

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ВЕРХОЛАНЦЕВА ВАЛЕНТИНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 664.72:664.8

**ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ОХОЛОДЖЕННЯ
ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ У ПРОЦЕСІ ЗБЕРІГАННЯ**

Спеціальність: 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та
фармацевтичних виробництв

Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
кандидат технічних наук, доцент
Кюрчев Сергій Володимирович

Мелітополь – 2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ПРОЦЕСУ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА.....	11
1.1 Фізико-механічні властивості об'єкта технологічної дії.....	11
1.2 Оцінка способів зберігання зерна та продуктів його переробки.....	16
1.3 Аналіз метрологічних умов досліджуваного регіону.....	20
1.4 Вплив основних складових факторного простору на якісні характеристики досліджуваного процесу.....	22
1.4.1 Тепломасообмінні характеристики.....	23
1.4.2 Гігроскопічна взаємодія	25
1.4.3 Аераційний чинник.....	27
1.5 Обґрунтування конструктивної та технологічної реалізації досліджуваного процесу.....	28
1.6 Розробка принципової схеми та конструкції експериментального обладнання.....	32
1.7 Висновки до 1 розділу.....	34
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЯКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ОБ'ЄКТА ОБРОБКИ.....	35
2.1 Мета, завдання і програма досліджень.....	35
2.2 Розробка експериментальної установки.....	36
2.2.1 Опис розробленого обладнання.....	36
2.2.2 Візуалізація конструкції зерноскладища та процесу охолодження.....	38
2.3 Вимірювальне та експериментальне оснащення.....	39
2.4 Розробка допоміжного оснащення для оцінки коефіцієнта теплопровідності.....	44

2.5 Методика визначення фізико-механічних і теплофізичних параметрів процесу охолодження.....	46
2.5.1 Методика визначення вологості зерна.....	47
2.5.2 Методика визначення площі поверхні зернини.....	48
2.5.3 Методика обробки узагальнення чисел подібності процесу охолодження.....	48
2.5.4 Визначення вмісту клейковини у пшениці.....	50
2.6 Обробка експериментальних результатів досліджень.....	51
2.7. Висновки до 2 розділу.....	58
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПРОЦЕСУ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ В ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ УМОВАХ.....	60
3.1 Постановка задач теоретичних досліджень. Передумови та припущення.....	60
3.2 Кінетичні закономірності процесу конвективного теплообміну зернової сировини.....	61
3.3 Аналітична інтерпретація процесу охолодження при обробці зерна у зерносклаві.....	68
3.4 Функціональна залежність коефіцієнту теплопровідності від якісних характеристик оброблюваної продукції.....	75
3.5 Аналітичні засоби моделювання мікробіологічних та біохімічних процесів при зберіганні зернової маси.....	76
3.6. Висновки до 3 розділу.....	80
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗЕРНА У ЗЕРНОСКЛАВІ.....	81
4.1 Вплив коефіцієнта теплопровідності на фізико-механічні характеристики досліджуваної сировини	81
4.1.1 Шпаруватість зерна.....	81
4.1.2 Вологість зерна.....	85

4.1.3 Щільність зерна.....	86
4.2 Вплив температури та терміну зберігання зерна на якісні характеристики сировини.....	88
4.2.1 Клейковина.....	88
4.2.2 Індекс деформації клейковини.....	95
4.2.3. Вихідна вологість	99
4.2.4. Зараженість шкідниками.....	105
4.3 Оптимізація параметрів процесу охолодження зерна.....	107
4.4 Вплив розробленого методу на хлібопекарські властивості зернової сировини.....	116
4.5 Побудова ід діаграми Мольєра-Рамзіна досліджуваного процесу.....	118
4.6 Перевірка адекватності математичної моделі	120
4.7 Висновки до 4 розділу.....	122
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНИЙ ТА ФУНКЦІОНАЛЬ- НО–ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ РОЗРОБЛЕНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ.....	123
5.1 Розрахунок основних техніко-економічних параметрів.....	123
5.2 Визначення конкурентоспроможності розробленого комплексу зберігання зерна за умови активного вентилявання.....	131
5.3 Впровадження та виробнича апробація зберігання зернової сировини методом довготривалого охолодження.....	137
5.4 Рекомендації, щодо впровадження зерносховища в господарство.....	140
5.5 Висновки до 5 розділу	141
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	143
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	146
ДОДАТКИ.....	163

ВСТУП

Актуальність теми. Останніх 5 років у світі в процесі зберігання щорічно втрачається близько 20% зібраного зерна, що становить одну з найпоширеніших сільськогосподарських культур України. Причинами цих втрат, в основному, є життєдіяльність комах-шкідників і поразка зерна пліснявими грибами. Технології консервації зерна методом охолодження у значній мірі знижують ці втрати, обробляючи мільйони тонн зернових, олійних культур, рису, кукурудзи та інших злаків[127].

