

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи  
ступеня вищої освіти «Магістр»  
на тему:

**Обґрунтування процесу термічної обробки  
фуражного зерна інфрачервоним  
випромінюванням**

**Виконала:** студентка 2 курсу, групи МГХТ-1-19  
за спеціальністю 181 «Харчові технології»

\_\_\_\_\_ Яроцька Катерина Юріївна

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Куянов Юрій Юрійович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2020

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції

Ступінь вищої освіти: «Магістр»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції

доктор технічних наук, професор

Чурсінов Ю.О.

(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Яроцької Катерини Юріївни

1. Тема роботи «Обґрунтування процесу термічної обробки фуражного зерна інфрачервоним випромінюванням».

Керівник роботи Куянов Юрій Юрійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «29» вересня 2020 року № 2397.

2. Строк подання студентом роботи 27 листопада 2020 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Літературні, патентні джерела та періодичні видання.

2. Наукова та науково-технічна документація, що стосується питань виробництва преміксів та комбікормів. 3. Нормативно-технологічна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Літературний огляд. 2 Об'єкти і методи досліджень.

3 Дослідна частина. 4 Практичне впровадження отриманих результатів.

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6 Організаційно-

економічна частина. Загальні висновки. Список джерел посилання. Додатки.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Стан питання. 2. Мета та задачі досліджень. 3. Дослідна частина. 4 Практичне впровадження отриманих результатів. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6 Кошторис витрат на проведення досліджень. Загальні висновки.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 4	Куянов Ю.Ю., доцент	29.09.2020	27.11.2020
5	Кравець В.В., доцент	29.09.2020	27.11.2020
6	Павленко О.С., доцент	29.09.2020	27.11.2020

7. Дата видачі завдання 29 вересня 2020 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	29.09-30.09.20	виконано
2	Літературний огляд	01.10-11.10.20	виконано
3	Об'єкти і методи досліджень	12.10-25.10.20	виконано
4	Дослідна частина	26.10-01.11.20	виконано
5	Практичне впровадження отриманих результатів	02.11-15.11.20	виконано
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.11-20.11.20	виконано
7	Організаційно-економічна частина	21.11-24.11.20	виконано
8	Загальні висновки та список джерел посилання	25.11-26.11.20	виконано
9	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	27.11.20	виконано

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Яроцька К.Ю.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Куянов Ю.Ю.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи містить 90 сторінок друкованого тексту, 15 рисунків та ілюстрацій, 12 таблиць та використано 91 літературне джерело посилань.

Метою роботи є дослідження та обґрунтування технологічних параметрів та режимів термічної обробки фуражного зерна на установках з інфрачервоним опроміненням.

Об'єкт дослідження – процес термічної обробки фуражного зерна, його зв'язок з конструктивними та режимними параметрами установки для ІЧ-опроміненням.

Предмет дослідження – закономірності та взаємозв'язок технологічного процесу термічної обробки фуражного зерна, вплив його на ефективність роботи обладнання.

Одним з напрямків у розвитку технології переробки зернової сировини є виробництво нових видів продуктів, які не потребують тривалої кулінарної обробки, а також створення комбінованих харчових продуктів із заданими властивостями з метою розширення асортименту та зниження собівартості продукції, що випускається.

Одним з методів, що дозволяють вирішити поставлені завдання, є впровадження у виробництво методу інфрачервоної (ІЧ) обробки – екологічно безпечного, енергозберігаючого, що дозволяє отримати легко засвоювані і термостерилізовані продукти, а також забезпечити інтенсифікацію і поглиблену обробку вихідної сировини.

Ключові слова: ЗЕРНО, ІЧ-ОБРОБКА, ТЕМПЕРАТУРА, ВОЛОГІСТЬ, ТЕХНОЛОГІЯ, УСТАНОВКА, ДОСЛІДЖЕННЯ, ЕНЕРГОПІДВІД, ЕФЕКТИВНІСТЬ, СИРОВИНА.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Аналіз існуючих способів теплової обробки зерна	9
1.1.1 Запарювання кормів	9
1.1.2 Підсмажування кормового зерна	9
1.1.3 Екструзія зерна	10
1.1.4 Мікронізація зерна	10
1.2 Аналіз існуючих засобів для мікронізації зерна	11
1.3 Застосування ІЧ-обробки в традиційних технологіях переробки зерна	21
1.4 Мета та завдання дослідження	26
2 МЕТОДИКИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІЖЕНЬ	27
2.1 Технічний аналіз зерна	27
2.2 Експериментальний стенд для дослідження процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю інфрачервоним випромінюванням	27
2.3 Методика експериментальних досліджень процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю при інфрачервоному випромінюванні	31
Висновки до розділу	33
3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	34
3.1 Дослідження процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці при інфрачервоному випромінюванні	34
3.2 Дослідження процесу термічної обробки фуражного зерна ячменю при інфрачервоному випромінюванні	40
Висновки до розділу	45
4 ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	47

4.1 Дослідження процесу рівномірності термічної обробки ІЧ-променями фуражного зерна пшениці у виробничих умовах в залежності від конструкції відбивачів теплового потоку	47
4.2 Дослідження температурного поля інфрачервоної нагрівальної системи для термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю	50
Висновки до розділу	52
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54
5.1 Дослідження та оцінка стану охорони праці в ФГ «Іва»	54
5.2 Заходи для поліпшення умов праці в ФГ «Іва»	60
5.3 Розрахунок блискавкозахисту виробничої будівлі цеху з обробки фуражного зерна ФГ «Іва»	61
5.4 Вимоги безпеки праці оператора устаткування для термічної обробки фуражного зерна	63
5.5 Безпека праці в надзвичайних ситуаціях	68
Висновки до розділу	69
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	70
6.1 Організація проведення дослідження	70
6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження	75
6.3 Розрахунок вартості дослідження	78
Висновки до розділу	79
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	80
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	82
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

Рішення проблеми забезпечення населення України якісними і екологічно безпечними продуктами харчування вимагає розвитку переробних галузей агропромислового комплексу на основі вдосконалення існуючих і створення нових енерго-, ресурсозберігаючих екологічно чистих теплотехнологій. При цьому необхідно створення високопродуктивного обладнання, здатного забезпечити глибоку, а при можливості і безвідходну, переробку вихідної сировини.

Одним з напрямків у розвитку технології переробки зернової сировини є виробництво нових видів продуктів, які не потребують тривалої кулінарної обробки, а також створення комбінованих харчових продуктів із заданими властивостями з метою розширення асортименту та зниження собівартості продукції, що випускається.

Одним з методів, що дозволяють вирішити поставлені завдання, є впровадження у виробництво методу інфрачервоної (ІЧ) обробки – екологічно безпечного, енергозберігаючого, що дозволяє отримати легко засвоювані і термостерилізовані продукти, а також забезпечити інтенсифікацію і поглиблену обробку вихідної сировини.

Однак відсутність ІЧ-обладнання, що серійно випускається стримує впровадження в харчову промисловість широкого спектра, розроблених до теперішнього часу, теплотехнологій по переробці зернової сировини з застосуванням ІЧ-енергопідводу.

Це обумовлено як недостатньою вивченістю переваг використання ІЧ-техніки в харчових виробництвах, так і слабким уявленням про установки інфрачервоного випромінювання. Крім того, створення сучасного ІЧ-обладнання вимагає поглибленого вивчення як аналітичного, так і експериментального процесів, що протікають в ІЧ-установках – теплообміну випромінюванням в робочих камерах, перенесення енергії в поглинаючих середовищах, тепло- і масопереносу в об'єктах термообробки. Знання цих закономірностей, а також

скорочення термінів переходу від експериментальних моделей до промислових установок і розробка надійних інженерних методів розрахунку, що враховують специфіку процесу і кінетику його протікання, дозволяє науково обгрунтовано вирішувати питання створення високоефективного обладнання з ІЧ-енергопідводом.

Метою роботи є дослідження та обгрунтування технологічних параметрів та режимів термічної обробки фуражного зерна на установках з інфрачервоним опроміненням.

Для досягнення поставленої мети визначено такі задачі:

1. Встановити кінетичні закономірності процесу термічної обробки фуражного зерна інфрачервоним випромінюванням в залежності від початкового вологовмісту сировини, щільності теплового потоку ІЧ-випромінювання, висоти шару сировини, відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту.

2. Визначити раціональні технологічні параметри процесу термічної обробки фуражного зерна інфрачервоним випромінюванням з різною довжиною хвилі.

3. Обгрунтувати конструкцію відбивачів теплового потоку установки ІЧ-опромінення.

4. Дослідити стан охорони праці у ФГ «Іва».

5. Виконати розрахунок кошторису витрат на проведення досліджень.

Об'єкт дослідження – процес термічної обробки фуражного зерна, його зв'язок з конструктивними та режимними параметрами установки для ІЧ-опроміненням.

Предмет дослідження – закономірності та взаємозв'язок технологічного процесу термічної обробки фуражного зерна, вплив його на ефективність роботи обладнання.



## 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Аналіз існуючих способів теплової обробки зерна

#### 1.1.1 Запарювання кормів

Запарювання – це спосіб підготовки глибокої обробки грубих кормів до згодовування [4]. Ціль запарювання кормів – поліпшити смак і фізичні властивості грубих кормів, внаслідок чого зменшується витрата енергії тваринами на пережовування їх. Запарювання кормів знищує схожість бур'янистого насіння і шкідливі властивості кормів, заражених цвілью. Концентровані корми, корені- і бульбоплоди піддавати запарюванню без особливої потреби не варто, тому що вони трохи втрачають у своїй поживності. Однак деяке зменшення живильної цінності, викликане іноді запарюванням кормів, не повинно бути на перешкоді для застосування гарячої води або пари, якщо йдеться про цвілий корм, зернах, заражених головною або бур'янистими домішками. Запарювання кормів застосовується до кормів, багатим крохмалем, наприклад до картоплі, яка в запареному виді краще перетравлюється, особливо свинями, не викликаючи роздратування органів травлення. Для запарювання кормів користуються спеціальними кормозапарниками, що складаються з пароутворювача, до якого приєднано один або кілька відкритих або закритих баків для запарки. Для запарювання картоплі застосовують запарники з картоплем'ялкою у вигляді дерев'яного із ґратчастим дном ящика, що має усередині вал із гвинтовим рядом пальців.

#### 1.1.2 Підсмажування кормового зерна

Підсмажування зерна в основному застосовують у свинарстві [4]. Підсмажене зерно має ароматний запах і приємний смак, а також зростає засвоюваність крохмалю, при цьому високий температурний режим знищує різні патогенні грибки. Присмажують звичайно пшеницю, ячмінь, горох, боби, як окремо, так і в суміші. Зерно спочатку змочують водою (до набрякання), потім

тонким шаром насипають на залізну пластину (чавунну плиту) і нагрівають постійно помішуючи до коричневого або світло-коричневого кольору. Згодують підсмажене зерно поросяткам-сисунцям із 5 – 7-го дня життя й до відібрання.

### 1.1.3 Екструзія зерна

Обробка зерна високим тиском і температурою називається екструзією [10]. Зерно попередньо очищене подається в екструдер, тиск у якому рівно 28 і більш атм. при температурі рівної 120 – 150 °С. Екструзія зерна веде до збільшення цукру в його складі, а також знижує вміст крохмалю й целюлози (дійсної клітковини). У процесі екструзії істотний вплив виявляється на білковий комплекс, що підвищує біологічну цінність зерна.

У процесі екструзії зерно, що переробляється, нагрівається за рахунок механічної енергії, яка перетворюється в тепло, воно виділяється в результаті подолання внутрішнього тертя й пластичної деформації продукту або також за рахунок зовнішнього нагрівання (політропний режим роботи).

У результаті екструзії можливі зміни тиску, температури, інтенсивності й тривалості впливу на сировину. Існує три основні методи екструзії – це формування й так звана «гаряча» екструзія, теплова обробка й холодне формування.

Широке поширення останнім часом одержав метод «гарячої» екструзії, який відбувається при високому тиску й швидкостях, при переході механічної енергії в теплову.

### 1.1.4 Мікронізація зерна

Мікронізація – це теплова обробка зерна інфрачервоними променями [13, 16, 34, 50]. ІЧ-випромінювання зерна викликає інтенсивне нагрівання, підвищує внутрішній тиск пар води (внутрішня волога в якому, як би закипає). Живильні речовини такі як вуглеводи й білки в процесі теплової обробки зерна в пристрої зазнають різним структурним змінам, знищує шкідливу мікрофлору зерна й

знижує загальна кількість мікроорганізмів в 4 – 6 разів, а також відбувається підвищення санітарної якості кормів. При мікронізації температурний режим для різних культур рівний від 140 до 170 °С. При опроміненні зерна більш 40 секунд багато бактерій повністю віддаляються, більш 65 секунд – цвілеві гриби. Процес мікронізації зерна попереджає зараження комірними шкідливками. Оптимальний ефект при опроміненні зерна ІЧ-променями досягається протягом 50 – 60 секунд. Також встановлено, що використання зерна після обробки ІЧ-випромінюванням для підгодівлі порослят сприяє прискоренню росту й підвищенню їх живої маси на 17 % за рахунок засвоєння живильних речовин і кращої перетравності кормів раціону [35, 36].

## 1.2 Аналіз існуючих засобів для мікронізації зерна

Сучасні комбікормові підприємства й тваринницькі ферми різних напрямків і потужностей повинні оснащуватися набором машин, здатних по ходу безперервного процесу легко переналаштовувати свої технологічні параметри, забезпечуючи тим самим виробництву необхідну гнучкість при переробці того або іншого виду сировини. Природно, що ефективніші ті виробництва, які оснащені універсальними машинами із широким діапазоном технологічних факторів впливу на оброблюваний матеріал в автоматичному режимі.

Останнім часом у народному господарстві при виробництві харчової продукції, кормів і інших матеріалів стали широко застосовувати оптичні джерела інфрачервоного випромінювання (ІЧ).

Гідність оптичних методів обробки компонентів кормів полягає в тому, що поряд з ефектом, що забезпечують санітарну якість, поліпшується їхня засвоюваність. У процесі мікронізації ІЧ-променями можна одночасно підсушувати корм, також при певних дозах ІЧ- випромінювання, крім нищівного впливу на бактерії, віруси, гриби, у таких продуктах, як комбікорм, утворюються одночасно ще антирахітні речовини – провітаміни групи Д, підвищується ферментативна активність кормів. При досягненні того самого технологічного

ефекту оптичне випромінювання затрачає енергії на порядок менше, чим інші види випромінювань, менш небезпечно, значно скорочує матеріалоемність машин [3, 5].

Мікронізатор ВТО-5-2М. У науково-виробничій фірмі «Гран» (Україна) розроблений багатофункціональний гнучкий технологічний модуль (ГТМ) з виробництва комбікормів і добавок (сипучих, гранульованих, рідких), включаючи використання вторинної сировини підприємств АПК.

Одним з основних ланок ГТМ є мікронізатор ВТО-5-2м (випромінююча сушарка) (рис. 1.1).

Він розроблений за принципом одиничного модуля, що дозволяє збирати сушильні агрегати різної продуктивності й планування.

У процесі роботи, матеріал з бункера подається живильником у камеру випромінювання першого барабана. При його обертанні матеріал одночасно інтенсивно переміщується, піддаючись впливу випромінювання, підсушується, стерилізується й переміщується до вивантажувального лотка. Частоти обертання живильника й барабана погоджені й регульовані, що дозволяє вибирати режими обробки залежно від властивостей матеріалу. Дозу опромінення можна регулювати також і шляхом відключення джерел випромінювання. Варіант горизонтального компонування сушильного агрегату зображено на рисинку 1.1.

Агрегат має роздільні привода, загальний вигляд приведений на рис. 1.2., швидкість яких регулюється частотними перетворювачами, і ряд інших уніфікованих вузлів, що підвищує його продуктивність, контролює час перебування матеріалу в камері випромінювання, забезпечує послідовно комбінований вплив різних типів джерел випромінювання, здатних при вибірковій дії кожного підвищити сумарний ефект [5, 16, 18]. Час перебування матеріалу в зоні обробки задається програмним пристроєм.

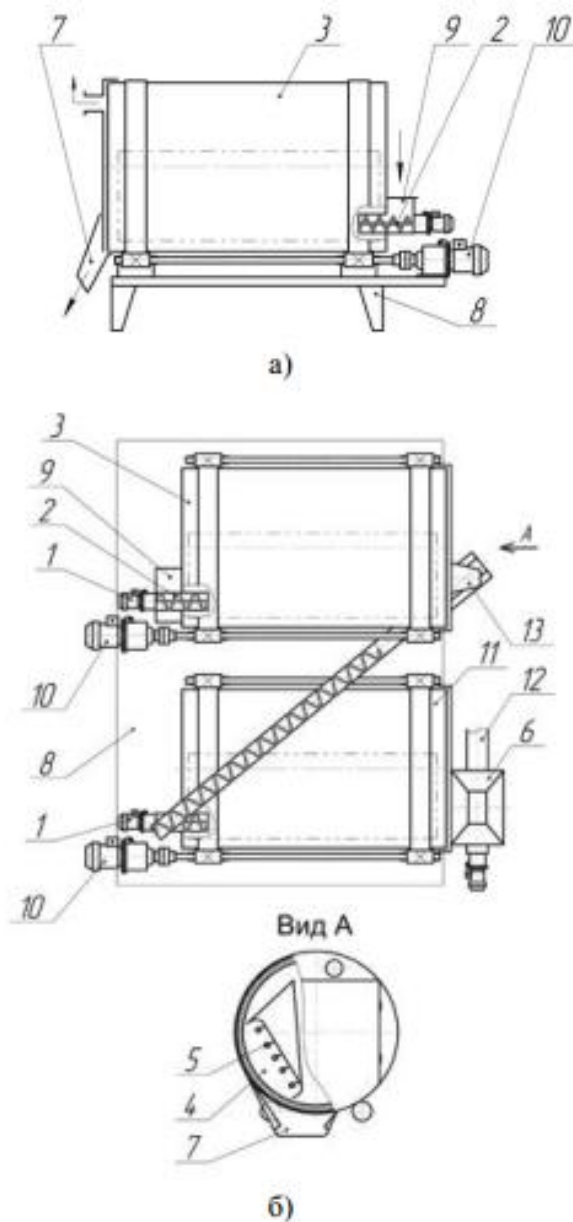


Рисунок 1.1 – Схема мікронизатора ВТО-5-2М

а) вид зпереду; б) вид зверху

1, 2 – барабан; 3 – перший барабан; 4 – камера випромінювання; 5 – оптичні джерела випромінювання; 6 – бункер вивантаження; 7 – лоток вивантаження;  
 8 – рама; 9 – бункер; 10 – привід барабану; 11 – другий барабан;  
 12 – пневмотранспортер; 13 – транспортер перевантаження.

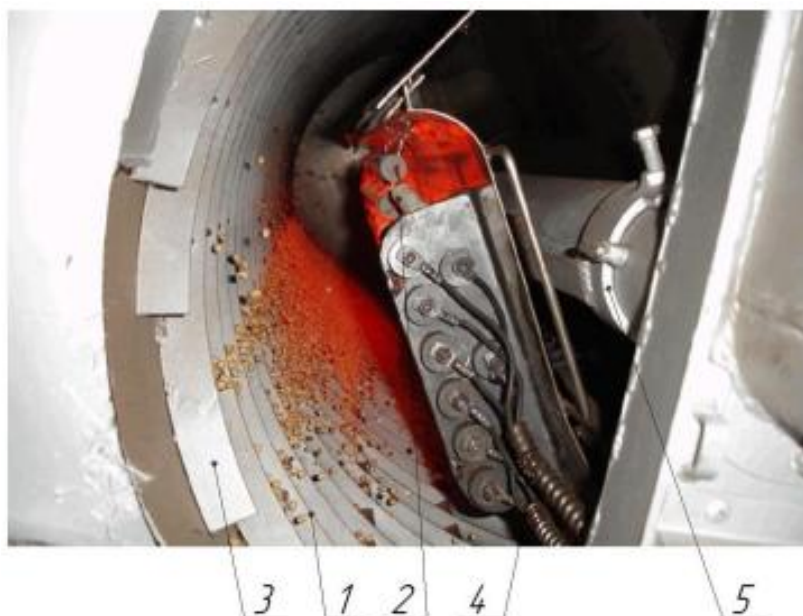


Рисунок 1.2 – Загальний вид робочої поверхні мікронизатора ВТО-5-2М  
 1 – напрямні рейки; 2 – ІЧ-випромінювач; 3 – барабан; 4 – камера ІЧ-випромінювання; 5 – привід.

