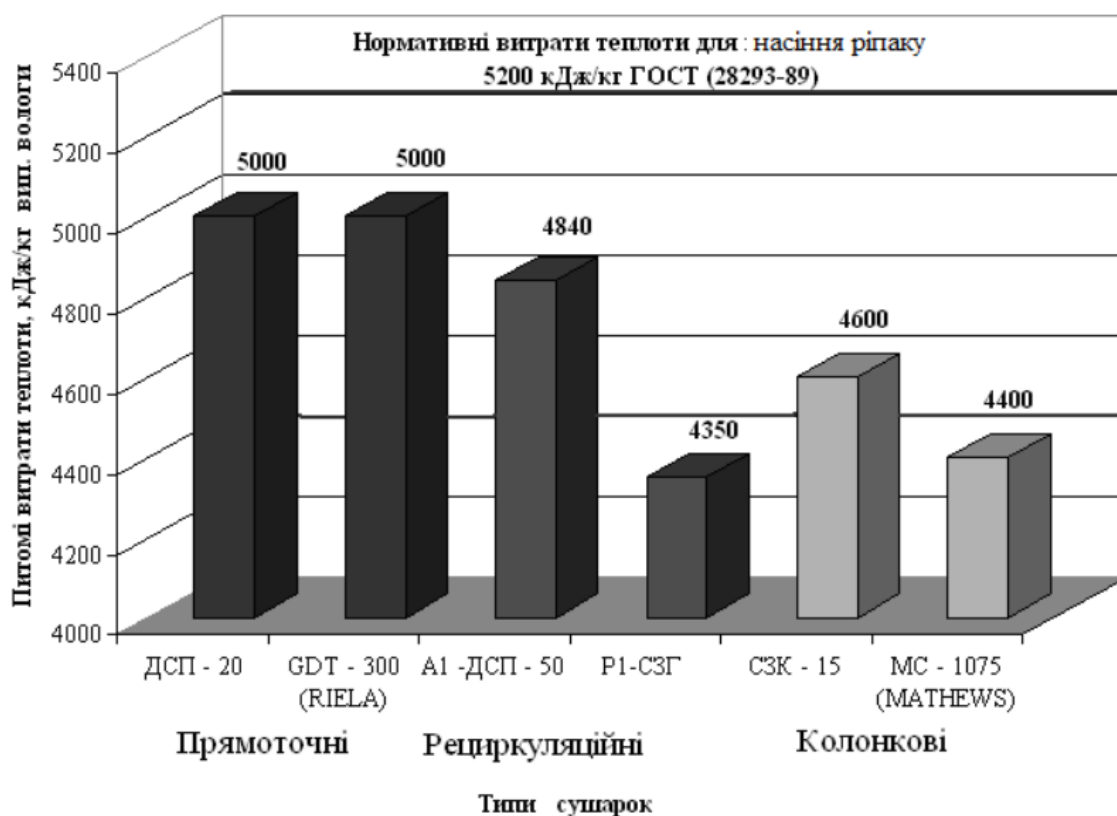


Рис. 1.7. Питомі витрати теплоти в існуючих типах сушарок

Питомі витрати теплоти можна знизити за рахунок введення новітніх енергозберігаючих технологій сушіння насіння [18]: 1. Сушарки, в яких не реалізовані заходи із застосування утилізації охолоджуючого повітря. Питомі витрати теплоти в них становлять 5000 кДж/кг вип. вологи, при коефіцієнті корисної дії 49,2% (прямоточні сушарки ДСП – 20, GDT - 300) (рис. 1.8, а). 2. Установки з утилізацією охолоджуючого повітря і частково відпрацьованого

ненасиченого теплоносія з нижніх зон сушіння. Утилізація охолоджуючого повітря знижує питомі витрати теплоти до 4800 кДж/кг вип. води. Збільшує коефіцієнт корисної дії до 52,4 % (шахтна прямоточна сушарка з утилізацією теплоти охолоджуючого повітря фірми LAW (Франція), рециркуляційна сушарка А1 – ДСП – 50) (рис. 1.8,б). 3. Сушарки, котрі використовують утилізацію охолоджуючого повітря і ненасиченого теплоносія. Для сушарок третьої групи витрати теплоти становлять 4350 – 4400 кДж/кг вип. води, ККД – 56,9% (колонкові прямоточні сушарки з утилізацією теплоти охолоджуючого повітря та насиченого теплоносія СЗГ – 20Ж) (рис. 1.8,в) [17].

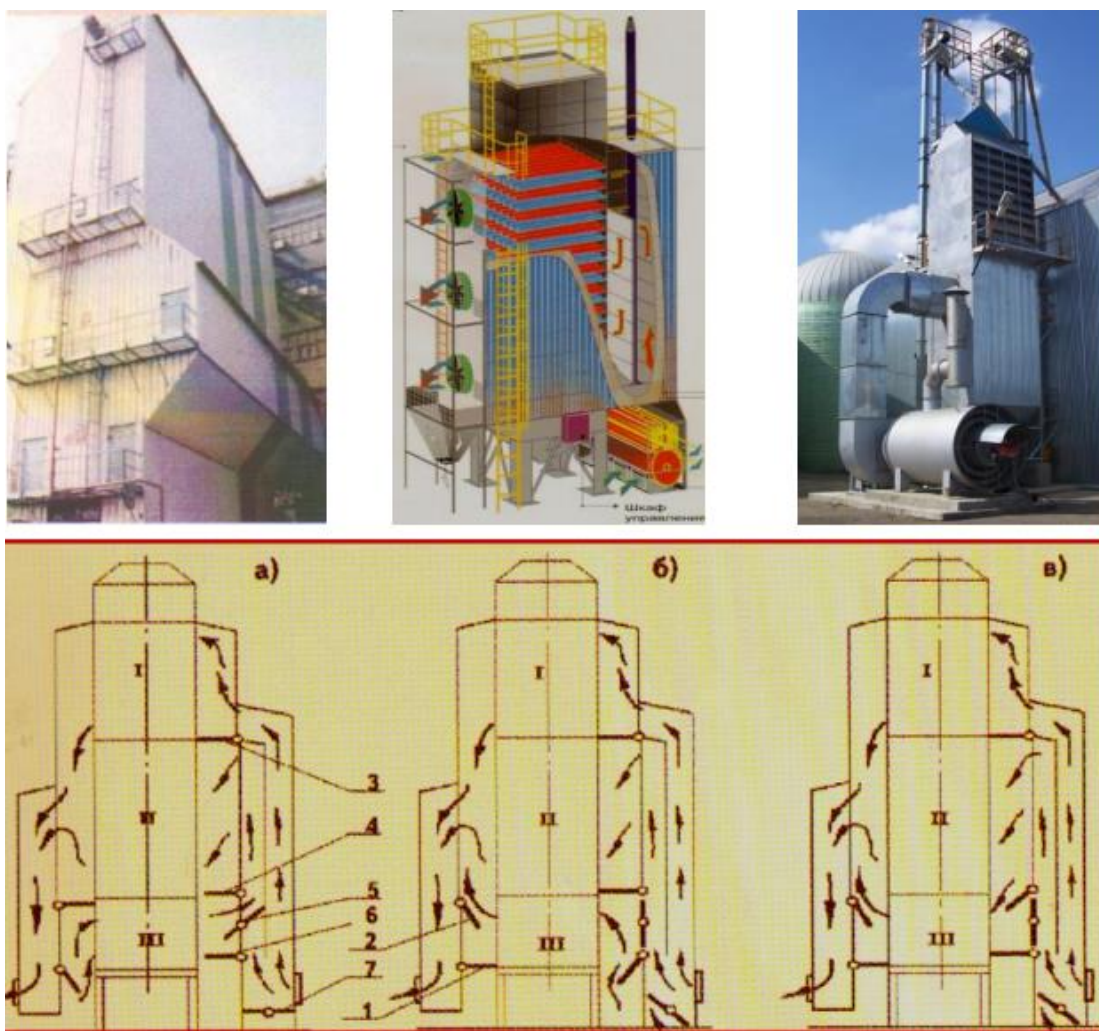


Рис.1.8. Шляхи підвищення енергоефективності сушарки: а) з утилізацією охолоджуючого повітря; б) без утилізації теплоти; в) з переводом охолоджуючої зони на сушку

Стосовно сушильних установок О. Л. Даниловим була розроблена класифікація за зазначеними групами енергоресурсозберігаючі заходи [19]: - до першої групи відносять теплотехнічні і конструктивно-технологічні заходи; - до другої групи - методи інтенсифікації зовнішнього та внутрішнього тепломасообміну, а також методи кінетичної оптимізації. - до третьої групи відносяться енергозберігаючі технології: використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії (сонячні сушарки тощо); використання переривчатих режимів підведення тепла; використання як сушильного агента пари розчинника, водяної пари атмосферного тиску тощо.

Представлені роботи по визначенню якості насіння показали доцільність введення низькотемпературних режимів сушіння з невеликою тривалістю обробки. В статті С. Ю. Ксандопуло і інш. [17, 20] проведені дослідження сушіння насіння на стендовій сушильній установці МШС – 2.

Результати проведених досліджень при температурі сушильного агенту 80, 100°C при різній вологості показали, що нагрівання насіння не перевищувало 41°C, при цьому не відбувалось перегрівання матеріалу і значення КЧ не перевищує 1,25 – 2,07. Лабораторна установка для вивчення нагрівання та сушіння в киплячому шарі була розроблена Н.Я. Поповим та іншим, що моделює процес нагрівання насіння перед шахтною сушаркою. [20]. Дослідження проводили на лабораторній установці в циліндричній касеті в яку вміщували проби насіння. Під час проведення експериментів про температуру нагріву насіння судили по температурі відпрацьованого агенту сушіння на виході. При нагріванні до температури теплоносія 70 та 80°C схожість і кислотне число насіння залежить від тривалості процесу, але навіть ця температура не завжди забезпечує високу якість. Збільшуючи температуру до 100 °C схожість насіння різко знижується і зникає взагалі.