На жаль, виробники зерна через ситуації, що склалися в області ринкових відносин, інколи вимушені скорочувати посівні площі зернових, організовувати зберігання зерна до його реалізації на токах, майданчиках і в інших малопристосованих для цієї мети місцях. Відсутність пріоритетності зерна і насіння для ринкової сфери на підприємствах хлібопродуктів веде, як правило, до невинуватених втрат продукції, додаткових інвестицій та, в кінцевому рахунку, до зниження продовольчої безпеки України.

Слід особливу увагу приділяти виробництву та зберіганню зерна пшениці, так як пшеничний хліб, макаронні вироби з пшеничного борошна - основні продукти харчування практично усіх верств населення.

У сфері переробної галузі агропромислового комплексу (АПК) формується до 70 % загального товарообігу країни. Переробній галузі АПК належить друге місце за обсягом валової продукції. Тільки за рахунок скорочення витрат і поглиблення переробки харчової сировини можна збільшити виробництво продуктів харчування на 25...30 %. Важливою умовою поліпшення забезпечення населення України продовольчими товарами є розвиток технічної бази зберігання і переробки сільськогосподарської продукції.

За останні роки країна отримує досить високі валові збори зерна, однак помітно скоротилися його державні закупівлі, знизилася роль заготівельних елеваторів. Зерно нерідко зберігається безпосередньо в господарствах у виробника в очікуванні сезонного підвищення цін. Через слабку оснащеність

технічної бази господарств, а часом, незнання технологій зберігання мають місце нераціональне формування партій зерна, зниження його якості і втрати зерна при зберіганні.

Половина усіх втрат зерна припадає на післязбиральну обробку і, переважно, на зберігання. Ці втрати можна зменшити, якщо застосувати більш ефективні способи післязбиральної обробки зерна і його зберігання. У нашій країні в нових ринкових умовах сільгосптоваровиробник зацікавлений продавати зерно не відразу після збирання, а в момент максимальних цін на нього. У зв'язку з цим господарства змушені зберігати зерно у себе, створювати інфраструктуру зерносховищ і умови для якісного зберігання.

Завдяки роботам Агрономова Є. О., Дем'яненко М. П., Казакова Є. Д., Клеєва І. О., Козьміної Н. П., Макарова В. В., Сергунова В. С., Некрасова Б. П., Трисвятського Л. О., Уколова В. С., Чурсінова Ю. О., Станкевича Г. М., Лукіна Г. Д. Кирпи М. Я. та багатьох інших дослідників різних країн зі створення обладнання для переробки зерна.

Тому проектування процесів та оснащення для зберігання зерна у зерносховищах, удосконалення способу максимального збереження його вихідних властивостей, що базуються на охолодженні продукції у зерносховищі перед його реалізацією або подальшою вторинною переробкою сировини є актуальним і важливим завданням в процесах виробництва хлібобулочних виробів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота проводилась у рамках науково-дослідної роботи кафедри обладнання переробних і харчових виробництв Таврійського державного агротехнологічного університету відповідно до програми №1 науково-дослідних робіт на 2010-2015 роки "Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції" державний реєстраційний номер (0111U002551), у якій автор особисто представив технологічні та конструктивні рішення стосовно зберігання зернової продукції охолодженням.