Матеріал (наприклад, зерно), проходячи послідовно зону сушіння (камеру випромінювання) першого барабана, оснащену ІЧ-джерелами, одночасно із втратою вологи зазнає мікронізації, що значно підвищує його біологічну цінність, і далі, по ходу технологічного процесу, обробляється ультрафіолетовими променями в камері випромінювання другого барабана, що підвищує санітарну якість і сприяє утворенню в зернових матеріалах провітамінів групи Д.

Недоліками відомого пристрою є «втрати теплової енергії за рахунок нагрівання елементів даного пристрою, відбивачів ІЧ-випромінювачів [42], так само складність конструкції й більші питомі енерговитрати.

Установка МЗС-1. Установка (мікронизатор зернової сировини МЗС-1) являє собою модернізований варіант установки ВТМ-02 і призначена для термообробки сипучих продуктів. У промислових підприємствах використовується в технологічних лініях для виготовлення круп, борошна, зернових пластівців, гречки, комбікормів для молодняку та інше. [34, 35, 36, 38].

Установка МЗС-1 має полегшену конструкцію, яка відрізняється розташуванням лінійних ІЧ-випромінювачів. Вони розташовуються зі змінним

кроком поперек стрічкового транспортера, а також застосуванням для відбивачів спецматеріалов, що дозволяє підвищити, як ресурс ІЧ-випромінювачів, так і ефективність термообробки. Установа включає завантажувальний бункер, блоки ІЧ-випромінювачів, стрічковий транспортер, регульований привод.

Установа МЗС-1 має недоліки: втрати теплової енергії за рахунок нагрівання елементів стрічкового конвеєра, відбивачів ІЧ-випромінювачів [42], більші габарити, «конвективні втрати через нещільності між камерою опромінення й стрічковим конвеєром» [42], обрана конфігурація розташування ІЧ-випромінювачів, що знижує КПД установки і якість оброблюваного матеріалу [39, 42].

Мікронізатор зерна ИПБГ-1.0. Мікронізатор ИПБГ-1.0 (рис. 1.3) призначений для термічної обробки зерна злакових, бобових і олійних культур. Мікронізовані зернові засвоюються в 3 рази краще, ніж не мікронізовані. Тобто для одержання однієї й тієї ж обмінної енергії необхідно в 3 рази менше продукту. Мікронізація насіння сої забезпечує зниження її вологості до 6 %. Антиживильні речовини, особливо інгібітор трипсину, після мікронізації нейтралізується, активність уреазы стабілізується [7, 43]. При одержанні олії з мікронізованого зерна сої й рапсу – підвищується якість і кількість олії, і при заміні екструдера на мікронізатор відбувається значне зниження витрат на технічне обслуговування. Мікронізація поліпшує мікробіологію продукту, що сприяють більш тривалому зберіганню.

Мікронізатор ИПБГ-1.0 має недоліки: втрати теплової енергії за рахунок нагрівання елементів стрічкового конвеєра, відбивачів ІЧ-випромінювачів, конвективні втрати через нещільності між камерою опромінення й стрічковим конвеєром, більші габарити [82], більші енерговитрати на процес мікронізації, обрана конфігурація розташування ІЧ-випромінювачів, що знижує КПД установки і якість оброблюваного матеріалу [42].

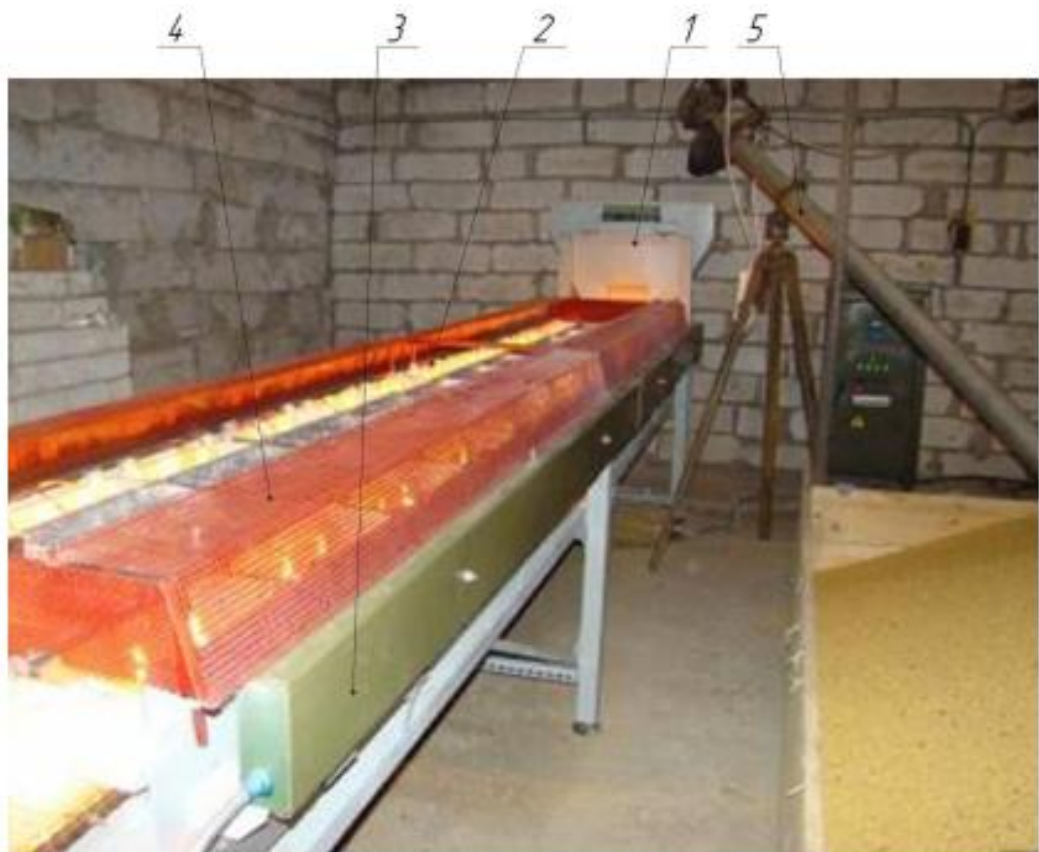


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд мікронізатора ИПБГ-1.0

1 – завантажувальний бункер; 2 – ІЧ-випромінювачі; 3 – короб привода;  
4 – захисний кожух ІЧ-випромінювачів; 5 – шнек.

Мікронізатор зерна УМЗ-0.2. Мікронізатор моделі УМЗ-0.2 приведений на рисунку 1.4. У ньому передбачена нетрадиційна високоефективна технологія теплової обробки зернових продуктів, що полягає в комбінованому впливі на культуру ІЧ-випромінюванням, а також енергії НВЧ-поля. При цьому повністю гинуть як бактерії, так і шкідники (такі як картопляна паличка); поліпшуються властивості клейковини на 15 – 20 од. ІДК; підвищується живильна цінність і засвоюваність зернових продуктів при одночасному збереженні біологічної цінності й смакових якостей; підвищуються показники схожості й енергії проростання насінневого зерна [48].



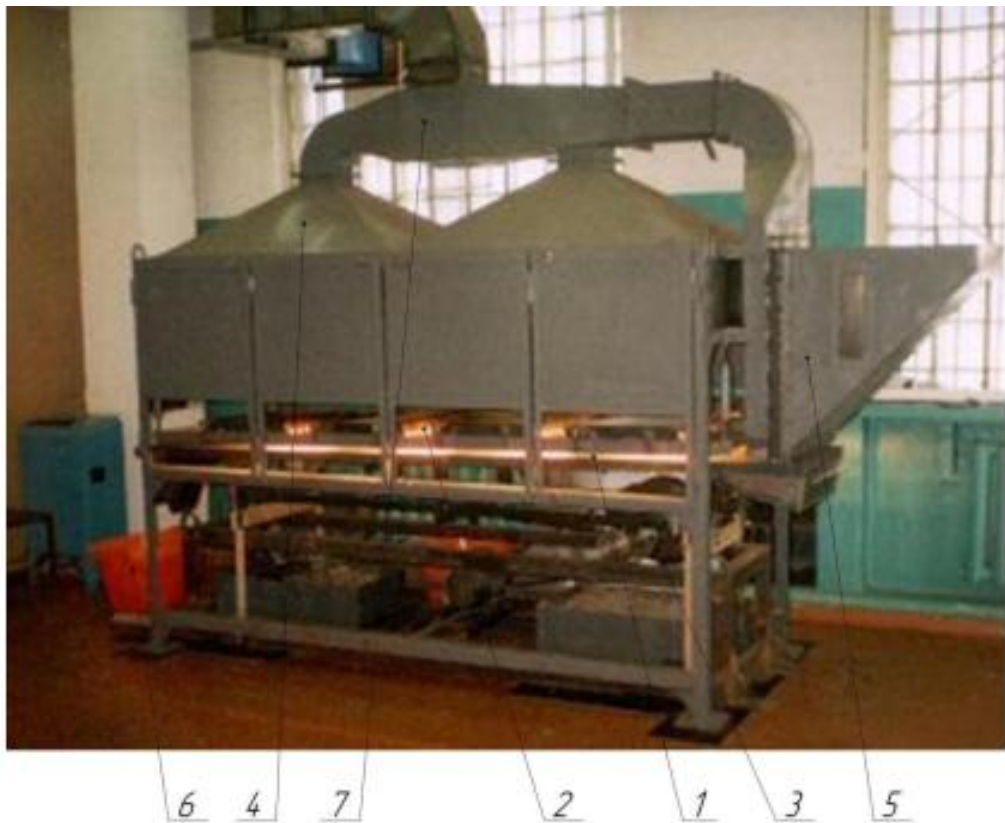


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд мікронізатора УМЗ-0.2

1 – стрічковий транспортер; 2 – ІЧ-випромінювачі; 3 – електропривід транспортера; 4 – витяжка; 5 – завантажувальний бункер; 6 – бункер для мікронізованого зерна; 7 – повітропровід.

Мікронізатор УМЗ-0.2 має ряд недоліків, таких як: більші габарити, втрати теплової енергії за рахунок нагрівання елементів стрічкового конвеєра, відбивачів ІЧ-випромінювачів, конвективні втрати через нещільності між камерою опромінення й стрічковим конвеєром, більші енерговитрати на процес мікронізації, нераціонально обрана конфігурація розташування ІЧ-випромінювачів, що знижує ККД установки і якість оброблюваного матеріалу [42].

Термоустановка з ІЧ-енергопідводом для термообробки зерна. Розглянемо термоустановку з ІЧ-енергопідводом для термообробки зернової сировини з поздовжнім розташуванням уздовж конвеєрної стрічки обраних генераторів ІЧ-випромінювання (рисунок 1.5. а). Установка джерел ІЧ-випромінювання уздовж конвеєрної стрічки із кроком, що зменшуються від осі конвеєра і його периферії,

дозволяє вирівнювати щільність променевого потоку по ширині конвеєра, тобто підвищувати рівномірність поля опромінення зернової сировини.

Конвеєр розташований в середині теплоізолюваної камери з тепловідбивними екранами, застосування яких в умовах високих температур дозволяє підвищити ефективність роботи генераторів ІЧ-випромінювання й знизити втрати енергії, досягтися більшої однорідності поля опромінення на поверхні оброблюваного продукту [40, 52].

Більш ефективним пристроєм для переміщення зерна в середині термокамери є застосування для цієї мети вібростолу (рис. 1.5. б). Виключені зупинки конвеєра, викликані пробуксовкою транспортної стрічки, зерно переміщається по вібростолу суцільним шаром товщиною в одну зернівку. Зміна параметрів вібрації й кута нахилу стола змінює швидкість переміщення продукту.

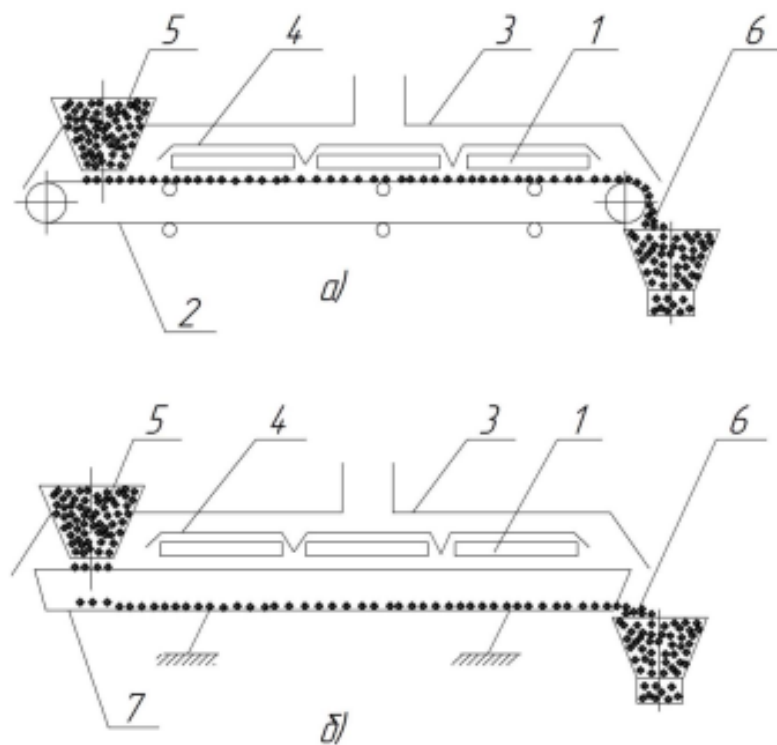


Рисунок 1.5 – Схема термоустановок з ІЧ-енергопідводом для термообробки зерна

а) конвеєрна стрічка; б) вібраційний стіл.

1 – генератори ІЧ-випромінювання; 2 – конвеєр; 3 – теплоізолювана камера;  
4 – відбивні екрани; 5 – завантажувальний бункер; 6 - приймальний бункер;  
7 – вібростіл.

У даної конструкції установки для мікронізації зерна є ряд недоліків: швидкість транспортування залежить від властивостей сипучого матеріалу, вологості, зчеплення, об'ємної маси, крупності, форми зерна та інше. При змінних параметрах практично неможливо добитися стабільно малі швидкості переміщення тонкого шару зерна на вібруючій поверхні. Невеликим по розміру мікронізаторам відповідають малі швидкості переміщення, а отже, мінімально можливі амплітуди коливань робочого органа. У той же час для активного процесу мікронізації в шарі зерна необхідний більший рух окремих зерна відносно один одного, а для цього необхідно велике прискорення підкидання зерна.

Пристрій для термообробки типу УТЗ-4. Розглянемо мікронізатор типу УТЗ-4 (рис. 1.6, рис 1.7). Мікронізатор УТЗ-4 складається з робочої камери, завантажувального бункера-дозатора 1, стрічкового транспортера 2, джерел ІЧ-випромінювання 3, вікна для вивантаження 4 і бункера 5.

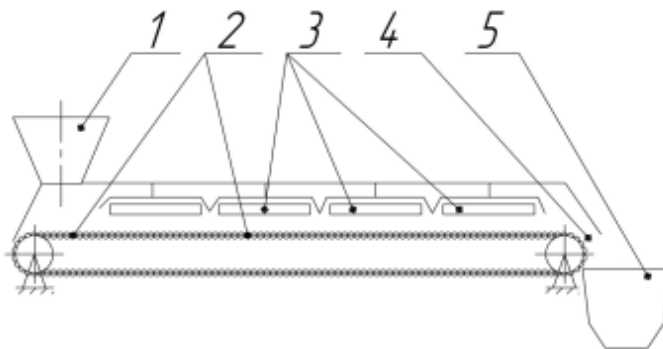


Рисунок 1.6 - Схема пристрою мікронізатора типу УТЗ - 4

1 – бункер-дозатор; 2 – транспортер стрічковий; 3 – джерело ІЧ-випромінювання; 4 – вікно для вивантаження в бункер готової продукції;  
5 – бункер для мікронізованого зерна.

Зерно подається в завантажувальний бункер-дозатор і попадає на стрічковий транспортер, де піддається впливу ІЧ-випромінювання. Рухаючись по транспортеру, зерно попадає в бункер для мікронізованого зерна [8, 12].

У даної конструкції є недоліки: швидкість транспортування залежить від властивостей сипучого матеріалу, вологості, зчеплення, об'ємної маси, крупності,

форми зерна і т.д. При змінних параметрах практично неможливо добитися стабільно малої швидкості переміщення тонкого шару зерна на стрічковому транспортері. Більші енергетичні витрати на процес ГЧ-обробки матеріалу. Конвективні втрати енергії через нещільність між стрічковим конвеєром і камерою опромінення, обрана конфігурація розташування ГЧ-випромінювачів, що знижує ККД установки і якість оброблюваного матеріалу. Більші габарити установки.

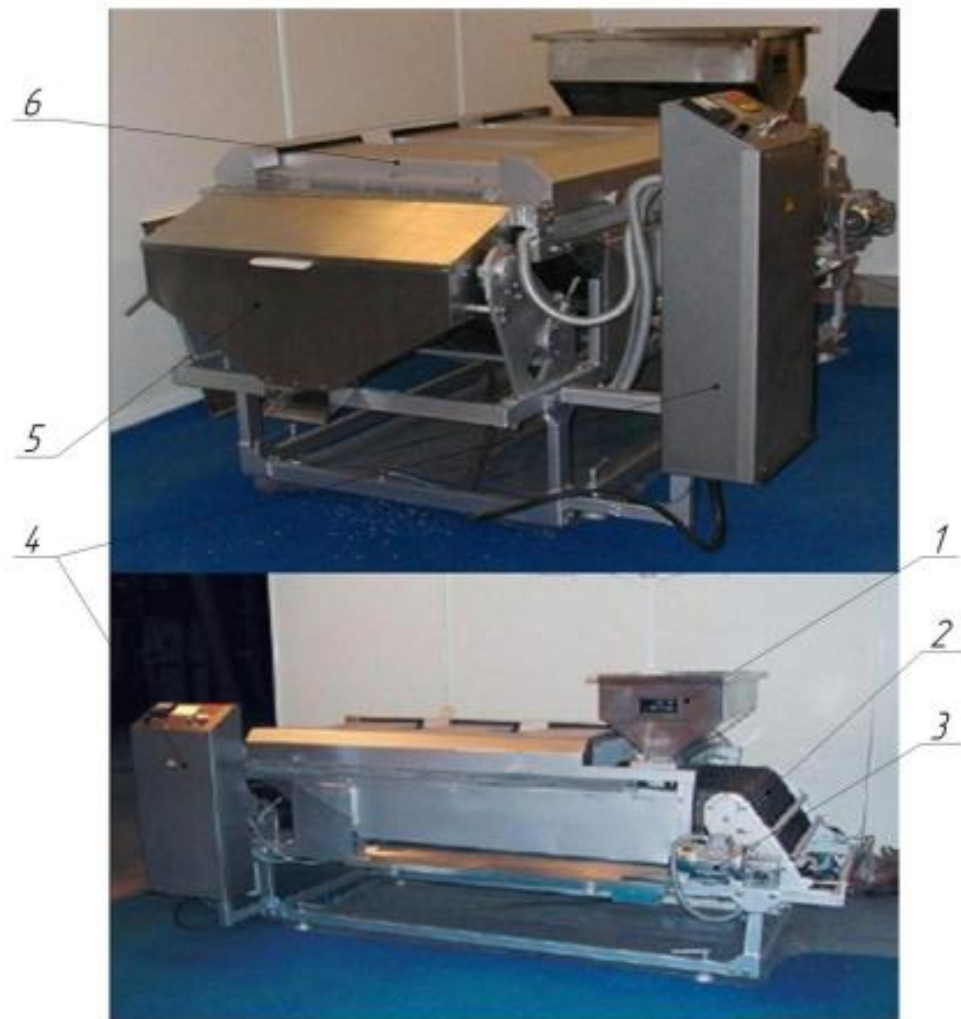


Рисунок 1.8 – Загальний вид установки для мікронізації типу УТЗ-4

- 1 – бункер завантажувальний; 2 – стрічковий транспортер;  
 3 – електродвигун; 4 – блок керування; 5 – бункер для мікронізованого  
 зерна; 6 – захисний кожух ГЧ-випромінювачів.

### 1.3 Застосування ІЧ-обробки в традиційних технологіях переробки зерна

Обробка зерна і продуктів помелу зерна інфрачервоними променями може мати різні цілі, наприклад: сушка свіжозібраного врожаю; прогрів зерна перед помелом; боротьба з шкідниками; поліпшення гігієнічного стану [44].

