

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра харчових технологій

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

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

**Обґрунтування процесу інфрачервоного сушіння  
насіннєвого зерна кукурудзи**

**Виконав:** здобувач вищої освіти 2 курсу,  
групи МГХТ-2-22  
освітньо-професійної програми «Харчові технології»  
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

\_\_\_\_\_ Сергій ШУГАЙ

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Олена КОВАЛЬОВА

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Максим ГОГОЛЄВ

Дніпро 2023

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Магістр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«09» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Шугаю Сергію Валентиновичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування процесу інфрачервоного сушіння насінневого зерна кукурудзи».

Керівник роботи: Ковальова Олена Сергіївна, кандидатка технічних наук, доцентка, затверджені наказом закладу вищої освіти від «09» листопада 2023 року № 3423.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 08 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія первинної та теплової обробки зерна насінневого призначення. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Сучасний стан сушіння і термообробки зернопродуктів інфрачервоними променями. 2 Опис експериментальних установок і методики експерименту. 3 Експериментальні дослідження імпульсного ІЧ-сушіння кукурудзи. 4 Аналіз процесу ІЧ-сушіння насінневого зерна кукурудзи та рекомендації для розробки промислової сушарки. 5 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 6 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

### 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Сучасний стан сушіння і термообробки зернопродуктів інфрачервоними променями. 2 Мета роботи і завдання досліджень. 3 Опис експериментальних установок і методики експерименту. 4 Аналіз процесу ІЧ-сушіння насінневого зерна кукурудзи та рекомендації для розробки промислової сушарки. 5 Кошторис витрат на проведення досліджень. 6 Загальні висновки.

### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, прізвище та ім'я консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 4	доцентка КОВАЛЬОВА Олена	09.11.2023	08.12.2023
5	доцентка КОВАЛЬОВА Олена	09.11.2023	08.12.2023
6	доцентка КОВАЛЬОВА Олена	09.11.2023	08.12.2023

7. Дата видачі завдання 09 листопада 2023 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	09.11-10.11.23	виконано
2	Сучасний стан сушіння і термообробки зернопродуктів інфрачервоними променями	13.11-15.11.23	виконано
3	Опис експериментальних установок і методики експерименту	16.11-17.11.23	виконано
4	Експериментальні дослідження імпульсного ІЧ-сушіння кукурудзи	20.11-22.11.23	виконано
5	Аналіз процесу ІЧ-сушіння насінневого зерна кукурудзи та рекомендації для розробки промислової сушарки	23.11-28.11.23	виконано
6	Охорона праці та захист навколишнього середовища	29.11-30.11.23	виконано
7	Організаційно-економічна частина	01.12-04.12.23	виконано
8	Загальні висновки та бібліографія	05.12-06.12.23	виконано
9	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	07.12.2023	виконано

**Здобувач вищої освіти**

\_\_\_\_\_ Сергій ШУГАЙ  
( підпис )

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ Олена КОВАЛЬОВА  
( підпис )

## РЕФЕРАТ

Тема: «Обґрунтування процесу інфрачервоного сушіння насінневого зерна кукурудзи»

**Кваліфікаційна робота містить:** 74 с., 21 рис., 19 табл., 51 літературне джерело посилань.

**Об'єкт дослідження** – процес сушіння насінневого зерна кукурудзи, його зв'язок з основними закономірностями функціонування ІЧ-установки.

**Предмет дослідження** – закономірності та взаємозв'язок технологічного процесу сушіння, вплив його на якісні показники насінневого зерна кукурудзи.

**Метою кваліфікаційної роботи** є розробка енергозберігаючої імпульсної ІЧ-технології сушіння насінневого зерна, що забезпечує високу якість посівного матеріалу.

Основне завдання сушіння – довести вологість матеріалу до кондиційної, необхідної по технологічному регламенту. У результаті своєчасного та правильного проведення сушіння зерна прискорюється процес його післязбирального дозрівання, поліпшується стійкість при зберіганні, насінневі і технологічні властивості.

Завдання поліпшення якості кукурудзи, що висушується, вимагає подальшого вдосконалювання процесу сушіння, як у технологічному, так і в енергетичному плані. У цей час сушіння кукурудзи здійснюється переважно зерносушарками з конвективним теплопроводом

У той же час у літературі відзначається перспективність застосування інфрачервоного сушіння (ІЧ-сушіння) у харчовій промисловості – хлібопекарській, кондитерській, борошномельній, комбікормовій та інших промисловостях.

### КЛЮЧОВІ СЛОВА

*Кукурудза, сушіння, технологія, технічні засоби, вихідні вимоги, температура, енергія проростання, випробування, обладнання.*

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 СУЧАСНИЙ СТАН СУШІННЯ І ТЕРМООБРОБКИ ЗЕРНОПРОДУКТІВ ІНФРАЧЕРВОНИМИ ПРОМЕНЯМИ	9
1.1 Способи термічної обробки рослинної сировини	9
1.2 Застосування інфрачервоних променів для сушіння і термообробки рослинних матеріалів	11
1.3 Розвиток інфрачервоної техніки для обробки зерна	14
1.4 Джерела інфрачервоних променів, їх застосування для сушіння і термообробки рослинних матеріалів	19
Висновки за розділом	27
2 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ УСТАНОВОК І МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТУ	29
2.1 Реалізація інформаційно-вимірювальної системи на експериментальній установці UX 070. Опис експериментальної установки	29
2.2 Організація осцилюючого режиму ІЧ-сушіння зерна за допомогою інформаційно-вимірювальної і керуючої системи	31
2.3 Методика проведення експерименту	34
Висновки за розділом	36
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІМПУЛЬСНОГО ІЧ-СУШІННЯ КУКУРУДЗИ	37
3.1 Кінетика сушіння	37
3.2. Вплив висоти підвісу ІЧ-випромінювача на тривалість сушіння насінного зерна	39
3.3. Аналіз і практичне застосування отриманих і збережених із застосуванням ІУС даних	43
3.4. Вплив виду підложки і її розташування в сушильній камері на кінетику інфрачервоного сушіння кукурудзи	46

3.5. Експериментальні дослідження енергетичного поля лампи OSRAM (sicca i-250)	48
Висновки за розділом	49
4 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ІЧ-СУШІННЯ НАСІННЕВОГО ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОМИСЛОВОЇ СУШАРКИ	51
4.1 Вплив температури нагрівання зерна при імпульсному інфрачервоному сушінні на його насінневі якості	51
4.2 Обґрунтування вибору розташування ІЧ-випромінювачів у камері сушильної установки	54
Висновки за розділом	58
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	59
5.1 Розробка карти безпеки праці	59
5.2 Утилізація відходів виробництва	60
Висновки до розділу	60
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	61
6.1 Організація проведення дослідження	61
6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження	63
6.3 Розрахунок вартості дослідження	65
Висновки за розділом	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
БІБЛІОГРАФІЯ	69

## ВСТУП

Розв'язок проблеми збереження насінних якостей посівного матеріалу, збереження свіжозібраних матеріалів рослинного походження вимагає розвитку агропромислового комплексу на основі існуючих і створення нових енергозберігаючих, екологічно чистих технологій.

У зв'язку з розвитком в останні роки фермерських господарств на пострадянському просторі актуально стало завдання одержання якісного насінневого матеріалу, у тому числі зернового, у невеликих кількостях – для цілей одного або декількох господарств. Для розв'язку цього завдання можуть бути використані сушарки з інфрачервоним енергопідводом.

Зерно, як живий організм і складна термодинамічна система, при взаємодії з навколишнім середовищем змінює свої властивості і структуру. Протікання фізико-хімічних процесів у зерні пов'язане зі зміною вологості і температури, як у самому зерні, так і в оточуючому його середовищі.

Основне завдання сушіння – довести вологість матеріалу до кондиційної, необхідної по технологічному регламенту. У результаті своєчасного та правильного проведення сушіння зерна прискорюється процес його післязбирального дозрівання, поліпшується стійкість при зберіганні, насінневі і технологічні властивості.

Завдання поліпшення якості кукурудзи, що висушується, вимагає подальшого вдосконалювання процесу сушіння, як у технологічному, так і в енергетичному плані. У цей час сушіння кукурудзи здійснюється переважно зерносушарками з конвективним теплопроводом

У той же час у літературі відзначається перспективність застосування інфрачервоного сушіння (ІЧ-сушіння) у харчовій промисловості – хлібопекарській, кондитерській, борошномельній, комбікормовій та інших промисловостях.

Швидке підвищення температури матеріалу після критичної точки при безперервному ІЧ-сушінні викликає погіршення властивостей термолабільних

матеріалів, а значний температурний градієнт, спрямований протилежно градієнту вологовмісту, сповільнює внутрішній масопереніс. Це обумовлює необхідність використання переривчастого опромінення (осцилюючий режим), що поєднує чергування стадій ІЧ-нагрівання та відлежування матеріалу. Однак, недостатньо відпрацьована технологія осцилюючого ІЧ-сушіння призводить до слабкого впровадження цього способу проведення процесу, що й визначило постановку даного дослідження.

З урахуванням вищевикладеного, метою дипломної роботи є розробка енергозберігаючої імпульсної ІЧ-технології сушіння насінневого зерна, що забезпечує високу якість посівного матеріалу.

Для реалізації поставленої мети сформульовані наступні завдання дослідження:

- вивчити вплив виду підложки і її розташування в сушильній камері на кінетику процесу;
- вивчити вплив типу ламп на процес імпульсного ІЧ-сушіння зерна кукурудзи;
- вивчити вплив імпульсного режиму на кінетику імпульсного ІЧ-сушіння зерна кукурудзи;
- вивчити вплив висоти підвісу ІЧ-випромінювача над матеріалом, який висушується на тривалість сушіння зерна кукурудзи;
- визначити раціональний діапазон зміни температури насінневого зерна кукурудзи, у процесі його сушіння;
- виконати розрахунки кошторису витрат на проведення досліджень.

Об'єкт дослідження – процес сушіння насінневого зерна кукурудзи, його зв'язок з основними закономірностями функціонування ІЧ-установки.

Предмет дослідження – закономірності та взаємозв'язок технологічного процесу сушіння, вплив його на якісні показники насінневого зерна кукурудзи.



# 1 СУЧАСНИЙ СТАН СУШІННЯ І ТЕРМООБРОБКИ ЗЕРНОПРОДУКТІВ ІНФРАЧЕРВОНИМИ ПРОМЕНЯМИ

## 1.1 Способи термічної обробки рослинної сировини

Відкриття інфрачервоних променів було здійснено англійським астрономом В. Гершелем в 1800 році, коли він досліджував сонячний спектр, утворений призмою [49].

Термін «інфрачервоний» походить від латинського слова *infra*, що відповідає російському слову «під» або «унизу», тобто мається на увазі область спектра, яка прилягає до червоного спектра видимого світлового випромінювання, з довжиною електромагнітних хвиль від 0,76 до 400 – 500 мкм.

Інфрачервоне випромінювання відрізняється від інших видів електромагнітних коливань довжиною (частотою) хвилі й швидкістю поширення хвиль.

У цей час тепловий вплив ІЧ–променів пояснюється подвійністю електромагнітного поля або хвильовою природою квантів. Енергія переноситься за допомогою електромагнітного поля (ЕМП), що поширюється в просторі від джерела (генератора випромінювання). Об'єкт опромінення поглинає поле, що передається від джерела. При поглинанні ІЧ–променів об'єктом опромінення відбувається прискорення теплового руху атомів і молекул, яке призводить до його нагрівання [20].

Інфрачервоне (радіаційне) сушіння має ряд незаперечних переваг:

- а) повітряне середовище, що оточує матеріал, який висушується, не є теплоносієм, тому при радіаційному теплообміні немає втрат теплоти з теплоносієм, що відробив, тому ККД сушарки більше;
- б) відсутність прямого контакту між випромінювачем та матеріалом, який висушується не є перешкодою для ефективної передачі теплоти;
- в) ґрунтуючись на залежності оптичних характеристик матеріалів–поглинання, відбиття, і пропущення ними інфрачервоних променів – від

спектрального складу променистого потоку можна у відомих межах ефективно управляти режимами радіаційного нагрівання та сушіння.

Незважаючи на те, що повітря при ІЧ-сушінні не є теплоносієм, воно значно впливає на ефективність теплообміну випромінювання. Чим менше перепад температур між повітрям та поверхнею, тим менше температурний градієнт у матеріалі і рівномірніше його нагрівання. Великий температурний градієнт усередині тіла, що висушується (насіння, зерно) найчастіше стає причиною його руйнування – появи тріщин, жолоблень та інше. Тому, як правило, в установках для радіаційного сушіння перепад температур повітря і матеріалу, який висушується повинен бути обмежений [42].

У цей час розроблений ряд методів інтенсивної термічної (мікронізація) та гідротермічної обробки (ГТО) зернової сировини. На відміну від процесу сушіння, дані види обробки спрямовані на зміну біохімічних, фізичних і мікробіологічних властивостей продукту.

Термічна обробка зерна методом мікронізації полягає в інтенсивному нагріванні зерна інфрачервоними (ІЧ) променями протягом 35 – 60 с до температури зерна 150 – 190 °С. Різде збільшення температури зерна призводить до «вибуху» зернівки, тобто зерно спучується. Крім обробки зерна ІЧ-променями мікронізація містить у собі наступні операції: зволоження, відволожування, пропарювання, плющення, охолодження. Дані операції призводять до зміни фізичних і біохімічних властивостей зерна, а також до його поживних цінностей [12].

ГТО матеріалу заснована на конвективних і кондуктивних методах підведення тепла. При такій обробці пропарювання зерна ведуть при надлишковому тиску  $(0,5 - 4) \cdot 10^5$  Па. Пропарювання при надлишковому тиску з наступним його швидким скиданням призведе до спучування або «вибуху» зерна. У процесі обсмажування рослинних матеріалів температура останніх може досягати 180 – 200 °С [9].

Розглядаючи мікронізацію і ГТО, слід зазначити, що використання даних методів добре позначається на засвоюванні тваринами комбікормів з наступним

приростом живої маси тварин, а також зниженні ризику загибелі тварин, оскільки використання ІЧ-променів призводить до знезараження зерна [14].

Застосування інфрачервоних променів і теплової обробки для зернопродуктів, а також інших продуктів рослинного походження відкриває широкі можливості для одержання нових видів високоякісної сировини і продуктів.

## 1.2 Застосування інфрачервоних променів для сушіння і термообробки рослинних матеріалів

В 1934 році вчені вперше в нашій країні почали займатися вивченням інфрачервоного випромінювання для сушіння зернопродуктів. В 1937 р. була організована робота по створенню обладнання для дезінсекції та інтенсифікації процесу сушіння зерна за основу якого було взято застосування різного виду ІЧ-випромінювачів.

За кордоном широке застосування інфрачервоних променів для цілей сушіння одержали в 1934 р. на заводах Форда (США). Перші досліді відносились до сушіння і запікання покриттів з емалі на кузовах автомобілів. Вважається, що із цього часу був застосований правильний процес сушіння за допомогою виділеної спектральної ділянки інфрачервоних променів. Результати цих дослідів лягли в основу сучасної техніки для сушіння лакофарбових покриттів [49].

Матеріали по сушінню і дезінфекції зерна в іноземній літературі за допомогою інфрачервоного випромінювання з'являються, починаючи з 1941 р. Оpubліковані роботи в Італії Стампа і Газера, а в США Ніколоса і Мюссера показали, що застосування електричних ламп розжарювання для радіаційного сушіння насіння зерна за допомогою інфрачервоних променів представляють цілком доцільний процес. Пізніше Д. Уорксом (США, 1960 – 1961 рр.) було встановлено, що інфрачервоне опромінення забезпечує підвищення схожості насіння червоної і гібридної конюшини, люцерни. Також відзначений позитивний вплив інфрачервоного випромінювання в роботах Тегеля, Батлера та Норіса [27].

У цей час інфрачервоні промені широко застосовуються практично у всіх галузях життєдіяльності людини – у харчовій промисловості (кондитерська, консервна, харчоконцентратна), медицині і біології, промисловості та транспорті, наукових дослідженнях тощо. Інфрачервоний енергопідвод також застосовується в таких технологічних процесах як нагрівання, обжарювання, випікання, термообробка зернової сировини та сушіння [2].

Вплив інфрачервоного випромінювання на харчові продукти рослинного і тваринного походження пов'язаний з інтенсифікацією процесів біохімічних перетворень внаслідок резонансного впливу енергії, що поглинається, на зв'язку атомів у молекулах, частоти коливань яких збігаються або кратні частоті падаючого ІЧ-випромінювання. Енергія окремих хімічних зв'язків порівняна з енергією фотонів ІЧ-випромінювання. Так, при  $\lambda \geq 1,0$  мкм енергія фотона  $E = h\nu \leq 2 \cdot 10^{-19}$  Дж, а енергія хімічного зв'язку групи С-С також має порядок  $2 \cdot 10^{-19}$  Дж, для групи О-Н вона перебуває в межах  $(0,32 - 0,46) \cdot 10^{-19}$  Дж. Тому ІЧ-випромінювання, викликаючи інтенсифікацію коливань певних груп атомів у молекулі і цим сприяючи прискоренню біохімічних перетворень, здатне впливати на об'єкт, який опромінюється [12].

В.В. Філатов у своїй роботі також відзначає, що найбільша область пропускання ІЧ-випромінювання зерна пшениці і ячменя припадає на довжину хвилі  $(0,4 - 1,5)$  мкм [6].

Загальна кількість енергії випромінювання, що падає на тіло, яке опромінюється в одиницю часу, ділиться на поглинаючу  $A$ , відбивну  $R$  та пропускну здатність  $D$  (у деяких джерелах відзначаються інші позначення пропускну здатності  $-T_\lambda$ ) тілом.