Артёмов І. В., Філатов Г. А., Мамонцев І.П. [21] досліджували інтенсифікацію процесу сушіння на експериментальній та промисловій установці. Експериментальна установка складається з прямокутної вертикальної сушильної колони в якій розташовані 5 касет. Нумерація касет проведена зверху

вниз. Висота кожної складала 0,05 м, всього шар 0,25 м.. Температура сушильного агенту $T = 130^{\circ}\text{C}$, швидкість руху повітря 1,3 м/с пронизуючи шар насіння знизу вверху.. Ріпак висушували від початкової вологості 30% до кінцевої вологості 7% [17].

Також зазначено, що насіння на протязі 150 хвилин при температурі зерна 60°C становить 85%. Висота шару насіння повинна бути не менше 100 мм. В роботі Артьомова І. В та ін. [21] проводили попереднє випробування шахтної сушарки М – 819. Зони сушіння та охолодження складаються з двох прямоточних шахт, кожна з яких складається з двох колон, вони розділені між собою проміжною зоною. В кожній шахті вмонтовані датчики температури нагріву насіння.

Вологість початкового ріпаку складала 14%, температура теплоносія 98°C , кінцева вологість 7%. Нерівномірність нагрівання по колонкам шахт сушарки при середній температурі нагріву насіння $38,5^{\circ}\text{C}$ складає від 2 до 11°C . Максимальна температура нагрівання насіння 60°C зафіксована в першій колонці правої шахти, де і отримали найменшу схожість після сушіння, так і в процесі зберігання . Берегова О. М., Станкевич Г. М. [22] досліджували процес сушіння озимого ріпаку сортів – Світоч і Галицький в шарі (висота шару не вказана) (табл. 1.8). Сушіння відбувалось при початковій вологості 9 та 21% до кінцевої вологості 6% при температурі сушильного агента 70 та 100°C і швидкості повітря 0,2 – 0,3 м/с. Температура теплоносія 100°C не забезпечує необхідної якості насіння, а при збільшенні часу та великої початкової вологості матеріалу може привести майже до істотних втрат властивостей насіння. При температурі сушильного агенту 70°C , ми спостерігаємо різний вплив сорту ріпаку на дію температури: так сорт Світоч втрачає насіннєві властивості і потребує зниження температури сушильного агенту, а для сорту Галицький ця температура цілком достатня для збереження якості насіння.

В роботі Л. С. Пілявської та М. В. Чернікова [23] проведені випробування на можливість сушіння насіння ріпаку на об'єднаній шахтній сушці ДСП – 320Т. Технологічна схема дозволяла використовувати сушарку в

роботі як послідовно, так і паралельно. Охолоджувальна камера першої сушарки може працювати в якості третьої сушильної зони або на охолодження. Було висушено біля 560 т. насіння. Швидкість сушильного агента на виході з відвідних коробів 3,2 – 3,9 м/с. При роботі сушарки зниження вологості насіння за один прохід становило 9,9 – 13,2% при продуктивності 44,0 – 51,8 пл.т./год.

В роботі Атаназевича В. І. та Страхової Т. В. “Сушіння ріпаку” [23] надаються режими сушіння ріпаку в шахтних прямоточних сушарках ДСП – 320Т та К4 – УС2 – А, які випробувані на Козятинському хлібоприймальному підприємстві Вінницької області. Рекомендовано в залежності від вологості ріпаку використовувати різні способи сушіння: паралельний спосіб (до 15%); послідовний до 18%; рециркуляційний вище 18%.

Теплонасосна сушарка, яка розроблена в інституті технічної теплофізики національної академії наук України. [24] Теплонасосна сушарка, що містить чотири відокремлені за ходом сушильного агента зони (три зневоднення і одна охолодження), самостійні контури циркуляції теплоносія, теплообмінники тепловологісної обробки сушильного агента та тепловий насос, що відрізняється тим, що на валу компресора теплового насоса встановлений тепловий двигун, який оснащений утилізаторами теплоти, що встановленні в системах викидних газів та охолодження мастила і з’єднані теплообмінниками обробки сушильного агента в 1 і 2 зонах, а випарник та конденсатор теплового насоса встановлені відповідно в теплообмінниках обробки сушильного агента 4 і 3 зон.

1.4 Задачі досліджень

Завданнями магістерської роботи є:

- здобуття цілісного уявлення про вплив сушіння на якість зернової сировини;
- розгляд процесу сушіння на різних етапах роботи із сировиною;
- аналіз різних способів сушіння;
- визначення ролі сушіння в процесі виготовлення продукції;

- огляд матеріально-технічної бази, необхідної для виконання сушіння

Висновки до розділу

Проаналізувавши вище перелічені конструкції можна стверджувати:

1. Існуючі пальники зерносушарок здійснюють нагрівання прямим і непрямим способом.

2. Для сушіння зерна у господарствах (не на елеваторах) перспективні газові пальники, які здійснюють непрямий нагрів агента сушіння. У цих зерносушарках трохи менший ККД, порівняно із зерносушарками здійснюють прямий нагрівання агента сушіння.

3. На підприємстві на сушарку зерно подають не завжди очищеним.

На зерносушарках з прямим нагріванням агента сушіння це призводить до займання домішок і зерна в зерносушарці, втрати врожаю, виходу з ладу зерносушарки та подальшого її дорогого капітального ремонту [1, 2].

РОЗДІЛ 2

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА

2.1 Опис модернізованої топки зерносушарки А1-ДСП-50

Модернізована нами топка зерносушарки А1-ДСП-50 виконана з наступних вузлів: пальник, відбійник, вентилятор гарячого повітря, вентилятор холодного повітря, повітряний насос, сходи [5]. За відбійником встановлено вентилятор гарячого повітря. Насос повітряний призначений для примусової подачі повітря в пальник ГГВ-500. У пальнику ГГВ-500 лопатки встановимо під кутом 10° до поздовжньої осі симетрії з метою поліпшення сумішоутворення.

Відбійник призначений для запобігання влученню відкритого вогню в сушильну шахту. Редуктор призначений для зменшення тиску газу перед входом у модернізований пальник.

Вентилятором подають агент сушіння з температурою $40-80^{\circ}$ З в розподільні коробки, розташовані в сушильній шахті.

Розподільні коробки встановлені таким чином, що агент сушіння виходить з нижньої частини коробів, розподіляється всередині зерна і, таким чином, затримується усередині шахти. З метою охолодження зерна у нижню частину камери вентилятор подають атмосферне повітря. Модернізована топка зерносушарки А1-ДСП-50 працює наступним чином. Насосом повітряним 8 подають повітря в пальник модернізований ГГВ-500. Природний газ по трубопроводу 6 через редуктор 5 також подають пальник модернізований ГГВ-500, де відбувається сумішоутворення та займання. Відкритим вогнем підігрівають повітря, що продувається вентилятором. за відбійною перегородкою 4 і отримують агент сушіння. Агент сушіння з температурою $120-140^{\circ}$ З подають у сушильну частину шахти.

Вентилятор холодного повітря призначений для подачі холодного повітря охолоджувальну частину камери сушильної шахти.

Температуру агента сушіння регулюють зменшенням та збільшенням подачі газу в пальник, а також відкриттям та закриттям повітряної заслінки.

Модернізована зерносушарка А1-ДСП-50 забезпечує запобігання потраплянню відкритого вогню в сушильну камеру, що запобігатиме займанню домішок у складі зерна. Розташування лопаток під кутом дозволить зменшити витрати газу на 3...4%.

Щоб видалити надмірну вологу із зерна, її потрібно не тільки перевести в пароподібний стан, але ще видалити з шахти зерносушарки. У зерносушарках при термічній сушці застосовують гази, що мають високу температуру (агент сушіння). Агент сушіння виконує функцію робочого тіла, а саме здійснює термодинамічну роботу з метою переведення вологи, що міститься в зерні, пароподібний стан. Агентом сушіння може бути нагріте повітря, або суміш нагрітого повітря з паливними газами [1, 2].

Теплову енергію до зерна підводять кількома способами одночасно. Це конвективний – за допомогою агента сушіння, кондуктивний – через нагріті. поверхні сушильної шахти та короба. У другому випадку зерно стосується нагрітих поверхонь. У ясну сонячну погоду можуть використати терморадіаційний метод, тобто. розкладають зерно шаром п'ятнадцять – двадцять сантиметрів на асфальтованому майданчику та періодично перелопачують. За наявності вітру підвищується швидкість сушіння зерна.

У процесі конвективного сушіння необхідний обсяг теплоти для переведення вологи у пароподібний стан подають зерну конвективним та кондуктивним. способами, але якщо кількість теплоти, що подається недостатня, то температура зерна при сушінні знижується, тобто. зерно охолоджується [5, 6].

Перед подачею в сушильну шахту агент сушіння гріють у теплообміннику, який може працювати на природному газі, електроенергії та ін. [6, 7].