Початкові дослідження з використання мікрохвильового випромінювання мали на меті знизити втрати зерна при зберіганні, заподіяні шкідниками комор і псування зерна за рахунок розвитку бактеріальної і грибною мікрофлори. Однак в останні роки мікрохвильове випромінювання використовують і для досягнення інших цілей. Відомо, що деякі види опромінення призводять до певних біохімічних і фізичних змін в матеріалі, що піддається опроміненню. Саме ці виникають зміни і той вплив, який вони чинять на кінцевий продукт, і становлять інтерес для дослідження [32].

Роботами К. Лоренца показано вплив випромінювання на поживну повноцінність і хімічний склад опромінених м'яса, овочів і фруктів. Однак відомостей про вплив випромінювань на харчові переваги і хімічний склад злакових культур поки недостатньо [40].

Т. Окабе розробив метод вимірювання кількості вологи в зерні, заснований на мікрохвильовому випромінюванні. Цей метод має високу точність і забезпечує практично миттєвий аналіз вологості в обмолоченому не подрібненому зерні. Крім того, мікрохвильовий метод придатний для контролю за вмістом вологи в зерні, підданому тепловій сушці в потоці перед закладкою його на зберігання. Розроблено експериментальну установку для сушки зерна сільськогосподарських культур, в основі якої покладено поєднання вакууму з мікрохвильовим випромінюванням. Така установка забезпечує підвищення продуктивності сушіння зерна, багатьох видів сільськогосподарських культур, включаючи пшеницю [32].

Прикладом впровадження енергії мікрохвиль в практику служать результати досліджень Н. Доті і С. Бекера з кондиціонування зерна пшениці перед помелом. У своїх дослідях з пшеницею зазначені автори робили спробу оцінити

той рівень мікрохвильового випромінювання, який викликає порушення борошномельних характеристик зерна і впливає на якість продукції [41].

Л. Марк-Артур і Б.Апполонія в своїх дослідженнях мікрохвильового випромінювання призводять результати, які узгоджуються з даними попередніх дослідження про порушення структури клейковини білків в результаті термічної деструкції [32].

Деструктивні зміни відбуваються не тільки в білках, але зачіпають також компоненти вуглеводної природи. При опроміненні зразків неушкодженого зерна відмічено погіршення всіх хлібопекарських показників, що вказують на денатурацію або зміну властивостей клейковини білків [42].

За даними М. Арефа, мікрохвильове опромінення протягом 60 с зерна вологістю 9,8 % викликало підвищення температури борошна до 102 °С з наступною адекватною інактивацією ферментативної активності  $\alpha$ -амілази [43].

В Україні роботи по вивченню термообробки зерна ІЧ-випромінюванням почали проводитися в 1934 р інженером М.М. Воробйовим. Це були спроби створення пристроїв для дезінсекції та інтенсифікації процесу сушіння зерна на основі застосування різного роду інфрачервоних випромінювачів.

Оптичні властивості анатомічних складових зерна пшениці і кукурудзи як об'єктів терморадіаційної обробки були вивчені І.Ф. Пятаковим. Його роботою було показано, що зерну, як об'єкту терморадіаційної обробки, властива вибірковість по відношенню до різних частотам інфрачервоного спектра. Також було показано, що в спектральній області 1,7 – 2,7 мкм зерну пшениці властиво максимальне пропускання ІЧ-випромінювання; в спектральній області 2,7 – 3,0 мкм зерну властиво однакове максимальне поглинання ІЧ-випромінювання; в спектральній області 3,6 – 5,0 мкм найбільшим пропусканням володіє оболонка, а ендосперм – найбільшим поглинанням.

Практичне використання інфрачервоного випромінювання для обробки щойно змеленого пшеничного борошна, пшеничного борошна із зерна, ураженого клопом-черепашкою, пророслого зерна жита і борошна з нього показало, що 6 – 8 хвилинний прогрів щойно змеленого пшеничного борошна (температура борошна

після обробки – 70 – 78 °С, вологість борошна після обробки – 3,2 – 8,0 %) різко покращує її хлібопекарські властивості: опір розтягуванню у клейковини збільшилася в 4,5 – 6,0 разів, розпливчастість кульки з тіста зменшилася на 25 – 34 %, подового хліба – на 46 – 58 %, пружність м'якушки зросла на 2,5 – 9,6 %. Помітне поліпшення хлібопекарських властивостей проявлялося і у борошна із зерна, ураженого клопом-черепашкою [15].

Прогрівання пророслого зерна жита до 65 °С різко поліпшило біохімічні і хлібопекарські властивості борошна, що дало можливість з такого борошна отримувати хліб задовільної якості. Хліб, випечений з сіяного борошна, змеленого з пророслого зерна жита, обробленого ІЧ-променями, був близький до хліба з нормального сіяного борошна [9].

При використанні ІЧ-випромінювання з метою смаження кукурудзяних пластівців експериментально досліджені спектральні та інтегральні терморадіаційні характеристики кукурудзяних пластівців, а також їх теплофізичні властивості. Досліджено процес обсмажування і знайдені його оптимальні режими. Обсмажування пластівців з використанням інфрачервоного випромінювання значно покращує їх споживчі та харчові переваги в порівнянні з пластівцями, обсмаженими в газовій печі. У цих пластівцях значно підвищується пористість, товарний вигляд, зміст загального цукру, крохмалю, жиру, декстринів [46].

В.А. Афанасьєв провів порівняльні дослідження біохімічного складу ячменю, що піддавався підсмажування та мікронізації. Виявлено, що при двох способах теплової обробки відбувається зменшення водо- і солерозчинних фракцій білка, при цьому загальний вміст білка практично залишається незмінним. У підсмаженому ячмені вміст водорозчинного білка зменшується на 55,3 %, а солерозчинних – на 37,5 %. При мікронізації ці значення набагато менше, відповідно – 39,4 % і 22,6 %. Кількість проламіни в підсмаженому ячмені зменшується на 46,8 %, а в мікронізованому тільки на 18,6 %. Результати вивчення впливу ІЧ-нагріву на атакуємість білків зерен ячменю травними

ферментами показали, що перетравність білка при ГЧ-опроміненні не знижується [8].

Обробка зерна ГЧ-променями робить істотний вплив і на вуглеводний комплекс зерна, відбувається декстринізація крохмалю. На відміну від клейстеризації процес декстринізації характеризується незначним набряканням крохмальних гранул і їх руйнуванням в залежності від температурного режиму. При декстринізації крохмалю змінюються його фізико-хімічні властивості. Спостерігається підвищення вмісту речовин, розчинних у воді, що сприяє кращій засвоюваності продукту. При пропарюванні ячменю також відбувається часткова декстринізація крохмалю. Кількість декстринів збільшується на 1,5 – 2,0 % в порівнянні з вихідним зерном. Вміст декстринів в ячмені збільшується в результаті мікронізації в 5 разів і може скласти 12,8 %. Декстринізація крохмалю в свою чергу збільшує атакується крохмалю глюкоамілазою, що сприяє поліпшенню його перетравності. ГЧ-нагрів зерна є ефективним способом знезараження і поліпшення санітарного стану, збільшує гігроскопічність зерна, його набрякання. Міцність ячменю після обробки зменшується [4, 8].

Дослідження терморадіаційних і оптичних характеристик зерна пшениці, кукурудзи, вівса, рисової і перлової крупи з використанням цілого зерна і його морфологічних складових (оболонки, ендосперму) проводилися Т.Н. Грїбковой. Показано вплив структури зернівки, вмісту вологи і кольору, виявлено, що різниця в структурі зернівки (борошністість, скловидність) обумовлює відмінність її оптичних властивостей. Зі збільшенням склоподібності зерна відбивна здатність знижується. Спектри пропускання мають аналогічний характер. Підвищення вмісту вологи призводить до збільшення відображення шару зерна на всіх довжинах хвиль. У той же час світло-бурштинова пшениця володіє більш відбивною здатністю, ніж темно-бурштинова. Використовуючи експериментальні дані автором були розраховані спектральні коефіцієнти, що характеризують оптичні властивості матеріалу: спектральний коефіцієнт поглинання, спектральний коефіцієнт відбиття і спектральний коефіцієнт ослаблення [43].



Аналіз літературних даних дає підставу зробити висновок про те, що основна перевага способу мікронізації перед способом гідротермічної обробки полягає в тому, що мікронізація викликає декстринізацію крохмалю, яка сприяє кращій його засвоюваності, скорочує час приготування, за рахунок підсмажування отримана крупа може володіти більш ароматним запахом і добрим смаком [23].

І.Б. Хейфец займався розробкою способів, що забезпечують виробництво з круп'яної сировини концентратів, які не потребують варіння. Ним розроблений спосіб отримання концентратів з круп'яної сировини, що поєднує гідратацію, заморожування і інфрачервону обробку. Було визначено режим інфрачервоної обробки, що забезпечує високу якість готового продукту з перлової крупи. Термообробку проводили в два етапи. На першому етапі тривалість обробки становила 4 хв при інтенсивності 9 кВт/м, на другому етапі – 7 хв при інтенсивності 5 кВт/м [26, 27].

А.М. Худоногов вважає, що із способів теплової обробки зерна, кедрових горіхів, лікарсько-технічної сировини, трав, ягід, грибів переважно застосовувати інфрачервоний нагрів. Цей спосіб обумовлює простоту конструкції електротехнічних засобів, він багатофункціональний, дозволяє економно витратити енергію. Ідея використання інфрачервоного випромінювання для теплової обробки сільськогосподарських та інших продуктів рослинного походження не нова, але має велике значення [28].

Л.С. Зелінская запропонувала технологічний процес переробки гречки з використанням інфрачервоного випромінювання, який дозволяє знизити ступінь подрібнення ядра, за рахунок чого збільшується вихід ядриці на 5 – 7 % проти досягнутого на заводах з виробництва гречаної крупи. Встановлено, що мікронізація гречки та крупи призводить до повного знищення мікрофлори, що сприятливо позначається на зберіганні крупи. Переробка гречки із застосуванням ІЧ-випромінювання сприяє отриманню гречаної крупи з поліпшеними споживчими перевагами, зокрема зі зменшенням часу її варіння при збільшених значеннях коефіцієнтів об'ємного і вагового привару каші. За допомогою даного

способу обробки можна задовольнити специфічні вимоги до технологічного процесу: збереження в продуктах поживних речовин і вітамінів, ароматичних і смакових властивостей [50, 51].

#### 1.4 Мета та завдання дослідження

Метою роботи є дослідження та обґрунтування технологічних параметрів та режимів термічної обробки фуражного зерна на установках з інфрачервоним опроміненням.

Для досягнення поставленої мети визначено такі задачі:

1. Встановити кінетичні закономірності процесу термічної обробки фуражного зерна інфрачервоним випромінюванням в залежності від початкового вологовмісту сировини, щільності теплового потоку ІЧ-випромінювання, висоти шару сировини, відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту.

2. Визначити раціональні технологічні параметри процесу термічної обробки фуражного зерна інфрачервоним випромінюванням з різною довжиною хвилі.

3. Обґрунтувати конструкцію відбивачів теплового потоку установки ІЧ-опромінення.

4. Дослідити стан охорони праці у ФГ «Іва».

5. Виконати розрахунок кошторису витрат на проведення досліджень.

Об'єкт дослідження – процес термічної обробки фуражного зерна, його зв'язок з конструктивними та режимними параметрами установки для ІЧ-опроміненням.

Предмет дослідження – закономірності та взаємозв'язок технологічного процесу термічної обробки фуражного зерна, вплив його на ефективність роботи обладнання.

## 2 МЕТОДИКИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІЖЕНЬ

### 2.1 Технічний аналіз зерна

У роботі ми використовували зерно наступних культур: борошніста пшениця, ячмінь рядовий.

Технічний аналіз зерна проводили відповідно до ГОСТ 9353-90 «Пшениця. Вимоги при заготівлях і поставках. », ГОСТ 28672-90 «Ячмінь. Вимоги при заготівлях і поставках». Визначали: вологість – за ГОСТ 13586.5-85; запах і колір – по ГОСТ 10967-75.

### 2.2 Експериментальний стенд для дослідження процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю інфрачервоним випромінюванням

Для дослідження процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю був розроблений експериментальний стенд, рисунок 2.1.

У камері термічної обробки (2) встановлені інфрачервоні випромінювачі (4). Як генератори ІЧ-випромінювання застосовані лінійні кварцові випромінювачі діаметром 0,012 м з функціональною керамічною оболонкою. Випромінювачі струмознімальними втулками встановлені в затискачах електроживлення, змонтованих на діелектричних паралельних опорах. Кожен випромінювач встановлюється у фокусі параболічного відбивача (1). ІЧ-випромінювачі (4) встановлені зверху відносно тефлонових стрічок (3). ІЧ-випромінювачі (4) і тефлонова стрічка (3) можуть переміщатися за допомогою напрямних у вертикальному напрямку. На тефлонову стрічку (3) поміщаються пшениця зародки або ячмінь. Переміщення тефлонової стрічки (3) дозволяє регулювати відстань між інфрачервоними випромінювачами (4) і тефлоновою стрічкою (3).

Для регулювання щільності потоку, падаючого на зерно пшениці або ячменю, змінюються значення опору ніхромової спіралі ІЧ-випромінювача.

Для вимірювання напруги на клеммах ПЧ-випромінювачів (4) в діапазоні 210 – 220В використовується вольтметр.

Для зняття температурних полів в шарі продукту використовуються хромель-алюмелеві термопари (8). Перед кожною серією дослідів термопари градууються в діапазоні 0 – 300 °С. Похибка вимірювань температури не перевищує  $\pm 1,5$  °С в діапазоні 0 – 300 °С, ГОСТ 8585-2001.

Вимірювання температури поверхні матеріалу, що опромінюється проводиться за допомогою дистанційного неконтактного інфрачервоного термометра МТ6 (6). Термометр даної модифікації спеціально розроблений для застосування в харчовій промисловості. Технічні характеристики неконтактного інфрачервоного термометра МТ6 представлені в таблиці 2.1.

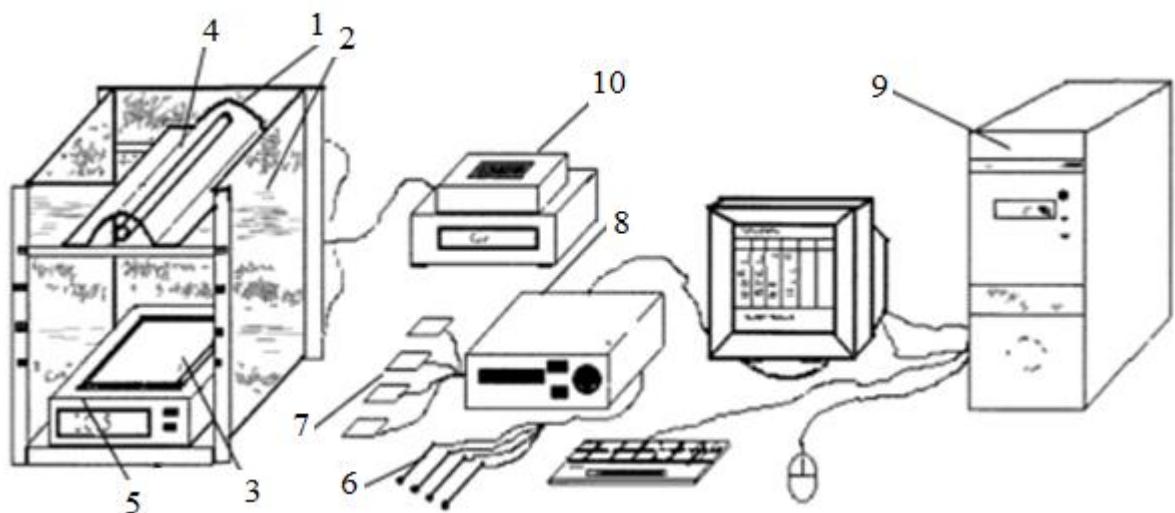


Рисунок 2.1 – Схема лабораторної установки для дослідження процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю інфрачервоним випромінюванням

1 – відбивач; 2 – сушильна камера; 3 – підкладка (тефлонова стрічка); 4 – інфрачервоний випромінювач; 5 – ваги; 6 – термопари; 7 – датчики щільності теплового потоку; 8 – вимірювач теплопровідності ІТ-2; 9 – персональний комп'ютер; 10 – аналізатор вологості ЕЛВІЗ-2.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика безконтактного інфрачервоного термометра МТ6.

Діапазон вимірювання температури, °С	-30+500
Точність	± 1.5 °С
Час відгуку	0,5 с

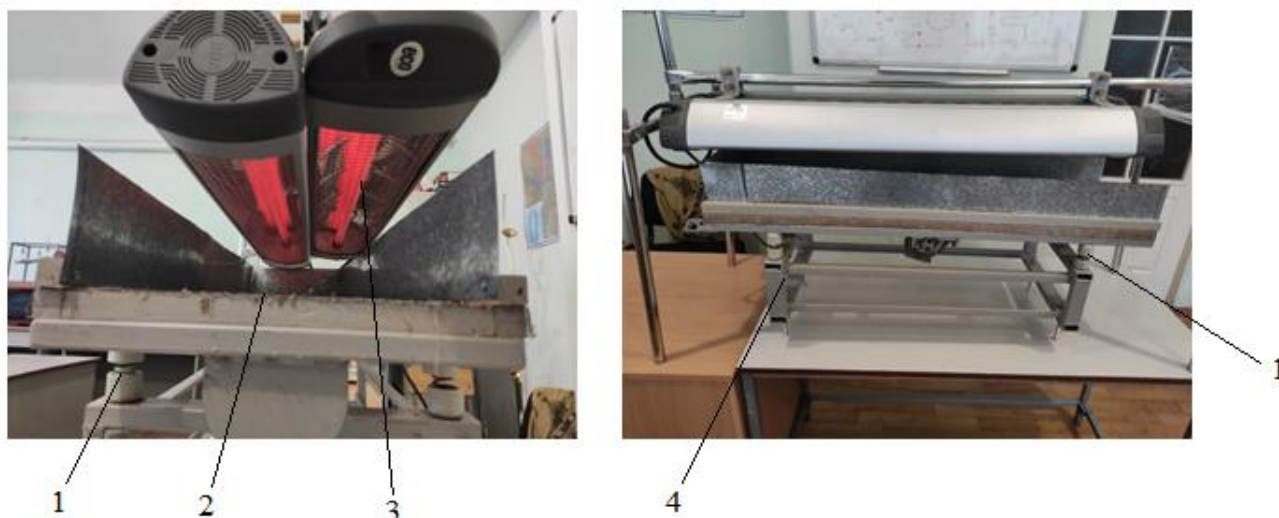


Рисунок 2.2 – Експериментальний стенд для дослідження процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю інфрачервоним випромінюванням.

1 – опора з датчиком для визначення ваги продукту; 2 – камера термообробки; 3 – ІЧ-випромінювач; 4 – станина установки.