Метою роботи є мінімізація втрат зернокруп'яної сировини та забезпеченні необхідних вихідних показників якості пшениці, шляхом використання процесу охолодження при зберіганні, вдосконаленні зерносховища, та обґрунтуванні ефективних теплофізичних параметрів досліджуваного процесу. Відповідно до поставленої мети були поставлені та вирішені такі задачі дослідження:

- на основі аналізу існуючих способів зберігання зерна визначити та обґрунтувати напрямки його вдосконалення;
- розробити експериментальну модель зерносховища з реалізацією в цьому досліджуваного процесу охолодження;
- розробити методику та програму досліджень, установки для визначення необхідних параметрів теплообміну;
- обґрунтувати раціональні границі зміни основних технологічних та якісних параметрів низькотемпературної обробки зерна пшениці;
- обґрунтувати фізичну модель взаємодії зернової маси з холодоносієм та розробити функціонально-параметричну схему досліджуваного процесу;
- визначити та оцінити техніко-економічну доцільність використання зерносховища із застосуванням процесу охолодження зерна;
- провести апробацію процесу охолодження зерна пшениці у зерносховищі та впровадити дану розробку у сучасних господарствах.

Об'єкт дослідження – технологічний процес зберігання пшениці із застосуванням охолодження у зерносховищах.

Предмет дослідження – закономірності зміни технологічних та якісних параметрів процесу охолодження зерна у зерносховищі під час зберігання.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях фізики, методах диференціальних обчислень та теорії імовірності, математичного моделювання, прикладного програмування. Експериментальна частина досліджень проводилася згідно існуючих методик та галузевих стандартів на спеціально розробленій експериментальній установці з

використанням методів математичного моделювання, математичного планування багатofакторних експериментів.

Обробка результатів досліджень проводилася за допомогою IBM – сумісного ПК з використанням табличного процесора Microsoft Excel, програмного забезпечення MathCad, 3D Max та MATLAB.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому:

- на підставі результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень отримано математичну модель процесу охолодження зерна у зерносховищі, яка дозволяє дослідити закономірності зміни його основних теплообмінних параметрів ;

- набула подальшого розвитку фізична модель взаємодії зернової маси з холодоносієм, для аналітичної інтерпретації тепловологообміну залежно від технологічних параметрів обробки;

- встановлено закономірності зміни показників шпаруватості, вологості, та щільності, що дають можливість прогнозувати вміст клейковини у зерновій масі залежно від режимів її зберігання;

- отримано рівняння тепло-вологообміну, що дозволяє обґрунтувати ефективні робочі режими при взаємодії технологічних середовищ, яке описує зміни параметрів охолоджуючого вологого повітря.

Практичне значення отриманих результатів міститься в:

- обґрунтуванні режимних параметрів охолодження при зберіганні пшениці;

- обґрунтуванні і експериментальному підтвердженні доцільності зберігання пшениці в охолодженому стані в Україні;

- отримані залежностей, що описують показники якості пшениці, які, найбільш впливають на виробництво хлібобулочних виробів;

- проектуванні зерносховища із застосуванням охолодження, на підставі патентів України на корисну модель № 72178" Пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням", № 72101 " Спосіб вентилявання сільськогосподарської продукції в сховищах", № 72541

"Сховище для зберігання сільськогосподарської продукції"

– впровадженні проектного зерносховища до фізичної особи підприємства "Шевчик" (с. Терпіння, Мелітопольського району, Запорізької області) та у товаристві з обмеженою відповідальністю "Агро-сервіс" (м. Мелітополь, Запорізької області) для виробництва хлібобулочних виробів.

– результатів наукового дослідження та розробці лабораторної установки, що використано в навчальному процесі Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, Запорізької обл.) при викладанні дисципліни "Обладнання складів".

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Постановка задач та їх аналіз виконані з науковим керівником. У публікаціях із співавторами частка всіх співавторів однакова. Авторами проаналізовано науково-технічну та патентну літературу з технології зберігання зерна. Виконано експериментальні дослідження з описанням процесу охолодження та показників якостей зерна, тобто дослідження вологості, клейковини та індексу деформації клейковини. Розроблені методики математичної обробки отриманих результатів. Проведено планування багатофакторного експерименту. Сформульовано основні положення та висновки. Постановка завдань, обговорення та обґрунтування результатів досліджень і опису процесу охолодження проводились сумісно з науковим керівником дисертації. В наукових працях, які виконані в співавторстві, дисертанту належить планування і підготовка дослідної роботи, виконання експериментів, аналіз та обробка результатів.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на наукових конференціях, а також було заслухано та обговорено на: щорічних конференціях професорсько-викладацького складу Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, 2010–2015 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції "Сучасні проблеми техніки та технології

харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі” (Харків, 2012,2013р); VII Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку” (м. Донецьк - Святогірськ, 2011 р.); XV Міжнародній науковій конференції “Удосконалення процесів та обладнання харчових виробництв та хімічних виробництв” (Одеса 2014р. 8-12 сентября); Міжнародній науково-практичній конференції “Фінансово –економічні проблеми розвитку сільських територій” 6-7 травня 2014р. м.Мелітополь; Всеукраїнській науково – практичній конференції молодих учених і студентів “Інновацій і технології розвитку у сфері харчових виробництв готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємства: наукові пошуки молоді’ м. Харків, 2014 р.; Міжнародній науково-практичній конференції “Сучасні технології харчових виробництв” м. Вінниця (26-27 березня 2015р.); V всеукраїнській науково-практичній конференції “Інноваційні технології в АПК” 19-21 травня 2015 року, Луцьк; IX Всеукраїнській науково-практичній конференція студентів та молодих науковців “Перші наукові кроки” м.Кам’янець-Подільський, 23-24 квітня 2015р.; Міжнародній науково-практичній конференції, 8-11 вересня 2015р. “ Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності” Харків-Мелітополь-Кирилівка; XV Міжнародній науково-практичній конференції: “Наукові перспективи XXI ст.. Досягнення і перспективи нового століття” (Росія, м. Новосибірськ, 16-17.10.2015р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 25 наукових праць, серед них: 2 статті у зарубіжному виданні, 11 статей, надрукованих у тематичних збірниках, які входять до переліку наукових фахових видань, затверджених ДАК України, 9 тези доповідей на наукових конференціях. За результатами досліджень отримано 3 деклараційних патентів України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел 3175 найменувань та 8 додатків. Дисертація викладена на 200 сторінках машинописного тексту (основна частина складає 145 сторінок), містить 22 таблиці та 49 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ПРОЦЕСУ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

1.1. Фізико-механічні властивості об'єкта технологічної дії

З хлібних культур пшениця є основним продуктом харчування людини. Значна частина населення земної кулі харчується продуктами, одержуваними із зерна пшениці.

У світовому виробництві зерна й в Україні пшениця посідає перше місце. Таке її значення обумовлене високою врожайністю, великим вмістом ендосперму (80-84% від маси зерна), що дає можливість при його переробці одержувати високий вихід сортового борошна [16,96,127].

М.І.Вавілов у своїх дослідженнях [1,3,23] дійшов висновку, що центром походження пшениць є: дикої пшениці - Сирія і Палестина; твердої пшениці - Ефіопія (Абіссінія); м'якої пшениці - передгір'ї Західних Гімалаїв.

Для більш повного розуміння дослідження процесу охолодження пшениці надамо будову зерна пшениці (рис.1.1)[105].

Внутрішня будова зерна досить складна. Основний вміст зерна складається з борошнистого тіла, або насіннєвого білка (ендосперму), клітини якого наповнені крохмальними зернами і клейковиною (у меншій кількості, особливо у внутрішніх частинах), і зародка, розташованого біля основи кореня. Зародок і ендосперм покриті насіннєвою оболонкою, що складається з двох шарів: пігментного (найчастіше жовто-оранжевого кольору), безпосередньо прилеглого до ендосперму, і зовнішнього. За цими двома шарами насінної оболонки розташована плодова оболонка, що утворюється із стінок зав'язі і складається з трьох шарів: внутріплідника, надплідника і зовнішнього [37,40,105].

Примикає до насіннєвої оболонки шар ендосперму, що не містить крохмалю і складається з товстостінних клітин, наповнених дрібнозернистою масою азотистих речовин, та називається клейковиною.

Клейковина знаходиться також у клітинах усього ендосперму зерна і для відмінності цей прошарок називають алейроновим, внаслідок вмісту в клітинах цього прошарку алейронових зерен, що складаються з білка, жиру і мінеральних речовин. Алейроновий прошарок легко поглинає воду з навколишнього середовища і служить передавачем її зародку, якому вода потрібна для проростання[48,49].