Більшість вологих матеріалів рослинного походження мають значну поглинальну здатність відносно ІЧ-випромінювання, яка залежить від поверхні, будови, форми і хімічного складу тіла [31]. Важливо враховувати в розрахунках особливість проникнення ІЧ-променів у матеріал. Глибина проникнення інфрачервоних променів у матеріал, що прогривається, залежить від його властивостей, характеру поверхні, довжини хвилі. Для колоїдних капілярно-

пористих продуктів, таких як тісто, хліб, борошно, зерно, глибина проникнення ІЧ-променів може становити від десятих часток до декількох (менше семи) мм [34].

Застосування ІЧ-опромінення створює в багато разів більшу щільність потоку тепла, ніж при конвективному сушінню, що дозволяє досягти значно більших швидкостей прогріву, матеріалу який висушується [6].

У роботах [6, 12, 16] відзначено, що ІЧ-сушіння та застосування ІЧ-променів позитивно впливають на якість хліба, приготовленого з тіста із пророслого, але ІЧ-опроміненого зерна, підвищення якості фуражного зерна в процесі мікронізації. Біологічний вплив ІЧ-опромінення (термічне) значно збільшує важливість ІЧ-променів у процесі сушіння, тому що тим самим дає можливість зробити дезінсекцію зерна, не прогриваючи його вище припустимої межі, тому що шкідники сильніше поглинають ІЧ-випромінювання, ніж зерно.

Академіком А.В. Ликовим розроблена теорія сушіння, в якій відзначається, що процес теплообміну невіддільний від масообміну. При нагріванні вологих тіл під час сушіння, температурний градієнт викликає рух вологи в рідкій і пароподібній формах, тому при неізотермічному сушінні внутрішній масопереніс здійснюється під дією як вологовмісту, так і температури [7].

У цей час існують різні думки про застосування ІЧ-променів у харчовому виробництві, а також про те, для яких цілей їх доцільно всього застосовувати. У літературі наводяться дані, про економічно і технічно вигідну експлуатацію інфрачервоних зерносушарок [16]. У порівнянні з іншими видами сушіння, питомі енерговитрати при ІЧ-сушінні на один кг випаруваної вологи становлять найменше значення, рівні 0,9 – 1,2 кВт·год.

Однак вплив нових перспективних методів енергопідвода, зокрема ІЧ-променів, вимагає подальших досліджень ІЧ-опромінення для сушіння насінневих матеріалів. За даними [12, 15], ІЧ-сушіння є ефективне, що викликає підвищення кондиційних властивостей матеріалу, та скорочують час його сушіння.

### 1.3 Розвиток інфрачервоної техніки для обробки зерна

Паралельно проведеним дослідженням із впливу інфрачервоних променів на процес сушіння розроблялися експериментальні, напіввиробничі і виробничі установки для сушіння та дезінсекції зерна.

На даний момент є накопичений досвід по розробці установок для ІЧ-нагрівання сипучих матеріалів. [8, 19]. В основному це мікронізатори та установки для високотемпературної обробки харчових матеріалів.

Відмінними ознаками ІЧ-установок є тип застосовуваних випромінювачів і способи транспортування оброблюваних продуктів.

Випромінювачі характеризуються формою, матеріалом і способом нагрівання випромінюючого тіла, що у свою чергу визначає конструктивне оформлення блоків ІЧ-випромінювачів і параметри потоку випромінювання (щільність, спектр).

Одним з основних елементів ІЧ-установки є транспортує обладнання, тому що його основним завданням є переміщення продукту через зону обробки. В основній своїй масі транспортує обладнання виконуються у вигляді стрічкових транспортерів, у тому числі і вібротранспортерів. Також у літературі описані установки із гвинтовим транспортером і барабанного типу, де переміщення зерна відбувається в обертовій трубі.

Принципову схему мікронізатора на базі стрічкового транспортера показано на рис. 1.1.

Принцип роботи мікронізатора: зерно подається в завантажувальний бункер (1) і далі шаром в 1 – 3 зерна на транспортер (3). Товщина шару регулюється величиною зазору між нижнім зрізом бункера і стрічкою. У якості стрічки використовується сталеві сітка. Шар зерна проходить під блоком ІЧ-випромінювачів (2) і нагрівається. Температура та градієнт температури залежать від енергетичної експозиції, вона може змінюватись за рахунок зміни швидкості транспортування. Для цього є регульований привід (4). Термооброблений продукт

попадає в розвантажувальний бункер (6). Основні технічні характеристики мікронізатора ВТМ-0,2 дані в таблиці 1.1 [26].

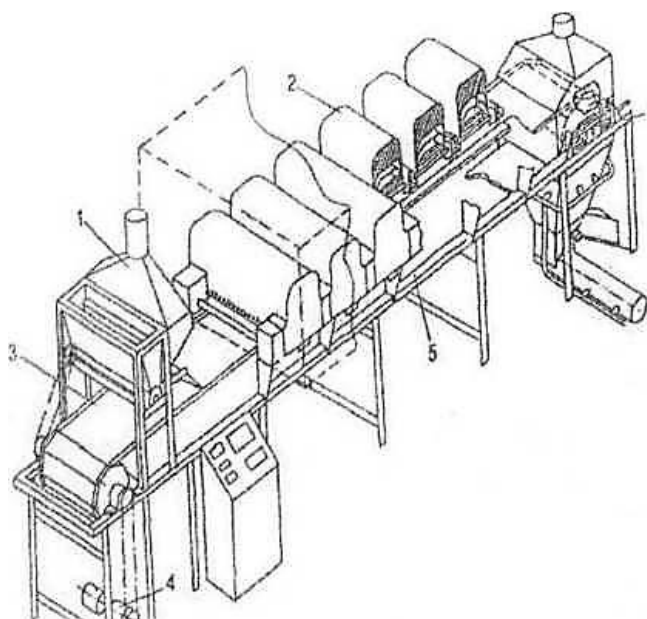


Рисунок 1.1 – Принципова схема мікронізатора

1 – завантажувальний бункер; 2 – блоки випромінювачів; 3 – транспортувочна стрічка; 4 – регулюючий привід; 5 – рама; 6 – розвантажувальний бункер.

Таблиця 1.1 – Основні технічні дані мікронізатора ВТМ – 0,2

Продуктивність по ячменю кг/год	200 – 250
Установлена потужність, кВт	30
Габаритні розміри, мм	3250×520×1700
Маса, кг	440
Кількість операторів, чел	1 – 2

І.А. Панфілова розробила технологію одержання швидкорозварюваної експандованої пшениці та пластівців. Створена дослідно-виробнича установка для термообробки зернової сировини ІЧ-випромінюванням ЗФ-КМЗ, потужністю 25 кВт і технічною продуктивністю за готовою продукцією не менше 100 кг/год (рис. 1.2).

Принцип роботи ЗФ-КМЗ полягає в тому, що ІЧ-промені певної довжини хвиль від генераторів КГТ-220-1000 проникають у зерно і з резонансною

частотою впливаючи на групи атомів -ОН, -Н, RCOOH тощо, змушують молекули коливатися, що призводить до нагрівання внутрішньої порожнини зерна, закипанню води і «вибуху» зернівки. Її структура стає пористою.

Великі полімери розщеплюються на декстрини і цукри. Температура нагрівання зерна становить 170 – 180 °С. Зерно втрачає сирий смак і незаражується.

Обробка відбувається на металотканій стрічці транспортера за один прохід протягом 25 – 60 с, залежно від виду вихідної вологості і товщини шару зерна [12].

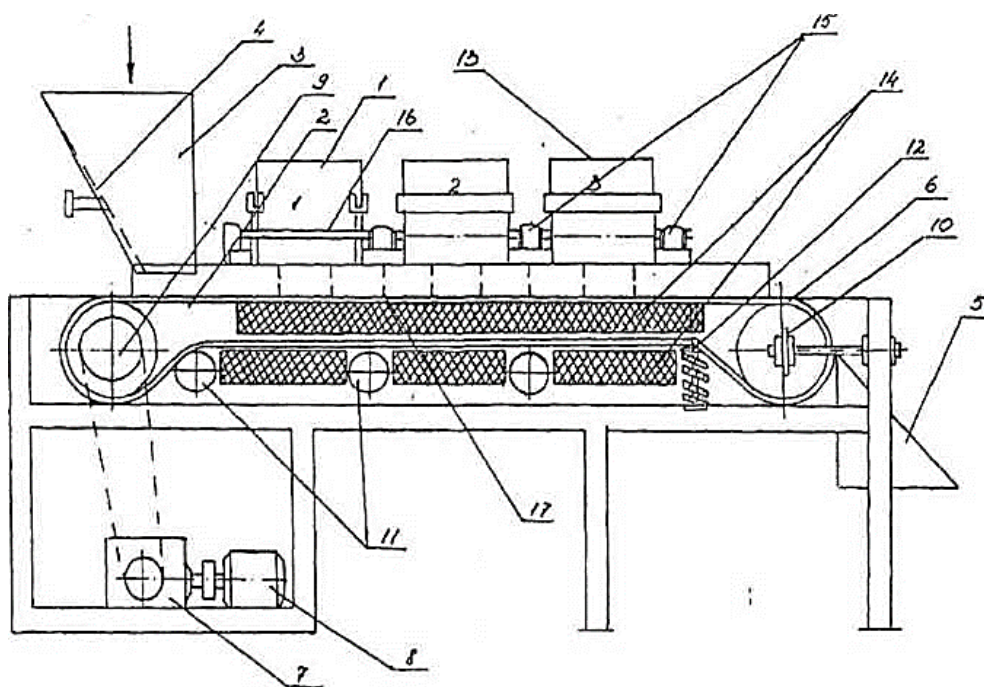


Рисунок 1.2 – Дослідно-промислова ІЧ-установка ЗФ-КМЗ для термообробки зерна

Застосування ІЧ-випромінення в теплотехнічних процесах нагрівання, сушіння, обжарювання в комбикормовій промисловості є одним з рентабельних і перспективних методів термічної обробки, що значно інтенсифікують процеси, що сприяють поліпшенню якості продуктів з наступним одержанням нетрадиційних продуктів харчування.



На сьогоднішній день єдиною установкою для термічної обробки зерна ІЧ-променями, що промислово випускається в Україні є установка УТЗ-4, загальний вид якої представлений на рисунку 1.3.

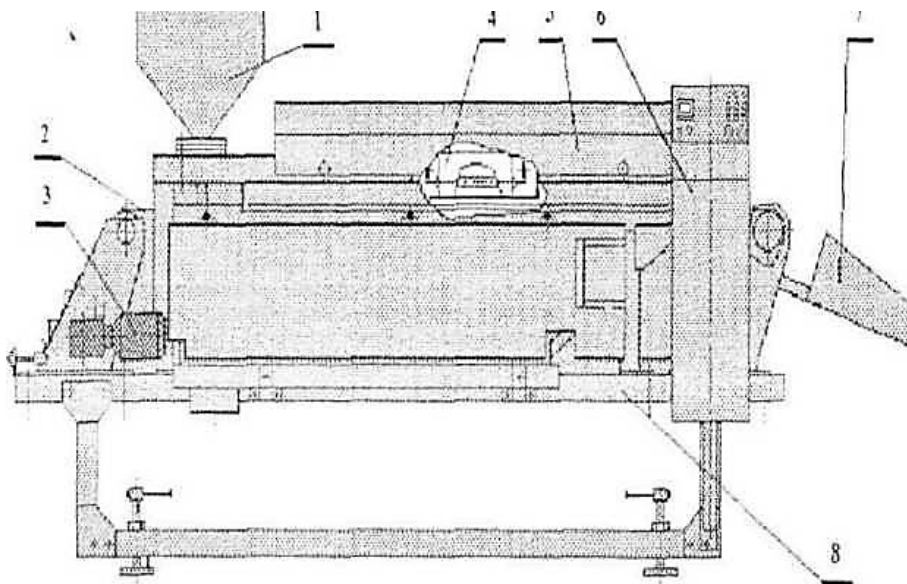


Рисунок 1.3 – Загальний вид установки для термообробки зернової Зсировини  
УТЗ-4

1 – бункер; 2 – транспортер; 3 – мотор-редуктор; 4 – касета; 5 – кожух;  
6 – пульт керування; 7 – лоток зсипний; 8 – рама.

Установка випускається серійно і має всю нормативно-технічну документацію [14].

Вона призначена для підвищення харчових властивостей зернофуражу (жита, пшениці, ячменя, сої, віки та ін.) за рахунок теплової обробки в інфрачервоних променях. Годівля термообробленим зернофуражем сільськогосподарських тварин і птахів знижує в них шлунково-кишкові захворювання та загибель в 2 – 3 рази [25], підвищує приріст маси на 14 – 26 %, а також дозволяє використовувати некондиційне зерно. Установка дозволяє плавно регулювати всі робочі параметри для досягнення найкращої якості одержуваних продуктів.

Установка УТЗ-4 також дозволяє:

- проводити підготовчі операції при харчовому виробництві; обробляти зернові культури для збільшення строку збереження; підвищувати ступінь декстринізації і клейстеризації крохмалю; зменшувати кількість слизів, пентозанів в жита та ячменю;
- знижувати активність протеази, трипсину, лектина, уреазы та ін. при годівлі птахів;
- зменшувати кількість олігосахаридів, сапонинів і факторів, що сприяють утворенню газів при годівлі моногастричних тварин зернобобовими культурами;
- знижувати втрати водорозчинних білків і незамінних амінокислот, поліпшувати доступність амінокислотного комплексу;
- боротися зі шкідниками зернових запасів (довгоносик, клоп-черепашка та ін.);
- обробляти некондиційне зерно.

Технічні характеристики установки УТЗ-4 представлені в таблиці 1.2 [14].

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики установки УТЗ-4

Продуктивність, кг/год	до 300
Споживана потужність, кВт	24,5
Габаритні розміри, мм	2800×1030×1280
Маса, кг	170
Кількість операторів, чіл	1

Сушіння і термічна обробка зернофуражу в установці УТЗ-4, а також однорідність процесу, що протікає, визначається часом експозиції зерна в зоні нагрівання; товщиною шару зерна на конвеєрній сітці; відстанню від ламп до сітки; вихідною вологістю оброблюваного продукту. При деяких позитивних характеристиках даної установки, основними її недоліками є неможливість регулювання температури в процесі сушіння, установлення часу знаходження матеріалу в сушарці за експериментальними даними і здійснення контролю над температурою в процесі сушіння [14].

#### 1.4 Джерела інфрачервоних променів, їх застосування для сушіння і термообробки рослинних матеріалів

Джерела інфрачервоного випромінювання – тіла, що нагріваються до певної температури. У цей час джерела ІЧ-випромінювання виробляють різноманітні типи і конструкції.

Форма і матеріал випромінюючого тіла, а також спосіб його нагрівання характеризують тип випромінювача, який у свою чергу конструктивно визначає оформлення блоків випромінювачів і параметри опромінення матеріалу, що висушується у сушильних установках.

Інфрачервоні джерела умовно розділяють на «світлі» і «темні». Тілом розжарення в «світлих» випромінювачах служить спіраль із вольфрамового дроту, розташована в скляній колбі (балон) параболоїдної форми. Внутрішня поверхня колби якої покрита тонким шаром срібла. До «темних» випромінювачів відносять металеву або керамічну трубку, що розігрівається всередині. Розігрів трубок випромінювача може бути газовим або електричним [18]. Класифікація теплових джерел ІЧ-випромінювання представлена на рисунку 1.4 [11].

В інфрачервоній техніці в якості генераторів ІЧ-випромінювання використовують світлі джерела (лампи) і темні, які нагріваються до певної температури керамічні, металеві труби, плити або спеціальні безполум'яні пальники [35].

Ефективність термообробки зерна ІЧ-опроміненням залежить не тільки від узгодження спектральних терморадіаційних характеристик матеріалу, що опромінюється, і випромінювача, але й від правильного вибору типу генератора ІЧ-опромінення, а також від температури випромінювача при роботі. Важливе значення мають геометричні розміри оброблюваного об'єкта і призначення технологічних операцій опромінення матеріалу [21].