Вимірювання щільності теплового потоку здійснювалося за допомогою датчиків щільності теплового потоку (7). Технічні характеристики датчиків щільності теплового потоку приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики датчиків щільності теплового потоку

Робочий діапазон температур, °С	-50 + 150
Робочий діапазон вимірюваних щільності теплового потоку, Вт/м <sup>2</sup>	10 – 2000
Значення основної відносної похибки, %	6
Показник термічної інерції, с	30
Маса, кг	0,02
Габаритні розміри, мм	50×50×5

Вимірювач температури багатоканальний ІТ-2 (8) призначений для автоматичного вимірювання і реєстрації температури ( $^{\circ}\text{C}$ ), а також щільності теплового потоку ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) по 16 каналам за допомогою датчиків щільності теплового потоку (7), що підключаються до приладу і термопар (6) з подальшою передачею даних на персональний комп'ютер (ПК) (9) по інтерфейсу (10). Результати вимірювання (в мВ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  або  $^{\circ}\text{C}$ ) записуються в файл і виводяться на монітор ПК у вигляді таблиці. Вимірювач температури ІТ-2 (8) в комплекті з датчиками щільності теплового потоку (7) і термопарами використовується в якості пристрою автоматизованого збору та обробки інформації. У вимірювачі температури багатоканальному ІТ-2 (8) передбачена функція термокомпенсації кожного каналу вимірювання температури, тобто здійснюється облік похибки від зміни кімнатної температури навколишнього середовища. Технічні характеристики вимірювача температури багатоканального ІТ-2 представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики вимірювача температури багатоканального ІТ-2

Характеристики	ІТ-2
1	2
Кількість вимірювальних каналів	16
Діапазон вимірювання напруги з виходів термопар, мВ	-99,999 ... + 99,999.
Похибка вимірювання температури холодних кінців термопар, $^{\circ}\text{C}$	не більше $\pm 0,5$
Роздільна здатність індикації:	
- напруги $i$ , мВ	0,001
- щільності теплового потоку $q$ , $\text{Вт}/\text{м}^2$	0,01
- температури $X$ , $^{\circ}\text{C}$	0,01

Спад маси зерна пшениці та ячменю в процесі термічної обробки вимірюється пристроєм автоматичного зважування, розробленого на базі

електронних аналітичних ваг GF-600. Технічні характеристики електронних аналітичних ваг GF-600 наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики електронних аналітичних ваг GF-600

Діапазон вимірювань, г	0,1 – 610
Дискретність відліку, г	0,001
Швидкість відгуку, з	1

Для вимірювання вологості фуражного зерна пшениці та ячменю використовується аналізатор вологості ЕЛВІЗ-2. Технічні характеристики аналізатора вологості ЕЛВІЗ-2 наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики аналізатора вологості ЕЛВІЗ-2

Характеристики	Значення
1	2
Діапазон вимірювань масової частки вологи, %	0 – 100
Межа абсолютної похибки аналізатора вологості, %	± 0,2
Діапазон вимірювань вагового пристрою, г	0,001 – 30,000
Абсолютна похибка вагового пристрою, г	± 0,01
Діапазон установки температур в сушильній камері, °С	50 – 140 (з дискретністю 1 °С);

2.3 Методика експериментальних досліджень процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю при інфрачервоному випромінюванні

Фуражне зерно пшениці (з вологовмістом 12 кг/кг) і фуражне зерно ячменю (з вологовмістом 13 кг/кг) рівномірно розподіляли на тефлоновій стрічці шаром від 5 до 10 мм в сушильній камері і при заданих параметрах піддавали інфрачервоному опроміненню зверху. Відстань між ІЧ-випромінювачами становила 60 мм.

Температуру поверхні шару продукту, що знаходиться в камері термічної обробки установки, вимірювали безконтактним інфрачервоним термометром

MiniTemp МТ6. Температуру центру шару зерна пшениці або ячменю і на підкладці визначали за допомогою термопар, поміщаючи їх в шар зерна і на підкладку.

Тривалість інфрачервоної обробки при заданій щільності теплового потоку інфрачервоного (ІЧ) випромінювання визначається часом досягнення заданого вмісту вологи 6 кг/кг і температури на поверхні шару оброблюваного матеріалу, що не перевищує температури, при якій відбувається денатурація білка і руйнування вітамінів. Температура не повинна перевищувати 70 °С.

Основними факторами, які найбільшою мірою впливають на час процесу термічної обробки при інфрачервоному випромінюванні і якісний склад зерна пшениці та ячменю, є: висота шару оброблюваного матеріалу, щільність теплового потоку ІЧ-випромінювання, відстань від ІЧ-випромінювача до шару оброблюваного матеріалу. Для проведення експериментальних досліджень [11] були обрані значення кожного фактора, з урахуванням діапазонів технологічних параметрів попередніх експериментів, які приведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Значення досліджуваних факторів при термічній обробці фуражного зерна пшениці та ячменю

№ п/п	Найменування фактора	Значення фактору		
		+1	0	-1
1	Щільність теплового потоку ІЧ-випромінювання, кВт/м <sup>2</sup>	5,26	4,87	4,48
2	Висота шару висівок житніх на тефлоновій стрічці, мм	10	7,5	5
3	Відстань від ІЧ-випромінювача до шару висівок житніх, мм	60	50	40

Тривалість ІЧ-обробки різних матеріалів при заданій щільності потоку інфрачервоного випромінювання визначається часом досягнення заданої температури в центрі зернівки і на її поверхні.

Для визначення заданої продуктивності ІЧ-установки варіювали:

- товщину шару зерна;



- час ІЧ-опромінення;
- висоту розміщення блоку з ІЧ-випромінювачами щодо шару зерна;
- щільність теплового потоку ІЧ-випромінювання.

Результати експериментальних досліджень оброблялися у вигляді кривих кінетики нагрівання, зниження вологи в матеріалі в процесі ІЧ-обробки.

#### Висновки до розділу

В даному розділі дипломної роботи приведено характеристику методики проведення досліджень та методів для їх проведення. Також детально розглянуто конструкцію, принцип роботи та технічні параметри дослідного устаткування.

### 3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Дослідження процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці при інфрачервоному випромінюванні

В результаті проведених експериментальних досліджень було виявлено, що процес термічної обробки фуражного зерна пшениці до вмісту вологи 6 кг/кг завершується при досягненні температури на поверхні шару продукту 65 °С.

Аналіз отриманих результатів досліджень показав, що на час термічної обробки фуражного зерна пшениці впливають всі фактори. За отриманими даними можна зробити висновок, що найбільший вплив має висота шару оброблюваного матеріалу, наступними за значимістю виявилися фактори щільність теплового потоку і відстань від ІЧ-випромінювача до зерна пшениці відповідно.

На рисунках 3.1. – 3.4 представлені графіки залежності часу термічної обробки фуражного зерна пшениці від основних факторів, що впливають.

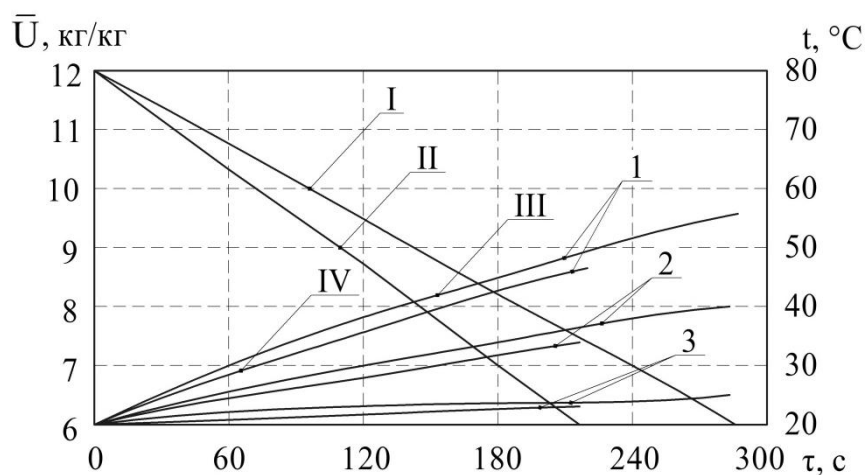


Рисунок 3.1 – Криві процесу термічної обробки інфрачервоним випромінюванням шару зерна пшениці товщиною 5 мм при щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача 5,26 кВт/м<sup>2</sup>

- $I - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ випромінювача 60 мм;
- $II - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм;
- $III - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 60 мм
- 1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці;
- $IV - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм: 1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці.

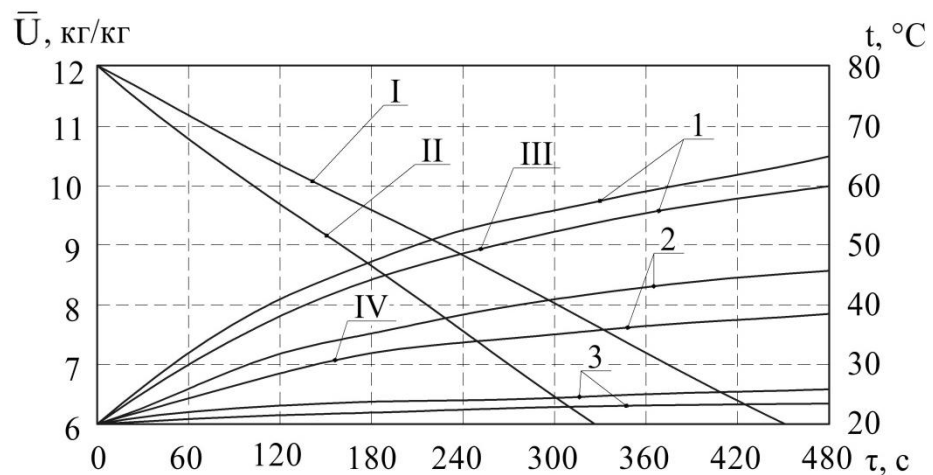


Рисунок 3.2 – Криві процесу термічної обробки інфрачервоним випромінюванням шару зерна пшениці товщиною 10 мм при щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача 5,26 кВт/м<sup>2</sup>:

- $I - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ випромінювача 60 мм;
- $II - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм;
- $III - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 60 мм
- 1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці;
- $IV - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм:
- 1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці.

Аналіз кривих (рисунки 3.1, 3.2) показав, що час термічної обробки фуражного зерна пшениці від початкового вологовмісту 12 кг/кг до кінцевого вологовмісту 6 кг/кг, при відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту 40 мм, щільності теплового потоку  $5,26 \text{ кВт/м}^2$ , із збільшенням висоти шару зерна пшениці з 5 мм до 10 мм збільшується на 100 с, при відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту 60 мм збільшується на 155 с.

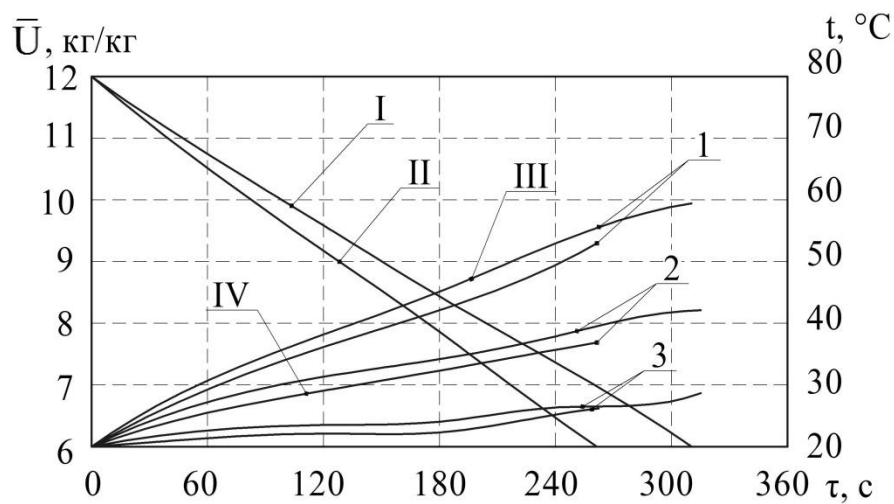


Рисунок 3.3 – Криві процесу термічної обробки інфрачервоним випромінюванням шару зерна пшениці товщиною 5 мм при щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача  $4,48 \text{ кВт/м}^2$

$I - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ випромінювача 60 мм;

$II - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм;

$III - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 60 мм

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці;

$IV - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм:

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці

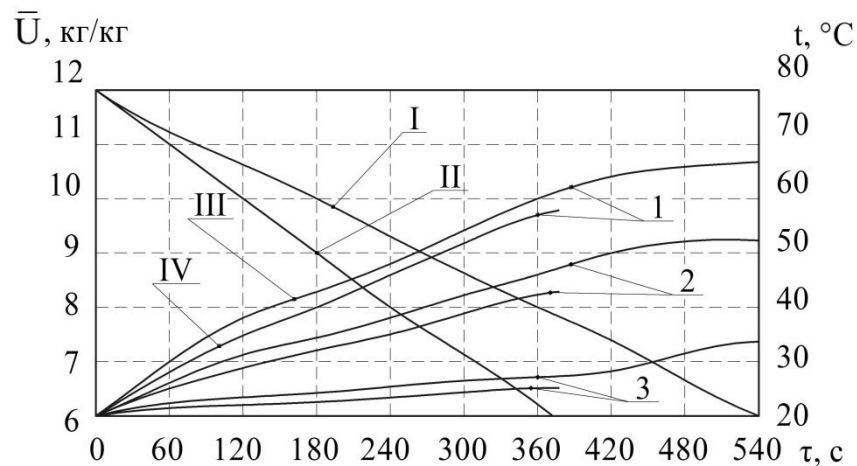


Рисунок 3.4 – Криві процесу термічної обробки інфрачервоним випромінюванням шару зерна пшениці товщиною 10 мм при щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача  $4,48 \text{ кВт/м}^2$

$I - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 60 мм;

$II - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм;

$III - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 60 мм

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці;

$IV - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці.

Аналіз кривих (рисунки 3.3, 3.4) показав, що час термічної обробки фуражного зерна пшениці від початкового вологовмісту  $12 \text{ кг/кг}$  до кінцевого вологовмісту  $6 \text{ кг/кг}$ , при відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту  $40 \text{ мм}$ , щільності теплового потоку  $4,48 \text{ кВт/м}^2$ , із збільшенням висоти шару зерна пшениці з  $5 \text{ мм}$  до  $10 \text{ мм}$  збільшується на  $115 \text{ с}$ , при відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту  $60 \text{ мм}$  збільшується на  $225 \text{ с}$ .

З аналізу кривих (рисунки 3.1 – 3.4) видно, що час термічної обробки фуражного зерна пшениці від початкового вологовмісту  $12 \text{ кг/кг}$  до кінцевого вологовмісту  $6 \text{ кг/кг}$ , при висоті шару зерна пшениці  $5 \text{ мм}$ , відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту  $60 \text{ мм}$ , зі збільшенням щільності теплового потоку (найбільш впливаючий на час термічної обробки зерна пшениці фактор) з  $4,48$  до  $5,26 \text{ кВт/м}^2$  зменшується на  $30 \text{ с}$ , при висоті шару зерна пшениці  $10 \text{ мм}$ ,

відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту 60 мм, зі збільшенням щільності теплового потоку з 4,48 до 5,26 кВт/м<sup>2</sup> зменшується на 85 с.

Інфрачервоне випромінювання певної довжини хвилі активно поглинається водою, що міститься в продукті, але не поглинається тканиною продукту, тому видалення вологи відбувається при невисокій температурі (60 °С). З графіків 2 і 3 видно, що термічна обробка фуражного зерна пшениці проходить в періоді постійної швидкості сушіння – лінійна залежність вмісту вологи від часу сушіння матеріалу. Важливо відзначити, що якщо випаровування відбувається не тільки на поверхні матеріалу, але і всередині нього (критерій випаровування  $\varepsilon > 0$ ), як в нашому випадку, то температура центральних шарів матеріалу менше, ніж на поверхні. Тому при  $\varepsilon > 0$  в періоді постійної швидкості термічної обробки всередині тіла має місце температурний градієнт.

Падаючі на поверхню інфрачервоні промені проникають в глиб матеріалу. Виникає температурний градієнт і градієнт вологості. А градієнт вологості пов'язаний з тим, що випаровування вологи відбувається не з усією геометричної поверхні матеріалу, а тільки з поверхні менісків рідини, укладеної в порах і капілярах, і в процесі сушіння меніски відступають в глиб матеріалу – відбувається відсмоктування вологи з пір через канали, що їх з'єднують. Через деякий час температура поверхні випаровування матеріалу сушіння (поверхні скелета твердого тіла) починає перевищувати температуру в глибині матеріалу – починається процес зміни напрямку температурного градієнта. Рідина на поверхні матеріалу випаровується, переходячи в навколишнє середовище. Випаровування вологи з поверхні матеріалу створює перепад вологовмісту між наступними шарами і поверхневим шаром, що викликає обумовлене дифузією переміщення вологи з внутрішніх шарів до поверхневих. Під впливом градієнта температур (температура на поверхні матеріалу більше температури центральних шарів) волога внаслідок термовологопровідності прагне переміститися всередину тіла. У нашому випадку випаровування відбувається всередині тіла, отже дифузному потоку сприяє дифузне ковзання, при якому перенесення вологи відбувається проти потоку тепла. Таким чином, в процесі термічної обробки ми маємо

безперервне підведення вологи з внутрішніх шарів до поверхневих шарів матеріалу, внаслідок чого зменшується вологість не тільки на поверхні, але і в глибині матеріалу.

Процес термічної обробки фуражного зерна пшениці від початкового вологовмісту 12 кг/кг до кінцевого вологовмісту 6 кг/кг протікає в періоді постійної швидкості сушіння. Тривалість процесу термічної обробки в значній мірі визначається товщиною шару зерна пшениці і величиною опромінення. При зменшенні товщини шару з 10 мм до 5 мм тривалість процесу зменшується приблизно в 1,5 рази. При збільшенні щільності теплового потоку з 4,48 до 5,26 кВт/м<sup>2</sup> тривалість процесу термічної обробки інфрачервоним випромінюванням зменшується приблизно в 1,2 рази.

З наведених температурних кривих можна зробити висновок, що температура на поверхні шару фуражного зерна пшениці знаходиться в межах від 55 до 67 °С, при цьому вона не перевищує температуру, при якій відбувається денатурація білка і руйнування вітамінного комплексу і, як наслідок, втрата поживних властивостей продукту.

Так, як в зменшенні часу термічної обробки і збільшенні продуктивності полягає інтенсифікація процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці, з урахуванням якості готового продукту були визначені найкращі режими процесу.

Аналіз результатів показав, що межі зміни параметрів термічної обробки фуражного зерна пшениці інфрачервоним випромінюванням з виділеною довжиною хвилі 1,5 – 3,0 мкм наступні: щільність теплового потоку 4,48 – 5,26 кВт/м<sup>2</sup>, висота шару 5 – 10 мм, відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 – 60 мм. При таких значеннях параметрів мінімальний час термічної обробки фуражного зерна пшениці інфрачервоним випромінюванням становить 300 – 450 с.

### 3.2 Дослідження процесу термічної обробки фуражного зерна ячменю при інфрачервоному випромінюванні

В результаті проведених експериментальних досліджень було виявлено, що процес термічної обробки зерна ячменю інфрачервоним випромінюванням завершується при досягненні вмісту вологи 6 кг/кг і температури на поверхні шару продукту 65 °С.

На рисунках 3.5. – 3.8 представлені графіки залежності часу термічної обробки фуражного зерна ячменю від основних факторів, що впливають.

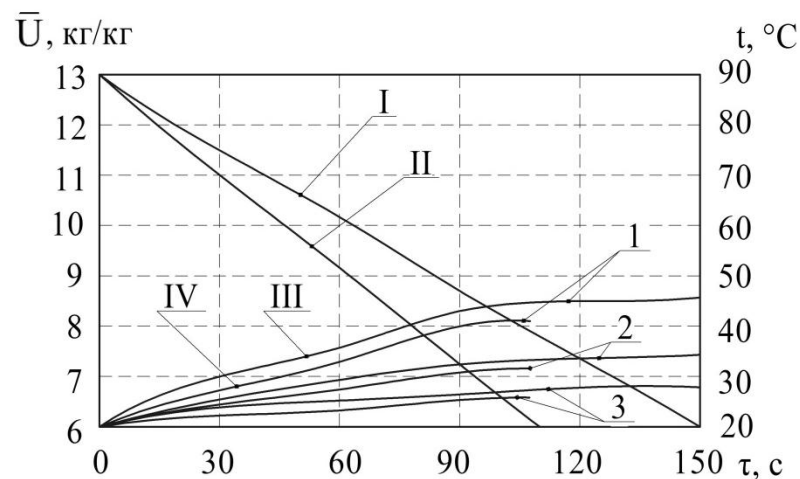


Рисунок 3.5 – Криві процесу термічної обробки інфрачервоним випромінюванням шару фуражного зерна ячменю товщиною 5 мм при щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача 5,26 кВт/м<sup>2</sup>

$I - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ випромінювача 60 мм;

$II - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм,

$III - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 60 мм

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці,

$IV - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці.



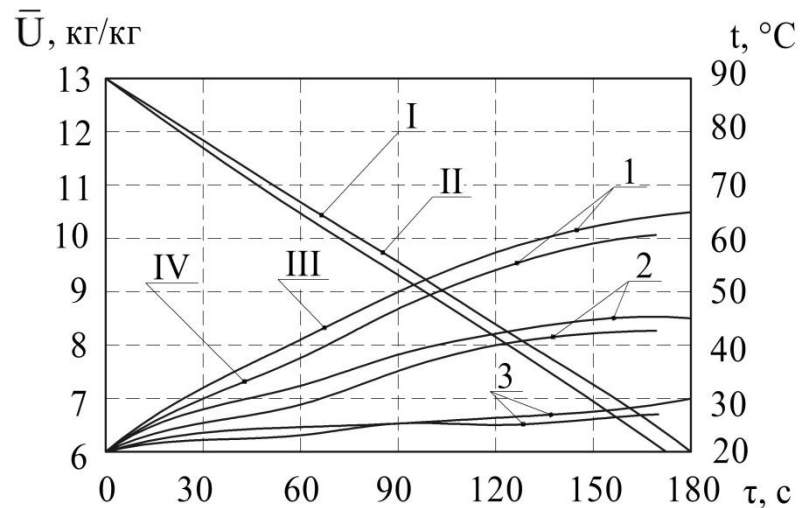


Рисунок 3.6 – Криві процесу термічної обробки інфрачервоним випромінюванням шару фуражного зерна ячменю товщиною 10 мм при щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача  $5,26 \text{ кВт/м}^2$

$I - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 60 мм;

$II - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм;

$III - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 60 мм

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці;

$IV - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці.