Співвідношення між головними частинами зерна - ендоспермом і оболонками - у різних рослин різна. Так, наприклад, у вівса маса ендосперму зерна в середньому становить 47-61% маси зерна, а маса оболонки - 25-49%; у ячменю маси оболонок складають 7-15%; у пшениці ендосперм становить у середньому близько 86% маси зерна, а оболонки - 11-12,5% [50,51,54,56].

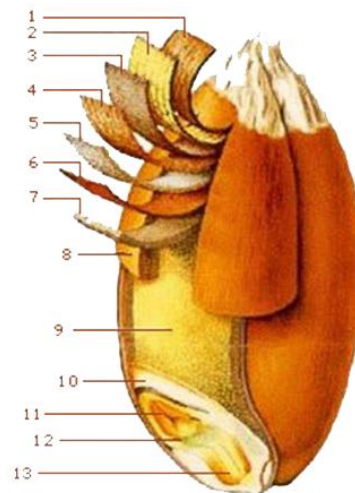


Рис.1.1. Поздовжній розріз зерна пшениці: 1,2,3 – плодові оболонки; 4,5,6 – насінні оболонки; 7 – алейроновий прошарок; 8 – прошарки клітин плодової оболонки пшениці з поверхні; 9 – ендосперм; 10 – щиток; 11 – брунечка; 12 – вісьова частина зародка; 13 – корінець.

Зародок залягає у основи зерна, на його випуклій стороні. Він складається з щитка, який відділяє його від ендосперму, і служить передавачем резервних речовин ендосперму всередину зародка - бруньки, покритої зачатковим листям,

первинного стебла і корінців. По відношенню до маси зерна зародок становить у пшениці, жита та ячменю 1,5-3%, у вівса 3-4% і у кукурудзи 10-14% [48,56,58].

Плодові оболонки, що утворилися із стінок зав'язі, складаються з декількох шарів клітин: зовнішній шар - епідерміс, епікарпій, мезокарпій і ендокарпій. У цілому маса плодових оболонок становить 4-6% від маси зерна. Під плодовими лежать насіннєві оболонки, які складаються з двох шарів клітин: верхній пігментний шар та внутрішній гіаліновий.

Насіннєві оболонки відносно легкі, маса їх становить 2-2,5% від усього зерна. До складу плодових і насіннєвих оболонок входять 3,5-4,5% мінеральних речовин (золи), 43-45% геміцеллюлоз і пентозанів, 18-22% клітковини, 4,5-4,8% азотистих речовин, незначна кількість цукру і жиру [48,56].

Внутрішня частина зерна - ендосперм - підрозділяється на зовнішній, або алейроновий прошарок і власне ендосперм - борошнисте ядро [47, 49,55].

Алейроновий прошарок за хімічним складом і будовою клітин відрізняється як від оболонок, так і від, власне, ендосперму. При помелі пшениці він відокремлюється від борошнистого ядра (переважно з оболонками) у вигляді висівок. Клітини алейронового прошарку в міру наближення до зародка зменшуються і потім зникають. Власне, зародок покритий тільки оболонками.

Хімічний склад алейронового прошарку має свої особливості. У ньому знаходиться велика кількість білків - 38% і більше, що переважно відносяться до альбумінів і глобули, не здатних утворювати клейковину, 9-10% жиру, 6% цукру (сахарози), 15% клітковини, 9-10% золи, значна кількість геміцелюлози. Алейроновий прошарок багатий водорозчинними вітамінами В₁ і В₂ і особливо вітаміном РР. Маса алейронового прошарку складає в середньому 7% від маси зерна (від 4 до 9%). Зольність алейронового прошарку коливається від 8 до 11% [1,48,56,58].

Ендосперм (борошнисте ядро) займає всю внутрішню частину зерна. Воно складається з великих об'ємних клітин, заповнених крохмалем і

частинками білків. Стінки клітин ендосперму, особливо у внутрішніх його шарах, дуже тонкі, майже невиразні навіть під мікроскопом. Зерна пшениці бувають повністю скловидними в тому випадку, коли всі клітини ендосперму заповнені без повітряних пір і прошарків. Якщо клітини ендосперму пухкі і містять дрібні пори, зерно буде непрозорим і борошнистим. Склоподібні зерна відрізняються від борошнистих вмістом білка і фізичними властивостями - щільністю і твердістю. Хімічний склад ендосперму відрізняється від складу всіх інших частин зерна. Ендосперм містить весь крохмаль зерна, кількість якого складає 78-82% від маси ендосперму, близько 2% сахарози, 0,1-0,3% редуруючих цукрів, 13-15% білків, переважно гліадину і глютеніну, що утворюють клейковину. Характерним є малий вміст в ендоспермі золи (0,3-0,5%), жиру (0,5-0,8%), пентозанів (1-1,5%), клітковини (0,07-0,12%). Продукти, отримані з ендосперму, містять найменшу кількість зольних елементів (Ca, P, Fe і ін.) і вітамінів. Ендосперм становить від 80 до 84% маси зерна [53,71,108].