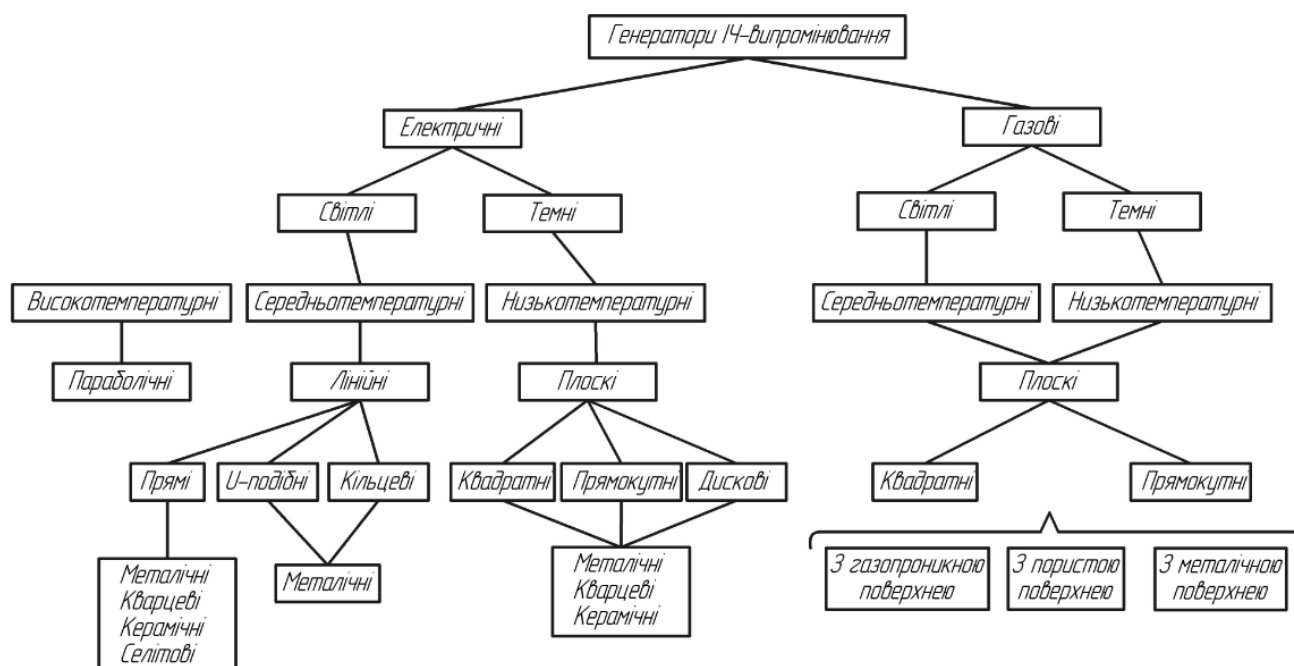


Рисунок 1.4 – Класифікація генераторів ІЧ-випромінювання

Як зазначалось раніше [45], для сушіння зерна найбільш ефективним є використання світлих інфрачервоних випромінювачів з максимальним випромінюванням 0,8 – 1,2 мкм. До світлих випромінювачів відносяться лампи розжарювання, газорозрядні лампи та інші види випромінювачів з температурою тіла розжарення вище 1500 – 1700 К. Вони створюють основне випромінювання у видимих і близьких ІЧ-областях спектра, тобто приблизно до довжини хвилі 2,2 – 2,5 мкм

До таких випромінювачів відносяться дзеркальні лампи розжарювання і кварцові йодні лампи з довжиною хвилі  $\lambda_{\max} = 1,1-1,5$  мкм. Інші випромінювачі (кварцові з ніхромовою спіраллю, трубчасті електронагрівники, газові пальники і т.п.), мають більшу довжину хвилі  $\lambda_{\max}$  у діапазоні від 2,2 – 6 мкм.

Лампи розжарювання інфрачервоні дзеркальні являють собою високоякісне теплоопромінення. Лампи серії ІКЗ мають сполучений тепловий і освітлювальний ефект. Максимальна зона випромінювання ламп серії ІКЗК розташована в інфрачервоному діапазоні (теплове випромінювання), складова видимого випромінювання (світло) незначна.

Лампи призначені для використання в опромінювальних установках для створення інтенсивного променистого потоку в інфрачервоній області спектра. Вони застосовуються в сільському господарстві для обігріву молодняку тварин, птахів; у промисловості – для сушіння лаків і фарб, для процесів випалу та дистиляції; при обробці продуктів харчування – для пастеризації і сушіння; у медицині – для фізіотерапії, а також для декоративного освітлення. Лампи виконані у вигляді балона спеціального профілю, прозорого, матового або пофарбованим у червоний колір, що мають внутрішнє дзеркальне покриття. Тілом розжарення в таких лампах служить вольфрамова спіраль, що нагрівається струмом до 1900 – 2500 К. В Україні такі лампи випускають за ДСТ 13874-76 (13874-83), і передбачають випуск двох типів ламп ІКЗ (старе позначення – ЗЛ) і ІКЗК із різними технічними характеристиками.

Структура умовної позначки ламп ІКЗК

ІКЗХ  $X_1 - X_2 - X_3$  :

*ІЧ* – інфрачервона;

*З* – дзеркальна;

*X* – колір колби: *K* – червона; *M* – матова; без вказівки – прозора (лампи типу ІКЗ);

$X_1 - X_2$  – діапазон напруги, В (215 – 225, 225 – 235);

$X_3$  – номінальна потужність, Вт (60, 75, 100, 250).

Загальний вид лампи ІКЗ (ІКЗК), показаний на рисунку 1.5.

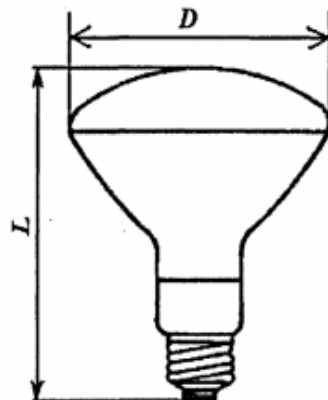


Рисунок 1.5 – Загальний вид інфрачервоної дзеркальної лампи

Технічні характеристики інфрачервоних ламп ЖЗ і ЖЗК представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики інфрачервоних ламп ІКЗ, ІКЗК

Лампи	Напруга, В	Потужність, В	Світловий потік, лм	Кольорова температура	Середня тривалість горіння,г	Габаритні розміри, мм		Тип цоколя
						Довжина <i>L</i>	Діаметр <i>D</i>	
ІКЗ 215-225-175	220	175			5000	175	126	E-27
ІКЗ 215-225-175	220	250			5000	175	126	E-27
ІКЗ 215-225-175	220	500	2350	2350	5000	250	134	E-27
ІКЗ 215-225-175	220	175			5000	175	126	E-27
ІКЗ 215-225-175	220	250			5000	175	126	E-27
ІКЗ 215-225-175	220	500			5000	250	134	E-27

За кордоном випускаються лампи «Інфрасек» (Угорщина), лампи «BGW» (Німеччина), «Westing House» (США), «General Electrical 3» (США), «OSRAM» (Німеччина), «Philips» (Нідерланди).

Технічні характеристики дзеркальних інфрачервоних ламп «OSRAM» тип Siccathenn представлено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики інфрачервоних ламп OSRAM

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга, В	Габарити, мм не більше			Колір покриття купола балона	Час роботи, год.
			Діаметр	Довжина	Висота купола		
SICCA L/R 100 W	100	220	122	136	-	Червоний	5000
SICCA L/R 150 W	150	220	122	136	-	Червоний	5000
SICCA L/R 250 W	250	220	127	185	-	Червоний	5000
SICCA L 250 W	250	220	127	185	-	Прозорий	5000
SICCA I 250 W	250	220	127	185	-	Матовий	5000

Спектральні характеристики ламп ІКЗ, ІКЗК, OSRAM, Philips, представлені на рисунках 1.6, 1.7.

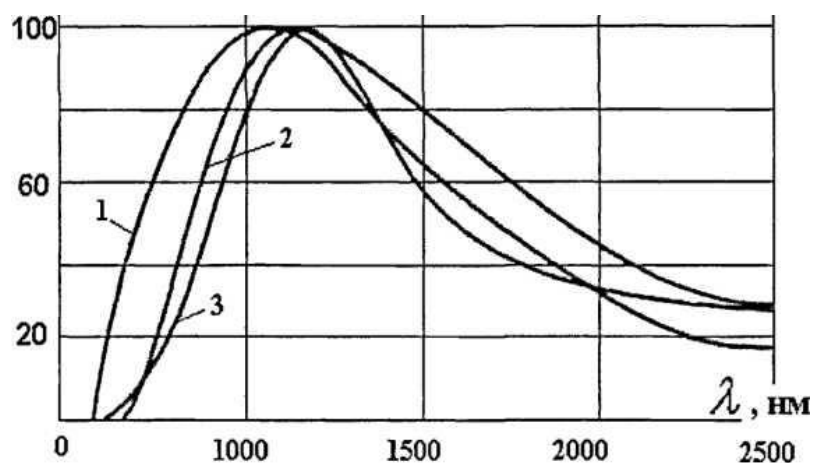


Рисунок 1.6. – Криві спектральної щільності променистого потоку різних ламп  
1 – ІКЗК; 2 – OSRAM; 3 – PHILIPS [25].

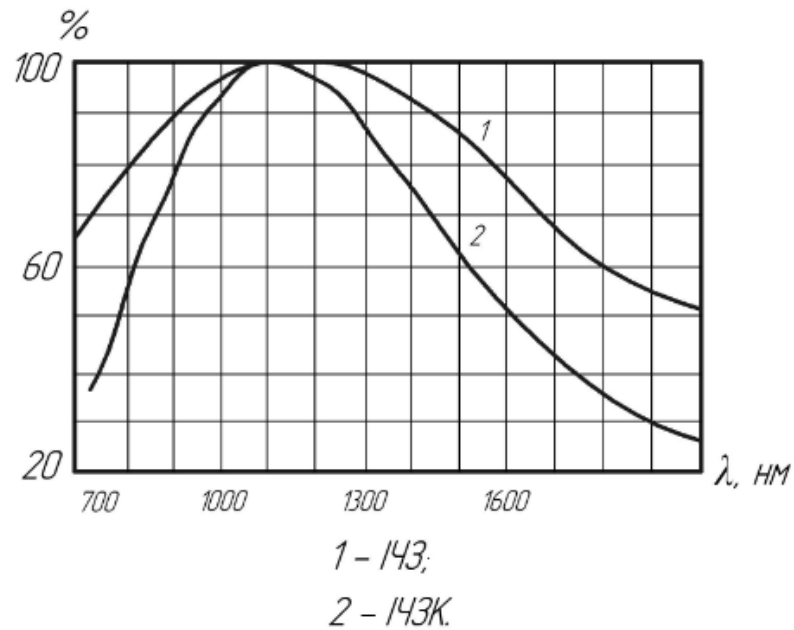


Рисунок 1.7 – Криві спектральної щільності променистого потоку IЧ-ламп:  
1 – IЧЗ; 2 – IЧЗК [25].

Для всіх типів «світлих» IЧ-випромінювачів ці криві мають аналогічний характер [34].

Кварцові галогенні лампи – термовипромінювачі типу КГТ є високоефективними джерелами інфрачервоного випромінювання та широко застосовуються в технологічних процесах сушіння і нагрівання, полімеризації та обробки пластмас.

Структура умовної позначки цих ламп:

КГХ  $X_1(X_2 - X_3) - X_4 - X_5$  :

*К* – кварцова; *Г* – Галогенна;

*Х* – виконання: *В* – вакуумна; *М* – матована;

*К* – з концентрованим тілом розжарення;

*Д* – диференціального випромінювання;

*Т* – термоопромінювач;

*П* – довільного положення горіння;

*О* – з відігнутими кінцями;

*U* – *U* – образна (тип КГШ);



$X_1$  – номінальна напруга, В (110; 120; 127; 220; 240; 380);

$X_2 - X_3$  – діапазон напруг, В (220 – 230; 230 – 240);

$X_4$  – номінальна потужність, Вт (75 – 10000);

$X_5$  – відмінна риса від базової моделі (1 – 6).

Приклад позначення: КГПКр 220-500-КГПКр – лампа кварцова галогенна з довільним положенням горіння, у колбі червоного кольору; 220 В – номінальна напруга живлення; 1500 – потужність лампи, Вт.

Галогенні лампи розжарювання мають кварцову оболонку, призначення якої герметична ізоляція тіла розжарення від зовнішнього середовища і забезпечення умов його нормальної роботи.

Тіло розжарення в галогенних лампах виготовляють із вольфрамового дроту як прямолінійного, так і спірального, причому застосовують моноспираль і біспираль.

Для наповнення галогенних ламп використовуються гази: азот, аргон, криптон і ксенон, застосовуються суміші цих газів. Вибір роду і складу газів, що наповнюють, залежить від типу ламп, їх параметрів і призначення.

Більшість типів галогенних ламп оснащені спеціальними цоколями, за допомогою яких лампи кріпляться до патронів і підключаються до джерел живлення. Загальний вид кварцевої галогенної лампи наведено на рисунку 1.8, технічні характеристики представлено в таблиці 1.5.

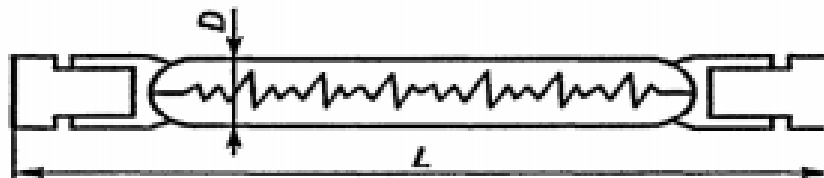


Рисунок 1.8 – Загальний вид кварцевої галогенної лампи

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики інфрачервоних ламп КГТ

Лампи	Напруга, В	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Кольорова температура, К	Середня тривалість горіння, г	Габаритні розміри, мм		Тип цоколя
						Довжина L	Діаметр D	
КГТ220-1000	220	1000	2500	2600	2600	500	12	НРА15×20
КГТ220-1000-1	220	1000	2500	2500	2500	375	12	НРА15×20
КГТ220-1000-2	220	1000	2500	2500	2500	290	12	НРА15×20
КГТ220-1000-3	220	1000	2500	2800	2800	345	15	НРА15×20
КГТ220-1000-4	220	1000	2500	2500	2500	435	12	P14/63
КГТ220-1800	220	1000	2500	2500	2800	400	10,75	K7S/12

У роботах вітчизняних учених по сушінню і термообробці зерна інфрачервоним випромінюванням розглядаються світлі випромінювачі, а саме: КГТ 220-1000 і ЗЛ. На ІЧ-установці, що промислово випускається УТЗ-4 також установлені ІЧ–випромінювачі КГТ 220-1000-4 [14]

При інфрачервоній обробці зерна в нерухомому шарі товщиною 1 – 1,5 см зерна поверхнева мікрофлора знищується при щільності падаючого потоку випромінювання 20 кВт/м<sup>2</sup> повністю. Щільність в 16 кВт/ м<sup>2</sup> знижує внутрішню зараженість на 60 %, зовнішню – на 80 %. Стерилізуючий ефект обробки зерна зв'язаний не з високою температурою нагрівання зерна, а з більшою швидкістю нагрівання. При швидкості нагрівання зерна 8 – 10 °С/с зерно стерилізується повністю: 5 – 7 °С/с – на 85 % ; 3 – 5 °С/с – на 60 %. Температура нагрівання зерна становить відповідно 165, 172, 178 °С, докладні дані представлені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Зміна мікрофлори кукурудзи при ІЧ-обробці

Щільність падаючого потоку, кВт/м <sup>2</sup>	Кількість мікроорганізмів і грибів у тис. на 1 г зерна		
	Зовнішня зараженість, % на 10 шт.		Внутрішня зараженість, % на 100 шт.
	Бактерії	Гриби	
Вихідний зразок	160	12	100
16	20	4	40
20	0	0	15
24	0	0	0

### Висновки за розділом

Виконаний аналіз літературних даних дозволив зробити наступні висновки:

Одним із перспективних способів сушіння насінневого зерна є сушіння інфрачервоними променями із застосуванням імпульсного режиму. У результаті чого скорочуються енерговитрати і збільшується ефективність сушіння, поліпшуються насінневі, смакові якості зерна, запах та колір.

Застосування в годівлі сільськогосподарських тваринних кормів, оброблених ІЧ-променями, сприяє приросту живої маси тварин, а також знижує загибель худоби.

Опромінення зерна ІЧ-променями позитивно позначається на його збереженні, тому що використання ІЧ-променів приводить до знезараження зерна.

Причини, які стримують використання ІЧ-сушіння насінневого матеріалу, є відсутність рекомендацій з вибору випромінювачів, їх розміщення в сушарці, температурним режимам сушіння, відсутності технологій для сушіння насінневого матеріалу.

Експериментальні дослідження з ІЧ-сушіння і термообробці рослинної сировини обмежені, а саме: основні дані отримані при використанні випромінювачів ЗЛ (ІКЗ) і КГТ-1000.

Не представляється можливим використовувати наявні експериментальні дані по впливу температури зерна при імпульсному ІЧ-сушінню на його насінневі

якості, тому що різними авторами представлені зовсім різні значення по обмеженню температури в процесі сушіння.

У літературі не відзначається використання інформаційно-виміральної керуючої системи для цілей сушіння, що у свою чергу затримує одержання експериментальних даних для негайної їх обробки.

З врахуванням вищевикладеного, метою даної роботи була розробка енергозберігаючої імпульсної ІЧ-технології сушіння насінневого зерна, що забезпечує високу якість посівного матеріалу.

Для реалізації поставленої мети сформульовані наступні завдання дослідження.

- вивчити вплив виду підложки і її розташування в сушильній камері на кінетику процесу;
- вивчити вплив типу ламп на процес імпульсного ІЧ-сушіння зерна кукурудзи;
- вивчити вплив імпульсного режиму на кінетику імпульсного ІЧ-сушіння зерна кукурудзи;
- вивчити вплив висоти підвісу ІЧ-випромінювача над матеріалом, який висушується на тривалість сушіння зерна кукурудзи;
- визначити раціональний діапазон зміни температури насінневого зерна кукурудзи, у процесі його сушіння;
- виконати розрахунки кошторису витрат на проведення досліджень.

Об'єкт дослідження – процес сушіння насінневого зерна кукурудзи, його зв'язок з основними закономірностями функціонування ІЧ-установки.

Предмет дослідження – закономірності та взаємозв'язок технологічного процесу сушіння, вплив його на якісні показники насінневого зерна кукурудзи.

## 2 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ УСТАНОВОК І МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

### 2.1 Реалізація інформаційно-вимірювальної системи на експериментальній установці UX 070. Опис експериментальної установки

Дослідження процесу сушіння зерна інфрачервоними променями проводили на експериментальній установці UX 070 фірми a&p-instruments Німеччина, схематично показаної на рисунку 2.1. Технічні дані установки представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні дані експериментальної установки UX 070

Найменування	Значення	Одиниці виміру
Напруга	220	В
Частота,	50 – 60	Гц
Вимірювальна вологість	0 – 90	%
Максимальна температура нагріву матеріалу	160	°С
Маса насипу	10	г

Дана установка дозволяє визначати зміну кількості вологи в реальному часі від 0 до 90 % при безперервному режимі сушіння. ІЧ-сушіння зерна на цій установці здійснюється тільки при безперервному теплопідводі. Незручністю є те, що фіксувати дані доводиться вручну, записуючи їх у журнал вимірів. При такому способі сушіння проведення експериментів по імпульсному сушінню зерна вкрай важко через стислість імпульсу, тому що незручно спостерігати за процесом сушіння і одночасно фіксувати дані в журнал вимірів.