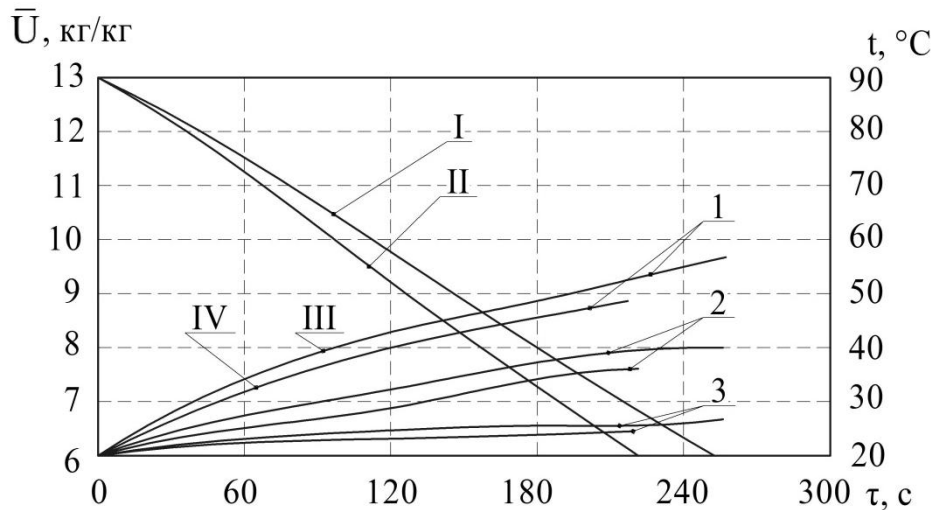


Рисунок 3.7 – Криві процесу термічної обробки інфрачервоним випромінюванням шару фуражного зерна ячменю товщиною 5 мм при щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача 4,48 кВт/м<sup>2</sup>

$I - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ випромінювача 60 мм;

$II - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм;

$III - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 60 мм

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці;

$IV - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці.

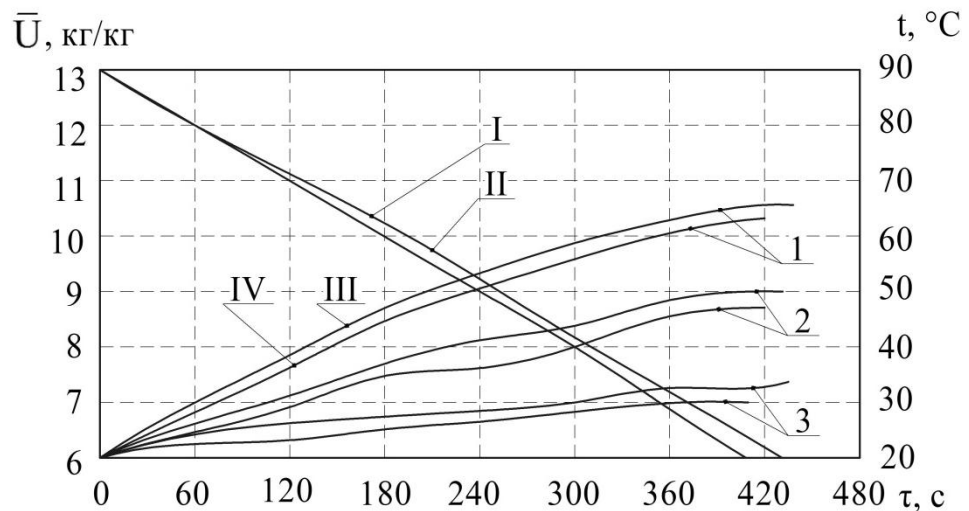


Рисунок 3.8 – Криві процесу термічної обробки інфрачервоним випромінюванням шару фуражного зерна ячменю товщиною 10 мм при щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача  $4,48 \text{ кВт/м}^2$

$I - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ випромінювача 60 мм;

$II - \bar{U} = \bar{U} \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм;

$III - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 60 мм

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці;

$IV - t = t \tau$  , відстань від шару продукту до ІЧ-випромінювача 40 мм

1 – на поверхні шару продукту; 2 – в центрі шару; 3 – на підкладці

Інфрачервоне випромінювання певної довжини хвилі активно поглинається водою, що міститься в продукті, але не поглинається тканиною продукту, тому видалення вологи відбувається при невисокій температурі ( $60^\circ\text{C}$ ). З графіків видно, що процес термічної обробки фуражного зерна ячменю проходить в періоді постійної швидкості сушіння – лінійна залежність вмісту вологи від часу сушіння матеріалу. Важливо відзначити, що якщо випаровування відбувається не тільки на поверхні матеріалу, але і всередині його (критерій випаровування  $\varepsilon > 0$ ), як в нашому випадку, то температура центральних шарів матеріалу менше, ніж на поверхні. Тому при  $\varepsilon > 0$  в періоді постійної швидкості сушки всередині тіла має місце температурний градієнт.

Падаючі на поверхню інфрачервоні промені проникають в глиб матеріалу. Виникає температурний градієнт і градієнт вологості. А градієнт вологості пов'язаний з тим, що випаровування вологи відбувається не з усієї геометричній поверхні матеріалу, а тільки з поверхні менісків рідини, укладеної в порах і капілярах, і в процесі термічної обробки меніски відступають в глиб матеріалу – відбувається відсмоктування вологи з пір через канали, що з'єднують їх. Через деякий час температура поверхні випаровування матеріалу (поверхні скелета твердого тіла) починає перевищувати температуру в глибині матеріалу – починається процес зміни напрямку температурного градієнта. Рідина на поверхні матеріалу випаровується, переходячи в навколишнє середовище. Випаровування вологи з поверхні матеріалу створює перепад вологовмісту між наступними шарами і поверхневим шаром, що викликає обумовлене дифузією переміщення вологи з нижчих шарів до поверхневих. Під вплив градієнта температур (температура на поверхні матеріалу більше температури центральних шарів) волога прагне переміститися всередину тіла. У нашому випадку випаровування відбувається всередині тіла, отже дифузному потоку сприяє дифузне ковзання, при якому перенесення вологи відбувається проти потоку тепла. Таким чином, в процесі сушіння ми маємо безперервне підведення вологи з внутрішніх шарів до поверхневих шарів матеріалу, внаслідок чого зменшується вологість не тільки на поверхні, але і в глибині матеріалу.

Процес термічної обробки фуражного зерна ячменю від початкового вологовмісту 13 кг/кг до кінцевого вологовмісту 6 кг/кг протікає в періоді постійної швидкості сушіння. Тривалість процесу термічної обробки ІЧ-випромінюванням в значній мірі визначається товщиною шару зерна ячменю і величиною опромінення. При зменшенні товщини шару з 10 мм до 5 мм тривалість процесу термічної обробки зменшується приблизно в 1,2 рази. При збільшенні щільності теплового потоку з 4,48 до 5,26 кВт/м<sup>2</sup> тривалість процесу термічної обробки зменшується приблизно в 2 рази.

Аналіз отриманих результатів показав, що на час термічної обробки фуражного зерна ячменю інфрачервоним випромінюванням впливають всі

фактори. За даним рівнянням можна зробити висновок, що найбільший вплив з вхідних параметрів має висота шару оброблюваного продукту, наступними за значимістю виявилися фактори щільність теплового потоку і відстань від ІЧ-випромінювача до шару зерна ячменю.

Так як в зменшенні часу сушіння і збільшенні продуктивності полягає інтенсифікація процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю, з урахуванням якості готового продукту були визначені найкращі режими процесу.

Аналіз результатів показав, що межі зміни параметрів термічної обробки зерна ячменю інфрачервоним випромінюванням з виділеної довжини хвилі 1,5 – 3,0 мкм наступні: товщина шару зерна ячменю 7 – 10 мм; щільність теплового потоку 5,26 кВт/м<sup>2</sup>, відстань від ІЧ-випромінювача до шару продукту 50 – 55 мм. При таких значеннях параметрів мінімальний час термічної обробки зерна ячменю інфрачервоним випромінюванням становить 180 – 205 с.

З наведених графіків видно, що температура на поверхні шару зерна ячменю знаходиться в межах від 55 до 65°C, при цьому вона не перевищує температуру, при якій відбувається денатурація білка і руйнування комплексу вітамінів і, як наслідок, втрата поживних властивостей продукту.

З усіх вище наведених графіків випливає, що прогрів інтенсивніше у зерні ячменю при щільності теплового потоку 5,26 кВт/м<sup>2</sup>.

При термічній обробки зерна ячменю ІЧ-випромінюванням від початкового вологовмісту 13 кг/кг до кінцевого 6 кг/кг температура на поверхні складає  $60 \pm 5$  °C, температура в шарі  $40 \pm 5$  °C і температура на підкладці  $29 \pm 1$  °C.

### Висновки до розділу

Проведено дослідження процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці, фуражного зерна ячменю інфрачервоним випромінюванням з довжиною хвилі 1,5 – 3,0 мкм в залежності від висоти шару матеріалу, щільності теплового потоку ІЧ-випромінювання, відстані від ІЧ випромінювача до шару продукту і початкового вологовмісту продукту.

Дослідженням встановлено, що при інфрачервоній термічній обробці зерна пшениці та зерна ячменю з довжиною хвилі 1,5 – 3,0 мкм вологовміст оброблюваного продукту протягом усього процесу термічної обробки зменшується з плином часу за лінійним законом. Температура на поверхні шару матеріалу при термічній обробці не перевищує 67 °С. При сушінні не відбувається денатурація білкової складової зерна пшениці та ячменю.

Знайдено найкращі межі зміни параметрів термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю інфрачервоним випромінюванням з довжиною хвилі 1,5 – 3,0 мкм

## 4 ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1 Дослідження процесу рівномірності термічної обробки ІЧ-променями фуражного зерна пшениці у виробничих умовах в залежності від конструкції відбивачів теплового потоку

При конструюванні установки для термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю необхідно створити рівномірний потік інфрачервоного випромінювання від ІЧ-джерела з виділеною довжиною хвилі по всій поверхні продукту, що знаходиться на тефлоновій транспортерній стрічці. Інакше при рівному часі обробки інфрачервоним випромінюванням продукту, що знаходиться на тефлоновій стрічці, з'являється розкид вологовмісту готового продукту на виході з установки.

Виготовлена і встановлена на виробництві в фермерському господарстві «Іва» установка для термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю ІЧ-променями продуктивністю 75 кг/год. Установка складається з транспортера з тефлоною стрічкою шириною 500 мм і довжиною 3000 мм, вузлів завантаження і вивантаження, вентиляції, щита управління з частотним перетворювачем, нагрівального блоку, що складається з двох секцій з ІЧ-випромінювачами.

Відбивачі з нержавіючої сталі розташовані уздовж установки, на осі кожного розташовані ІЧ-випромінювачі. Як генератори ІЧ-випромінювання застосовані лінійні кварцові випромінювачі діаметром 0,012 м з функціональною керамічною оболонкою. Кожен випромінювач встановлюється у фокусі напівкруглого відбивача.

На ширині 500 мм промислової установки мали напівкруглі відбивачі теплового потоку з ІЧ-випромінювачами з різними радіусами заокруглення. Відповідно, радіус заокруглення відбивача 30 мм, відстань по ширині – 60 мм (рисунок 4.1); радіус – 35 мм, відстань – 70 мм (рисунок 4.2); радіус – 40 мм, відстань – 80 мм (рис. 4.3).

Горизонтальна направляюча з двох сторін у всіх випадках 20 мм. Відстань від шару продукту до відбивача з даних статей становить 50 мм.

Вимірювання температури на поверхні матеріалу проводилися за допомогою дистанційного безконтактного інфрачервоного термометра Raytek MT 6. Для вимірювання вмісту води продукту використовувався аналізатор вологості ЕЛВІЗ-2.

На рис. 4.1, 4.2, 4.3 показані геометричні розміри (мм) і форма відбивачів.

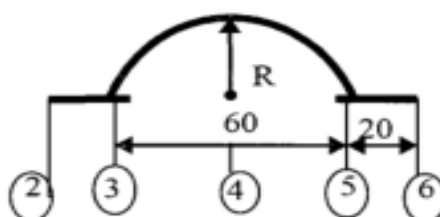


Рисунок 4.1 – Напівкруглий відбивач з радіусом  $R = 30$  мм

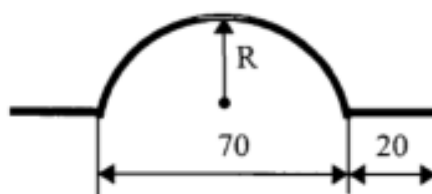


Рисунок 4.2 – Напівкруглий відбивач з радіусом  $R=35$  мм

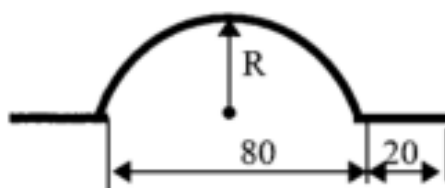


Рисунок 4.3 – Напівкруглий відбивач з радіусом  $R = 40$  мм



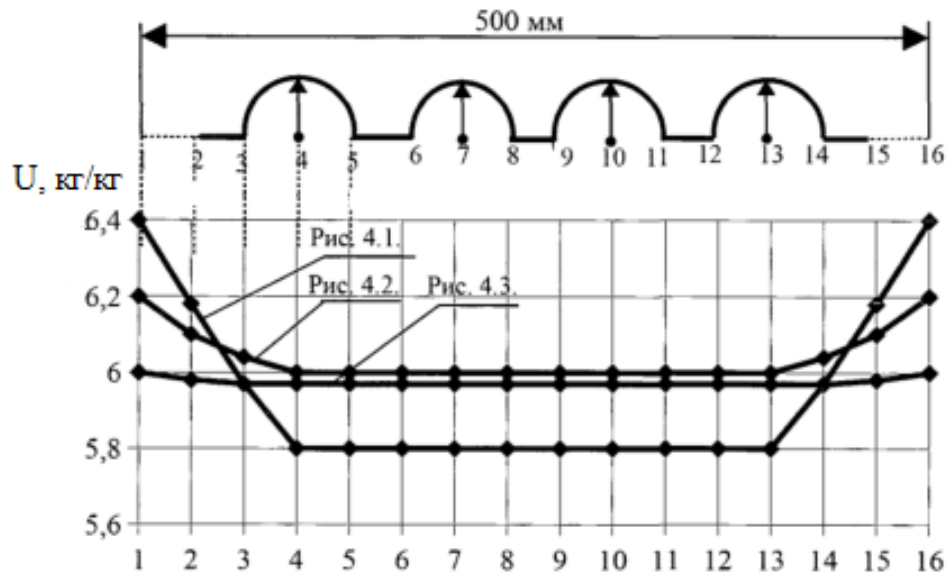


Рисунок 4.4 – Залежність зміни вмісту води фуражного зерна пшениці від радіуса напівкруглого відбивача на виході з установки (форма і геометричні розміри вказані на рисунках 4.1, 4.2, 4.3)

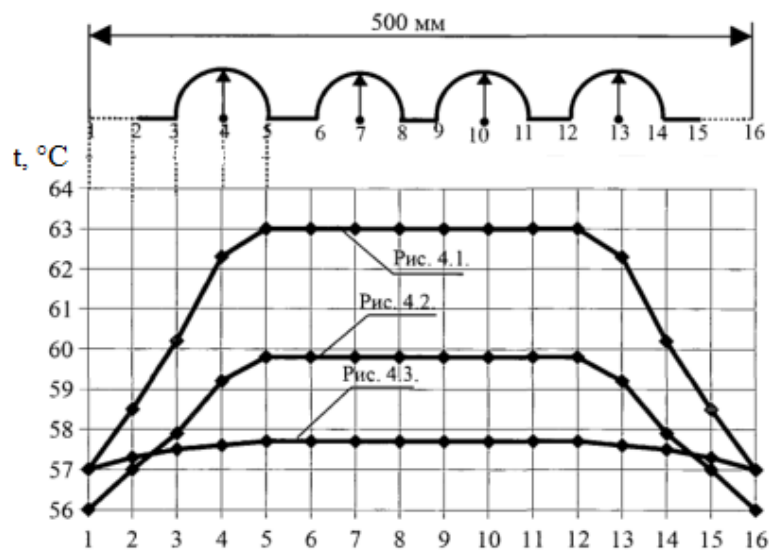


Рисунок 4.5 – Залежність зміни температури на поверхні шару фуражного зерна пшениці від радіуса напівкруглого відбивача на виході з установки (форма і геометричні розміри вказані на рисунках 4.1, 4.2, 4.3)

На графіках (рис. 4.4, 4.5) показані емпіричні залежності зміни вмісту води в зерні пшениці при інфрачервоній термічній обробці на виході з промислової установки в залежності від форми відбивачів. З графіків видно, що при установці відбивачів з радіусом заокруглення 30 мм і 35 мм, розподіл

вологості готового продукту на виході з установки по ширині стрічки нерівномірний, при цьому спостерігається перепад значень на краю тefлонової стрічки від 6,2 кг/кг до 6,4 кг/кг, перевищуючи необхідне кінцеве значення 6 кг/кг, відповідно змінюється температура зерна пшениці від 63 °С до 58 °С.

#### 4.2 Дослідження температурного поля інфрачервоної нагрівальної системи для термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю

При проектуванні апаратів з інфрачервоним випромінюванням необхідною умовою отримання кінцевого продукту високої якості з заданим вмістом вологи 6 кг/кг є рівномірність нагріву їх поверхонь. Рівномірність нагріву залежить від умов опромінення зерна пшениці та ячменю в робочих камерах інфрачервоних апаратів. У загальному випадку мають місце три основних випадки опромінення: спрямованим від інфрачервоного випромінювача, дзеркальним від відбивача і відображенням об'єктів ІЧ-нагріву [20, 72].

У цьому розділі досліджено розподіл температурного поля в поперечному і поздовжньому напрямках від інфрачервоного лінійного кварцового випромінювача з функціональною керамічною оболонкою, розташованою в центрі радіусу 0,05 м напівкруглого відбивача з полірованої нержавіючої сталі.

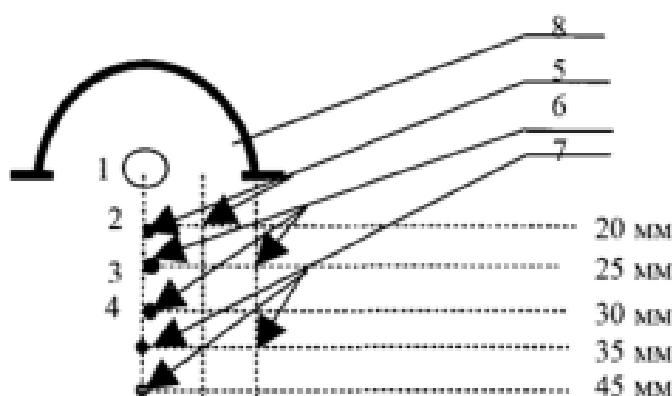


Рисунок 4.6 – Розташування термопар для вимірювання температурного поля в поперечному і поздовжньому напрямках від інфрачервоного лінійного кварцового випромінювача.

1 – ІЧ-випромінювач; 2, 3, 4, 5, 6, 7 – термопари; 8 – напівкруглий відбивач.

Установка складається з транспортера з тефлоновою стрічкою шириною 0,5 м і довжиною 3,0 м, вузлів завантаження і вивантаження, вентиляції, щита управління з частотним перетворювачем, нагрівального блоку, що складається з двох секцій з ІЧ-випромінювачами.

Напівкруглі відбивачі з полірованої нержавіючої сталі розташовані уздовж установки, на осі кожного розташовані ІЧ-випромінювачі. Як генератори ІЧ-випромінювання застосовані лінійні кварцові випромінювачі діаметром 0,012 м з функціональною керамічною оболонкою. Кожен випромінювач встановлюється в центрі радіусу напівкруглого відбивача.