Зародок пшениці, що знаходиться на гострому кінці зерна, являє собою ту частину зерна, з якої розвивається нова рослина. Зовні зародок покритий плодовими та насінневими оболонками. Зародок містить: 33-39% білка, в тому числі нуклеопротеїни, альбуміни, глобуліни і проламіни; понад 25% цукрів, головним чином сахарози; 12-15% жиру; 2,2-2,6% клітковини і близько 5% мінеральних речовин. Зародок пшениці багатий вітамінами: E - 158 мг/кг, B₁ - 19 мг/кг (у щитку - 148 мг/кг); B₂ - 12 мг/кг; B₆ - 12,5 мг/кг; PP - 64 мг/кг; корисними зольними макро- і мікроелементами, містить активні ферменти. Маса пшеничного зародка складає 2-3% від маси зерна [54,56].

Хімічний склад зерна пшениці змінюється у залежності від умов, головна роль з яких належить ґрунту і клімату. До складу зерна пшениці входять різні речовини: білки, вуглеводи, жири і жироподібні речовини, фарбувальні речовини (пігменти), вітаміни, ферменти, різні мінеральні речовини. Виключно важливу роль у харчуванні людини і годівлі сільськогосподарських тварин відіграє білок. Крім перерахованого, до складу зерна входить вода, яка міститься у ньому як у вільному, так і зв'язаному станах. Зв'язана вода є

складовою частиною усіх хімічних сполук зерна. Вона, як правило, в цілому зерні не відіграє істотної ролі в процесі зберігання. Вільна ж вода, що знаходиться поза сполук зерна, викликає зміну його фізичних властивостей, посилює розвиток його життєдіяльності і бере активну участь у біохімічних процесах, що постійно відбуваються у тканинах зерна[58].

Сипкість і шпаруватість зернової маси пшениці значно варіюють і залежать від багатьох факторів: форми, розміру, характеру і стану поверхні зерна, вологості, кількості та видового складу домішок і т.д.

Зерно і зернова маса володіють рядом теплофізичних властивостей, з яких для зерна пшениці, як об'єкта зберігання, найбільше значення мають питома теплоємність, температуропровідність, теплопровідність і термовологопровідність. Ці властивості характеризують явище тепло- і масообміну в зерновій масі, що відбувається шляхом конвекції і кондукції. Зерно пшениці, як і зерно інших культур, володіє дуже малою теплопровідністю та низьким коефіцієнтом температуропровідності. Питома теплоємність зерна майже вдвічі більше теплоємності повітря і значно менше питомої теплоємності води.

Низькі теплопровідність і температуропровідність зернових мас з точки зору їх зберігання має як позитивне, так і негативне значення.

Позитивне значення полягає у тому, що вони дозволяють при правильно організованому режимі зберігати в зернових масах низьку температуру навіть в теплу пору року. Знижена температура уповільнює фізіологічні процеси, що протікають у зерновій масі (дихання, життєдіяльність зерна і мікроорганізмів), тим самим сприяючи зберіганню високих товарних якостей зерна.

Негативне значення низької температуропровідності і малої теплопровідності полягають у тому, що за наявності сприятливих умов для життєдіяльності зерна і його компоненті тепло, що виділяється, може затримуватися у зерновій масі і приводити до підвищення її температури, тобто самозігрівання (фактор, що погіршує його збереження)[1,3,5,6,12, 21].

Таким чином, представлений вище матеріал свідчить про те, що зерно пшениці як об'єкт зберігання має свої особливості, які повинні враховуватися при розробці режимів його зберігання та вентильовання.