У хімічний склад палива входить водень, за деяких умов паливі може бути фізична волога. Тому при спалюванні палива виходить водяна пара, і вміст

вологи вмісту повітря з агентом сушіння стає вищим. При розрахунку зерносушарок та аналізі їх роботи завдання полягає у визначенні параметрів стану газової суміші на виході з топки та агента сушіння на вході в сушарку. Для цього достатньо знати їх температуру та вологовміст. Температура має бути задана технічними умовами: режимом сушіння зерна, роботи калорифера (якщо він є), сушарки та і т.д. Вологовміст можна визначити як відношення маси всіх водяних парів, що містяться в газовій суміші, до загальної маси їх сухої складової. Масу сухих газів знаходять із рівняння теплового балансу топки.

Рівняння теплового балансу зазвичай складають для топки спільно з змішувальними камерами. Для спрощення запису баланс становлять на 1 кг палива, що повністю згоріло. Така умова дозволяє не враховувати в балансі втрати від хімічної та механічної неповноти згоряння палива. Їх враховують якщо розраховують необхідну кількість енергоносія для сушіння продукту [1, 2, 9].

Насамперед, запишемо рівняння теплового балансу при спалюванні газоподібного палива.

Надходження теплоти:

- 1) кількість теплоти, що виділилася при повному згорянні 1 кг палива, дорівнює вищій теплоті згоряння Q_B^P , кДж,
- 2) кількість теплоти, що вноситься в топку та змішувальні камери зовнішнім повітрям, $L_T J_0$ (де J_0 – ентальпія повітря, кДж/кг; L_T – маса сухої частини повітря, кг),
- 3) кількість теплоти, що вноситься паливом (ентальпія палива), $c_T t_T$,
де c_T - питома теплоємність палива, кДж/(кг К); t_T – температура палива, що надходить у топку, $^{\circ}\text{C}$.

Рівняння теплового балансу топки має вигляд:

$$Q_B^P = L_T J_0 + \overline{c_T} t_T, \quad (2.1)$$

де L_T - маса сухого повітря, кг, c_T - середня питома теплота згоряння палива, кДж/(кг К), t_T — температура палива, що надходить у топку, $^{\circ}\text{C}$,

$$Q_B^P = 6050 \cdot 520,87 + 5600 \cdot 19 = 3257683 \quad \text{кДж.}$$

Визначимо ентальпію повітря:

$$J = 1,01t + (2500 + 1,88t) \frac{d}{1000}, \quad (2.2)$$

де t - температура повітря, що надійшло в топку, C^0 , d – вміст води, %
води на 1 кг сухого повітря,

$$J = 1,01 \cdot 30 + (2500 + 1,88 \cdot 30) \frac{19,19}{1000} = 520,87 \quad \text{кДж/кг.}$$

Питома теплоємність сухої суміші повітря та топкових газів залежить від концентрації в ній топкових газів, що визначається коефіцієнтом надлишку повітря α .

$$\alpha = \frac{L_T}{L_T^0}, \quad (2.3)$$

де L_T - теоретично необхідна маса повітря для повного згорання 1 кг палива, кг сухого повітря на 1 кг палива,

$$\alpha = \frac{6050}{405} = 14,94.$$

З зростанням коефіцієнта надлишку повітря питома теплоємність та щільність газової суміші знижуються, наближаючись відповідно до питомої теплоємності та щільності чистого повітря. Так, при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 5$ відповідні теплоємності та щільності розрізняються не більше ніж на 2%, а при 10 - 0,8% і менше [2].

Топкові гази, що виходять з камери згорання, мають занадто високу температуру, неприпустиму сушіння зерна. Для отримання необхідної температури до топкових газів у змішувальній камері додають зовнішній

повітря, внаслідок чого коефіцієнт надлишку повітря зазвичай знаходиться в межах 10...35, інколи ж вище [4].

При транспортуванні агента сушіння від топки до сушарки спостерігається деяка втрата теплоти в довкілля через стінки сполучних трубопроводів. Але за наявності теплової ізоляції трубопроводів зниження температури агента сушіння невелика [11].

Сушіння зерна складається з технологічних, що послідовно проходять. процесів: підведення агента сушіння, нагрівання зерна, переміщення вологи з внутрішнього об'єму до поверхні зерна, випаровування вологи з поверхні зерна, охолодження та відкладення зерна. Щоб зерно не спалахнуло, не рекомендують його нагрівати до температури понад 45⁰С для продовольчого та 38⁰С для насіннєвого. За один прохід через сушильну камеру вологість зерна може бути знижено до шести відсотків. Якщо необхідно знизити вологість зерна більш ніж на шість відсотків, то зернову масу після відкладки направляють на повторну подачу через зерносушильну шахту [10-12].

Зменшуючи температуру гарячого повітря до значення близького до допустимого значення запобігають можливості займання зерна в процесі сушіння. Але, знижуючи температуру гарячого повітря, що надходить у зерносушильний агрегат, відбувається збільшення часу сушіння, а це, у свою черга, знижує продуктивність агрегату, зростають витрати на повторну подання зерна до сушильної камери. Повторну подачу зерна на сушіння називають рециркуляцією, а зерносушарки рециркуляційними. Прямоточні зерносушильні агрегати простіші за конструкцією, мають меншу споживану потужність, але зерно, що надходить на сушіння, має володіти вологістю, що відрізняється менше трьох відсотків [23].

У зерносушильних установках, що працюють у рециркуляційному режимі, частина сухого зерна поєднується з вологим зерном. Це призводить до того, що зерно, що має будь-яку початкову вологість, досягає кінцевої вологості чотирнадцяти відсотків за меншу кількість перепусток. З підвищенням початкової вологості зерна знижується його подача в зерносушильну камеру та

одночасно підвищують подачу сухого зерна. Робота зерносушильного агрегату у режимі рециркуляції відбувається так. З допомогою рециркулюючої норії виконують подачу сухого охолодженого до атмосферної температури зерна з нижньої частини сушильної шахти у верхню частину. Подача зерна рециркулюючою норією перевищує пропускну здатність зерносушильного агрегату. У сухе зерно вологістю чотирнадцять відсотків постійно подають малими порціями вологе зерно комбайнів [23].

Робота зерносушильного агрегату з рециркуляцією зерна виконана на малюнку 2.1.

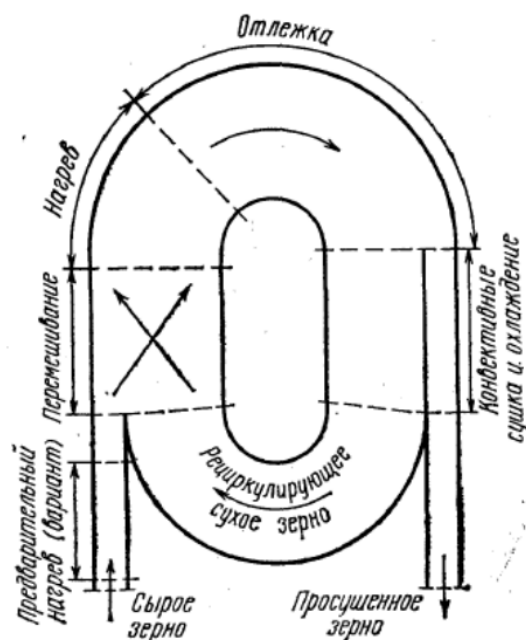


Рис 2.1 – Принципова схема сушіння з рециркуляцією зерна

У зерносушильному агрегаті вологе зерно проходить такі етапи: сушильну шахту, змішування з сухим зерном, прогрівання зерна, переміщення вологи з зернівки на поверхню, випаровування вологи з поверхні зерна, видалення вологи агент сушіння, охолодження зерна до атмосферної температури повітрям. Перемішування та сушіння зерна відбувається в сушильній шахті агрегату.

Процес сушіння в сучасних агрегатах здійснюють нагрітим повітрям (Конвекція).

У сушильній шахті теплота від гарячого зерна до холодного передається шляхом контактної взаємодії.

При правильній організації процесу сушіння подача зерна в сушильну камеру вище ніж камеру охолодження. Час знаходження зерна в сушильній камері менше, ніж у камері охолодження. У камері сушіння температура зерна знижується на десять-п'ятнадцять градусів Цельсія, а в охолоджувальній камері – на 25 градусів і вище, залежно від температури зовнішнього повітря [2, 5].

2.2 Характеристика стану зернового шару

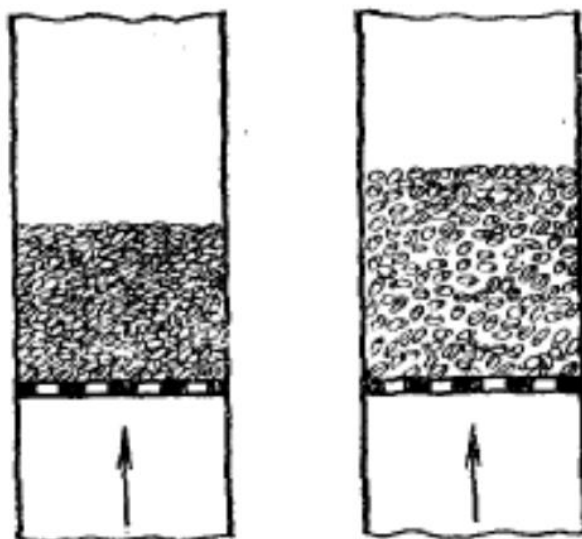
У шахтних зерносушарках, які набули найбільшого поширення, зернова маса рухається зверху донизу під впливом сил гравітації.

Гравітаційно рухомий шар зерна може бути отриманий при верхньому завантаженні маси. У процесі руху маси зверху донизу відбувається взаємне переміщення зерен, але механічна взаємодія між ними зберігається [4].

При переміщенні зерна зверху вниз відбувається оновлення контактної поверхні. Величина контактної поверхні менша від загальної площі поверхні всіх зерен, що лежать на поверхні шару (рисунок 2.2а) [8].