Для зняття температурних полів навколо ІЧ-джерела використовувалися термопари спільно з багатоканальним вимірником теплопровідності ІЧ-2 в комплекті з перетворювачами щільності теплового потоку. Результати вимірювання (мВ, Вт/м<sup>2</sup> або °С) записувалися в файл і виводилися на монітор ПК у вигляді таблиці.

Спай термопар був закритий від прямого попадання інфрачервоних променів харчовою фольгою.

В ході експерименту щільність теплового потоку ІЧ-випромінювачів склала 4,8 кВт/м<sup>2</sup> і 5,26 кВт /м<sup>2</sup>.

На основі експериментальних даних були побудовані графіки залежності температурного поля від відстані від ІЧ-випромінювача до термопари (рис 4.7).

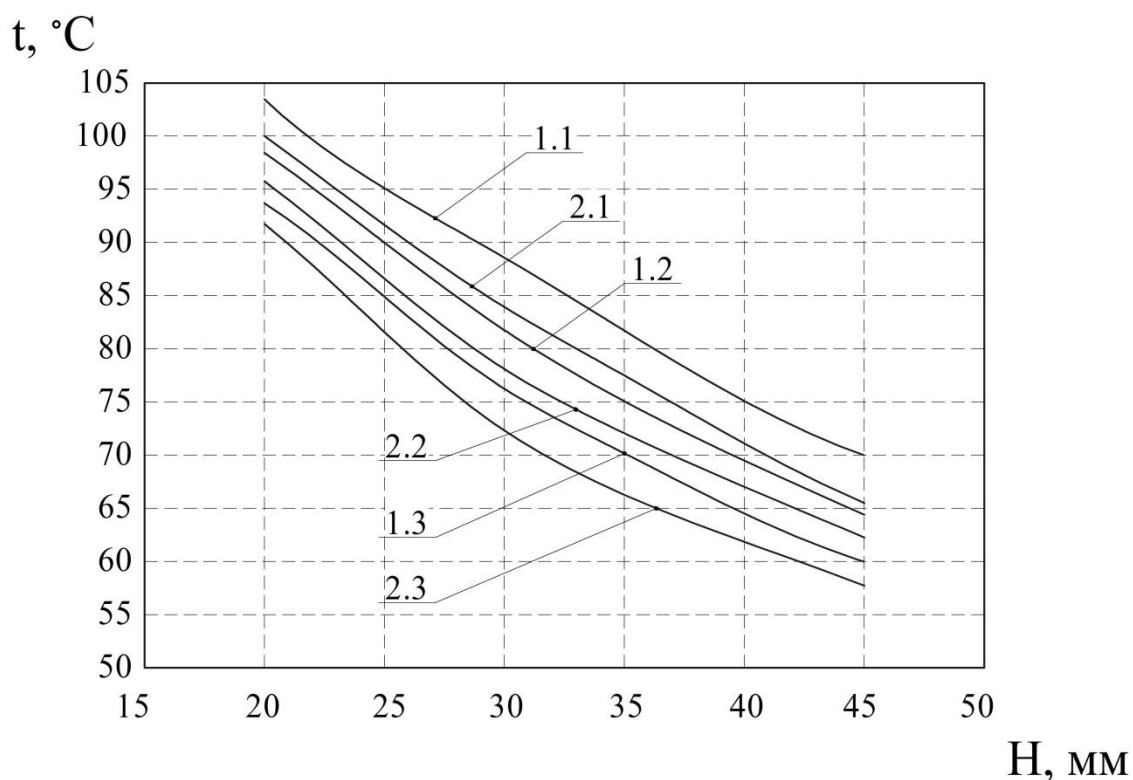


Рисунок 4.7 – Графік залежності температурного поля ІЧ-нагрівальної системи при щільності теплового потоку  $5,26 \text{ кВт/м}^2$  (криві 1.1, 1.2, 1.3,) і  $4,8 \text{ кВт/м}^2$  (криві 2.1, 2.2, 2.3), відстані від ІЧ-випромінювача до точки вимірювання при розташуваннях термопар на краю відбивача (криві 1.3 і 2.3), по центру радіуса відбивача (криві 1.2 і 2.3), під ІЧ-випромінювачем (криві 1.1 і 2.1).

Аналіз отриманих даних показує, що абсолютно рівномірне температурне поле променистого потоку отримати дуже важко. Спостерігається нерівномірність температурного поля інфрачервоної системи в камері термічної обробки по висоті від ІЧ-випромінювача до шару продукту і ширини відбивача. Розкид температури теплового поля на поверхні об'єкту сушіння від центру і до краю відбивача становить  $6 - 7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### Висновки до розділу

Для термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю ІЧ-променями на тефлоновій стрічці промислової установки розроблений напівкруглий відбивач

з радіусом заокруглення 40 мм, що забезпечує рівномірність розподілу вологовмісту готового продукту по всій ширині стрічки не більше 6 кг/кг.

Досліджено температурне поле інфрачервоної нагрівальної системи по висоті від ІЧ-випромінювача до шару продукту і ширині відбивача теплового потоку.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Дослідження та оцінка стану охорони праці в ФГ «Іва»

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [72].

Небезпечний виробничий фактор – виробничий фактор, вплив якого на працівника у певних умовах призводить до травм, гострого отруєння або іншого раптового різкого погіршення здоров'я або до смерті. На підприємстві такими факторами є: робота з високими напругами (до 380 В) [72].

Шкідливий виробничий фактор – фактор середовища і трудового процесу, вплив якого на працюючого за певних умов може викликати професійне захворювання, тимчасове або стійке зниження працездатності, підвищити частоту соматичних і інфекційних захворювань, призвести до порушення здоров'я нащадків, а саме нерівномірне освітлення робочих місць та підвищена температура при роботі з технологічним обладнанням [72].

У разі виникнення травматизму на робочому місці директор призначає комісію з розслідування та веде облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій відповідно до положення.

Головний інженер господарства постійно вивчає умови праці, перевіряє виконання правил безпеки, виробничої та трудової дисципліни, дотримання законодавства про режим робочого часу та відпочинку, про працю жінок та підлітків.

Головний інженер господарства один раз на рік складає звіт про потерпілих при нещасних випадках та освоєння засобів на заходи по охороні праці в формі 7-ТНВ. Звіт складається на основі актів форми Н-1 і включають в нього нещасні випадки, що пов'язані з виробництвом.

Коефіцієнти частоти травматизму, тяжкості травматизму та втрати робочого

часу визначено за статистичним методом аналізу виробничого травматизму.

Коефіцієнт частоти нещасних випадків визначимо за формулою:

$$K_{\text{ч}} = \frac{n}{P} \cdot 1000, \quad (5.1)$$

де  $n$  – кількість нещасних випадків;

$P$  – кількість робітників на підприємстві.

Тоді по роках коефіцієнт частоти буде становити:

$$K_{\text{ч}2017} = \frac{1}{16} \cdot 1000 = 62,5;$$

$$K_{\text{ч}2019} = \frac{1}{24} \cdot 1000 = 41,3.$$

Коефіцієнт тяжкості визначаємо за формулою:

$$K_{\text{т}} = \frac{D}{n}, \quad (5.2)$$

де  $D$  – кількість днів втрати працездатності.

По роках цей коефіцієнт становитиме:

$$K_{\text{т}2017} = \frac{43}{1} = 43;$$

$$K_{\text{т}2019} = \frac{65}{1} = 65$$

Коефіцієнт втрати робочого часу визначаємо за формулою:

$$K_{II} = \frac{D}{P} \cdot 1000, \quad (5.3)$$

а по роках:

$$K_{II2017} = \frac{43}{16} \cdot 1000 = 2687,5;$$

$$K_{II2019} = \frac{65}{24} \cdot 1000 = 2708,3.$$

Причинами виникнення захворювань на ФГ «Іва» є невиконання працівниками правил організації та проведення санітарно-гігієнічних заходів.

Для кількісної характеристики захворювань використовують такі показники:

- коефіцієнт частоти захворювань:

$$K_{\text{ч}} = \frac{T}{P} \cdot 100 ; \quad (5.4)$$

- коефіцієнт важкості захворювань:

$$K_B = \frac{D}{T} ; \quad (5.5)$$

- коефіцієнт втрат робочого часу від захворювання

$$K_{BT} = \frac{D}{P} \cdot 100 ; \quad (5.6)$$

де  $T$  – кількість захворювань за досліджуваний період;

$P$  – середня (за списком) кількість працівників, чол.;



$D$  – сумарна втрата днів непрацездатності в результаті захворювання, днів.

За досліджуваний період захворювання траплялися щорічно відповідно подальші розрахунки будемо проводити за період 2017 – 2019 років.

- коефіцієнт частоти захворювань:

$$K_{\text{ч}2017} = \frac{2}{16} \cdot 100 = 12,5;$$

$$K_{\text{ч}2018} = \frac{1}{18} \cdot 100 = 5,5;$$

$$K_{\text{ч}2019} = \frac{3}{24} \cdot 100 = 12,5;$$

- коефіцієнт важкості захворювань:

$$K_{\text{в}2017} = \frac{18}{2} = 9;$$

$$K_{\text{в}2018} = \frac{10}{1} = 10;$$

$$K_{\text{в}2019} = \frac{29}{3} = 9,7;$$

- коефіцієнт втрат робочого часу:

$$K_{\text{вТ}2017} = \frac{18}{16} \cdot 100 = 112,5;$$

$$K_{\text{вТ}2018} = \frac{10}{18} \cdot 100 = 55,5;$$

$$K_{\text{вТ}2019} = \frac{29}{24} \cdot 100 = 120,8.$$

Показники виробничого травматизму по господарству за останні три роки

приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники виробничого травматизму та захворювань на підприємстві

Показники	Роки		
	2017	2018	2019
1	2	3	4
Кількість робітників	16	18	24
Кількість випадків нещасних випадків	1	-	1
Кількість випадків захворювань	2	1	3
Кількість днів втрати працездатності:			
- від травматизму	43	-	65
- від захворювань	18	10	29
Коефіцієнт частоти:			
- травматизму	62,5	-	41,3
- захворювань	12,5	5,5	12,5
Коефіцієнт тяжкості:			
- травматизму	43	-	65
- захворювань	9	10	9,7
Коефіцієнт втрати робочого часу:			
- від травматизму	2687,5	-	2708,3
- від захворювань	112,5	55,5	120,8

Як видно з табл. 5.1. – основні коефіцієнти частоти виробничого травматизму та втрати робочого часу в 2019 році досягли максимального значення в порівнянні з іншими роками, а коефіцієнт важкості дещо зменшився. Збільшення коефіцієнтів частоти виробничого травматизму та втрати робочого часу пов'язане з тим, що в останні роки на підприємстві на питання охорони праці зверталось мало уваги, а саме причиною нещасного випадку є відсутність захисного заземлення на обладнанні.

Також в результаті захворювання у 2017 – 2019 роках було зафіксовано кількість днів непрацездатності на рівні 57 дні, причиною стало захворювання працівників гострими респіраційними захворюваннями.

Відповідальність за стан охорони праці в ФГ «Іва» несе директор. Відповідальність за стан охорони праці на комплексі з обробки фуражного зерна покладається наказом директора на начальника комплексу з обробки зерна. Функції спеціаліста з охорони праці виконує головний інженер господарства за сумісництвом, тому що в господарстві працює 24 особи.

У відповідності з Типовим положенням про навчання та перевірку знань з питань охорони праці в господарстві встановлено порядок і види навчань з охорони праці робітників та службовців.

У господарстві проводяться такі інструктажі з охорони праці:

- вступний – проводять з особами, яких приймають на роботу, інструктаж реєструється в журналі реєстрації вступного інструктажу з питань охорони праці;
- первинний інструктаж – проводять на робочому місці з усіма без винятку особами, яких вперше беруть на роботу, його проводить керівник робіт;
- повторний інструктаж – проводиться не пізніше шести місяців після первинного інструктажу, він реєструється в журналі реєстрації інструктажів;
- позаплановий – проводиться в тому випадку, коли стався нещасний випадок на виробництві або відбулися зміни у виробничому процесі, в інших випадках в господарстві його не проводять.

Колективний договір у господарстві існує і в ньому є пункти з покращення охорони праці робітників.

Засобами індивідуального захисту та спецодягом працюючі забезпечені не у повному обсязі. Спецодяг видається щорічно, засоби індивідуального захисту – у встановленому порядку.

Наглядна агітація на комплексі з переробки молока представлена попереджувальними табличками, які поступили разом із обладнанням, але оскільки обладнання зарубіжне, то і таблички оформлені тільки англійською мовою, це і є головним недоліком. Спеціального кабінету з охорони праці немає. Куточок з охорони праці давно не оновлювався.

Стан промислової санітарії задовільний. Працюючі забезпечені переодягальнями, душовими, а також миючими засобами. Фінансування

проводиться за рахунок господарства. Працівники не несуть ніяких матеріальних витрат на заходи з охорони праці.

На кожне робоче місце на підприємстві складена карта умов праці. Карта складається в двох екземплярах, що зберігаються у керівника структурного підрозділу.

В господарстві стан охорони праці знаходиться на належному рівні, але маютьяся недоліки: відсутня комплексна механізація та автоматизація виробництва; відсутнє дистанційне керування технологічними процесами та операціями з небезпечними і шкідливими виробничими факторами; відсутні засоби колективного захисту працівників; організація праці та відпочинку працівників організована нераціонально; відсутні попереджувальні таблички українською мовою; застаріла інформація в куточку з охорони праці; стан огорожі всіх частин, що обертаються на машинах знаходиться в критичному стані; відсутні на стаціонарних агрегатах засоби тушіння пожежі.

## 5.2 Заходи для поліпшення умов праці в ФГ «Іва»

- а) проводити комплексну механізацію та автоматизацію виробництва з попередньою експертизою проектної документації;
- б) впровадити дистанційне керування технологічними процесами та операціями за наявності небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- в) забезпечити засобами колективного захисту працівників;
- г) здійснювати раціональну організацію праці та відпочинку з метою профілактики монотонності та гіподинамії, а також зниження важкої праці;
- д) покращити стан огорожі всіх частини машин, що обертаються;
- е) оформити і встановити попереджувальні таблички українською мовою;
- є) перевірити заземлення всього електрообладнання;
- ж) перевірити всі стаціонарні агрегати на наявність засобів тушіння пожежі;
- з) оновити нормативно-правову документацію та оновити куточок з охорони праці.

### 5.3 Розрахунок блискавкозахисту виробничої будівлі цеху з обробки фуражного зерна ФГ «Іва»

Визначимо висоту окремо стоячого стержневого блискавкоприймача для захисту одноповерхової будівлі цеху з обробки фуражного зерна, що розташований в місті Синельникове. Висота будівлі  $h_x = 7$  м, довжина  $L = 12$  м, ширина  $B = 14$  м. блискавковідвід встановлено на даху будівлі по центру.

Визначаємо очікувану кількість уражень блискавкою будівлі за рік  $\tilde{N}$

$$\tilde{N} = \left[ L + 6h_x \cdot B + 6h_x - 7,7h_x^2 \right] \cdot n \cdot 10^{-6} \quad (5.7)$$

Інтенсивність грозової діяльності за рік для міста Синельникове складає 60 – 80 годин. Відповідно  $n$  – середнє число ударів блискавки на  $1 \text{ км}^2$  для даного регіону буде рівна 5,5.

Тоді,

$$\tilde{N} = \left[ 12 + 6 \cdot 7 \cdot 14 + 6 \cdot 7 - 7,7 \cdot 7^2 \right] \cdot 5,5 \cdot 10^{-6} = 0,02$$

Враховуючи, що  $\tilde{N} < 1$ , отже зона захисту для даної споруди буде Б.

Визначаємо відстань  $R_x$  від блискавкозахисту до найбільш відділеної точки цеху на рівні верхньої відмітки (рис. 5.1). скориставшись теоремою Піфагора та вихідними даними  $R_x$  буде рівне

$$R_x = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{12}{2}\right)^2 + \left(\frac{14}{2}\right)^2} = 9,21 \text{ м.} \quad (5.8)$$

За значеннями  $R_x$  та  $h_x$  знаходимо висоту блискавкозахисту  $h$

$$h = \frac{R_x + 1,63 \cdot h_x}{1,5} = \frac{9,21 + 1,63 \cdot 7}{1,5} = 13,74 \text{ м.} \quad (5.9)$$

Приймаємо  $h = 15$  м.

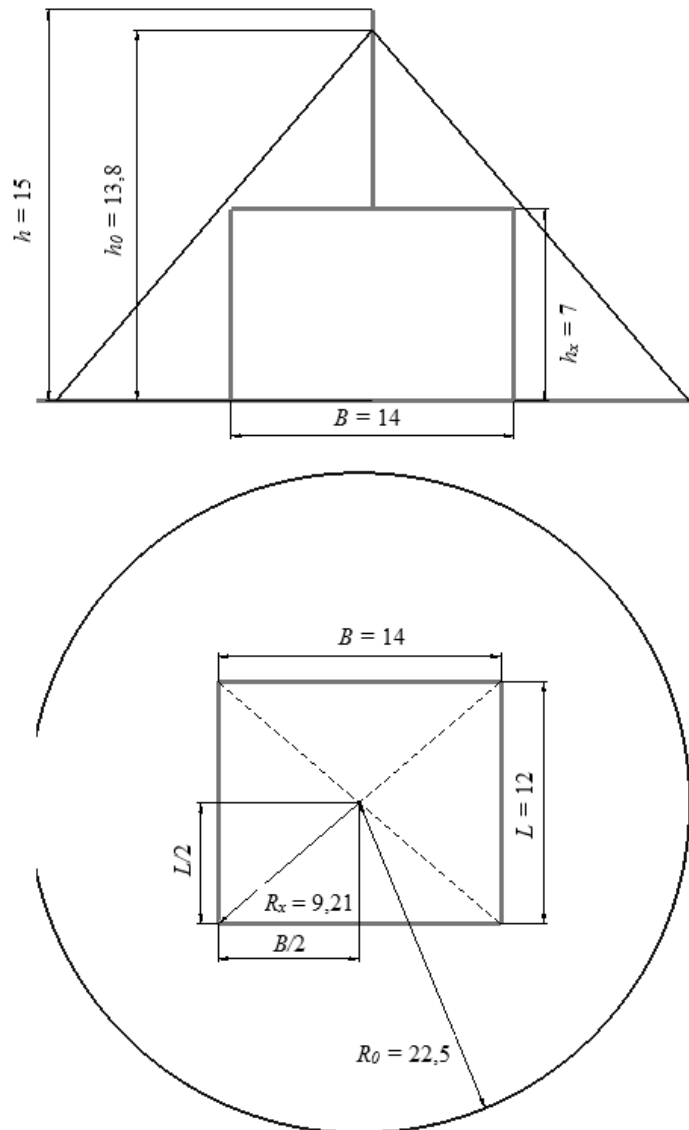


Рисунок 5.2 – Схема розташування та зони захисту поодиначного стержневого блискавкозахисту

Знаходимо висоту захисного конусу  $h_o$

$$h_o = 0,92 \cdot h = 0,92 \cdot 15 = 13,8 \text{ м.} \quad (5.10)$$

Визначаємо радіус зони захисту на рівні землі

$$R_o = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 15 = 22,5 \text{ м.} \quad (5.11)$$

Уточнюємо радіус захисту на рівні верхнього зрізу будівлі

$$R_x = 1,5 \cdot \left( h - \frac{h_x}{0,92} \right) = 1,5 \cdot \left( 15 - \frac{7}{0,92} \right) = 11,1 \text{ м.} \quad (5.12)$$

Отже, розрахунки виконані вірно.

5.4 Вимоги безпеки праці оператора устаткування для термічної обробки фуражного зерна

#### Загальні вимоги безпеки

1. До роботи оператором цеху з термічної обробки фуражного зерна допускаються особи не молодше 18 років, що не мають медичних протипоказань, пройшли вступний і первинний на робочому місці інструктажі по охороні праці і мають першу кваліфікаційну групу по електробезпеці.

2. Після відпрацювання 2 – 3 днів під наглядом механіка, завідуючий відділенням оформляє допуск до самостійної роботи.

3. Працюючі повинні виконувати правила внутрішнього розпорядку, не допускати присутності в робочій зоні сторонніх осіб особливо дітей, розпивання спиртних напоїв, куріння, роботи в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння.

4. Працюючий повинен виконувати тільки ту роботу по якій пройшов інструктаж і на виконання якої отримав завдання, не перепоручати свою роботу іншим.