У зв'язку з цим установка UX 070 була доповнена, описаною вище інформаційно-вимірювальною системою по керуванню процесом імпульсного ІЧ-сушіння зерна.

Аналіз робіт з інфрачервоного сушіння виявив вузькість номенклатури застосовуваних ІЧ-випромінювачів, а саме: застосування тільки одного типу ламп

– КГТ-20-1000. У зв'язку із цим, для ІЧ-сушіння насіннєвого матеріалу були використані інші вітчизняні та закордонні випромінювачі з метою вивчення їх можливостей для імпульсного ІЧ-сушіння зерна. При виборі випромінювача ми керувалися наступними міркуваннями:

1) максимум їх випромінювання  $\lambda_{\max}$  повинен перебувати в діапазоні довжин хвиль 1 – 1,2 мкм, що відповідає максимальній пропускнув  $D_{\lambda}$  здатності оболонки кукурудзи; лампи повинні бути загальнодоступні та дешеві.

У якості ІЧ-випромінювачів були обрані випромінювач ІЧЗК і німецький випромінювач фірми OSRAM «SICCA-I-250 W» [92, 126], відповідні до цих умов.

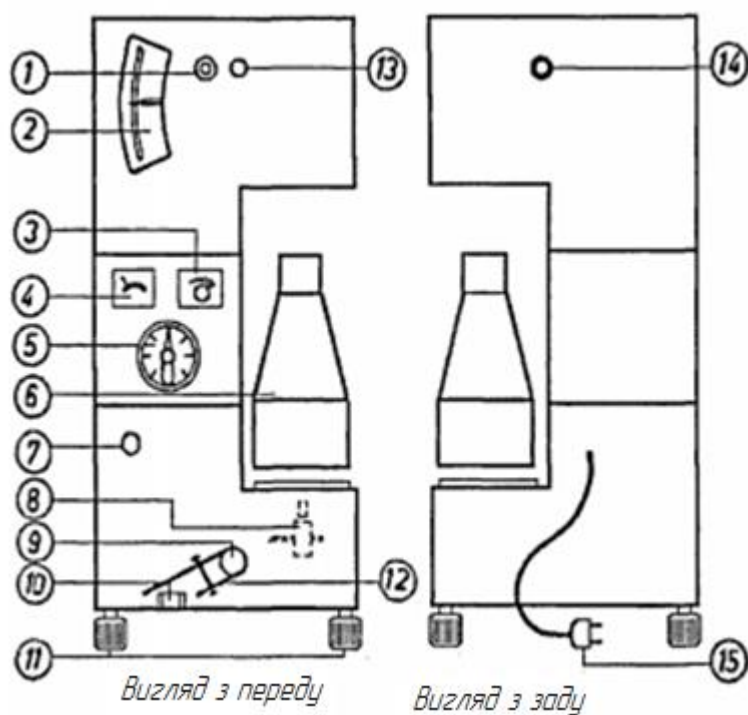


Рисунок 2.1 – Експериментальна установка УХ 070:

- 1 – кольорова шкала; 2 – шкала показників; 3 – регулятор потужності;  
 4 – вольтметр; 5 – сигнальний годинниковий механізм; 6 – рефлектор з інфрачервоним випромінювачем; 7 – головний вимикач; 8 – підставка тримача чашки ваг; 9 – фіксатор; 10 – рівень; 11 – опорні болти; 12 – запобіжний хомут;  
 13 – установча головка для кольорової шкали 1; 14 – регулятор шкали показів;  
 15 – кабель живлення з вилкою.

Імпульсний режим ІЧ-сушіння є необхідним для одержання якісного насінного зерна, тому що зберігає його як живий організм. Такий режим не дозволяє перевищувати гранично допустиму температуру нагрівання зерна, що висушується, тому що перевищення останнього призведе до зниження їх повної втрати насінневих і технологічних якостей [47].

У зв'язку із цим експериментальна сушильна установка UX 070 була доукомплектована розробленою інформаційно-вимірювальною та керуючою системою (ПУС) на основі описаної вище корисної моделі, що дало можливість розширити її функціональні можливості.

Використання ПУС дозволяє отримувати наступні основні результати: регулювання температури в процесі сушіння; створення осцилюючого режиму сушіння; архівування даних; забезпечення простоти і функціональності схеми керування; зниження споживання енергії; підвищення якості зерна, яке висушується [35].

## 2.2 Організація осцилюючого режиму ІЧ-сушіння зерна за допомогою інформаційно-вимірювальної і керуючої системи

Технологічний процес сушіння зерна містить у собі вимір і регулювання таких його параметрів, як вологість і температура. Розв'язок цього питання можливо здійснити на основі інформаційно-вимірювальної і керуючої системи (ПУС), використовуючи прилади ОВЕН ТРМ 202 і АСЗ, які дозволяють не тільки регулювати процес сушіння, але й архівувати значення, отримані при досліджуваних режимах для наступного їхнього аналізу. Функціональна схема системи керування на базі вимірника-регулятора ТРМ 202 представлено на рисунку 2.2.

Ця система автоматизує процес збору і обробки інформації, одержуваної в ході процесу сушіння. Вона створена на базі датчика температури зерна, вимірника-регулятора температури, а також комп'ютера, за допомогою якого проводиться гнучке конфігурування системи збору і обробки інформації.

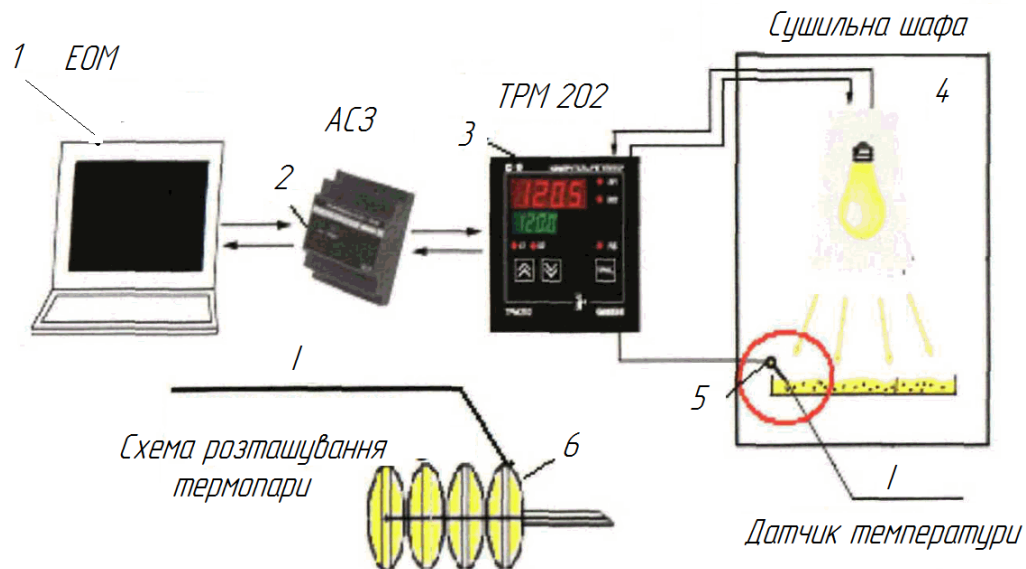


Рисунок 2.2. – Схема системи управління сушіння зерна на базі вимірника-регулятора ТРМ 202

Перед початком роботи залежно від виду та призначення матеріал, який висушується, надходить у сушильну камеру, прилад ТРМ 202 програмується на необхідні значення уставок температури нагрівання зерна  $t_{\max}$  і  $t_{\min}$ . Функціональна схема вимірника-регулятора ОВЕН ТРМ 202. При безперервному режимі нагрівання значення уставок не задаються. Процес сушіння здійснюється в такий же спосіб, як і при осцилюючому режимі сушіння за винятком того, що ВУ не спрацьовує на відключення та включення ІЧ-випромінювачів.

Значення температури зерна при різних режимах сушіння архівуються в ПК. Для зв'язку приладу з комп'ютером використовується адаптер мережі АСЗ, що перетворює сигнали інтерфейсу RS-485 в RS-232 і назад.

Для вивчення можливостей даної системи при керуванні процесом ІЧ-сушіння зерна були проведені експериментальні дослідження. Їх проводили на експериментальній установці по ІЧ-сушінню зерна марки ULTRA 070, яка дозволяє знімати безперервну криву видалення вологи. У якості джерела ІЧ-випромінювання використовували лампи OSRAM і ІЧЗК потужністю 250 Вт. У досліджах вимірювали температуру зернівки за допомогою ХК-термопар з



діаметром електродів  $d = 0,2$  мм, впроваджених у неї. У якості вторинного приладу використовувався прилад ТРМ 202.

Зерно, яке висушується, розташовується під лампою на відстані  $h = 0,05; 0,08; 0,12$  м щільним моношаром. У якості матеріалу, що висушується, використовується зерно пшениці..

Для візуального відображення параметрів технологічного процесу на екрані ПК, моніторингу та архівуванні даних, використовується програма Owen Process Manager (OPM ) [16].

Застосування даних приладів і програмного забезпечення (ПЗ), дозволяє отримати експериментальні дані по періодичному імпульсному ІЧ-сушінню зерна кукурудзи.

Точність виміру приладу ТРМ 202 згідно з Керівництвом по експлуатації та ТУ 4211-011-46526536-04 представлено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики точності виміру приладу ТРМ202

Найменування	Значення
Час опитування датчика, с	1
Межа основної допустимої похибки при вимірах, %	
- термоперетворення опору	0,25
- термопарою	0,5
- уніфікованими сигналами струму та напруги	0,5
Вихідні пристрої	
Аналоговий вихідний пристрій	
Межа основної допустимої наведеної похибки, %	0,5

Прилад ТРМ 202 здійснює роботу з термопарами у діапазоні від  $-200$  –  $+2500$  °С з дозволяючою здатністю  $0,1$  °С.

### 2.3 Методика проведення експерименту

Перш ніж приступати до експерименту по сушінню зерна пшениці, його необхідно зволожити. Далі зерно повторно зважували та розподіляли на наважки по 10 г кожна. Ваги ретельно очищали. Після цього одну з наважок зерна тонким шаром рівномірно розподілили на піддоні ваг. Далі робили:

Перевірку працездатності приладів ТРМ 202, АСЗ.

Налаштування приладу ТРМ 202.

Перевірку системи зважування проби.

Підготовку проби матеріалу.

Підключення приладів до ПК.

Порядок роботи на експериментальній установці:

Ваги фіксували фіксатором (9). Встановлювали чорний діапазон шкали, відповідний до діапазону зміни вологості від 0 до 25 %, настановною голівкою (13).

Розфіксували ваги (9) (стрілка переміщується до нижнього положення шкали (нижче 25 %)).

Відводили ІЧ–випромінювач та поміщали пробу матеріалу на чашу ваг (при досягненні маси 10 г стрілка вагів переміщала нагору та встановлювалася на верхній межі шкали, рівній «0»).

Повертали ІЧ–випромінювач у вихідне положення.

Ручкою (3) встановлювали стрілку вольтметра на 220 В.

Запускали програму ОРМ на ПК.

Ручкою (5) налаштовували час сушіння, при цьому включався ІЧ–випромінювач.

Після закінчення часу сушіння прозвучав сигнал, ІЧ–випромінювач автоматично відключався.

Прилад відключали ручкою (7). Чашку ваг знімали та ретельно очищали.

При завершенні серії дослідів зупиняли програму ОРМ, дані при цьому автоматично зберігалися.

Установлювали задані значення «установок» у ТРМ 202 по наступних параметрах: по температурі нагрівання зерна  $t_{\max}$  і  $t_{\min}$ .

Опитування датчиків температури встановлюється згідно з необхідною точністю виміру. Опитування датчика температури зерна, що висушується, здійснювався через вхід приладу ТРМ 202. З досягненням температури  $t_{\max}$ , через ВО (вихідне обладнання) приладу ТРМ 202 відбувається відключення ІЧ-випромінювачів. З моменту відключення та до моменту включення ІЧ-випромінювачів, зерно не зазнає сушіння ІЧ-променями, протікає період відлежування зерна до моменту визначення датчиком температури, досягнення другої заданої температури  $t_{\min}$ . При досягненні температури зерна рівної  $t_{\min}$ , ВО вмикає ІЧ-випромінювач. Процес сушіння тривав до досягнення заданої вологості, або до встановленого проміжку часу.

При безперервному режимі нагрівання зерна, що висушується, значення «установок» - не встановлюються. Процес сушіння здійснюється таким же чином, як і при осцилюючому режимі сушіння, за винятком того, що ВО не спрацьовує на відключення та включення ІЧ-випромінювачів.

При виконанні експерименту, через кожну хвилину зчитували дані зі шкали вологості та заносили до журналу вимірів.

Значення температури зерна у ІЧ-випромінювачів при різних режимах сушіння архівуються на ПК. Візуальне відображення подібного процесу за допомогою програми ОРМ наведено на рис. 2.3.

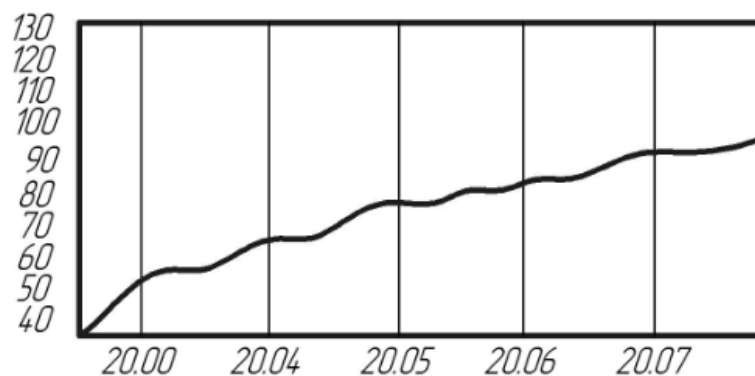


Рисунок 2.3. – Залежність температури зерна від часу при безперервному режимі сушіння ( $W_n = 19\%$ ;  $W_k = 13\%$ )

Змінними параметрами в експериментах були:

- тип лампи;
- вологість зерна, що висушується; гранична температура нагрівання ( $t_{\max}$ ); гранична температура охолодження ( $t_{\min}$ );
- висота розміщення лампи відносно шару.

Результати експериментальних досліджень за кінетикою сушіння представляли у вигляді кривих сушіння.

Прилад ЦХ 070 дозволяє знімати дані при вологості продукту, що висушується, у діапазоні від 0 до 25 % з погрешністю 0,5 %.

### Висновки за розділом

Розроблена модель дозволяє здійснити імпульсний режим ІЧ-сушіння, збільшити точність підтримки заданих граничних значень температури.

Використання ПК дає можливість здійснити протокол значень вимірюваних величин для наступного їх аналізу.

Розроблена інформаційно-вимірювальна та керуюча система для імпульсного ІЧ-сушіння зерна з використанням приладів ТРМ 202, АСЗ, УТ 24, персонального комп'ютера та програми ОРМ, яка дозволяє реалізувати цей процес в автоматичному режимі.

Застосування функціональної схеми системи керування на базі вимірника-регулятора ТРМ 202 дає можливість, реалізувати: осцилюючий режим ІЧ-сушіння зерна, контроль і збереження отриманих даних у реальному часі з наступною їхньою обробкою.

Розроблена установка на базі лабораторної ІЧ-сушарки УХ 070, що доповнює її інформаційно-вимірювальну та керуючу системи, дають можливість здійснювати безперервний процес ІЧ-сушіння одного шару зерна обраним ламповим випромінювачем з автоматичним підтримуванням у ході процесу температури матеріалу в заданих межах.

## 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІМПУЛЬСНОГО ІЧ-СУШІННЯ КУКУРУДЗИ

### 3.1 Кінетика сушіння

У ході реалізації поставленої мети – розробка енергозберігаючої технології сушіння насінного зерна, що забезпечує високу якість посівного матеріалу, було проведено два цикли експериментальних досліджень.

Перший (основний) цикл: імпульсне інфрачервоне сушіння кукурудзи, у якому:

- вивчення впливу типу ламп на процес ІЧ-сушіння кукурудзи і енерговитрати на її проведення;
- вивчення впливу висоти підвісу ІЧ-випромінювача над матеріалом, що висушується на тривалість сушіння зерна кукурудзи і енерговитрати на її проведення;
- вивчення вплив початкового вологовмісту зерна на кінетичні характеристики процесу сушіння насіннєвого зерна;
- визначені раціональні максимальна і мінімальна температури нагрівання матеріалу при сушінні насінного зерна пшениці;
- отримані дані по схожості і енергії проростання кукурудзи, висушеної імпульсним ІЧ-способом.

Другий цикл:

Інфрачервоне сушіння кукурудзи при безперервному енергопідводі, у ході якого вивчався вплив виду підложки і її розташування в сушильній камері на кінетику процесу.

У зв'язку зі складністю процесів тепломасопереносу всередині матеріалу, при описі кінетики сушіння, як правило, оперують середніми значеннями вологовмісту  $U$  і температури матеріалу  $t$ , що змінюються при сушінні із часом  $\tau$ . Застосування установки UX-070 у сукупності з розробленою інформаційно-вимірювальною і керуючою системою дозволило одержати експериментальні дані

по кінетиці періодичного ІЧ-сушіння зерна кукурудзи в імпульсному режимі без переривання процесу сушіння для проміжного контролю вологості матеріалу. Реалізація імпульсного режиму, а також схема підключення вторинних приладів, що регулюють максимально припустиму температуру нагрівання зерна, докладно описано в розділі 2 [35].