Зерно, що знаходиться в сушильній камері, під дією сил гравітації переміщається зверху вниз зі швидкістю від трьох до п'яти міліметрів за секунду. Шар зерна, проходячи короба сушильної камери, змінює площу поперечного. перерізу (отже, і обсяг міжзернового простору), і швидкість свого переміщення у вертикальній площині [18].

Значне підвищення перемішування шару зерна (рис. 2.2б) відбувається в зерносушильних агрегатах, що працюють у рециркуляційному режимі.



а – щільний шар; б - розпушений шар

Рисунок 2.2 – Характер зміни структури зернового шару залежно від швидкості повітря

Продуктивність зерносушарки встановлюється від багатьох режимних параметрів, але зрештою залежить від швидкості видалення зерна з камери сушіння розвантажувальними пристроями. Для сушіння зерна в шарі, що рухається допускається використовувати гаряче повітря, що має більш високу температуру, ніж при сушінні в нерухомому шарі. Температуру агента сушіння вибирають у залежності від виду культури, початкової вологості, способу підведення агента, наявності режиму рециркуляції [2, 17].

У сушарках із сітчастими стінками температура агента сушіння зазвичай буває не більше 70...90°C. У сушарках з повітророзподільними коробами умови продування зернового шару циклічно змінюються. У них використовують більше високі температури агента сушіння, не більше до 120...160°C [13].

Товщину гравітаційного шару, що рухається, приймають 100...250 мм в сушарках з повітророзподільними коробами і 300...500 мм у сушарках з сітчастими стінками. Велика питома подача агента сушіння 3500...3700 м³/(ч т) в

поєднанні з невеликою товщиною продуваного шару забезпечує поширення зони сушіння на весь шар [20].

Псевдозріжджений шар. Вказаний шар отримують шляхом продування через шар зерна підігрітого чи повітря атмосферної температури. Якщо тиск повітря перевищує силу тяжкості зерна, то відбувається його підняття та зерно виходить у зваженому стані у повітрі. Кожне зерно знаходиться у потоці повітря, внаслідок вологообміну зерна з повітрям протікає більш інтенсивно і знижується час сушіння. Для забезпечення підтримки зерна у виваженому стані потік гарячого повітря має бути спрямований знизу-вгору. Однак для утримання зерна у зваженому положенні необхідно значно витратити більше енергії, ніж у першому випадку. Тому такий вид сушіння виходить більше енергоємним [9, 22].

2.3 Параметри, що впливають на процес сушіння

Режим сушіння зерна - це поєднання факторів: температура теплого повітря (агента сушіння), що направляється на зерно, вологовміст теплого повітря (відносна вологість агента сушіння), швидкість руху гарячого повітря (Агента сушіння). Гранично-допустима температура нагріву зерна залежить від термостійкості зерна, що визначається видом культури та вологістю. Потрібно розуміти, що невеликий часовий проміжок впливу високих температур зерно переносить краще, ніж тривалішу за часом сушіння [9].

Температура t_0 та відносна вологість ϕ_0 зовнішнього повітря не впливають на процес сушіння в зерносушарці, але вони впливають на такі показники роботи зерносушильного агрегату як витрата палива [кг ч/т] та кінцеву температуру збіжжя після охолодження [7, 17].

Значення температури гарячого повітря, що надходить у сушильну камеру безпосередньо впливає на час прогрівання зерна і видалення з нього вологи. З підвищенням температури відповідно підвищується кількість підведеної до

зерну теплоти і знижується час сушіння, проте за високої температури виникає ймовірність підгорання чи розтріскування зерна, а це знижує якісні показники збіжжя. Відносна вологість гарячого повітря, що надходить у сушильну камеру, змінюється у невеликих межах. Зміни відносної вологості гарячого повітря не повинні перевищувати 0,5% [2, 4].

Така зміна ϕ_1 не впливає на процес сушіння, і її не враховують.

За температурою відпрацьованого гарячого повітря та його відотною вологістю можна судити про правильно виконані технологічні налаштування. За вказаними параметрами можна судити про економічність роботи зерносушильного агрегату. Чим ближче значення температури гарячого повітря до максимальному значенню температури нагріву зерна, тим більше повно використовують теплоту ув'язнену в агенті сушіння [1, 5].

Вологість зерна, з якою воно надходить на сушіння, впливає на тривалість та економічність процесу сушіння. Вологість зерна, що надходить на сушіння надає прямий вплив на температуру гарячого повітря та час сушіння, це пов'язано з отриманням сухого зерна, що має високі технологічні якостями [2].

Інтенсивність випаровування вологи відбувається швидше за допустимої більш високої температури гарячого повітря, а це безпосередньо впливає на збільшення швидкості проходження зерна через сушильну камеру, а, отже, на продуктивність зерносушильного агрегату [3, 15].

В охолоджувальній камері зерно продувають атмосферним повітрям, внаслідок цього знижують температуру зерна до значення, що перевищує температуру навколишнього повітря трохи більше п'яти градусів Цельсія [10].

Якщо сушити зерно у щільному шарі, то встановили залежність, що інтенсивність видалення вологи з поверхні зерна зростає при зниженні товщини продуваного шару. Враховуючи сказане, з погляду експлуатаційних витрат вигідно ставити найменшу товщину шару в зерносушарки. У зерносушильних агрегатах шахтного компонування найменше значення шару зерна становить сто-сто двадцять міліметрів [1].

Сушити зерно необхідно для збереження його технологічних показників на можливий тривалий проміжок часу. Режим сушіння необхідно задавати таким чином, щоб не погіршувалися хлібопекарські, кормові та продовольчі властивості зерна [2, 4].

Зернові культури з вологістю понад двадцять відсотків сушать у господарстві у шахтних зерносушарках за два проходи через сушильну камеру. Між перепустками виконують відкладення зерна. При оснащенні підприємства вентиляційними установками виконують активне вентилявання зерна атмосферне повітря. Під час відліжування зерна ведуть спостереження за його якістю, щоб не допустити його займання [12].

Перед сушінням зерна обов'язково беруть аналіз на вміст клейковини. У процесі сушіння відбувається підвищення якості клейковини, а це безпосередньо впливає якість зерна.

При сушінні в шахтних зерносушарках гаряче повітря має різну температурою. На початку сушіння, коли зерно має більшу вологість і меншою термостійкістю гаряче повітря, що надходить, повинно мати мінімальну температуру. При прогріванні зерна температуру гарячого повітря, що йде на сушіння, поступово підвищують, в результаті зерно нагрівають до більшого значення температури [2, 7].

Якщо потрібно сушити кукурудзу для отримання крохмалю та патоки, то температуру агента сушіння подають від більшого значення можливої температури до меншого значення. Це потрібно робити для того, щоб виключити ймовірність тріщин у зерні. Кількість тріщин у зерні збільшується при зменшенні вологості зерна. Зі збільшенням тріщин у зерні погіршується якість одержуваної крупи та якість сировини для отримання патоки та крохмалю. На технологічні режими сушіння впливають на подальше призначення зерна. Наприклад, кукурудзу, яку використовуватимуть у їжу, сушать як насіннєве зерно. Зерно кукурудзи для отримання крохмалю та патоки сушать при великих температурах, а для сушіння кукурудзи, яка буде використана як сировина для комбікорму, температуру агента сушіння

піднімають ще більше пшениці сильних, твердих та цінних сортів виконують з використанням мінімально можливих низьких температур гарячого повітря, щоб забезпечити гарна якість висушеного зерна [8].

Визначили необхідну потужність електродвигуна приводу вентилятора для подачі агента сушіння в шахту зерносушарки. Потужність складе 55 кВт. Визначаємо за формулою момент, що крутить, на валу відцентрового вентилятора [13, 14]:

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{30P}{\pi \cdot n_1}, \quad (2.4)$$

де P - потужність на валу, кВт, n - частота обертання валу електродвигуна, хв-1,

Визначимо потужність на валу відцентрового вентилятора:

$$P_2 = P_{\text{тр дв}} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2, \quad (2.5)$$

де $P_{\text{тр дв}}$ - потужність двигуна, що подається на вал вентилятора, кВт, η_1 - ККД підшипників, η_2 - ККД муфти,

Отримані результати запишемо у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 2.1

Розрахункові показники

Найменування	P , кВт	n , хв ⁻¹	U	T , Н·м
Електродвигун	55	1500	—	350,31
Вал відцентрового вентилятора	51,95	1500	1	330,87

Для обертання вентилятора підбираємо електродвигун АІР225М4 з частотою обертання ротора $n=1500$ хв-1 потужністю $N=55$ кВт [11].

Висновки по розділу

Роботі представлені агротехнічні вимоги, яких необхідно дотримуватись під час виконання сушіння зерна. Вказані різні види шарів зерна, які можуть бути в зерносушильних агрегатів. Вказано позитивні сторони зерносушильних агрегатів, що працюють у прямоточному режимі чи режимі рециркуляції. Зробили розрахунок технологічних параметрів роботи модернізованої зерносушарки. Визначили діаметр робочого колеса вентилятора 0,88 м. подачі агента сушіння в зерносушарку підібрали вентилятор В-Ц14-76-2,5, при цьому необхідна потужність електродвигуна становитиме 50,51 кВт.