5. Працюючі можуть потрапити під дію небезпечних і шкідливих виробничих факторів, по відношенню до яких повинні проявляти обережність: рухомі машини і механізми, рухомі частини обладнання, термічні фактори (пар, гаряча вода), підвищений рівень шуму, протяги недостатня освітленість робочої зони, слизька підлога, небезпека ураження електричним струмом, хімічна небезпека.

6. Спецодяг, взуття та інші засоби індивідуального захисту, повинні зберігатися в спеціально відведених місцях з дотриманням правил зберігання примінятися справними і за призначенням.

7. В хімічних лабораторіях при приготуванні миючих розчинів, і при роботі з концентрованими кислотами і лугами необхідно користуватися фартуками і гумовими чоботами.

З розчинами кислот і лугів середньої концентрації необхідно працювати в гумових технічних рукавицях та захисних окулярах з неза-потіваючими плівками.

8. Приготування дезінфікуючих розчинів, прибирання розлитих кислот і лугів необхідно виконувати в фільтруючому протигазі з коробкою марки «В».

9. В процесі роботи суворо дотримуватись електропожежобезпеки, не завалювати проходи, виходи, підходи до електровимикачів сировиною, тарою, відходами, матеріалами і продуктами.

10. Утримувати робоче місце в чистоті. Слизькі місця на підлозі обробити спеціальним розчином.

11. Миючі і дезінфікуючі засоби зберігати в окремому приміщенні в маркірованій тарі з етикеткою.

12. Працюючі повинні знати і вміти приміняти способи ліквідації небезпеки і надання долікарської допомога потерпілому.

13. При виявленні відхилень від норми безпеки, при аваріях і травмуванні повідомляти керівника робіт.

14. За порушення даної інструкції винні несуть відповідальність згідно законодавства.



### Вимоги безпеки перед початком роботи

1. Одягти спецодяг, оглянути робоче місце. Перевірити наявність і справність захисних огорожень, кожухів, захисного заземлення. Упевнитись в надійності кріплення шлангів, заземлень, занулень.

2. Перевірити наявність і комплектність медаптечки.

3. При огляді центробіжного насоса впевнитись, що на ньому немає сторонніх предметів. На короткий час включити обладнання вхолосту і впевнитись в його справності.

4. В системі перевіряється стан гумових ущільнюючих прокладок. Перед пуском установки через всю систему пропустити воду і впевнитись в її герметичності.

5. В системі обладнання установках перевіряють стан гумових ущільнюючих прокладок. На паропроводі перевіряється справність манометра. Тиск пару слід підтримувати не вище вказаного в паспорті. Перед пуском молокопереробного обладнання необхідно відвести гальма і стопори в неробочий стан.

Перед пуском установки включити в роботу обладнання для приймання сировини і, коли швидкість його обертів досягне необхідного числа обертів, пропустити через систему воду, включивши при цьому в роботу насос.

Переконайтесь в герметичності і справності установки.

6. При огляді установки, центрифуги перевірити рівень масла в картері редуктора. При збиранні барабана не дозволяється використовувати деталі від іншого барабана, зменшувати кількість тарілок в пакеті порівняно з кількістю вказаною в паспорті та збирання їх не по порядку номерів. Перед включенням електродвигуна центрифуги необхідно відключити гальма.

7. В обладнанні необхідно перевірити наявність і справність захисного заземлення електродвигунів і пускової апаратури; справність і герметизацію водяної сорочки; справність арматури, наявність і справність блокуючого пристрою на кришках резервуарів, забезпечуючих зупинку мішалок при відкриванні кришки.

8. В електроводонагрівачах перевірити: наявність і справність захисного заземлення, наявність ізолюючої підставки біля розбірного крана.

Не можна на корпус водонагрівача класти сторонні предмети (сушити халати і т.д.).

Не допускається включати в електромережу електронагрівач з пошкодженою ізоляцією. Біля водонагрівача повинна бути табличка з надписом про необхідність перед забором підключити електронагрівач від електромережі.

### Вимоги безпеки під час роботи

1. Не допускається: сідати, ставати, класти одяг і інші предмети на кожухи і інші огороження небезпечних вузлів машин і обладнання, заходити за огороження електроустановок, торкатися до оголених проводів і струмопроводних частин електрифікованих машин; знімати попереджувальні плакати і огороження, захисні кришки з електроапаратури, залишати включену машину без нагляду. Не заставляти доступ до електрообладнання.

2. Агресивні рідини в скляному посуді переміщують в міцних корзинах з двома ручками. Між посудинами і корзиною повинна бути прокладка з стружки.

3. Відкривати кришку центрифуги можна тільки після того, як відключився електродвигун, на пульті керування погасла сигнальна лампа і центрифуга зупинилась.

4. При приготуванні розчинів лугів кусочки необхідно брати щипцями. Великі куски подрібнюють в спеціально відведеному місці, накривши щільною матерією. Виконують цю роботу в захисних окулярах, чоботах, і фартуку.

5. При митті і пропарюванні апаратури забороняється користуватися рваними шлангами, пускати пар і гарячу воду в шланг, скручений в бухту.

6. Миття обладнання повинні проводити два чоловіки, один спускається в цистерну, другий повинен бути зовні і в разі потреби надати допомогу.

Перед виконанням цих робіт, щоб не сталася подача в цистерну пару, миючих розчинів, води іншими особами, необхідно перекрити крани і вентилі

трубопроводів, виключити насоси і вивісити таблички «Не включати! Працюють люди!»

7. Випускати масло, відкривати циліндри, демонтувати апарати і виконувати інші небезпечні роботи необхідно тільки в протигазі з коробкою «КД» і гумових рукавицях.

8. Електронагрівачі повинні підключатись до водопроводу холодної і гарячої води діелектричним шлангом довжиною не менше 2 м. Категорично забороняється ставити запірні вентилі на виході гарячої води.

### Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

1. При виявленні несправності обладнання, пристроїв, а також при порушенні норм безпеки, пожежі, аварії припинити роботу і негайно повідомити керівника робіт.

2. Пролиті на підлогу розчини кислот і лугів необхідно нейтралізувати: кислоти – содою, луги – розбавленою кислотою, після чого ретельно промити водою.

3. При виявленні електричної напруги на неструмоведучих частинах обладнання необхідно його негайно відключити від електромережі, повідомити керівника робіт і викликати електрика.

4. При виникненні пожежі негайно повідомити начальника ПСО чи пожежну частину і керівника робіт, подати сигнал пожежної тривоги і приступити до гасіння пожежі. Електрообладнання необхідно відключити. Гасити електрообладнання необхідно сухим піском або порошковим вогнегасником.

5. При нещасному випадку необхідно надати першу допомогу потерпілому, повідомити керівника робіт, при необхідності потерпілого відправити в лікарню. Місце нещасного випадку слід залишити в незмінному стані до повного розслідування нещасного випадку, якщо це не загрожує безпекою іншим працюючим.

### Вимоги безпеки після закінчення роботи

1. По закінченню роботи зупинити обладнання, звільнити від залишків продукту, промити, продезинфікувати і підготувати до роботи.
2. Оглянути все обладнання, при виявленні несправностей доповісти керівникові робіт.

### 5.5 Безпека праці в надзвичайних ситуаціях

У разі виникнення пожежі (ознак горіння) кожен працівник зобов'язаний:

- негайно повідомити про це телефоном аварійно-рятувальну службу (тел. 101). При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;
- вжити (по можливості) заходів по евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі та збереження матеріальних цінностей;
- якщо пожежа виникла на підприємстві, повідомити про неї керівника чи відповідну компетентну посадову особу та (або) чергового об'єкту;
- у разі необхідності викликати інші аварійні служби (медичну, газорятувальну тощо).

Посадова особа об'єкта, що першою прибула на місце пожежі, зобов'язана:

- перевірити, чи викликана аварійно-рятувальна служба (продублювати повідомлення), довести подію до відома керівника установи;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх рятування (евакуацію), використовуючи для цього наявні сили й засоби;
- вивести за межі небезпечної зони всіх працюючих, не пов'язаних з ліквідацією пожежі;
- припинити роботи на об'єкті (якщо це допускається технологічним процесом виробництва), крім робіт, пов'язаних із заходами по ліквідації пожежі;
- здійснити у разі необхідності відключення електроенергії, агрегатів,

апаратів, водяних комунікацій (за винятком систем протипожежного захисту);

- організувати зустріч підрозділів аварійно-рятувальної служби, надати їм допомогу у виборі найкоротшого шляху до осередку пожежі та до водних джерел;

- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі.

### Висновки до розділу

У даному розділі приведені стан охорони праці та обов'язки відповідальних осіб з охорони праці на підприємстві, проаналізований стан охорони праці в цеху з теплової обробки фуражного зерна. У частині інженерних розрахунків для покращення умов праці та підвищення безпечності виробництва був проведений розрахунок системи блискавкозахисту виробничого приміщення. Також був розроблений план дій виробництва у разі виникнення пожежі.

На підставі проведеного аналізу стану охорони праці на підприємстві був розроблений план заходів і засобів спрямованих на покращення умов та безпечності праці, підвищення культури виробництва та зниження травматизму робітників.

## 6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1 Організація проведення дослідження

Метою проведення економічних розрахунків по обґрунтуванню ефективності проведених досліджень є оцінка отриманих результатів і доцільності проекту в цілому. Дослідивши галузь переробки зерна можемо стверджувати, що одним із шляхів скорочення частки зерна при виробленні комбікормів є підвищення його кормової цінності. Для підвищення кормової цінності зернофуражу застосовують різні способи теплової обробки. Її позитивний вплив проявляється в підвищенні перетравності, зміні білкового комплексу зерна, інактивації інгібіторів травного тракту, утворенні ароматичних речовин, що поліпшують смакові якості зерна. З цією метою і необхідно здійснити наукове забезпечення процесу мікронізації зернових культур і підвищення ефективності процесу за рахунок визначення раціональних технологічних режимів і підвищення якості готової продукції.

Організація досліджень включає: складання переліку робіт, визначення їх взаємозв'язку і тривалості, побудову сітьового графіка, визначення критичного шляху, розрахунок кошторису витрат на проведення експерименту.

Перелік робіт, передбачений ходом дослідження з обґрунтування процесу та технологічних параметрів процесу сепарування насіння сої з метою зменшення його травмування, наведений у табл. 6.1.

Відповідно до плану проведення дослідження будується сітьовий графік – графічна модель, що відображає майбутню роботу або процес у вигляді окремих етапів і дозволяє шляхом розрахунків визначити оптимальний варіант її виконання. На стадії реалізації сітьовий графік забезпечує можливість оперативного управління ходом виконання роботи (рис. 6.1).

Таблиця 6.1 – План проведення дослідження

Шифр робіт $i-j$	Найменування робіт	Тривалість робіт $t_{ij}$ , днів
1-2	Вибір запропонованого напрямку наукових досліджень	1
2-3	Літературний пошук та написання літературного огляду	17
3-4	Розробка послідовності науково-дослідних робіт	5
4-5	Розробка методик проведення наукових досліджень	4
5-6	Підготовка дослідних зразків зернової сировини	3
6-7	Підготовка експериментальної установки	18
7-8	Дослідження характеру зміни температури і вологості зерна в процесі мікронізації	3
7-9	Вплив товщини шару сировини на процес вологовиділення	5
7-10	Дослідження впливу відстані від ІЧ-джерела на процес вологовиділення	4
7-11	Вплив потужності ІЧ-джерела на процес вологовиділення	2
8-12	Обробка даних експериментальних дослідження	1
9-12		1
10-12		1
11-12		1
12-13	Підготовка матеріалу для публічного оприлюднення	8

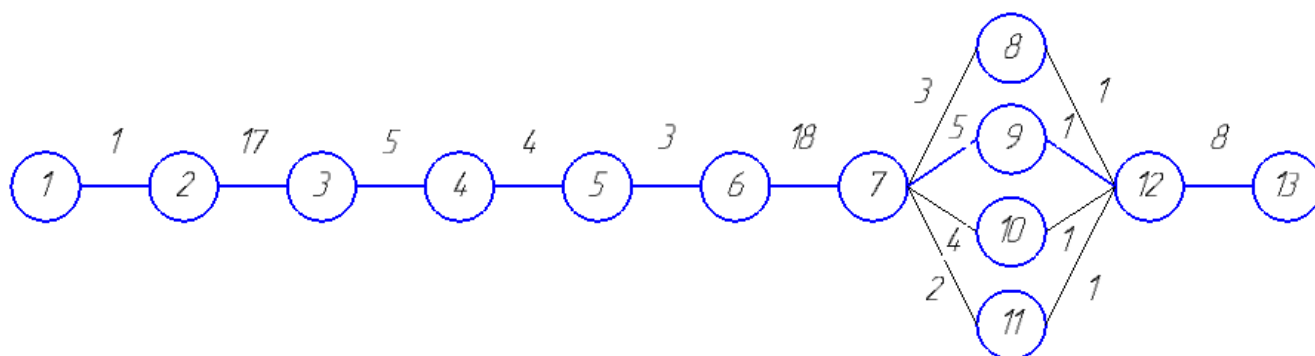


Рисунок 6.1 – Сітьовий графік проведення науково-дослідної роботи

Використовуючи сітьовий графік, знаходять повний шлях – тривалість послідовних робіт від початкової події до кінцевої.

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-8-12-13}^1 = 1 + 17 + 5 + 4 + 3 + 18 + 3 + 1 + 8 = 57;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-9-12-13}^2 = 1 + 17 + 5 + 4 + 3 + 18 + 5 + 1 + 8 = 62;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-10-12-13}^3 = 1 + 17 + 5 + 4 + 3 + 18 + 4 + 1 + 8 = 61;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-11-12-13}^3 = 1 + 17 + 5 + 4 + 3 + 18 + 2 + 1 + 8 = 59.$$

Шлях, який має максимум тривалість називають критичним. У нашому випадку критичним є другий шлях з тривалістю в 62 дні.

Наступний етап – розрахунок параметрів часу:

- пізній термін здійснення події  $T_i^n$  – різниця між критичним шляхом та максимумним шляхом від даної події до кінцевої;

- ранній термін здійснення події  $T_i^p$  – найбільший шлях від початкової до і-тої події; ранній термін здійснення кінцевої події дорівнює тривалості критичного шляху  $L_{KP} = 62$  дні.

Резерв шляху розраховують за формулою:

$$R_1 = T_1^n - T_1^p, \quad (6.1)$$

де  $R_1$  – резерв шляху, днів;

$T_1^n$  – пізній термін здійснення події, днів;

$T_1^p$  – ранній термін здійснення події, днів.

Результати розрахунку представлені у табл. 6.2.

Повний резерв часу роботи – максимальна кількість часу, на який можна збільшити тривалість даної роботи, не змінюючи при цьому тривалість критичного шляху. Повний резерв часу роботи розраховують за формулою:

$$R_{ij}^n = T_j^n - T_i^n - t_{ij}, \quad (6.2)$$

де  $R_{ij}^n$  – повний резерв часу роботи, днів;

$t_{ij}$  – загальна тривалість роботи, днів.



Таблиця 6.2 – Терміни здійснення подій (ранній та пізній) і резерв шляху

Номер події	Ранній термін здійснення події $T_1^p$ , дні	Пізній термін здійснення події $T_1^n$ , дні	Резерв шляху $R_1$ , дні
1	0	0	0
2	1	1	0
3	18	18	0
4	23	23	0
5	27	27	0
6	30	30	0
7	48	48	0
8	51	53	2
9	53	53	0
10	52	53	1
11	50	53	3
12	54	54	0
13	62	62	0

Вільний резерв часу – максимальна кількість часу, на який можна збільшити тривалість робіт чи відстрочити її початок, не змінюючи при цьому ранніх термінів початку наступних робіт. Показник визначають по формулі:

$$R_{ij}^e = T_j^p - T_i^p - t_{ij}, \quad (6.3)$$

де  $R_{ij}^e$  – вільний резерв часу роботи, днів;

$T_1^n$  – пізній термін здійснення події, днів;

$T_1^p$  – ранній термін здійснення події, днів.

Коефіцієнт напруженості робіт дозволяє судити про те, наскільки вільно можна мати у своєму розпорядженні наявні резерви.

Коефіцієнт напруженості робіт розраховують за формулою:

$$K_{ij}^H = \frac{L_{maxij} - t_{ij}}{L_{kp} - t_{ij}}, \quad (6.4)$$

де  $L_{maxij}$  – довжина максимального шляху, що проходить через роботу;

$L_{кр}$  – довжина критичного шляху ( $L_{кр} = 62$  дні).

Результати розрахунків наведені у табл. 6.3.

Отже, використання мережевого планування допомагає правильно організувати дослідження, змодельовати, проаналізувати, а також, при необхідності, перебудувати його план з метою економії часу і коштів. При складанні сіткового графіка потрібно прагнути до рівнобіжного виконання окремих робіт, що дозволяє скоротити загальний термін проведення експерименту.

Таблиця 6.3 – Результати розрахунку вільного і повного резервів часу

Шифр робіт $i-j$	Вільний резерв часу $R_{ij}^e$ , дні	Повний резерв часу $R_{ij}^n$ , дні	Коефіцієнт напруженості
1-2	0	0	0,00
2-3	0	0	0,02
3-4	0	0	0,32
4-5	0	0	0,40
5-6	0	0	0,46
6-7	0	0	0,68
7-8	0	2	0,81
7-9	0	0	0,84
7-10	0	1	0,83
7-11	0	3	0,80
8-12	0	0	0,84
9-12	0	0	0,87
10-12	0	0	0,85
11-12	0	0	0,82
12-13	0	0	1,00

Проаналізувавши отримані розрахункові дані, можна зробити висновок, що на виконання повного комплексу робіт, передбаченого ходом дослідження, потрібно витратити 62 днів. Виконання робіт, які лежать на критичному шляху,

необхідно закінчувати точно в термін, адже вони не мають резерву часу, а коефіцієнт їх напруженості дорівнює найбільшому значенню.

Однак дані табл. 6.3 свідчать про те, що календарні терміни окремих видів робіт можна зміщувати в часі в разі виникнення необхідності.

## 6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження

Витрати, пов'язані з проведенням дослідження, визначаються за допомогою кошторису витрат. До них належать: витрати на матеріали, електроенергію, нарахування на заробітну плату, амортизацію, накладні витрати.

Витрати на основні та побічні матеріали розраховують за формулою:

$$M = \sum m_1 \cdot C_1, \quad (6.5)$$

де  $m_1$  – кількість витраченого  $i$ -го матеріалу;

$C_1$  – – ціна одиниці  $i$ -го матеріалу, грн.

Результати розрахунку витрат на матеріали наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Необхідна кількість основних матеріалів та їх вартість

Найменування, одиниці	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Зерно пшениці, кг	25	5,30	132,50
Зерно ячменю, кг	25	5,30	1,32,50
Всього			265,00

Заробітна плата людей, що приймали участь у дослідженнях, визначається множенням середньочасового заробітку працівника на кількість витраченого часу. Результати розрахунку наведені в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Посада	Середньомісячний заробіток, грн	Середньочасовий заробіток, грн	Кількість людино-годин	Сума, грн
Дипломний керівник	8000	50,00	20	1000,00
Всього				1000,00

Нарахування на заробітну плату приймаються у розмірі 22 % єдиного податку. Від загальної суми заробітної платні вони складають:

$$H = \frac{1000,00 \cdot 22}{100} = 220,00 \text{ грн.}$$

Затрати на витрачену електроенергію визначають за формулою:

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a, \quad (6.6)$$

де  $M$  – потужність встановленого електрообладнання, кВт;

$K$  – коефіцієнт використання потужності ( $K = 0,9$ );

$T$  – час роботи на установці, год;

$a$  – тариф за електроенергію, грн/(кВт/год).

Затрати енергії на розжарення лампи ІЧ опромінення в дослідній установці:

$$E_{\text{суш}} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 1,68 = 43,55 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на комп'ютер:

$$E_{\text{комп}} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 112 \cdot 1,68 = 152,41 \text{ грн.}$$

Загальні витрати електроенергії:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{суш}} + E_{\text{комп}} = 43,55 + 152,41 = 195,96$$

Витрати на амортизацію устаткування, що використовується в процесі проведення досліджень, розраховуємо за формулою:

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 12}, \quad (6.7)$$

де  $A$  – амортизаційні відрахування, грн;

$\Phi$  – вартість устаткування, грн;

$H$  – річна норма амортизації, %;

$t$  – тривалість проведення дослідження на устаткуванні, днів;

12 – кількість місяців у році.