З автоматичним регулюванням температури матеріалу в заданих температурних діапазонах були отримані криві сушіння і зняті залежності температури зерна від часу сушіння.

Ці дані були отримані при наступних умовах:

- висота підвісу ІЧ-випромінювача над матеріалом, що висушується,  $h = 0,05; 0,08; 0,12$  м;
- початковий вологовміст  $U_n$  зерна:  $0,2; 0,235; 0,289$  кг/(кг сух. м-лу);
- сушіння здійснювалося до кінцевого вологовмісту  $U_k = 0,149$  кг / (кг сух. м-лу);
- випромінювачі: SICCA-I-250 W (лампа OSRAM); ІЧЗК-250; значення уставок ТРМ202, що регулюють максимальну і мінімальну температуру зерна в межах від  $t_{\min} = 35^{\circ}\text{C}$  до  $t_{\max} = 60^{\circ}\text{C}$  (перший режим) і  $t_{\min} = 40^{\circ}\text{C}$  до  $t_{\max} = 50^{\circ}\text{C}$  (другий режим);
- зерно розташовувалося в сушильній чашці діаметром  $d = 0,1$  м, щільним моношаром.

Зведення проведених експериментів дано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Умови проведення дослідів

Матеріал	Тип лампи	Висота підвісу	Початкова вологість матеріалу, %	Режим сушіння	$t_{\min}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{\max}, ^{\circ}\text{C}$
Зерно кукурудзи	ІЧЗК OSRAM	0,05 – 0,12	17; 19; 21	Неперервний; імпульсний	35	60
	ІЧЗК OSRAM	0,05 – 0,12	17; 19; 21	імпульсний	40	50

Імпульсне ІЧ-сушіння зерна характеризується двома стадіями. Перша стадія (цикл) містить у собі час прогріву зерна від початкової температури зерна  $t_{\text{н}}$  до максимальної температури  $t_{\text{max}}$  з наступним відлежуванням його до температури  $t_{\text{min}}$  при виключеному ІЧ-випромінювачі. Перша стадія протікала в дослідах від початкової температури зерна  $t_{\text{н}} = 20^{\circ}\text{C}$  до встановленої максимальної температури  $t_{\text{max}} = 50^{\circ}\text{C}$ ; з наступним відлежуванням до  $t_{\text{min}} = 40^{\circ}\text{C}$ ; після чого здійснювалася друга циклічна стадія – стадія осцилюючого сушіння, кожний цикл якої характеризується двома процесами: процесом нагрівання і процесом відлежування матеріалу, який забезпечує прилад ТРМ202 установленими в ньому уставками  $t_{\text{max}} = 50^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{min}} = 40^{\circ}\text{C}$ .

У ході проведення експерименту при різних умовах (шляхом безперервного зважування матеріалу при сушінні на лабораторній установці УХ 070), знімалися криві сушіння, деякі з них представлені на рисунку 3.2.

Експериментальні дослідження кінетики імпульсного інфрачервоного сушіння насінного матеріалу (рис. 3.2) показали, що сушіння протікає в другому періоді, що характеризуються тим, що швидкість сушіння безупинно убуває в ході процесу.

### 3.2 Вплив висоти підвісу ІЧ-випромінювача на тривалість сушіння насіннєвого зерна

Процес інфрачервоного сушіння зерна залежить від різних параметрів, які можна підрозділити на три групи: I – параметри, що визначають режим термообробки; II – параметри, що визначають стан і властивості матеріалу, що висушується; III – конструктивні параметри сушарки.

Одним з основних конструктивних параметрів, що виявляють вплив на інтенсивність ІЧ-сушіння зерна в дослідах, є висота підвісу випромінювача над матеріалом, що висушується, тому що від неї залежать потік променистої енергії, що падає на шари, і рівномірність його розподілу по поверхні шару.

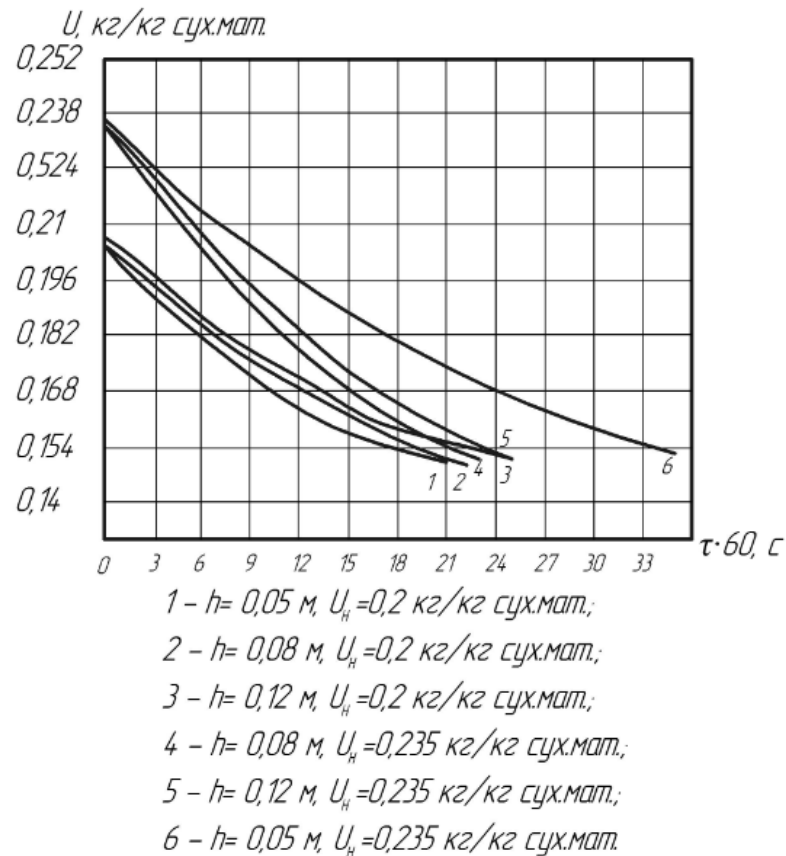


Рисунок 3.2. – Криві осцилюючого ІЧ-сушіння

Інтенсивність терморадіаційного теплопідводу впливає на кінетику взаємозалежних процесів тепло масообміну при ІЧ-сушінню.

Гранично припустима температура нагрівання зерна і рівномірність поля опромінення, яка залежить від щільності падаючого потоку випромінювання, впливають на якісні показники зерна. Регулювання щільності потоку випромінювання, що падає на шар, можна здійснити, змінюючи висоту підвісу ІЧ-лампи [12].

Дослідження із впливу висоти підвісу випромінювача на сушіння насінного зерна проводили із застосуванням ламп ІЧЗК і OSRAM. Перед проведенням експерименту зерно кукурудзи зволожували до вологості 19 %.

Паралельно проводилися експерименти по зняттю кривих ІЧ-сушіння зерна в моношарі при різній висоті підвісу лампи.



Як видно з наведених кривих сушіння (рис. 3.3), тривалість сушіння матеріалу при обмежуючих температурах сушіння: від  $W_n = 19\%$  до  $W_k = 13\%$ ;  $t_{\max} = 50^\circ\text{C}$ ;  $t_{\min} = 40^\circ\text{C}$ ; залежно від висоти  $h$  становить від 21 до 38 хв.

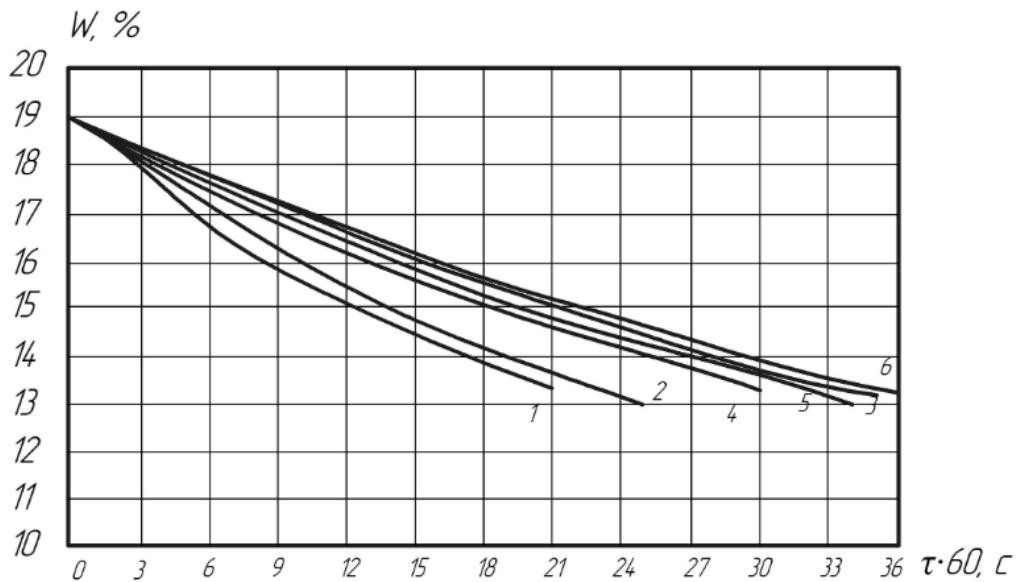


Рисунок 3.3 – Криві сушіння:

- а) лампа OSRAM: 1 – при  $h = 0,08$  м; 2 – при  $h = 0,12$  м; 3 – при  $h = 0,05$  м;  
 б) лампа ІЧЗК: 4 – при  $h = 0,05$  м; 5 – при  $h = 0,08$  м; 6 – при  $h = 0,12$  м

У першому варіанті сушіння (лампа OSRAM) найменший час сушіння склав 21 хв, при висоті підвісу ІЧ-лампи  $h = 0,08$  м. Сушіння кукурудзи по другому варіанту (лампа ІЧЗК) характеризується меншою швидкістю (час сушіння в зазначеному вище діапазоні вологості склав від 32 до 38 хв) залежно від висоти підвісу лампи. При цьому не спостерігалось аномально різкого збільшення часу сушіння як у першому варіанті при висоті підвісу ІЧ-лампи  $h = 0,05$  м. За результатами дослідів були знайдені сумарні значення часу нагрівання, відлежування, сушіння зерна кукурудзи (табл. 3.2).

Таблиця. 3.2 – Залежність часу сушіння від висоти підвісу ІЧ-випромінювачів

Висота підвісу лампи, м	Тип випромінювача					
	Лампа OSRAM			Лампа ІЧЗК		
	Сумарний час, с			Сумарний час, с		
	нагріву	відлежування	загальний час сушіння	нагріву	відлежування	загальний час сушіння
0,05	134	1860	1994	268	1648	1916
0,08	170	1092	1262	330	1748	2078
0,12	262	1224	1486	425	1848	2273

Застосування ламп OSRAM і ІЧЗК із однаковими технічними параметрами показує, що сушіння зерна лампою OSRAM проходить інтенсивніше, ніж лампою ІЧЗК. Це пояснюється кращою відповідністю спектральних характеристик лампи OSRAM матеріалу, що опромінюється.

Отримані дані, представлені в таблиці 3.2, дозволяють зробити висновок: використання лампи OSRAM ефективніше, ніж лампи ІЧЗК із погляду часу сушіння. Найбільшу швидкість сушіння зерна забезпечує висота підвісу лампи OSRAM 0,08 м, якій відповідають 170 с роботи лампи в процесі сушіння. Таким чином, імпульсне ІЧ-сушіння в порівнянні з конвективним сушінням у шахтних зерносушарках (час сушіння якого становить – 40 – 60 хв) при тій же початковій вологості  $W_n = 19\%$ , в 2 – 3 рази скорочує час, витрачений на сушіння зерна. Б.В. Дамман в роботі [47] відзначає, що при імпульсному ІЧ-сушінню для зниження вологості зерна від  $W_n = 22\%$  до  $W_k = 16,5\%$  (тобто при зніманні 5,5 % вологи) при переривчастому опроміненні потрібно: сумарний час нагрівання зерна до 50 °С (час роботи ламп) 17 хвилин (загальний час сушіння становив 35 хвилин). На підставі даних таблиці 3.2, можна зробити висновок, що застосування ПУС дозволяє ще більше скоротити час нагрівання, який залежав від типу лампи, що використовували і висоти її підвісу, становить від 2 до 7, що дає відповідне скорочення споживаної.

### 3.3 Аналіз і практичне застосування отриманих і збережених із застосуванням ПУС даних

Одержувані експериментальні дані по кінетиці нагрівання фіксувалися за допомогою програми OPM у комп'ютері, при цьому вони відображалися на моніторі ПК. Результати одного з дослідів наведені на рисунку. 3.1. Розрахунки часу прогріву фаз, нагрівання і відлежування зерна можна розрахувати на їхній основі за допомогою функції експортування програми OPM, що дозволяє переміщати ці дані в табличний редактор Microsoft Excel. Даний додаток дає можливість розрахувати з точністю до секунди процес нагрівання і відлежування (установка часу зчитування параметрів програмувалися в приладі TPM 202 з точністю до секунди). Отримані в ході експерименту значення часу стадій прогріву, фаз нагрівання і відлежування зерна для лампи OSRAM представлені в таблиці 3.3.

Характеристика процесу ІЧ-сушіння зерна кукурудзи у дослідях (лампа OSRAM:  $W_n = 19\%$ ;  $W_k = 13\%$ ;  $t_{\max} = 50^\circ\text{C}$ ;  $t_{\min} = 40^\circ\text{C}$ ;) )

Таблиця 3.3 – Значення часу стадій прогріву, фаз нагрівання і відлежування зерна для лампи OSRAM

Тип випромінювача	Лампа OSRAM					
	І стадія, с		ІІ стадія, с		Кількість циклів у ІІ стадії, $n$	Скважність імпульсів, $a$
Висота підвісу лампи, м	Нагрів	Відлежування	Нагрів	Відлежування		
0,05	20	93	6	93	19	0,93
0,08	40	78	10	78	13	0,87
0,12	54	72	13	72	16	0,82

За даними, представленим у таблиці 3.2, можна судити про вибір доцільної висоти підвісу ІЧ-випромінювача залежно від часу нагрівання, відлежування і часу сушіння в цілому за даними, наведеним у таблиці 3.3 про структуру циклів

імпульсного ПЧ-сушіння, реалізованих автоматично за допомогою ПУС при різних типах ламп і висоті їх підвісу.

Загальний час сушіння визначається виразом:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = (\tau_{np1} + \tau_{відл1}) + n(\tau_{np1} + \tau_{відл1}), \quad (3.1)$$

де  $\tau_1, \tau_2$  – сумарний час I і II стадій, відповідно, с;

$\tau_{відл1}, \tau_{відл2}$  – час відлежування в циклах I, II стадій, відповідно, с;

$\tau_{np1}$  – час прогріву (I стадія), с;

$\tau_{н2}$  – час нагрівання (I – II стадія), с;

$n$  – кількість циклів для I-II стадії сушіння.

Загальний час роботи лампи (час опромінення зерна при зміні його вологості  $W_n$  до  $W_k$ ), становить:

$$\tau_n = \tau_{np1} + n \cdot \tau_{н2}. \quad (3.2)$$

По рівнянню (3.2) був розрахований час роботи лампи і побудована його залежність  $\tau_n = f(h)$  від висоти підвісу лампи (рис. 3.4), яка, як видно із графіка, має нелінійний характер. У діапазоні  $h = 0,05 - 0,12$  м, вона може бути описана рівнянням:

$$\tau_n = 15714,29h^2 - 842,86h + 136,86 \quad (3.3)$$

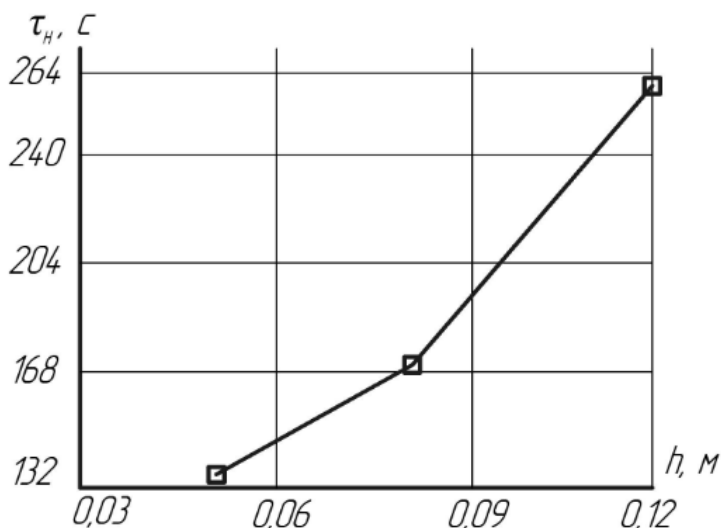


Рисунок 3.4 – Вплив висоти підвісу лампи OSRAM на час роботи лампи  $\tau_{p.l.}$  зерна, що висушується в досліді ( $W_n = 19\%$ ;  $W_k = 13\%$ ;  $t_{max} = 50^\circ C$ ;  $t_{min} = 40^\circ C$ ;

Сумарна шпаруватість імпульсів при ІЧ-сушінні визначається виразом:

$$a = \frac{\tau - \tau_n}{\tau} = 1 - \frac{\tau_n}{\tau} \quad (3.4)$$

Величина  $a$ , розрахована по рівнянню (3.4) наведена в таблиці 3.3.