Запропонували модернізацію топки. Зробили розрахунки шліцевого з'єднання приводу вентилятора $\sigma_{\text{см}}=15,38 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{см}}]=150...200 \text{ МПа}$ – умова виконується. Для обертання вентилятора підбираємо електродвигун АІР225М4, потужність на валу вентилятора становила $N=51,95 \text{ кВт}$.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Методика визначення температури зерна в установці для сушіння зерна

Цього можна досягти завдяки «застосування високих швидкостей сушіння, які значною мірою залежать від температури сушіння». [13, 14] Температуру дослідного зразка зерна можна виміряти за допомогою термометра чи пірометра. Можливості підвищення температури обмежені такими факторами: - втратою схожості; - змінами в окремих складових частинах зерна; - порушенням біологічної структури; - зміною якісних показників. При сушінні діє правило: температура зерна має бути тим нижча, чим вища його вологість і триваліший термічний вплив. Вимірювання температури як досліджуваного зерна, так і поверхні, що нагрівається, можна виміряти за допомогою пірометра. Дія пірометра ґрунтується на вловлюванні інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, що випускається об'єктом, інтенсивність якого пропорційна температурі об'єкта. Важливим фактором, що обмежує режими сушіння зерна в зерносушарках різних типів та конструкцій, служить гранично допустима температура нагріву зерна. Граничнодопустима температура нагріву зерна, за якої можлива реалізація процесу впливу без зниження якості обробленого продукту, в основному залежить від його початкової вологості, оскільки чим більше в об'єктах теплового впливу вільної води, тим вони менш термостійкі. Датчики температури показують значення $t_1=55,50^{\circ}\text{C}$ у першій стінці, що обігрівається, $t_2=40,00^{\circ}\text{C}$ між стінами установки, що обігріваються, $t_3=55,40^{\circ}\text{C}$ біля другої стіни, що обігрівається. Тому при вологості зерна, яке піддається сушінню більше 20% знижують температуру агента сушіння, що подається, і температуру 34 нагрівання. У разі перевищення початкової вологості зерна 25%, граничнодопустимі температури нагріву зерна та агента сушіння становлять 50% і вище [12].

3.2 Методика теплофізичних змін зерна

Теплофізичні характеристики будь-якого матеріалу, у тому числі зерна, необхідні при розрахунках теплових процесів нагріву, сушіння, охолодження. Особливістю теплофізичних характеристик зерна є їхня залежність від вологості, температури, від розміру зерен, від щільності зернового шару. «Щодо методики процесу теплової обробки розглянемо наступні теплофізичні властивості зерна». [15, 16] До теплопровідності зернової маси можна віднести здатність передавати теплоту при безпосередньому зіткненні зерна один з іншим, або від поверхні, що нагрівається. Оцінюють теплопровідність зерна та зернового шару коефіцієнтом теплопровідності, який змінюється в межах 0,120...0,140 Вт/(м·°C). Температуропровідність – це теплофізична величина, що характеризує швидкість зміни температури у матеріалі, та оцінюється коефіцієнтом температуропровідності $1,7 \cdot 10^{-7} \dots 1,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$. За відомими значеннями теплопровідності та температуропровідності визначався коефіцієнт питомої теплоємності [12]:

$$C = \lambda / V\rho , \quad (3.1)$$

Дослідження проводилось в заданих межах варіювання факторами: температура нагріву від 45-55°C, тривалість нагріву від 12 до 24 хв., товщина шару 5-15 см. Досліди проводились в триразовій повторюваності. У межах зміни значень коефіцієнтів температуропровідності (В), теплопровідності (λ) та теплоємності (с), для зерна пшениці отримані відповідні математичні залежності від часу нагрівання (t), температури нагрівання (τ) та товщини шару (h). Теплофізичні коефіцієнти зерна представлені у вигляді залежностей часу нагріву, температури та товщини шару (рис. 3.1.-3.3) [12].

Закономірності зміни констант, що розглядаються, від товщини шару зерна показали, що залежності підпорядковуються лінійному закону, в кінцевих значення товщини шару зростає швидше за теплопровідність. Коефіцієнт температуропровідність дуже швидко піднімається. Коефіцієнт теплоємності також є кривою другого порядку, досягає максимального значення при

1600 Дж/кг⁰С. Результати досліджень теплофізичних характеристик зерна пшениці від другого фактора температури нагрівання зерна представлені у вигляді графіків (рис. 3.2) [10].

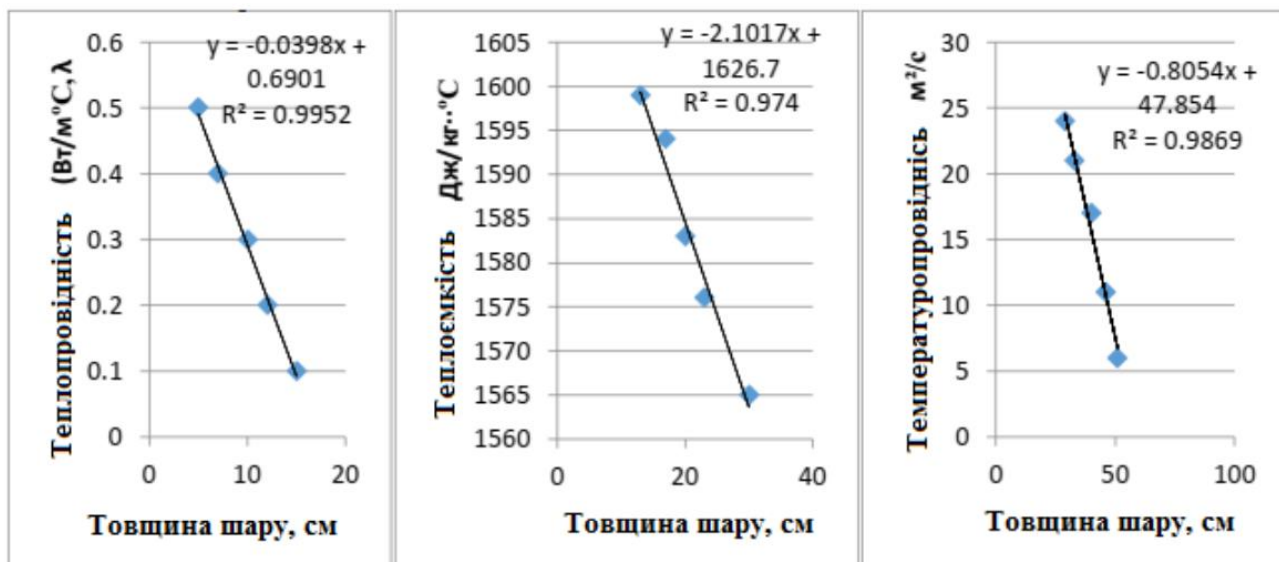


Рисунок 3.1 - Вплив товщини шару зерна на теплофізичні характеристики

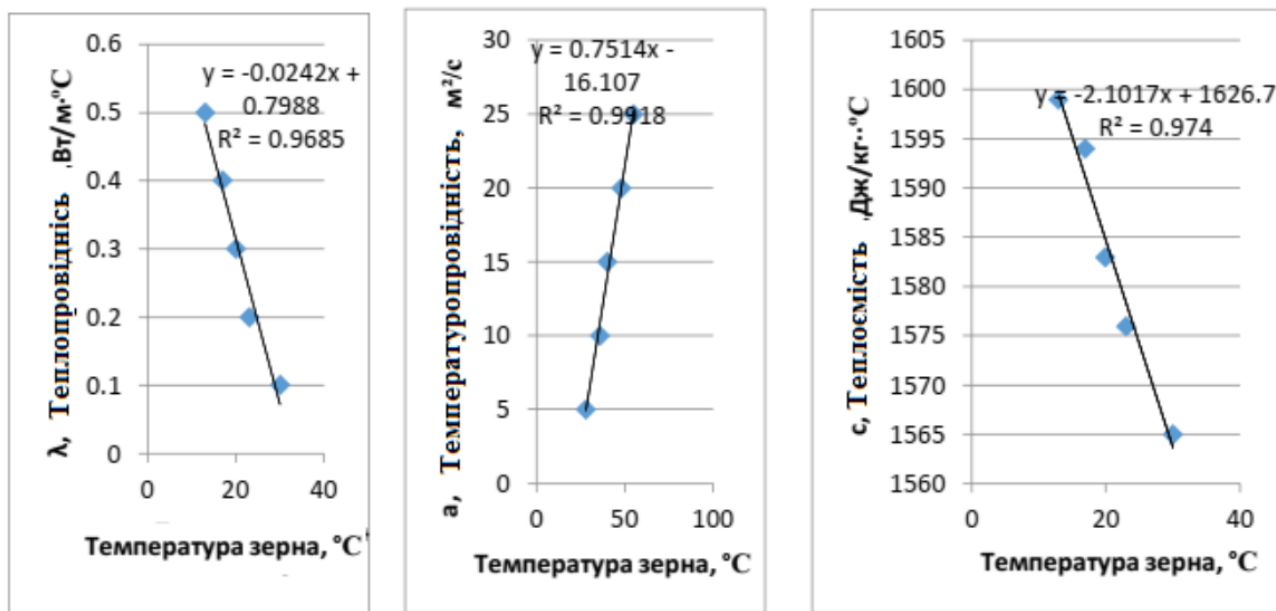


Рисунок 3.2 - Вплив температури зерна на теплофізичні характеристики

Коефіцієнт теплопровідності від температури зерна виглядає як крива другого порядку, причому зростає із збільшенням температури. Це зрозуміло

тим, що всі пори матеріалу заповнені рідиною і таке явище відбувається із коефіцієнтом теплоємності зерна як лінійна функція. Коефіцієнт температуропровідності виглядає обернено залежною з коефіцієнт теплоємності. Це цілком обґрунтовано, зміна всіх теплофізичних констант від температури зерна відбувається в зростаючому режимі. Підвищення температури значно впливає на теплоємність за рахунок збільшення обсягу рідини в порах матеріалу збільшується повітря. При підвищенні густини зерна відбувається зменшення коефіцієнта температуропровідності. Це пояснюється зменшенням рідкого середовища у структурі зернівки. Температуропровідність у початковий момент підвищення щільності знижується. Це пояснюється тим, що волога не встигає нагріватися, починаючи з 1000 кг/м^3 щільності. Теплопровідність різко зростає у межах від 1000 до 1100 кг/м^3 . З коефіцієнтом теплоємності відбувається зворотне явище максимальне значення при вологості 1000 кг/м^3 . Результати досліджень теплофізичних характеристик зерна пшениці від третього фактора часу нагріву зерна представлені у вигляді графіків (рис. 3.3) [12].