1.2. Оцінка способів зберігання зерна та продуктів його переробки

Головною метою зберігання продукції сільськогосподарського виробництва являється уповільнення процесів, що відбуваються в ній у результаті життєдіяльності складових компонентів. Чим повільніше будуть протікати ці процеси, тим довше буде зберігатися живий організм. Про активність процесів, які відбуваються у ньому, свідчить активність дихання. Низька активність дихання характеризує знижену активність клітин організму, що означає слабку витрату поживних речовин на процеси життєдіяльності [1,25,61,121].

Зберігання зерна проводять залежно від його вологості та призначення. Зерно, яке підлягає переробці чи зберігання, повинно мати вологість, встановлену нормативними документами (стандартами) залежно від культури та її призначення.

Для ефективного зберігання створюють умови, що забезпечують стійкість продукції, запобігання її ушкодженню шкідниками, ураженню хворобами, зволоженню й самозігріванню. Забезпечити такі вимоги можливо тільки при утриманні продукту в оптимальних умовах, що перешкоджають впливу вище перелічених негативних факторів. У зв'язку з цим, для теорії і практики зберігання особливо важливим є вивчення цих умов і розробка режимів і способів зберігання зернових мас [50, 61,79,80].

Скорочення втрат зернопродуктів, що підлягають зберігання, збереження їх якості та зниження собівартості процесу являються основними завданнями в галузі зберігання.

Спосіб зберігання зернових залежить переважно від фізичних та фізіологічних властивостей продукту. У зерновій масі постійно відбуваються

фізіологічні процеси, бо вона є складною біологічною системою. Умови життя сукупності її живих організмів приблизно однакові[25,71,72,79,80].

Зерно є живим організмом, у якому протікають різноманітні фізіологічні та біохімічні процеси, що підтримують життя зародкової клітини. Інтенсивність цих процесів залежить від його стану і умов навколишнього середовища [48, 49, 53, 54,55,56,58].

Враховуючи біологічні та фізико-хімічні особливості мас зернових і вплив на них факторів навколишнього середовища, навіть тимчасове їх зберігання проводиться у спеціальних сховищах.

Зерносховища класифікують за багатьма ознаками, найважливішими з яких є: період зберігання (тимчасовий або тривалий); конструкційні особливості (навіси, склади, елеватори тощо); види операцій, які в них проводяться (тільки зберігання чи зберігання й обробка); ступінь механізації (механізовані, напівмеханізовані, немеханізовані); наявність і тип установок для активного вентилявання насіння і зерна (канальна, підлогова, переносна та ін). У типових зерносховищах зерно розміщують у засіках або насипом[37,53,93].

Одним з фізіологічних процесів живого організму, яким являється зерно, є дихання, наслідком чого являється втрата сухої речовини. Тільки біля 5% енергії дихання зерна витрачається на процес дисиміляції запасних органічних речовин (переважно цукрів). Більшість енергії ($\approx 95\%$) перетворюється на теплоту, яка підвищує температуру зернової маси і сприяє погіршенню її зберігання [1,53,54,56].

Інтенсивність дихання залежить від вологості зерна та температури. Зерно, яке підлягає переробці чи зберіганню, повинно мати вологість, встановлену нормативними документами (стандартами) залежно від культури та її призначення.

В Україні достатньо глибоко досліджені основи теорії та техніка зберігання великих зернових мас. Над цим питанням працювали

Л.О.Трисвятський, О.М. Голдовський, Є.О. Агрономов, Н.П. Козьміна, М.Г.Голіка, Є.Д.Казаков, В.Л.Кретович, Е.М.Ушакова [1, 48, 49, 54, 55,56,58].

Ними досліджувались фізичні і хімічні властивості зерна різних культур, процеси, та швидкість їх протікання, що відбуваються при зберіганні зернових мас у різних умовах.

Наукові дослідження з мікрофлори зернових продуктів проводили Є.М. Мишустин, Л.О.Трисвятський, О.П. Ордін, О.П. Подьяпольська, В.О.Мірзоєва, М.П.Міхайловський. Ними зроблені висновки щодо розвитку мікробіологічних процесів у зернових масах при зберіганні за різних умов [143,144,145,146,150,151].