Шпаруватість імпульсів за час сушіння у виробничих умовах при довгостроковій експлуатації лампи впливає на строк її служби. Як видно з таблиці, зі збільшенням висоти підвісу лампи шпаруватість імпульсів ІЧ-сушіння зменшується.

Отримані в експериментах дані дозволяють вибирати раціональну висоту підвісу ІЧ-випромінювача залежно від сумарних значень часу нагрівання по рівнянню (3.5) і часу сушіння – по рівнянню (3.4). Можливість реалізації обраного осцилюючого режиму в промисловій сушарці може бути забезпечена за допомогою приладів і ПО: ТРМ 202, АСЗ і ОРМ.

### 3.4 Вплив виду підложки і її розташування в сушильній камері на кінетику інфрачервоного сушіння кукурудзи

Були проведені дослідження з вивчення впливу виду підложки і її розташування в сушильній камері на безперервне інфрачервоне сушіння зерна кукурудзи. Дослідження проводили на експериментальній установці РД-230 [10].

Вони полягали в знятті кривих ІЧ-сушіння зерна при безперервному опроміненні шару зерна і при різних видах підложки, у якості яких використовувалися: 1) алюмінієва фольга, розташована на дні сушильної камери (чаші ваг); 2) металева сітка, розташована на висоті 5 мм від дна камери; 3) алюмінієва фольга розташована під металевою сіткою. Металева сітка мала наступні характеристики: діаметр дроту  $d = 0,4$  мм; розмір гнізд  $0,8 \times 0,8$  мм. Початкова вологість матеріалу становила 23,6 %. Зерна в чашці розташовувалися щільним моношаром.

На рисунку 3.5 наведені отримані в досліді криві сушіння. Їхній аналіз показує, що на початку процесу, коли вологість матеріалу зменшується по опуклій кривій, має місце короткочасна стадія прогріву матеріалу. Потім при всіх досліджуваних умовах сушіння, процес протікає в другому періоді (періоді падаючої швидкості сушіння). Наявність сітки суттєво прискорює процес сушіння, що пояснюється зняттям екраніровки зерен днищем чашки. Найбільша швидкість сушіння спостерігається в третьому варіанті підложки (сітка + фольга), тому що в цьому випадку сітка знімає екраніровку зерен, що висушуються, днищем, а алюмінієва фольга забезпечує більший коефіцієнт відбиття променистої енергії від днища чашки.

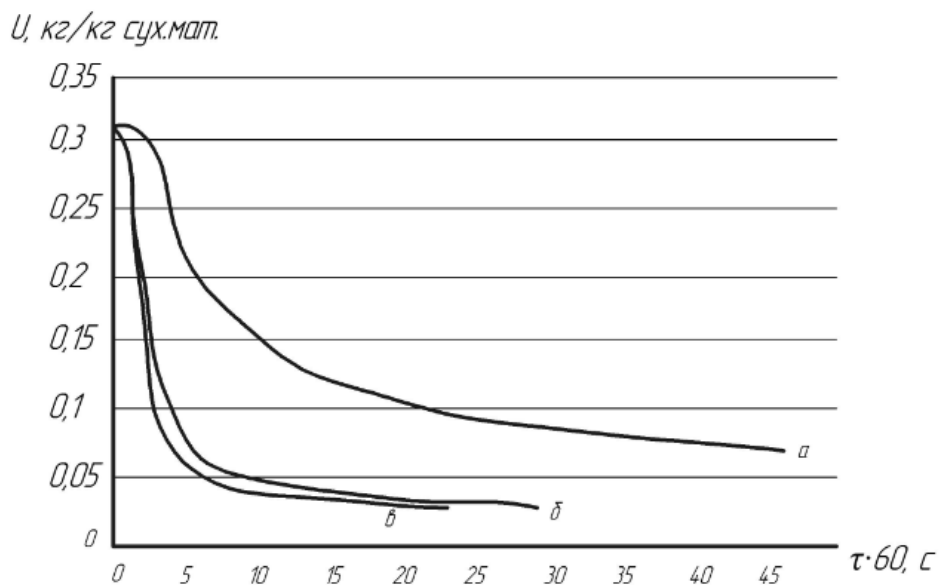


Рисунок 3.5 – Криві ІЧ-сушіння зерна, при різних підложках і температурі матеріалу  $t_m = 115^\circ\text{C}$ :

- а) алюмінієва фольга розташована на дні сушильної чашки; б) металева сітка;  
в) металева сітка + алюмінієва фольга

Як видно із кривих сушіння, тривалість безперервного ІЧ-сушіння матеріалу при температурі  $t_m = 115^\circ\text{C}$  від  $U_n = 0,31$  кг/(кг сух. м-лу) до  $U_k = 0,027$  кг/(кг сух. м-лу) становить від 21 до 44 хв. У першому варіанті сушіння (підложка – алюмінієва фольга, розташована на дні сушильної чашки) час сушіння кукурудзи склав 44 хв, а у варіанті з використанням у якості підложки металевої сітки на висоті 5 мм від дна чашки час сушіння скоротився до 29 хв. Як у першому, так і другому варіантах сушіння не спостерігалось зміною властивостей зерна, але був присутній специфічний запах.

Сушіння зерна кукурудзи по третьому варіанту (металева сітка і алюмінієва фольга) характеризується найбільшою швидкістю (час сушіння в зазначеному вище діапазоні вологовмісту склав 23 хв) у порівнянні із двома першими варіантами. Однак при цьому виді підложки спостерігалось потемніння і спучування окремих зерен, що робить цей варіант сушіння при температурі матеріалу  $115^\circ\text{C}$  неприйнятним для практики.

Проведені дослідження дають підставу вважати, що і при осцилюючому режимі сушіння зерна в моношарі із застосуванням ПУС наявність підложки типу «металева сітка» або «металева сітка + фольга» буде приводити до істотної інтенсифікації процесу.

Ці експерименти показали, що в промисловій сушарці зерно доцільно сушити на металевій сітці, екранованій знизу алюмінієм.

### 3.5 Експериментальні дослідження енергетичного поля лампи OSRAM (sicca i-250)

Для обґрунтування вибору відстані між лампами в промисловій ІЧ-сушарці нами [8], були проведені виміри розподілу енергетичної освітленості на різних відстанях від лампи. Ці експерименти були проведені нами на лабораторному стенді, їхні результати представлено на рисунку 3.6.

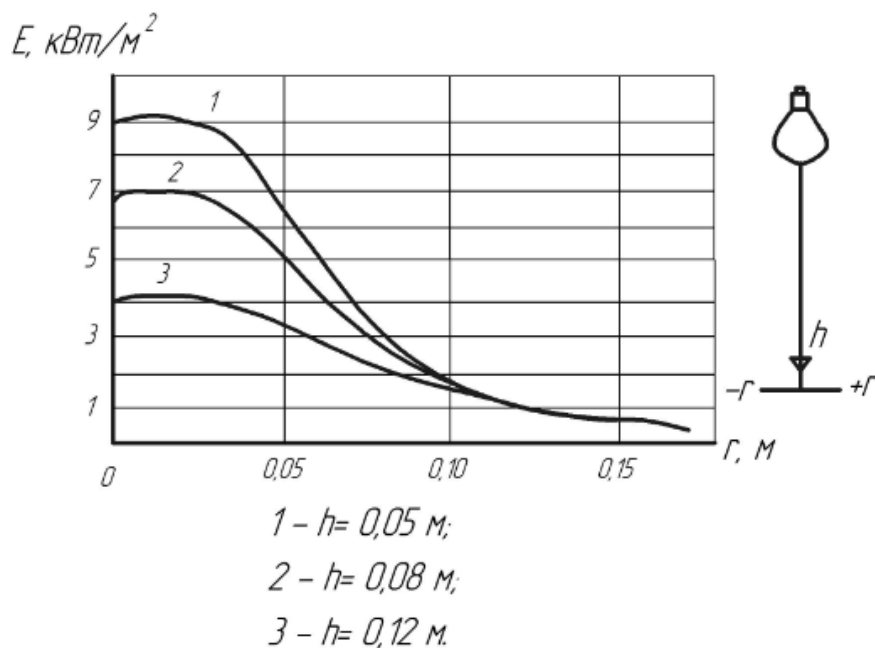


Рисунок 3.6 – Опромінення поверхні залежно від відстані від лампи OSRAM sicca i-250 ( $r$  – відстань від осі лампи)



Виміри енергетичної освітленості проводили за допомогою теплоприймача сумарного теплового потоку ФОА 020 атестованого відповідно до ГОСТ 8.195-89 [41].

Отримані експериментальні дані дозволяють вибрати раціональну висоту підвісу ІЧ-випромінювача залежно від часу нагрівання, відлежування і часу сушіння в цілому.

### Висновки за розділом

У результаті експериментальних досліджень кінетики імпульсного ІЧ-сушіння щільного моношару кукурудзи встановлено, що час сушіння при  $t_{\max} = 50^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\min} = 40^{\circ}\text{C}$ ; становить 21 – 38 хв, залежно від типу лампи і висоти її підвісу.

Дослідження імпульсних режимів ІЧ-опромінення показало доцільність їх застосування, тому що в 2 – 3 рази скорочується тривалість сушіння в порівнянні з конвективним сушінням. Найкращий результат, при якому загальний час сушіння і сумарний час нагрівання матеріалу в процесі мінімальні, досягається при використанні в якості випромінювача лампи OSRAM і висоті її підвісу над матеріалом, що висушується, при  $h = 0,08$  м; час сушіння при цьому від  $W_n = 19\%$ ; до кінцевої  $W_k = 13\%$ ; і вищевказаних обмежуючих температурах становить 21 хв.

Використання імпульсного режиму скорочує споживання енергії, у порівнянні з конвективним сушінням внаслідок відсутності при ІЧ-сушінні втрат енергії з відпрацьованим сушильним агентом, який має місце при конвективному сушінні. Так при зміні вологості зерна від  $W_n = 19\%$ ; до  $W_k = 13\%$ ; сумарний час роботи лампи становить 2 – 7 хв, при температурах нагрівання зерна від 40 до 50  $^{\circ}\text{C}$ .

Експериментально показано, що сумарний час нагрівання зерна в умовах осцилюючого сушіння при  $t_{\max} = 50^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\min} = 40^{\circ}\text{C}$ ;  $W_n = 19\%$ ;  $W_k = 13\%$ ; становить

20 – 54 с, тривалість стадії нагрівання в циклі становить від 6 до 13 с, а тривалість однієї стадії відлежування в циклі від 72 до 93 – залежно від умов сушіння.

Дослідженнями з безперервного ІЧ-сушіння зерна з різними видами підложки встановило, що використання як підложки металевої сітки на рівні 5 мм від днища сушильної камери, покритим алюмінієвою фольгою вдвічі скорочує тривалість сушіння в порівнянні з варіантом без сітки, і без покриття днища фольгою, при цьому не приводить до видимих змін якості продукту.

## 4 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ІЧ-СУШІННЯ НАСІННЕВОГО ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОМИСЛОВОЇ СУШАРКИ

### 4.1 Вплив температури нагрівання зерна при імпульсному інфрачервоному сушінні на його насінневі якості

В окремі роки майже все зерно, що надходить у заготівельну мережу, вимагає негайного сушіння.

На технологічні властивості зерна при сушінні основний вплив виявляють температура його нагрівання, тривалість витримки при цій температурі та швидкість сушіння. Технологічні властивості можуть погіршуватися: у пшениці - внаслідок денатурації білків клейковини, у круп'яних культур – через появу нелущених зернин і зниження міцності ядра. При особливо твердих режимах сушіння може з'явитися так зване «загартовування» зерна. У результаті чого воно повністю втрачає здатність реагувати на зволоження.

Для насінневого зерна основним критерієм служить збереження посівних якостей. Як вказує Г.А. Єгоров, при правильному веденні процесу можна підвищити посівні якості насіння у результаті активації біологічної системи зерна [22].

В представленій літературі та описаних у першому розділі експериментальних даних в оптимальних режимах імпульсного ІЧ-сушіння обертає на себе увагу суперечливість даних максимально припустима температура нагрівання зерна при інфрачервоному сушінні від 35 до 60 °С.

Так за даними [40] при безперервному сушінні та температурі матеріалу 60 °С відбувається повна втрата схожості насіння кукурудзи (вологість кукурудзи становила 20 %), Б.В. Дамман же вказує на можливість сушіння при імпульсному режимі та температурі матеріалу 55 – 60 °С кукурудзи насінневого і продовольчого призначення. У своїй роботі з імпульсного сушіння І.Ф. Пятков і В.А. Гриц визначають, що при сушінні насіння кукурудзи інфрачервоними

променями, оптимальною з погляду збереження насінневих якостей, є температура нагрівання їх до 35 – 45 °С.

При рециркуляційному конвективному сушінню зерно переносить більш високу температуру, ніж в прямоточних шахтних зерносушарках. Так, при вологості 17,5 % без погіршення посівних якостей його можна нагрівати до температури 54 °С, а при вологості 29,5 % тільки до 45 °С [25].

За даними [21] насіння кукурудзи вологістю 11,2 % практично зберігали схожість при безперервному нагріванні аж до 65 °С. Температура 80 °С, також не була критичною, схожість залишалася допустима за ДСТУ, тобто, терmostійкість насіння суттєво підвищується при зниженні вологості.

Як описано вище, існують рекомендації із припустимої температури нагрівання зерна кукурудзи при сушінні, однак дані різних авторів суперечливі. Різниця значень у припустимої температурі нагрівання зерна досягає 20 °С, що швидше за все пояснюється відмінностями в умовах постановки експерименту, різними умовами моделювання виробничого процесу та різними дослідженими сортами зерна.

Що стосується тривалості впливу певної температури на зерно, отримані дані [22] показали, що час перебування зерна при певній температурі позначається на насінневих якостях зерна в набагато меншому ступені, ніж незначне підвищення температури вище граничної.

З деяких робіт із впливу на насінні якості зерна інфрачервоного нагрівання можна зробити висновок, що дане питання однозначно не зрозуміле та вимагає подальшого розгляду.

З метою обґрунтування вибору значень  $t_{\max}$   $t_{\min}$  при імпульсному ІЧ-сушінню були проведені розглянуті нижче експериментальні дослідження з перевіркою висушеного зерна на схожість і енергію проростання.

При проведенні експериментів змінювались наступні параметри: вихідна вологість матеріалу, що висушується; максимальна температура нагрівання матеріалу; мінімальна температура охолодження матеріалу.

Аналіз на схожість і енергію проростання проводився відповідно ГОСТ у 4 кратній повторності.

Результати цих досліджень наведено в таблиці 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.1 – Вплив температури нагрівання кукурудзи на її насіннєві якості при  $W_n = 21\%$ ;  $W_k = 13\%$  ;

Зразок	Сорт	$W_n, \%$	$h, \text{м}$	$t_{\min}, ^\circ\text{C}$	$t_{\max}, ^\circ\text{C}$	Енергія проростання, %	Схожість, %
Контроль	Кукурудза	21	-	-	-	89,0	93,2
1			0,05	45	50	87,0	91,3
2			0,08	45	50	77,0	88,0
3			0,05	40	50	58,6	76,8
4			0,08	40	50	82,8	90,5
5			0,05	50	50	26,0	45,0
6			0,08	50	50	21,0	34,0

Таблиця 4.2 – Вплив температури нагрівання кукурудзи на її насіннєві якості  $W_n = 17\%$ ;  $W_k = 13\%$  ;

Зразок	Сорт	$W_n, \%$	$h, \text{м}$	$t_{\min}, ^\circ\text{C}$	$t_{\max}, ^\circ\text{C}$	Енергія проростання, %	Схожість, %
Контроль	Кукурудза	17	-	-	-	84,0	94,7
1			0,05	35	45	82,0	94,3
2			0,08	35	45	87,5	92,5
3			0,05	40	50	71,5	91,2
4			0,08	40	50	92,3	93,0
5			0,05	50	60	80,5	92,3
6			0,08	50	60	79,5	94,1

Як видно з таблиці 4.1, енергія проростання та схожість кукурудзи, висушеної при імпульсному ІЧ-енергопідводі від  $W_n = 19\%$ ; до  $W_k = 13\%$  при  $t_{\max} = 50^\circ\text{C}$ ; і  $t_{\min} = 40^\circ\text{C}$ ; перебувають у межах, допустимих ДСТУ (насіння схожістю вище 87 % може бути використане, як насіннєве зерно, нижче – товарне), за винятком варіанта сушіння при висоті підвісу лампи  $h = 0,05 \text{ м}$ . Різке зниження енергії проростання відбувається при максимальній температурі сушіння  $t_{\max} = 60^\circ\text{C}$ ;

Трохи інші дані отримані при іншій початковій вологості зерна 17 % (табл. 4.2). Енергія проростання при змінній температурі зерна в процесі сушіння від  $t_{\min} = 40^{\circ}\text{C}$ ; до  $t_{\max} = 50^{\circ}\text{C}$ ; при  $h = 0,08\text{м}$ , а також при зміні температури від  $t_{\min} = 35^{\circ}\text{C}$ ; до  $t_{\max} = 45^{\circ}\text{C}$ ; перевершують контрольне значення (зерно, висушене при кімнатній температурі  $t = 20^{\circ}\text{C}$ ;). Характерним є те, що зі зменшенням початкової вологості кукурудзи, яка висушується, збільшилася енергія проростання та схожість. У такий спосіб за певних умов імпульсне ІЧ-сушіння може призводити до збільшення енергії проростання зерна, тобто до поліпшення його кондиційних властивостей як насінневого матеріалу.

Отримані експериментальні дані показують, що раціональним режимом для сушіння насінневого матеріалу є висота підвісу  $h = 0,08\text{м}$  при осцилюючому температурному режимі нагрівання від  $t_{\min} = 40^{\circ}\text{C}$ ; до  $t_{\max} = 50^{\circ}\text{C}$ ; при якому енергія проростання та схожість залишаються відповідно ДСТУ у допустимих межах.