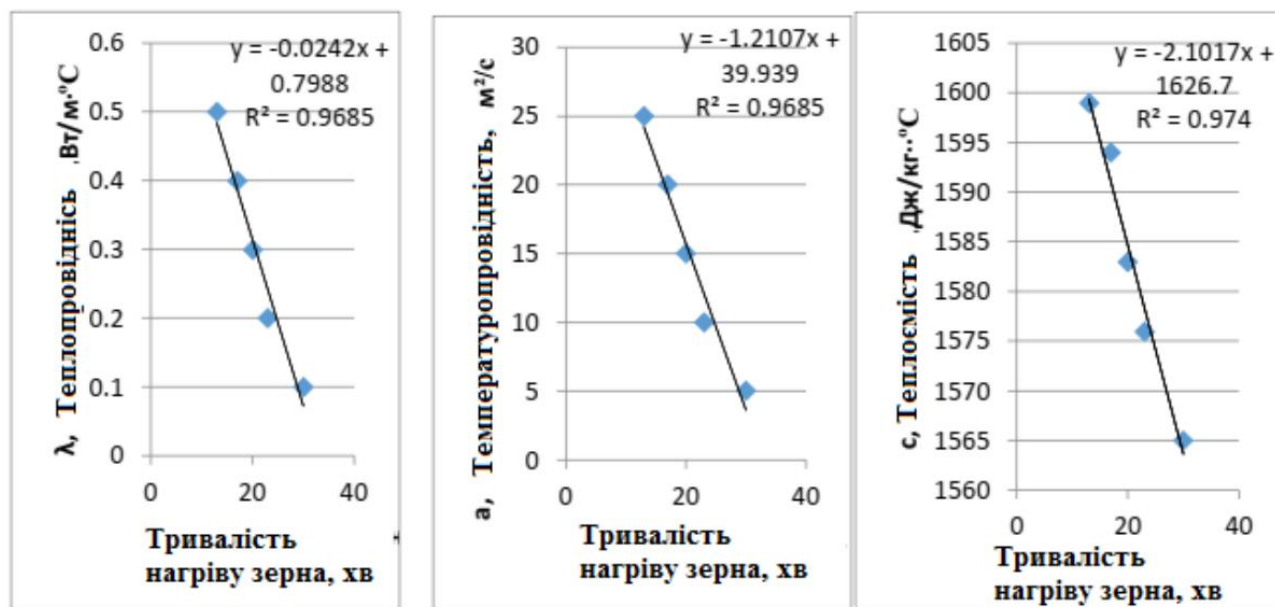


Рисунок 3.3 - Вплив часу нагріву зерна на теплофізичні характеристики

Залежність теплофізичних констант від вологості описуються кривими другого порядку та спостерігається зі зростанням вологості підвищення всіх

трьох констант. Це пояснюється тим, що збільшення масової частки вільної води в місцях зіткнення частинок матеріалу, що грає роль «теплового містка», та сприяє створенню кращих умов для передачі частоти. Фактор температури посилює роль води, як засобу теплопередачі від однієї частки до іншої. При цьому перенесення теплоти відбувається за рахунок перенесення теплоти таким чином, при підвищених температурах яких одночасно може відбуватися два процеси: - перенесення теплоти за рахунок теплопровідності; - часткове перенесення теплоти шляхом масообміну. Зі зростанням температури всі константи теплофізичних характеристик від температури зростають. Причому коефіцієнт температуропровідності ближче до лінійного закону, хоча є кривою другого порядку. Це явище можна пояснити тим, що вода всередині матеріалу виконує теплопередачу рівномірно за лінійною залежністю (рисунк 3.4) [12-47].

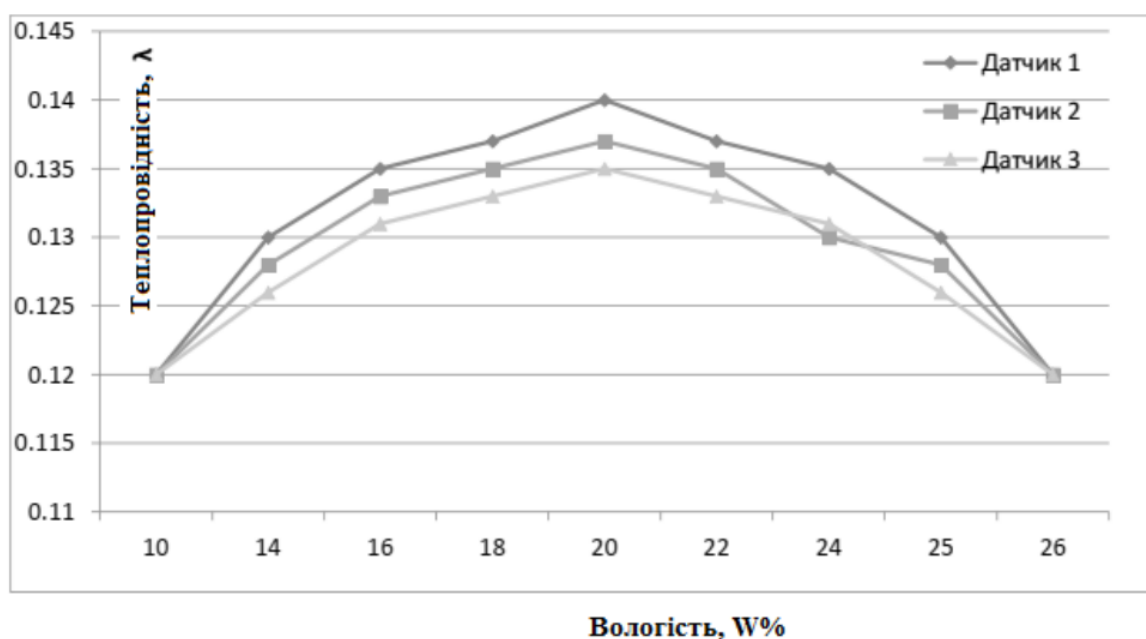


Рисунок 3.4 – Залежність теплопровідності шару зерна від вологості зерна

Теплопровідність зернового шару з підвищенням вологості зерна спочатку збільшується, а далі знижується (рис.3.4). Для шару 5см температури 25⁰С теплопровідність досягає максимуму 0,138Вт/(м⁰С) при вологості 18%. При розташуванні датчиків: спочатку датчик 1, в середині датчик 2 і біля кожуха

датчик 3. З підвищенням (зниженням) температури зерна кожні 10°C теплопровідність зростає (знижується) на 2,5% порівняно зі значенням її за 25°C . Спеціальні дослідження, показали, що теплоємність зерна складним чином залежить від його вологості та температури (рисунок 3.5) [12].

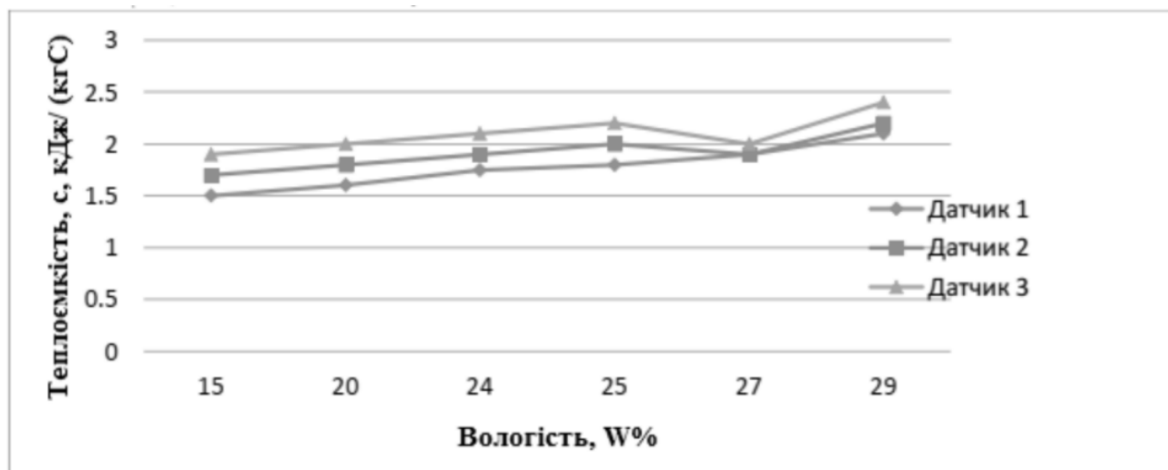


Рис. 3.5 Залежність теплоємності зерна від вологості і температури, датчик 1= $1,5\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$, датчик 2= $1,75\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$, датчик 3= $1,8\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$.

При вологості зерна 25% вона не залежить від температури, але при меншій вологості з підвищенням температури зростає, а за більшої вологості, навпаки, зменшується. У зерновому шарі з підвищенням вологості з 10 до 25% температуропровідність безперервно знижується (рис. 3.6) [3, 5, 12].