Результати розрахунків витрат на амортизацію наведені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Тривалість роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Установка ІЧ опромінення	1340,00	24	3	2,64
Персональний комп'ютер	11000,00	20	14	84,38
Всього				87,02

Накладні витрати пов'язані з обслуговуванням та управлінням виробництвом. До них відносять: витрати на оплату праці обслуговуючого та адміністративно-управлінського персоналу. Накладні витрати, що включають витрати пов'язані з обслуговуванням установки, приймаються рівними 80 % від розрахованої заробітної плати виконавців дослідження і становлять:

$$\frac{1000,00 \cdot 80}{100} = 800,00 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на проведення дослідження наведений в табл. 6.7.

Таблиця 6.7 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн.
Основні матеріали	265,00
Заробітна плата	1000,00
Нарахування на заробітну плату	220,00
Електроенергія	195,96
Амортизація	87,02
Накладні витрати	800,00
Всього	2567,98

Аналіз показав, що на першому місці стоять витрати на заробітну плату і нарахування на заробітну плату.

### 6.3 Розрахунок вартості дослідження

Науково-дослідна робота належить до фундаментальних досліджень, тому ціна визначалась на основі витрат на дослідження і рентабельності:

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (6.8)$$

де  $Ц$  – вартість дослідження, грн;

$C$  – витрати на дослідження, грн;

$P$  – нормативна рентабельність ( $P = 30$ ), %.

$$Ц = 2567,98 + \frac{30 \cdot 2567,98}{100} = 3338,37 \text{ грн.}$$

Витрати на проведені дослідження становлять 3338,37 грн.

## Висновки до розділу

Відповідно до плану проведення дослідження було побудовано сітьовий графік, тривалість критичного шляху якого складає 62 дні. Така тривалість критичного шляху не перевищує визначений термін для виконання роботи над дослідженням, а отже, складений сітьовий графік можна вважати оптимальним.

Найбільшими статтями витрат під час проведення дослідження є витрати на заробітну плату та накладні витрати, які складають 1000,00 грн та 800,00 грн. Загалом, з урахуванням 30 % нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 3338,37 грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено кінетичні закономірності процесу термічної обробки фуражного зерна пшениці та фуражного зерна ячменю інфрачервоним випромінюванням з довжиною хвилі 1,5 – 3,0 мкм в залежності від висоти шару матеріалу, щільності теплового потоку ІЧ-випромінювання, відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту і початкового вологовмісту продукту.

2. Визначено раціональні технологічні параметри процесу і встановлено, що при інфрачервоній термічній обробці зерна пшениці та зерна ячменю з довжиною хвилі 1,5 – 3,0 мкм вологовміст оброблюваного продукту протягом усього процесу термічної обробки зменшується з плином часу за лінійним законом. Температура на поверхні шару матеріалу при термічній обробці не перевищує 67 °С. При сушінні не відбувається денатурація білкової складової зерна пшениці та ячменю.

Знайдено найкращі межі зміни параметрів термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю інфрачервоним випромінюванням з довжиною хвилі 1,5 – 3,0 мкм

3. Обґрунтовано конструкцію відбивачів теплового потоку для термічної обробки фуражного зерна пшениці та ячменю ІЧ-променями на тефлоновій стрічці промислової установки розроблений напівкруглий відбивач з радіусом заокруглення 40 мм, що забезпечує рівномірність розподілу вологовмісту готового продукту по всій ширині стрічки не більше 6 кг/кг.

Досліджено температурне поле інфрачервоної нагрівальної системи по висоті від ІЧ-випромінювача до шару продукту і ширині відбивача теплового потоку.

4. Досліджено стан охорони праці та обов'язки відповідальних осіб з охорони праці в ФГ «Іва», проаналізований стан охорони праці в цеху з теплової обробки фуражного зерна. У частині інженерних розрахунків для покращення умов праці та підвищення безпечності виробництва був проведений розрахунок системи блискавкозахисту виробничого приміщення. Також був розроблений



план дій виробництва у разі виникнення пожежі.

5. Встановлено, що найбільшими статтями витрат під час проведення дослідження є витрати на заробітну плату та накладні витрати, які складають 1000,00 грн та 800,00 грн. Загалом, з урахуванням 30 % нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 3338,37 грн.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента [Текст] / Ю.П. Адлер. – М. : Металлургия, 1969. – 157 с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Макарова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
3. Анго М.А. Инфракрасные излучения [Текст] / М.А. Анго. М.: Госэнергоиздат. – 1957. – 80 с
4. Андонов К.И. Технология и оборудования для тепловой обработки зерна [Текст] / К.И. Андонов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1991. – № 7. – С. 64 – 68.
5. Анискин В.И. К созданию перспективного оборудования для производства зерна [Текст] // Техника в сельском хозяйстве. – 1994. – № 5. – С. 13 – 15.
6. Анискин В.И. Механизация уборки и послеуборочной обработки зерновых культур [Текст] / В.И. Анискин, Э.В. Жалнин. – М.: Из-во «Знание» РСФСР, 1976. – 46 с.
7. Артемьев В.Г. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / В.Г. Артемьев. – Ульяновск. – 2003. – 320 с.
8. Баум А.Е. Прогрессивная технология хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятий [Текст] / А.Е. Баум. – М.: Колос, 1978. – 192 с.
9. Беляев Н.М. Основы теплопередачи [Текст] / Н.М. Беляев. – Киев: Высшая школа, 1989. – 342 с.
10. Бойко Л.П. Экструзионная технология переработки семян сои [Электронный ресурс] / Л.П. Бойко, Л.А. Трунова. – Режим доступа: ПКИ <http://www.eks-bio.ru/stati/page21/index.html> (дата обращения: 30.09.2009 г.).

11. Боровиков В. STATISTICA 8.0. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов [Текст] / В. Боровиков. – 2-е изд. - СПб.: Питер. 2003. – 688 с.
12. Борхерд Р Техника инфракрасного нагрева [Текст] / Р Борхерд, В.М. Юбиц. – М.: Госэнергоиздат. – 1963. – 312 с.
13. Брагинец Н.В. Микронизация зерна [Текст] / Н.В. Брагинец, В.А. Рабштына // Комбикормовая промышленность. – 1989. – № 4. – С. 55 – 67.
14. Будников Д.А. Постановка задачи теплопроводности при СВЧ нагреве зерна для обеззараживания / Д.А. Будников, А.Н. Васильев, А.А. Васильев // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2014. – №1 (13) – С. 56 – 63.
15. Вейник А.И. Приближенный расчет процессов теплопроводности [Текст] / А.И. Вейник. – М. – Л.: Госэнергоиздат. – 1959. – 228 с.
16. Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности [Текст] / А.С. Гинзбург. – М.: Пищевая промышленность. – 1966. – 407 с.
17. Гинзбург А.С. Теплофизические свойства зерна, муки и крупы [Текст] / А.С. Гинзбург, М. А. Громов. – М.: Сельхозгиз. – 1984. – 317 с.
18. Гинзбург, А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности [Текст] / А.С. Гинзбург. – М.: Пищевая промышленность.– 1973. – 527 с.
19. Горохов Г.А. Технология переработки зерна [Текст] / Г.А. Горохов. – М.: Колос. – 1972. – 265 с.
20. Горский В.Г. Планирование промышленных экспериментов [Текст] / В. Г. Горский, Ю.П. Адлер. – М.: Металлургия, 1974. – 274 с.
21. ГОСТ 13496.3-92. Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения влаги. [Текст]. Введ. 1993–01–01. М.: Гос. ком. Стандартизации и метрологии СССР: Изд-во стандартов, 1992. – 4 с.
22. ГОСТ 28254-89. Комбикорма, сырье. Методы определения объемной массы и угла естественного откоса. [Текст]. Введ. 1991-01-01. М.: Гос. ком. СССР по упр. качеством продукции: Изд-во стандартов, 1989. – 3 с.: ил.

23. ГОСТ 13586.3-93. Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения влаги. [Текст]. Введ. 1993-01-01. М.: Гос. ком. Стандартизации и метрологии СССР: Изд-во стандартов, 1993. – 4 с.

24. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке [Текст] / Н. Джонсон, Ф. Лион; пер. с англ. Э. К. Лецкого. – М.: Мир, 1980. – 510 с.

25. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта [Текст] / Б.А. Доспехов – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

26. Драгайцев В.И. Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве [Текст] / В.И. Драгайцев. – М.: ВНИИЭСХ, 2010. – 147 с.

27. Драганов Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве [Текст] / Б.Х. Драганов, А.В. Кузнецов, С.П. Рудобашта. – М.: Агропромиздат, 1990. – 463 с.

28. Егоров Г.А. Технология переработки зерна [Текст] / Г.А. Егоров. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос, 1977. – 376 с.

29. Егоров Г.А. Технологические свойства зерна [Текст] / Г.А. Егоров. – М.: Агропромиздат, 1985. – 334 с.

30. Егоров Б.В. Изменение микроструктуры зерна при тепловой обработке [Текст] / Б.В. Егоров, М.В. Кузнецов, Н.Н. Новиков // Известия вузов. Сер. Пищевая технология. – 1992. – № 5 – 6.

31. Жуковский В.С. Основы теории теплопередачи [Текст] / В.С. Жуковский – Л.: Энергия, Ленингр. Отд-ние, 1969. – 455 с.

32. Захарченко И.В. Послеуборочная обработка семян [Текст] / И.В. Захарченко. – М.: Заготиздат, 1984. – 267 с.

33. Зверев С.В. ИК излучение при переработке фуражного зерна [Текст] / С.В. Зверев, Е.П. Тюрёв // Комбикормовая промышленность. – 1994. – № 6. – С.

34. Зверев С.В. Высокотемпературная микронизация зерна [Текст] / С.В. Зверев, Е.П. Тюрёв // Обзорная информация. – Сер. Мукомольно-крупяная промышленность. – М.: ЦНИИТЭИ хлебпродинформ, 1996. – 50 с.

35. Зверев С.В. Моделирование процесса ИК нагрева зерна [Текст] / С.В. Зверев // Хранение и переработка сельхозпродукции. – 2005. – № 11.

36. Зверев С.В. Потемнение крупы в процессе высокотемпературной микронизации (ВТМ) [Текст] / С.В. Зверев, Е.В. Козин // Хранение и переработка зерна. – 2009. – № 1. – С. 15 – 21.

37. Зверев С.В. Моделирование процесса дегидратации зернопродуктов. Часть 1. Конвективная сушка [Текст] / С. В. Зверев // Хранение и переработка зерна. – 2010. – № 4. – С. 19–23.

38. Зоотехнический анализ кормов [Текст] / Е.А. Петухова, Р.Ф. Бессарабова, Л.Д. Халенева, О.А. Антонова. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.

39. Зотов Е.И. Поточные линии перерабатывающих отраслей АПК [Текст] / Е.И. Зотов. – Ульяновск: УГСХА, 2005. – 80 с.

40. Зюлин А.Н. Перспективы механизации послеуборочной обработки и хранения зерна и семян [Текст] / А.Н. Зюлин, А.Г. Чижигов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. – № 6. – С. 10–14.

41. Иванов Ю.А. Основные положения стратегии развития механизации и автоматизации животноводства / Ю.А. Иванов, Н.М. Морозов // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2015. – №2 (18) – С. 4–13.

42. Ильясов С.Г. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов [Текст] / С.Г. Ильясов, В.В. Красников. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 359 с.

43. Исаченко В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осина, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 417 с.

44. Карпов Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна [Текст] / Б.А. Карпов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 288 с.

45. Касандрова, О.Н. Обработка результатов измерений [Текст] / О.Н. Касандрова, В.В. Лебедев. – М.: Наука, 1970. – 103 с.

46. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Н. И. Кленин, В.А. Сакун. – М.: Колос, 1994. – 751 с.

47. Клименок А.В. Выбор метода и параметров термообработки фуражного зерна перед плющением [Текст] / А.В. Клименок // Механизация и электрификация сельского хозяйства : Респуб. межвед. тематический науч-техн. сб. – 1988. – Вып. 68. – С. 125 – 137.

48. Кондратьев Г.М. Тепловые измерения [Текст] / Г.М. Кондратьев. – М.–Л.: Машгиз, 1957. – 280 с.

49. Корнилов С.В. Результаты испытания микронизатора зерна на пропускную способность [Текст] / С.В. Корнилов, П.А. Силушин // Сб. науч. тр. преподавателей и аспирантов РГАТУ : материалы науч-практич. конф. 2012 года. – Рязань, 2012. – С. 89–92.

50. Кудрина В.Н. Практикум по хранению и переработке сельскохозяйственной продукции [Текст] / В.Н. Кудрина, Н.М. Лычко. – М.: Колос. 1992. – 176 с.

51. Кулагин М.С. Механизация послеуборочной обработки и хранения зерна и семян [Текст] / М.С. Кулагин. – М.: Колос, 1979. – 256 с.

52. Купреенко А.И. Теплотехника в вопросах и ответах / А.И. Купреенко, В.И. Чащинов // Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия» / Брянск, 2010 г.

53. Купреенко А.И. Математическая модель процесса нагрева зерна при его сушке / А.И. Купреенко, В.Ф. Комогорцев // «Проблемы энергообеспечения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК» Сборник материалов международной научно-практической конференции. – Брянск. – 2011. – С. 82–86.

54. Курдюмов В.И. Особенности процесса сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.В. Журавлев // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения Материалы VI Международной научно-практической конференции. – Ульяновск: УГСХА, – 2015. – С. 54 – 56.

55. Лебедев П.Д. Сушка инфракрасными лучами [Текст] / П.Д. Лебедев. – М.: Госэнергоиздат, 1955. – 241 с.

56. Лыков А.В. Тепло и массообмен в процессах сушки [Текст] / А.В. Лыков. М.–Л. : Госэнергоиздат, 1956. – 464 с.

57. Манасян С.К. Моделирование и интенсификация процесса сушки зерна [Текст] / С.К. Манасян // Механизация уборки, послеуборочной обработки и хранения: научные труды ВИМ. – М.: ВИМ, 2004. – 148 с.

58. Машины и оборудование для цехов предприятий рисою мощности по переработке сельскохозяйственного сырья [Текст]: в 2-х частях. – М.: Информагротех, 1995. – 256 с.

59. Мельник Б.Е. Технология приемки, хранения и переработки зерна [Текст] / Б.Е. Мельник, В.Б. Лебедев, Г.А. Винников. – М.: Агропромиздат, 1990. – 367 с.

60. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С.В. Мельников, В.Р. Алёшкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, Ленингр. отделение, 1980. – 168 с.

61. Мишуоров Н.П. Перспективная технология производства комбикормов с микронизированными зерновыми компонентами / Н.П. Мишуоров // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2014. – №1 (13) – С. 12–20.

62. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов [Текст] / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 327 с.

63. Новиков П.А. Установка термического обеззараживания и сушки семян [Текст] / П.А. Новиков // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института зернового хозяйства. – 1977. – Т. 5. – С. 157–164.

64. Осипов В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена [Текст] / В.А. Осипов. – М.: Энергия, 1969. – 392 с.

65. Пат. 2327367 Российская Федерация, МПК А23L1/025, F26B3/30, F26B17/12. Установка для микронизации зерна [Текст] / Некрашевич В.Ф., Кипарисов Н.Г., Афиногенов Н.Ю.; заявитель и патентообладатель Рязанская гос. с.-х. академия. – № 2006125889/13; заявл. 17.07.06 ; опубл. 27.06.08, Бюл. № 18. – 7 с. : ил.

66. Пат. 132953 Российская Федерация, МПК А 23 L1/025. Устройство для микронизации зерна [Текст] / Некрашевич В.Ф., Корнилов С.В., Воробьева И. В., Силушин П.А., Липин В. Д. ; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнол. ун–т. – № 2013112057/13; заявл. 18.03.13 ; опубл. 10.10.13, Бюл. № 28. – 2 с. : ил.

67. Пат. 117268 Российская Федерация, МПК А23L1/025. Устройство для микронизации зерна [Текст] / Силушин П.А., Некрашевич В.Ф., Корнилов С.В., Мамонов Р.А.; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнол. ун–т.

68. № 2012103206/13; заявл. 30.01.12; опубл. 27.06.12, Бюл. № 18. – 3 с.: ил.

69. Пат. 152887 Российская Федерация, МПК А23L1/025. Устройство для микронизации зерна [Текст] / Некрашевич В.Ф., Корнилов С.В., Глушакова О.Д., Силушин П.А.; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнол. Ун–т. – № 201503489/13; заявл. 03.02.15; опубл. 20.06.15, Бюл. № 17.

70. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] / К. Хартман [и др.]. – М.: Мир, 1977. – 552 с.

71. Пустильник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений [Текст] / Е.И. Пустильник. – М.: Наука, 1968. – 288 с.

72. Рогов И.А. Сверхвысокочастотный и инфракрасный нагрев пищевых продуктов [Текст] / И.А. Рогов, С.В. Некрутман. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 210 с.

73. Рудобашта С.П. Раздел IV. Расчет и конструирование машин. Т. 12 «Машины и аппараты химических производств»; Раздел 5. Машины и аппараты для массообменных процессов [Текст] // Энциклопедия «Машиностроение». – М. : Машиностроение, 2004. – С. 468–486–487 ; 504 – 510.

74. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов экспериментов [Текст] / Л. З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

75. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов [и др.]; под общ. ред. Г.Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.



76. Сизов О.А. Роль совмещенного посева для получения сбалансированных кормов / О.А. Сизов, Р.Р. Беликова // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2015. – №3 (19) – С. 151–154.

77. Силушин П. А. Результаты определения коэффициента трения зерна в зависимости от температуры [Текст] / П.А. Силушин, В.Ф. Некрашевич, Р.А. Мамонов // Сборник научных работ студентов РГАТУ: материалы науч.-практ. конф. 2011 г. – Рязань, 2011. – Т. 1. – С. 230 – 232.

78. Силушин П.А. Технология приготовления комбикормов с обоснованием параметров и режимов работы микронизатора зерна [Текст] / П.А. Силушин // «Инновационные методы решения научных и технологических задач Рязанской области» материалы региональной конф. молодых ученых. – Рязань, 2013. – С. 85–86.

79. Силушин П.А. Технология приготовления комбикормов с обоснованием параметров и режимов работы микронизатора зерна [Текст] / П.А. Силушин // «Инновационные методы решения научных и технологических задач Рязанской области» материалы второй региональной конф. молодых ученых. – Рязань, 2014. – С. 78–80.

80. Силушин П.А. Результаты определения усилия разрушения зерна в зависимости от времени микронизации [Текст] / В.Ф. Некрашевич, П.А. Силушин // «Молодежь и инновации – 2013» материалы междунар. Науч-практич. конф. молодых ученых. – г. Горки, РБ. 2013. – С. 292–294.

81. Силушин П.А. Показатель для оценки достаточности микронизации зерна и определение его величины для пшеницы [Текст] / В. Ф. Некрашевич [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. – 2013. – № 2 (18). – С. 66 – 68.

82. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст] / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

83. Сыроватка В.И. Микронизация фуражного зерна / В.И. Сыроватка // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2014. – №4 (16) – С. 204–211.

84. Сыроватка В.И. Инновационные технологии производства комбикормов / В.И. Сыроватка // Вестник ВНИИМЖ. – Подольск. – 2014. – №2 (14) – С. 3549.

85. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Справочное пособие [Текст] / под ред. А. С. Гинзбурга. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 223 с.

86. Трисвятский Л. А. Технология приема, обработки, хранения зерна и продуктов его переработки [Текст] / Л.А. Трисвятский, Б.Е. Мельник. – М.: Колос, 1983. – 351 с.

87. Тюрев Е.П. Термообработка зерна ИК излучением [Текст] / Е.П. Тюрев, С.В. Зверев, О.В. Цыгулев // Обзорная информация / ЦНИИТЭИ хлебопродуктов. – М., 1993. – 28 с.

88. Тюрев Е.П. Инфракрасная термообработка зерна [Текст] / Е.П. Тюрев, С. В. Зверев // Комбикормовая промышленность. – 1993. – № 4. – С. 26 – 27.

89. Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины [Текст] / В.М. Халанский, И.В. Горбачев. – М.: Колос, 2003. – 624 с.

90. Чижиков, А.Г. Состояние и перспективы развития механизации послеуборочной обработки и хранения зерна и семян [Текст] / А. Г. Чижиков // Достижения науки и техники АПК. – 2001. – № 11. – С. 17–20.

91. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов / А. Ф. Чудновский. – М.: Физматгиз. – 1962. – 456 с.

Додатки