#### 4.2 Обґрунтування вибору розташування ІЧ-випромінювачів у камері сушильної установки

Розглянемо поля енергетичного опромінення (ПЕО) для установки із плоским сітчастим транспортером, призначеним для імпульсного ІЧ-сушіння насінного матеріалу. Схеми для розрахунків ПЕО безпосередньо від випромінювачів залежно від розташування в сушильній камері представлені на рисунках. 4.1, 4.2.

Рівномірне поле опромінення можна одержати, варіюючи наступними величинами: висотою розташування випромінювача над матеріалом, що висушуються  $h$ , кроком між випромінювачами  $S$ .

У результаті проведеного комп'ютерного моделювання опромінення поверхні групою ламп із використанням залежностей, було встановлено, що найбільш ефективним є розташування ІЧ-випромінювачів у шаховому порядку

при кроці між лампами  $S = 0,17$  м. При даному розташуванні ламп середнє значення опромінення матеріалу близько розрахованому за рівнянням значенню  $E_{cp}^* = 6,53$  кВт/м<sup>2</sup> для раціональної висоти підвісу ІЧ-лампи  $h = 0,08$  м і становить  $E_{cp}^* = 6,43$  кВт/м<sup>2</sup> (дані розрахунки представлено в таблиці 4.3).

Однією з основних умов якісного сушіння насінного зерна в ІЧ-установці є рівномірність ПЕО або його припустима нерівномірність. Як зазначено в [91], оцінку нерівномірності ПЕО доцільно проводити по наступній формулі:

$$\delta = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{cp}} \quad (4.1)$$

де  $\delta$  – нерівномірність ПЕО;

$E_{\max}$  – максимальне значення ПЕО;

$E_{\min}$  – мінімальне значення ПЕО.

Аналіз отриманих даних показує, що абсолютно рівномірне поле опромінення поверхні групою ламп одержати дуже важко. Тому для практичних розрахунків необхідно задатися величиною відносної нерівномірності ПЕО  $\delta$ . Варіюючи крок між лампами, можна досягти необхідного середнього опромінення поверхні при припустимій нерівномірності опромінення. Проведені розрахунки дали наступні значення середнього опромінення поверхні залежно від схеми розташування випромінювачів і кроку між ними (табл. 4.3) для різного розташування ламп над матеріалом, що висушується.

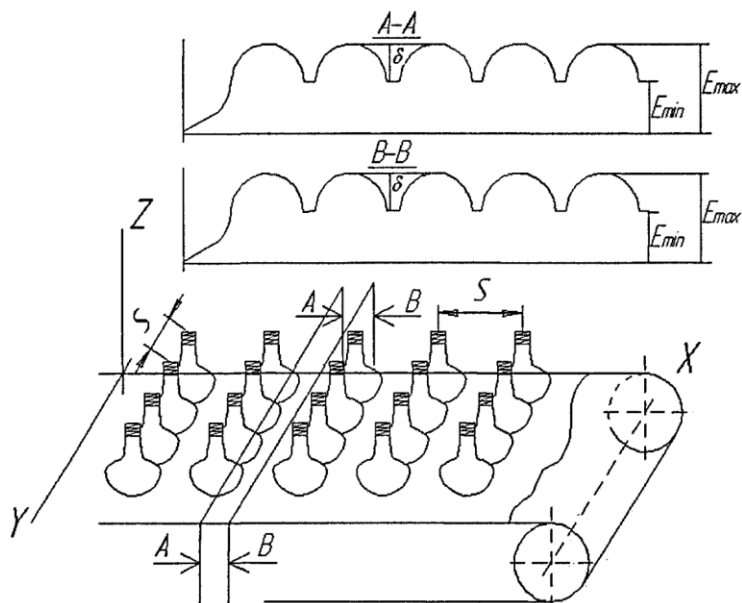


Рисунок 4.1 – Схема до розрахунку нерівномірності ПЕО на поверхні матеріалу, що опромінюється від блоків дзеркальних ІЧ-випромінювачів при їх лінійному розташуванні; А-А, В-В – переріз для розрахунку поперечної нерівномірності ПЕО на поверхні матеріалу від блоків дзеркальних ІЧ-випромінювачів

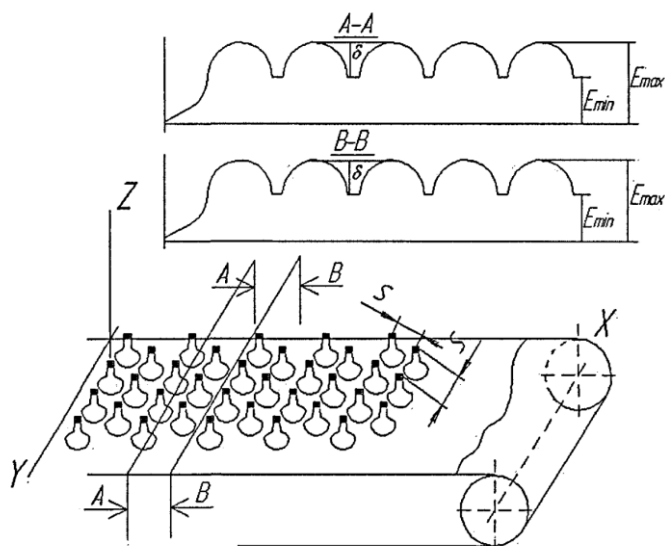


Рисунок 4.2 – Схема до розрахунку нерівномірності ПЕО на поверхні матеріалу від блоків дзеркальних ІЧ-випромінювачів при їх шаховому розташуванні: А-А, В-В – переріз для розрахунку поперечної нерівномірності ПЕО на поверхні матеріалу від блоків дзеркальних ІЧ-випромінювачів



Таблиця 4.3 – ПЕО залежно від кроку і схеми розташування випромінювачів (лампа OSRAM,  $h = 0,08$ )

Розташування випромінювачів	$E_{cp}^*$ , кВт/м <sup>2</sup>		
	$S = 0,16$ м	$S = 0,17$ м	$S = 0,18$ м
Лінійне	6,04	5,58	4,89
Шахове	6,98	6,43	5,73

Наведені дані комп'ютерного моделювання ПЕО дозволяють обґрунтовано вибрати розташування ламп у сушарці, а також провести відповідний аналіз габаритів сушарки. Раціональним їхнім розташуванням, згідно із проведеним аналізом (табл. 4.3, є шахове, з відстанню між лампами  $S = 0,17$  м). Обраній відстані  $S$  відповідає розташування ламп по вершинах рівностороннього трикутника (рисунок 4.3).

На рисунку 4.3 представлена схема розташування ламп при знайденій раціональній відстані  $S = 0,17$  м по краях рівностороннього трикутника, якому відповідає крок  $S_1$ , між рядами ламп у сушарці, рівні  $S_1 = 5 \cos 30^\circ = 147$  мм;  $S_2 = \frac{S}{2} = 85$  мм. Відстань крайніх ламп від бортів сушарки приймемо рівним 127 мм.

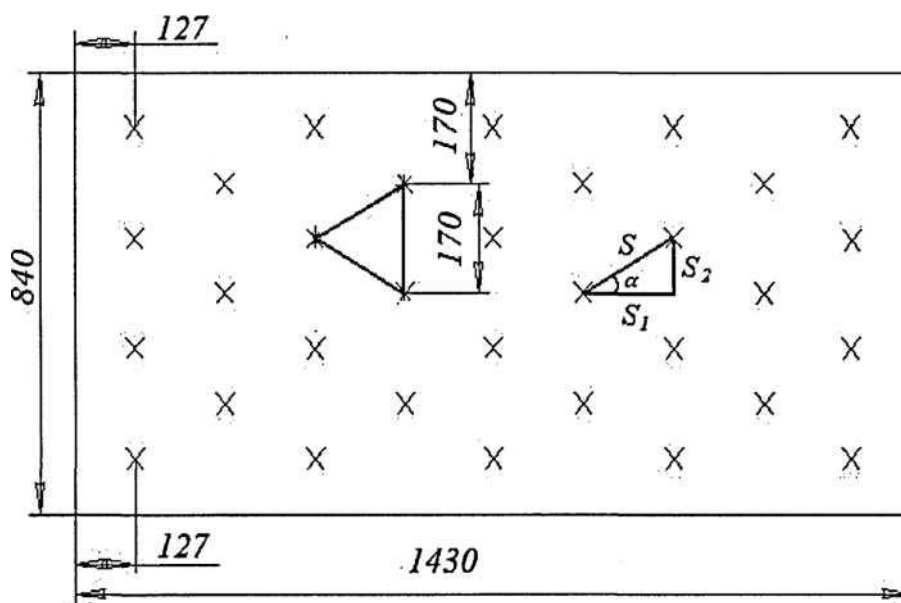


Рисунок 4.3 – Схема розташування ламп у шаховому порядку із кроком  $S = 0,17$  м

## Висновки за розділом

Рекомендованими параметрами ІЧ-сушіння насінневого зерна лампами OSRAM на підставі проведених експериментальних досліджень слід вважати: висоту підвісу ІЧ-випромінювача при сушінні насінневого зерна  $h = 0,08\text{ м}$ ;  $t_{\min} = 40^{\circ}\text{C}$ ; до  $t_{\max} = 50^{\circ}\text{C}$ ; при середньому енергетичному опроміненні, рівною  $E_{cp}^* = 6,5 \text{ кВт/м}$ , тому що цей режим поряд з інтенсивним сушінням, забезпечує високі значення енергії проростання та схожості, що задовольняють вимогам ДСТУ.

Показано, що вплив ІЧ-променів на сушіння насінневого зерна пшениці при рекомендованому режимі сушіння призводить до поліпшення його кондиційних властивостей.

Методом комп'ютерного моделювання поля опромінення поверхні від групи ламп OSRAM (sicca і 250), з використанням отриманих дослідних даних показано, що раціональним є розташування ламп у промисловій сушарці в шаховому порядку.

Раціональною відстанню між лампами, при якій досягається найбільша рівномірність енергетичного опромінення поверхні матеріалу, що висушується, є  $S = 0,17 \text{ м}$ , при якій середнє енергетичне опромінення рівне  $E_{cp}^* = 6,43 \text{ кВт/м}^2$ .

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5.1 Розробка карти безпеки праці

Для забезпечення безпечних умов праці під час виконання завдань на лінії обробки насінневого зерна кукурудзи, ми розробили карту безпеки праці (див. Рис. 5.1), на якій представлені характеристики та вимоги до роботи оператора теплової обробки насінневого зерна кукурудзи.




Товариство з обмеженою відповідальністю «Сингента» 	
<p><b>1. Загальна інформація</b> Посада: оператор лінії теплової обробки насінневого зерна кукурудзи Тривалість робочого часу: 1 зміна. 7:00-18:30. Проходження медогляду: 1 раз на рік Проходження вторинного інструктажу з ОП – 1 раз на 6 міс. Термін дії картки: 08.06.2028 року, за умови не введення змін у хід технологічного процесу.</p>	<p><b>2. Забезпечення одягом та ЗІЗ</b> Головний убір – 1 раз на рік Черевики шкіряні на жаростійкій підшві – 1 раз на 6 міс. Нарукавники бавовняні – 1 раз на 3 міс. Рукавиці трикотажні – до зносу Респіратор – до зносу Навушники протишумові – до зносу Захисні окуляри – до зносу</p>
<p><b>3. Вимоги перед початком роботи</b> Робітник повинен оглянути і надіти спецодяг. Робітник повинен підготувати робочу зону для безпечної роботи Про виявлені при огляді порушення і недоліки доповісти безпосередньому керівнику і до їх усунення до роботи не приступати.</p>	<p><b>4. Вимоги під час роботи</b> Робітник зобов'язаний виконувати тільки ту роботу, по якій пройшов навчання і до якої допущений. Забороняється доручати свою роботу ненавченим і стороннім особам. Робітник повинен застосовувати необхідні для безпечної роботи справне устаткування, інструмент, пристосування.</p>
<p><b>5. Вимоги охорони праці при закінченні роботи</b> Після закінчення роботи привести в порядок робоче місце, інструменти, пристосування прибрати у відведене місце. Зняти і здати на збереження спецодяг та інші засоби захисту. Виконати правила особистої гігієни. Повідомити керівнику і змінника про всі порушення і зауваження, виявлених в процесі роботи.</p>	<p><b>6. Вимоги охорони праці в надзвичайних ситуаціях</b> При виникненні ситуацій, які можуть привести до аварій і нещасних випадків, слід негайно: - припинити всі роботи; - відключити використовуване обладнання; - доповісти керівнику робіт. При отриманні травми, отруєння або раптового захворюванні потерпілому повинна бути надана перша (долікарська) допомога</p>
<b>Контакти служб екстреної допомоги</b>	
	

Рисунок 5.1 – Карта безпеки праці оператора лінії з теплової обробки насінневого зерна кукурудзи

## 5.2 Утилізація відходів виробництва

На досліджуваному підприємстві існує чіткий план утилізації відходів, який враховує всі етапи виробництва та різновиди відходів, що утворюються: починаючи від відходів сировини, через відходи від сепарування зерна кукурудзи, і закінчуючи відходами від контролю готової продукції.

Ці відходи вимагають ефективного управління та обробки для зменшення негативного впливу на природне середовище та забезпечення відповідності екологічним стандартам. Компанія "Сингента" використовує спеціальні технології та процеси з метою мінімізації відходів та їх подальшої утилізації або переробки.

Ефективне управління включає в себе заходи щодо зменшення утворення відходів. Завод систематично вдосконалює та впроваджує ефективні технології та процеси з метою зниження обсягу утворених відходів.

Компанія "Сингента" систематично виконує моніторинг процесу утилізації відходів, контролює обсяги, методи та ефективність цього процесу. Регулярна оцінка допомагає виявляти можливі проблеми та вносити необхідні корективи в систему управління.

Усі працівники підприємства періодично проходять навчання з правильної обробки відходів та усвідомлюють її важливість. Здійснене навчання та відповідальне ставлення персоналу сприяють ефективному управлінню процесом утилізації відходів. Такий підхід до управління утилізацією відходів на заводі сприяє досягненню сталості, відповідності екологічним стандартам та оптимізації виробничого процесу.

### Висновки за розділом

В даному розділі кваліфікаційної роботи було розроблено карту безпеки праці оператора лінії з теплової обробки насіннєвого зерна кукурудзи та визначено шляхи утилізації відходів виробництва на ТОВ «Сингента».

## 6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1 Організація проведення дослідження

Проведення економічних розрахунків з метою обґрунтування ефективності виконаних досліджень спрямовано на оцінку отриманих результатів та доцільність проекту, який обґрунтовує процес інфрачервоного сушіння насіннєвого зерна кукурудзи. Основні цілі цього проекту - прискорення післязбирального дозрівання, покращення стійкості при зберіганні і підвищення технологічних та насіннєвих властивостей.

В ході проведення досліджень, найбільш затратними елементами бюджету будуть витрати на організацію досліджень, зокрема на придбання сушарки з інфрачервоним опроміненням, витрати на дослідні зразки насіннєвого зерна кукурудзи, витрати на електроенергію та оплату праці працівників. Перелік робіт, які передбачається виконати в процесі проведення дослідження з визначення впливу параметрів процесу та режимів роботи сушарки, наведено у таблиці 6.1..

Відповідно плану проведення дослідження, розробляється сітьовий графік — графічна модель, яка ілюструє майбутню діяльність або процес у вигляді послідовних етапів і дозволяє за допомогою розрахунків визначити оптимальний варіант її виконання. Під час реалізації, сітьовий графік надає можливість оперативного контролю за ходом виконання робіт (див. рис. 6.1).).

Таблиця 6.1 – План проведення дослідження

Шифр робіт $i-j$	Найменування робіт	Тривалість робіт $t_{ij}$ , днів
1	2	3
1-2	Обґрунтування вибраного напрямку досліджень	3
2-3	Літературний пошук	15
3-4	Розробка послідовності виконання дослідів	3
4-5	Розробка методик проведення досліджень	4
5-6	Підготовка дослідних зразків насіннєвого зерна кукурудзи	2
6-7	Підготовка устаткування для проведення досліджень	25
7-8	Визначення впливу висоти підвісу ІЧ випромінювача на час сушки насіннєвого зерна	1

## Продовження таблиці 6.1

1	2	3
7-9	Визначення впливу виду підкладки та її розташування в сушильній камері на ефективність процесу сушки	3
7-10	Визначення впливу температури нагріву зерна на його насінневі якості	8
8-11	Обробка матеріалів експериментальних досліджень	1
9-11		1
10-11		3
11-12	Підготовка матеріалу до публікації	5
12-13	Формування демонстраційного матеріалу	4

На рисунку 6.1 приведено сітьовий графік, який повністю описує хід наукової роботи.

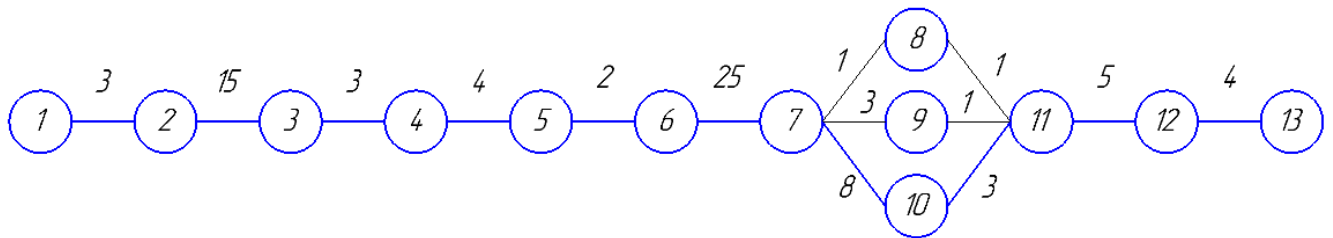


Рисунок 6.1 – Сітьовий графік проведення науково-дослідної роботи

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

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-8-11-12-13}^1 = 3 + 15 + 3 + 4 + 2 + 25 + 1 + 1 + 5 + 4 = 63;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-9-11-12-13}^2 = 3 + 15 + 3 + 4 + 2 + 25 + 3 + 1 + 5 + 4 = 65;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-10-11-12-13}^3 = 3 + 15 + 3 + 4 + 2 + 25 + 8 + 3 + 5 + 4 = 72;$$

Шлях, який має максимальну тривалість називають критичним. Критичним є третій шлях з тривалістю в 72 дні.