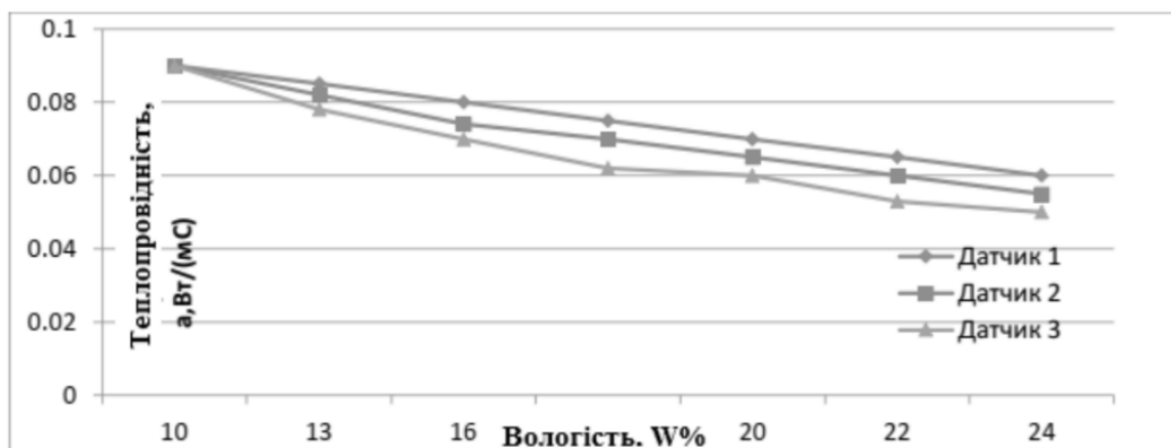


Рисунок 3.6 – Залежність теплопровідності шару зерна від вологості: датчик 1= $0,06\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$, датчик 2= $0,055\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$, датчик 3= $0,5\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$.

Висновки до розділу

Запропонована схема сушильної установки, її конструктивна схема дозволяє сушити з температурою нагрівання 55°C дозволила одержати сумарну енергоємність $2,1 \text{ кВт}\cdot\text{год/кг}$. Кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання зерна та видалення з нього вологи при контактному способі передачі теплоти, залежить від температуропровідності матеріалу нагріваючої поверхні, різниці температур нагріваючої поверхні оброблюваного зерна (температурного градієнта) та експозиції теплового впливу [12].

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Питання охорони праці регулюються Законом України «Про охорону праці», Кодексом законів про працю України, Законом України «Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», а також рядом постанов Кабінету Міністрів України та інших законодавчо-нормативних актів. Кодекс законів про працю України (КЗпП) визначає засади і гарантії здійснення громадянами права розпоряджатися своїми здібностями до праці. КЗпП регулює трудові відносини всіх працівників з метою зростання якості роботи, продуктивності праці, підвищення ефективності виробництва, зміцненню трудової дисципліни. Кодекс законів про працю визначає високий рівень умов праці та всебічну охорону трудових прав працівника (розділ XI —Охорона праці) [26-32].

4.1 Характеристика і аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникнути під час роботи зерносушарки

Аналіз технологічної схеми, що проектується, представленої в технологічній частині даного проекту, показує, що можуть виникнути наступні потенційно небезпечні і шкідливі фактори (НШВФ) [24, 29]: - підвищення запиленості повітря робочої зони – спостерігається у виробничих приміщеннях при роботі всього технологічного та транспортного обладнання на елеваторі. Пил в робочому приміщенні утворюється за рахунок транспортування продукту, виконання технологічних операцій, поломки або відсутності аспірації. Дрібний пил з розміром часток 5...10 мкм є більш небезпечним для здоров’я виробничого персоналу . Також наявність зернового пилу в повітрі робочої зони у відповідній концентрації та наявності відкритого вогню може привести до пилеповітряних вибухів. - підвищення рівня шуму на робочому місті – спостерігається у

виробничих приміщеннях при роботі всього технологічного та транспортного обладнання на елеваторі [27]. Шум на робочому місці подразнює працівника, підвищує його стомлюваність, а при виконанні завдань, що вимагають уваги і зосередженості, здатний привести до зростання помилок і збільшення тривалості виконання завдання. Також тривала дія шуму може призвести до туговухості різного ступеня, в тому числі і до повної глухоти; - недостатність освітлення робочої зони – найчастіше спостерігається в підсилювальній галереї та на поверхах робочий башти. Виконання зорової роботи за несприятливих умов освітлення призводить до зниження зорової працездатності. Зорова втома прискорює розвиток загальної втоми в організмі працівника і значною мірою відображається на якісних і кількісних виробничих показниках. - підвищення значення напруги в електричній мережі – спостерігається у роботі технологічного та транспортного обладнання. Найчастіша причина ураження людини електричним струмом – торкання до неізольованих струмопровідних провідників; до провідників з пошкодженою ізоляцією, а також до металевих елементів конструкції машин, механізмів і апаратів, які випадково виявилися під напругою. Наслідок дії на людину електричного струму залежить від багатьох чинників. Величина струму, який протікає через тіло людини, є головним чинником, що визначає наслідок ураження: чим більший за величиною струм, тим небезпечніша його дія. - підвищення рівня статичної електрики (електродвигуни, натяжні станції, самопливи, скальператори, фільтри); патогенні мікроорганізми (гриби) і продукти їхньої життєдіяльності [26, 28]. Вони можуть знаходитися на поверхні як зерна, так і обладнання, і можуть призводити до захворювань працівників, а також людей та тварин, що будуть використовувати у харчуванні готові продукти переробки зерна, а також можуть викликати захворювання рослин, що будуть вирощуватися з насіннєвого зерна, на поверхні якого будуть знаходитися патогенні мікроорганізми (гриби), наприклад, ріжки та сажки. - підвищена температура повітря робочої зони та знижена температура повітря робочої зони – спостерігається у робочий башті,

так як приміщення не опалюються у холодні пори року та не кондиціонуються у теплі пори року. Допустимі мікрокліматичні умови-поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації [29]. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності. - рухливі частини виробничого устаткування – можуть призвести до спричинення механічних травм працівникам. Повинні бути закритими для безпеки людей. - вібрація машин – спостерігається при роботі технологічного та транспортного обладнання. Виробнича вібрація може бути зумовлена недостатньо сильною віброізоляцією й амортизацією обладнання та сільськогосподарських і транспортних машин. Тіло, що цілісно піддається тремтінню, перебуває під дією вібрації загального типу, якщо тремтять окремі його елементи (ноги, руки) – локального. - робота на висоті – спостерігається при обслуговуванні силосів, бункерів, надсилосних та інших повітряних галерей, зерносушарок, тощо. Основними небезпечними виробничими факторами під час виконання цих робіт є падіння працівника або падіння предметів; супутніми можуть бути фактори: пожежна небезпека, дія електричного струму, підвищені рівні запиленості, загазованості повітря, шуму, несприятливі кліматичні умови тощо [31, 32].

4.2 Розробка організаційно-технічних заходів по забезпеченню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці під час роботи зерносушарки

Заходи щодо попередження травматизму на зерносушильному та зерноочисних комплексах. Персоналу, який працює на обслуговуванні високих споруд, зокрема зерносушильних, зерноочисних агрегатів, завантажувальних бункерів, перед роботою повинні бути видані монтажні пояси, взуття з

рифленим прогумованим підошвою, а для носіння інструментів та металовиробів – спеціальна сумка.

Зерносушильний агрегат повинен мати обладнання для сигналізації та блокування приводів з метою запобігання завалам зерна у завантажувальному бункера або виходу з ладу однієї машини [28, 31].

Трубопроводи, повітропроводи, сушильні шафи повинні бути закриті теплоізолюючими матеріалами, захисними екранами.

Двері, бункери мають бути обладнані люками, засувками. На технологічні отвори мають бути встановлені захисні ґрати. Ближче одного метра від завальних ям заборонено встановлювати попереджувальні написи.

При виконанні робіт з сушіння та очищення зерна стороннім заборонено перебувати поруч із працюючими машинами [32].

4.3 Моделювання небезпечних ситуацій під час роботи з сушаркою

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма. Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії та катастрофи, мають дуже близькі механізми формування та виникнення [25, 31].

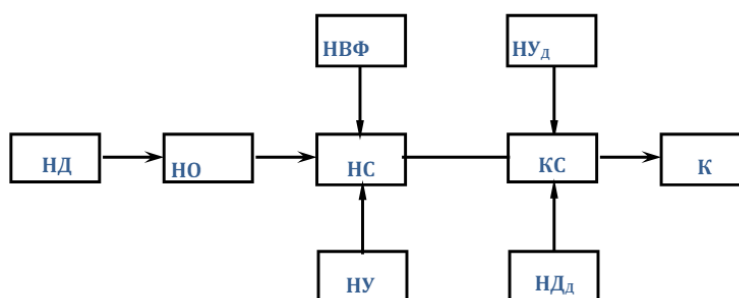


Рисунок 4.1 - Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних та катастрофічних ситуацій [25, 31]: НВФ-небезпечний виробничий чинник; НУ-небезпечні умови; НД-небезпечні дії; НО-небезпечні обставини;

НС- небезпечна ситуація; А-аварія; Т-травма; КС-критична ситуація; НУд-небезпечні умови додатково; НДд-небезпечні дії додатково; К-катастрофа.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає. Що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія(А), травми (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ [25, 31].

Висновки до розділу

В розділі охорона праці розглянуті загальні відомості про використання зерносушарок, аналіз небезпечних і шкідливих чинників робочого місця, розроблені заходи з безпеки праці [28-32].

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО АГРЕГАТУ А1-ДСП-50

За основу розрахунку ми взяли процес сушіння зерна у модернізованому зерносушильному агрегаті А1-ДСП-50.

Існуючий агрегат виробляє сушку зерна конвективним способом рахунок взаємодії теплоносія з вологим зерном. Теплоносій одержують шляхом нагрівання повітря відкритим полум'ям.

На зерносушарках із нагріванням від теплоносія це призводить до займання домішок та зерна в зерносушарці. Що призводить до втрати врожаю, виходу з ладу зерносушарки та подальшого її дорогого капітального ремонту.

Пропонуємо модернізувати топку шляхом:

1) установки після пальника відбійної перегородки. Відбійна перегородка призначена для запобігання попаданню іскор відкритого, що відірвалися полум'я в сушильну шахту;

2) для кращого сумішоутворення в пальнику встановити лопатки. Модернізація зерносушильного агрегату А1-ДСП-50 дозволить знизити ризик загоряння зерна у сушильній шахті, тим самим підвищити надійність роботи зерносушильного агрегату. Це призведе до збільшення коефіцієнта використання часу зміни τ [1, 2, 9]. Розрахунки проведено відповідно до вимог [19, 20].

Висновки до розділу

Порівнюючи два варіанти отримали, що використання другого агрегату при сушіння зерна більш ефективно порівняно з першим. Тому що економія експлуатаційних витрат становитиме 10,3%. Річний економічний ефект складе 28161,7 грн, А рентабельність підприємства з використанням модернізованого зерносушильного агрегату становитиме 55,62%. Термін окупності зерносушарки А1-ДСП-50, що модернізується, складе 0,52 роки

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У випускної кваліфікаційної роботи представлені агротехнічні вимоги, яких необхідно дотримуватись під час виконання сушіння зерна. Вказані різні види шарів зерна, які можуть бути в зерносушильних агрегатах. Вказано позитивні сторони зерносушильних агрегатів, що працюють у прямооточному режимі чи режимі рециркуляції.

Зробили розрахунок технологічних параметрів роботи модернізованої зерносушарки. Визначили діаметр робочого колеса вентилятора 0,88м. Для подачі агента сушіння в зерносушарку підібрали вентилятор В-Ц14-76-2,5, при цьому необхідна потужність електродвигуна становитиме 50,51 кВт.

Модернізація зерносушильного агрегату А1-ДСП-50 дозволить знизити ризик займання зерна в сушильній шахті, тим самим підвищити надійність роботи зерносушильного агрегату. Це призведе до збільшення коефіцієнта використання часу зміни до 80%. Витрата газу зменшиться на 3...4% і складе 735 м³/год.

У роботі запропонували модернізацію топки. Зробили розрахунки шліцевої сполуки $\sigma_m = 15,38 \text{ МПа} \leq [\sigma_m] = 150...200 \text{ МПа}$ – умова виконується. Для обертання вентилятора підвіряємо електродвигун АІР225М4, потужність на валу вентилятора становила $N=51,95 \text{ кВт}$.

В економічній частині випускної кваліфікаційної роботи за основу розрахунку ми взяли процес сушіння зерна в модернізованому зерносушильному агрегаті А1-ДСП-50.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жемела Г.П. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва: навч. посіб. / Жемела Г.П., Шеманьов В.І., Олексяк О.М. – Полтава.: ТЕРРА, 2003 – 420 с.
2. Гапонюк О.І. Активне вентилування та сушіння зерна: Навчальний посібник /О.І. Гапонюк, І.І. Гапонюк, М.В. Остапчук, Г.М. Станкевич//Одеса, «ВМВ», 2014.–326с.;
3. Гапонюк І.І.Технічний регламент зернового складу./І.І.Гапонюк, І.Л. Корецькая., Г.М.Станкевич та інш. Норм. док-т, № держ. Реєстр. 0111u007946. //К.: – 2014, –90 с.
4. Мерко, І. Т. Наукові основи і технологія переробки зерна. Підручник для студентів вищих навчальних закладів./ І.Т Мерко, В.О Моргун. - Одеса: Друк, 2001. - 348с.
5. Гапонюк Витоки та організаційно-технічні питання зберігання й переробки зерна//Ужг. – вид.ФОП Сабов А.М. – 2021, – 248 с.; 10. Шаповаленко, О.І. Зберігання та переробка сільськогосподарської продукції./ О.В. Богомолів, Н.В. Верешко, О.М. Сафонова та ін. – Харків: Еспада, 2008. – 544с.
6. Станкевич Г. М. Сушіння зерна: Підручник. К.: Либідь, 1997. – 352 с.
7. Данильчук П.В. Довідник по зберіганню зерна. Київ, 1989. 96 с.
8. Шмат К.І., Диневич Г.Ю., Карманов В.В. та ін. Технологія і обладнання для зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. Херсон, 2001. 160 с.
9. О. Шаповаленко О.І. Мікрохвильова обробка пшеничних зародків і сушіння інфрачервоним випромінюванням. Зерно і хліб. Київ, 2000. № 4. С. 20- 21.
10. Паламарчук І.П., Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. та ін. Обґрунтування схеми віброозонуючої сушарки для післязбиральної обробки. Наукові праці Національного університету харчових технологій. Київ, 2016. № 6. С. 151-156.
11. Цуркан О.В., Пришляк В.М., Присяжнюк Д.В. Інтенсифікація сушіння зерна у процесі його післязбиральної обробки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця, 2017. № 2 (97). С. 99-104.

12. Пасічник Б.А. Удосконалення технологічного процесу теплової обробки зерна. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.
13. Колтунов В. А Технологія зберігання продовольчих товарів: підручник. – К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2003. – 538 с.
14. Подпратов Г.І., Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник. – К. : Аграрна освіта, 2014. – 393 с.
15. Подпратов Г. І., Войцехівський В. І., Мацейко Л. М., Рожко В. І. Основи стандартизації, управління якістю та сертифікація продукції рослинництва. – Луцьк : Терен, 2011. – 752 с
16. Хобін В.А, Бабіков А.Ю. Дослідження систем гарантує управління екстремальними нестационарними об'єктами з обмеженнями / Зб. наук. пр. Кіровоград. держ. техн. універ. - Кіровоград, 2002. - Вип. 11. - С. 54-57.
17. Пазюк, Д. В. (2022). Дослідження низькотемпературних режимів сушіння ріпаку. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/7ec09daa-5e71-4b95-8a10-a93a4bf74bba/content>
18. Гайдаш В. Д. Ріпак . Івано – Франківськ: Сіверсія ЛТД, 1998. С.224
19. Конеченков А. Г. Біопаливо для України .Зелена енергетика. 2007.№ 1. С.10 – 11.
20. Овсянникова Л. М ,Орлова С.Д., Гончарук Г. С. Для ефективного очищення насіння ріпаку й гірчиці від важковідокремлюваних домішок . Зерно і хліб. 2007. № 2. С. 24 – 25.
21. Берегова О. М., Станкевич Г. М. Дослідження процесу сушіння насіння ріпаку Вісник харківського державного університету сільського господарства. 2001. Вип. 5. С. 282 – 287.
22. Станкевич Г. М., Страхова Т. В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна: Підручник ,– К.: Либідь, 1997. – 352 с.

23. Берегова О.М. Вплив вологості і температури на теплофізичні характеристики насіння ріпаку . Холодильна техніка і технологія. 2001. № 2 (71). С. 49 – 51.
24. Теплонасосна зерносушарка : пат. 49118 Україна: МПК F26B1/00 . № 200912288/09; заявл. 30.11.2009; опубл. 12.04.2010. Бюл. № 7.
25. Бондар Ю.С. Дослідження параметрів процесу сушіння насіння зернових і зернобобових культур зерносушарки каскадного типу. УНУС. 2024. 38с.
26. Охорона праці в галузі : навч.-метод. посіб. для здобувачів вищої пед. освіти всіх спец. за освітнім ступенем «магістр» / МОН України, Уманський держ. пед. ун-т імені Павла Тичини ; уклад. О. В. Нагайчук. – Умань : Візаві, 2023. – 207 с.
27. Стручаєв М. І. Визначення тривалості процесу сушки сінажу. Праці ТДАТА. 2015. Вип. 33. С. 46–49.
28. Роговика А.В. Розробка інтегрованої автоматизованої системи управління процесом сушки зерна НУХТ, Київ, 2024 51с.
<https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/3b7ee0c7-53a2-4995-8356-2f45075abcd3/content>
29. Гришко І. В. Модернізація електрообладнання для сепарації та сушіння зерна на зерносушильному пункті з метою підвищення його енергетичної ефективності : кваліфікаційна робота / І. В. Гришко ; кер. Г. С. Логвінов. – Житомир : ЖАТФК, 2024. – 93 с.
<http://repository.zhatk.zt.ua/handle/123456789/663>
30. Наказ Мінсоцполітики №1504 від 20.09.17 «Правила охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна»
31. Козар Василь Богданович Обґрунтування параметрів жалюзійного повітророзподільника пневморешітного сепаратора первинної обробки олійного насіння. Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу імені професора О. Семковича. Дубляни, Львівський НУП, 2024. 79 с.
http://repository.lnau.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/1236/1/Kozar_mag.pdf

32. Основи охорони праці. Методичні рекомендації для самостійного вивчення дисципліни «Цивільний захист та охорона праці» для студентів ОС Магістр за спеціальністю 101 Екологія. – К.: НУБіП. – 2021. – 84 с.

ДОДАТКИ