## 6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження

Витрати на основні та побічні матеріали розраховують за формулою:

$$M = \sum m_i \cdot C_i, \quad (6.1)$$

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

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

Результати розрахунку витрат на матеріали наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Необхідна кількість основних матеріалів та їх вартість

Найменування, одиниці	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Насіннєве зерно кукурудзи, кг	50	23,5	1175,00
Всього			1175,00

Результати розрахунку витрат на заробітну плату наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Посада	Середньомісячний заробіток, грн	Середньочасовий заробіток, грн	Кількість людино-годин	Сума, грн
Дипломний керівник	8000	47,62	20	952,40
Всього				952,40

Нарахування на заробітну плату складають:

$$H = \frac{952,40 \cdot 22}{100} = 209,53 \text{ грн.}$$

Затрати на витрачену електроенергію визначають за формулою:

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a, \quad (6.2)$$

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 енергопідвід до ІЧ-сушарки складають:

$$E_{суш} = 1,7 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 1,68 = 82,25 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на роботу персонального комп'ютера:

$$E_{нк} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 1,68 = 32,66 \text{ грн.}$$

Загальні витрати електроенергії складуть:

$$E_{заг} = E_{суш} + E_{нк} = 82,25 + 32,66 = 114,91 \text{ грн.}$$

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

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 12}, \quad (6.3)$$

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. 6.3.



Таблиця 6.3 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Тривалість роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
ІЧ сушарка	1780,00	20	4	3,90
Персональний комп'ютер	9800,5	20	4	21,48
Всього				25,38

Накладні витрати становлять:

$$\frac{(952,40 \cdot 80)}{100} = 761,92 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на проведення дослідження наведений в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн.
Основні матеріали	1175,00
Заробітна плата	952,40
Нарахування на заробітну плату	209,53
Електроенергія	114,91
Амортизація	25,38
Накладні витрати	761,92
Всього	3240,14

Аналіз показав, що на першому місці стоять витрати на основні матеріали та витрати на заробітну плату.

### 6.3 Розрахунок вартості дослідження

Ціну визначаємо на основі витрат на дослідження і рентабельності:

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (6.4)$$

де  $Ц$  – вартість дослідження, грн;

$C$  – витрати на дослідження, грн;

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

$$Ц = 3240,14 + \frac{30 \cdot 3240,14}{100} = 4212,18 \text{ грн.}$$

Витрати на проведені дослідження становлять 4212,18 грн.

Висновки за розділом

Найбільшими статтями витрат під час проведення дослідження є витрати на основні матеріали та витрати на заробітну плату, які складають 1175,00 грн та 952,40 грн. Вартість проведеного дослідження становить 4212,18 грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Встановлено, що одним із перспективних способів сушіння насінневого зерна є сушіння інфрачервоними променями із застосуванням імпульсного режиму. У результаті чого скорочуються енерговитрати і збільшується ефективність сушіння, поліпшуються насінневі, смакові якості зерна, запах та колір.

У результаті експериментальних досліджень кінетики імпульсного ІЧ-сушіння щільного моношару кукурудзи встановлено, що час сушіння при  $t_{\max} = 50^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\min} = 40^{\circ}\text{C}$ ; становить 21 – 38 хв, залежно від типу лампи і висоти її підвісу.

Дослідження імпульсних режимів ІЧ-опромінення показало доцільність їх застосування, тому що в 2 – 3 рази скорочується тривалість сушіння в порівнянні з конвективним сушінням. Найкращий результат, при якому загальний час сушіння і сумарний час нагрівання матеріалу в процесі мінімальні, досягається при використанні в якості випромінювача лампи OSRAM і висоті її підвісу над матеріалом, що висушується, при  $h = 0,08$  м; час сушіння при цьому від  $W_n = 19\%$ ; до кінцевої  $W_k = 13\%$ ; і вищевказаних обмежуючих температурах становить 21 хв.

Доведено, що використання імпульсного режиму скорочує споживання енергії, у порівнянні з конвективним сушінням внаслідок відсутності при ІЧ-сушінні втрат енергії з відпрацьованим сушильним агентом, який має місце при конвективному сушінні. Так при зміні вологості зерна від  $W_n = 19\%$ ; до  $W_k = 13\%$ ; сумарний час роботи лампи становить 2 – 7 хв, при температурах нагрівання зерна від 40 до 50  $^{\circ}\text{C}$ .

Експериментально показано, що сумарний час нагрівання зерна в умовах осцилюючого сушіння при  $t_{\max} = 50^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\min} = 40^{\circ}\text{C}$ ;  $W_n = 19\%$ ;  $W_k = 13\%$ ; становить 20 – 54 с, тривалість стадії нагрівання в циклі становить від 6 до 13 с, а тривалість однієї стадії відлежування в циклі від 72 до 93 – залежно від умов сушіння.

Дослідженнями з безперервного ІЧ-сушіння зерна з різними видами підложки встановлено, що використання як підложки металевої сітки на рівні 5 мм від днища сушильної камери, покритим алюмінієвою фольгою вдвічі скорочує тривалість сушіння в порівнянні з варіантом без сітки, і без покриття днища фольгою, при цьому не приводить до видимих змін якості продукту.

Експериментально доведено, що рекомендованими параметрами ІЧ-сушіння насінневого зерна лампами OSRAM слід вважати: висоту підвісу ІЧ-випромінювача при сушінні насінневого зерна  $h = 0,08\text{ м}$ ;  $t_{\min} = 40^{\circ}\text{C}$ ; до  $t_{\max} = 50^{\circ}\text{C}$ ; при середньому енергетичному опроміненні, рівною  $E_{cp}^* = 6,5\text{ кВт/м}$ , тому що цей режим поряд з інтенсивним сушінням, забезпечує високі значення енергії проростання та схожості, що задовольняють вимогам ДСТУ.

Показано, що вплив ІЧ-променів на сушіння насінневого зерна пшениці при рекомендованому режимі сушіння призводить до поліпшення його кондиційних властивостей.

Методом комп'ютерного моделювання поля опромінення поверхні від групи ламп OSRAM (sicca і 250), з використанням отриманих дослідних даних показано, що раціональним є розташування ламп у промисловій сушарці в шаховому порядку.

Раціональною відстанню між лампами, при якій досягається найбільша рівномірність енергетичного опромінення поверхні матеріалу, що висушується, є  $S = 0,17\text{ м}$ , при якій середнє енергетичне опромінення рівне  $E_{cp}^* = 6,43\text{ кВт/м}^2$ .

Встановлено, що найбільшими статтями витрат під час проведення дослідження є витрати на основні матеріали та витрати на заробітну плату, які складають 1175,00 грн та 952,40 грн. Загалом, з урахуванням 30 % нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 4212,18 грн.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Подпряттов Г.І., Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник. К. : Аграрна освіта, 2014. 393 с.
2. Технологія зберігання і переробки зерна : навч. посіб. /Л.М. Пузік, В.К. Пузік; Харк. нац. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. – Х.: ХНАУ, 2013. 312с
3. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції: курс лекцій / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк, О.П. Цьонь. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 288с.
4. Правила охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна. Київ: Мін.Соц.Політики. 2017. 74 с.
5. Кукурудза. Технічні умови: ДСТУ 4525: 2006. – [Чинний від 2007-24-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. 18с. – (Національний стандарт України).
6. Станкевич Г.М. Сушіння зерна: навч. посіб. / Г. М. Станкевич, Т. В. Страхова, В. І. Атаназевич – Київ: Либідь, 1997. – 352 с.
7. Осокіна Н.М., Герасимчук О.П., Матвієнко Н.П. Технологія зберігання та переробки зерна: книга. ТОВ «Книга-плюс», 2012. 320 с.Управління якістю: навч. посіб. 2-е вид. / Д.П. Лойко, О.П. Вотченікова, О.П. Удовіченко, М.А. Котляр. Львів: «Магнолія – 2006», 2010. 240 с.
8. Гандзюк М. П. Основи охорони праці: підручник / М. П. Гандзюк, Е. П. Желібо, М. О. Халимовський. – К.: Каравела, 2005. – 393 с.
9. Маковецька Ю. Сучасне керування відходами відповідно до принципів циркулярної економіки. Посібник курсу ZWA deer level, 2021. 140 с. Режим доступу: <https://zerowastekharkiv.org.ua/wp-content/uploads/2021/12/posybnic- lekciye-book-5.pdf>.
10. Відходи та безвідходне виробництво в харчовій промисловості : наук.- допом. бібліогр. покажч. двома мовами 1956 – 2020 рр. / [упоряд. І. М. Мельничук]; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2021. 110 с. Режим доступу:

[http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/34268/1/Waste\\_and\\_waste-free\\_production\\_in\\_the\\_food\\_industry.pdf](http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/34268/1/Waste_and_waste-free_production_in_the_food_industry.pdf).

11. <https://www.syngenta.ua/>
12. <https://ohoronapraci.com.ua/interviews/67355-vymohy-bezpeky-pid-chas-pererobky-ta-zberihannya-zerna>.
13. <https://agronomy.com.ua/statti/515-suchasni-tekhnohii-sushinnia-zerna.html>.
14. <https://agroexpert.ua/sposoby-ta-obladnannia-dlia-sushinnia-zerna/>.
15. <https://agro-business.com.ua/agro/zberihannia/item/19814-tekhnohiiia-komfortnoho-sushinnia-zerna.html>.
16. <https://kmzindustries.ua/elevators/osoblivosti-sushinnia-riznih-kultur>.
17. Яковенко А.І., Борта А.В. Технологія зберігання та сушіння зерна: Кількісно-якісний облік зерна: Навчальний посібник – Одеса: 2016. – 174 с.
18. <https://corelamps.com/yak-obraty-svitylnyk-chy-lampochku/infrachervone-vuprominiuvannia/>.
19. <https://bilux.ua/infrared-radiation-directory-ukr/>.
20. <https://ten24.com.ua/ua/blog/sovremennye-tipy-infrakrasnykh-izluchateley/>.
21. Визначення міцностних характеристик зерна [Електронний ресурс] / А. В. Купченко, О. В. Ялпачик, Т. А. Шпиганович, В. А. Алексеєнко // Зернові продукти і комбікорми. - 2010. - № 4. - С. 18-22.
22. Моделювання процесу ІЧ-обробки насіння соняшнику в стаціонарному шарі при композиційному плануванні експерименту [Електронний ресурс] / А. В. Купченко, К. О. Мельников, Ю. О. Чурсінов // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія : Технічні науки. - 2010. - № 1. - С. 142-147.
23. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва / О.А. Півоваров, О.С. Ковальова, В.С. Кошулько. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с.

24. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційні методи визначення показників якості зерна: Навчальний посібник / О.А. Півоваров, О.С. Ковальова, В.С. Кошулько. Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 325 с.

25. Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційна технологія дезінфекції технологічного обладнання харчових виробництв. The 5th International scientific and practical conference “Prospects of modern science and education” (February 07 – 10, 2023) Stockholm, Sweden. International Science Group. 2023. P. 609-612. <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.5>

26. Kovaliova O, Pivovarov O, Vasylieva N, Koshulko V. Obtaining of rice malt with the use of plasma-chemically activated aqueous solutions. Food science and technology.2022;16(4):64-76. <https://doi.org/10.15673/fst.v16i4.2542>

27. Kovalova O., Pivovarov O., & Koshulko, V. Effect of plasma-chemically activated aqueous solutions on the process of disinfection of food production equipment. Food Science and Technology. 2022. 16 (3). P. 61-70. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v16i3.2392>

28. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Мацюк Х.В. Інноваційні стимулятори проростання зерна природного походження. Наука, технології, інновації. 2022. №4 (24). С.31-44. <https://doi.org/10.35668/2520-6524-2022-4-03>

29. Pivovarov O., Kovaliova O., Koshulko V. Effect of plasmochemically activated aqueous solution on process of food sprouts production // Ukrainian Food Journal. 2020. Volume 9. Issue 3. P. 575-587. DOI: <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2020-9-3-7>

30. Kovaliova O., Pivovarov O., Koshulko V. Study of hydrothermal treatment of dried malt with plasmochemically activated aqueous solutions // Food science and technology. 2020. Vol. 14, Issue 3. P. 113-121 DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v14i3.1799>

31. Півоваров О.А., Ковальова О.С. Сучасні методи інтенсифікації солодощення: монографія // О.А. Півоваров, О.С. Ковальова. Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2020. 242 с.

32. Чурсінов Ю. О., Ковальова О. С., Калина В. С., Пилипенко Г. О., Хомик Н. І., Lehmann Ch. Аналітичне дослідження перспективи процесів автоматизації прийому, оцінки якості та закладання зерна на зернопереробних підприємствах // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 1. С.93-107. DOI: <http://dx.doi.org/10.31388/2078-0877-20-1-82-92>

33. Чурсинов Ю.А., Ковалева Е.С. Применение органических кислот и их смесей в качестве стимулятора прорастания семенного материала // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 6. С. 31-34. DOI: <http://dx.doi.org/10.30850/vrsn/2019/6/31-34>

34. Features of obtaining malt with use of aqueous solutions of organic acids / Pivovarov O., Kovaliova O., Khromenko T., Shuliakevych Z. // Food Science and Technology, Volume 11 Issue 4/ 2017. – P.29-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v11i4.728>

35. Kovalova O.S., Chursinov Yu.O., Kofan D.D. Research of hydrothermal processing of dry barley malt // Grain Products and Mixed Fodder's. 2018. Vol.18, Issue 4. P.13-18. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i4.1190>.

36. Кошицька Н.А. Удосконалення елементів технології режимів сушіння насіння // Інститут сільського господарства Полісся НААН. Житомир, 2013. С. 278–281.

37. Рибчинський, Р. С. Характеристика зерна кукурудзи, що вирощується і переробляється в Україні: Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Технології харчових продуктів і комбикормів», Одеса, 25-30 вересня 2017 р. / Одеська нац. акад. харч. технологій, Одеса, ОНАХТ, 2017. С. 7–9.

38. Матус Ю. В. Інформаційна підтримка технологічного процесу інфрачервоного сушіння зерна / Ю. В. Матус, В. А. Лахно, Т. Ю. Осіпова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2019. – № 7(255). – С. 43-49.



39. Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Паламарчук В. І. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми інфрачервоної віброхвильової конвекційної сушарки для післязбиральної обробки сипкої сільськогосподарської продукції. Зб. наук. пр. ВНАУ. Серія: Технічні науки. Вінниця, 2015. №1 (89) Т.1 С.117–123.
40. . Бандура В., Ярошенко Л. Обґрунтування параметрів процесу сушіння насіння соняшнику у вібросушарці на основі інфрачервоного опромінення. *Scientific Works*. 2019. Vol. 83 (1). P. 110–116.
41. . Бандура В., Ярошенко Л. Обґрунтування параметрів процесу сушіння насіння соняшнику у вібросушарці на основі інфрачервоного опромінення. *Scientific Works*. 2019. Vol. 83 (1). P. 110–116.
42. Chua K.Y. and Shaw S.K. (2003). Low cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science and Technology* 14: 519—528.
43. Bualuang, O., Onwude, D. I., & Pracha, K. (2017). Microwave drying of germinated corn and its effect on phytochemical properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **97**(9), 2999–3004.
44. Onwude, D. I., Hashim, N., & Chen, G. (2016a). Recent advances of novel thermal combined hot air drying of agricultural crops. *Trends in Food Science & Technology*, *57*, 132–145.
45. Tuncel, N. B., Yilmaz, N., Kocabiyik, H., Öztürk, N., & Tunçel, M. (2010). The effects of infrared and hot air drying on some properties of corn (*Zea mays*). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *8*(1), 63–68.
46. Насіхадізоглу, О.; Сусантез, С.; Кахвеці, К.; Яılmaz, С. Numerical Investigation of Intermittent Drying of a Corn for Different Drying Conditions. *Therm. Sci.* 2019, *23*, 801–812.
47. Kirleis, A., & Strohshine, R. (1990). Effects of hardness and drying air temperature on breakage susceptibility and dry-milling characteristics of yellow dent corn. *Cereal Chemistry*, *67*, 523–528.
48. Chandrashekar A. Mazhar H. The biochemical basis and implications of grain strength in sorghum and maize. *J. Cereal Sci.* 1999; *30*: 193-207

49. Atungulu, G. G. 2018b. Infrared food processing technology: Fundamentals and case studies of recent advances in grain processing. In *Alternatives to Conventional Food Processing*, ed. A. Proctor, 397–417. London: Royal Society of Chemistry.

50. . Кирпа М. Я., Кулик В. О. Енергоощадні прийоми у технологіях сушіння насіння кукурудзи. Бюл. Ін-ту сільськ. госп-ва степової зони НААН. 2016. № 11. С. 82–87.

51. . Кирпа М., Кулик В., Купар І., Стасів Олег. Influence of a New EnergySaving Drying Method on the Quality of Corn Seeds. *American Journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 9. No. 1. 2021. p. 1–6.