Встановлено, що при зберіганні зернових мас використовують три режими: зберігання у сухому стані (заснованому на уповільненні фізіологічних і хіміко-біологічних процесів зерна при відсутності вільної вологи, яка бере безпосередню участь у процесі обміну речовин у клітинах зерна, завдяки чому подовжується термін його зберігання), в охолоджену (заснованому на зберіганні зерна тривалий час завдяки уповільненню або припиненню життєдіяльності компонентів зернової маси), та без доступу повітря.

У практиці для збереження технологічних та споживчих якостей зерна широко застосовують поєднання режимів зберігання у сухому і охолоджену стані. Цей досвід дає дуже добрі результати [105,120,131,150].

Традиційні методи зберігання (попереднє очищення, охолодження, остаточне очищення й зберігання у зерноскладі) пов'язані із втратами зерна на кожному з етапів. При кожному перескладуванні мають місце втрати до 0,03% загальної кількості. Крім традиційних технологій та підходів до зберігання зерна, які відомі в Україні, існують і нові. Один з них - охолодження (консервація холодом) зерна безперечно заслуговує на увагу [127].

У технології зберігання зерна актуальним є завдання охолодження його до температур, що забезпечують ефективне зберігання. Численними фізіологічними, біохімічними, теплофізичними й технологічними дослідженнями встановлено, що зниження температури зерна нижче 8-10°C різко знижує інтенсивність протікання фізіолого-біохімічних процесів, сприяє

збереженню вихідної якості зерна й збільшує строки його зберігання як при тривалому зберіганні просушеного зерна, так і при його тимчасовому зберіганні. При зберіганні охолодженого зерна скорочуються втрати зерна від його дихання [16,25,37,61,154].

Для охолодження зерна використовують природну атмосферу, досягаючи при цьому повного консервування маси на весь період зберігання. Охолодження, як і зниження вологості, різко гальмує інтенсивність усіх біологічних процесів у зерновій масі, пригнічує життєдіяльність мікроорганізмів, може призвести до загибелі великої частини комах. Зниження температури на кожні 5°C приблизно вдвічі збільшує тривалість стійкого зберігання зерна, однак надійне консервування забезпечується тільки за достатньо ефективного охолодження. При охолодженні зернової маси першого ступеня температуру всіх шарів насипу підтримують нижче 10°C , другого ступеня - нижче 0°C . Зернові маси вважають охолодженими, якщо температура усіх шарів насипу нижче 10°C . Для охолодження зерна використовують не тільки атмосферне повітря, але і штучно охолоджене за допомогою холодильних установок. Застосування штучного холоду дозволяє швидко знизити початкову температуру партії зерна, запобігти втратам, які виникають внаслідок активного розвитку мікроорганізмів і комах. Основне призначення режиму зберігання зерна в охолодженому стані - тимчасове консервування вологого і сирого зерна на току на період, коли воно знаходиться в очікуванні сушки [16, 21,79, 85,93,154]. Це найважливіший захід запобігання псуванню зерна у перший період їх зберігання на току. Охолодження доцільне і для сухого зерна, тому що підвищує стійкість до негативних факторів, різко знижує небезпеку пошкодження комахами-шкідниками. Сухе і охолоджене зерно найбільш довговічне.

Способи охолодження атмосферним повітрям можна розділити на дві групи: пасивні і активні. При пасивному охолодженні зернову масу не перемішують і примусово не нагнітають у неї повітря. Охолодження досягають провітрюванням зерносклади і обладнанням у них припливно-витяжної вентиляції. Відкриваючи вікна і двері складу у літньо-осінній період і у нічні години доби, знижують температуру повітря у складі і, зокрема, в зерновій

масі. Але й це допомагає далеко не завжди, тому що при даній системі вентиляції крізь зернову масу проходить недостатня кількість повітря, щоб охолодити її [25,71,93].

До активних методів охолодження належить перелопачування зернових мас, пропускання через зерноочисні машини, транспортери і норії, але це пов'язано з травмуванням зерна. Основний спосіб охолодження зернових насипів - активне вентилявання атмосферним повітрям [25,53].

Обробка зернових мас штучно охолодженим повітрям дуже ефективна. У режимі активного вентилявання свіжозібране зерно з вологістю до 20% можна зберігати без зниження якості на протязі 8–10 діб[16,25].

Важливим моментом є правильний розподіл повітря. Технологія дозволяє проохолоджувати всі сипучі сільськогосподарські культури, наприклад, пшеницю. У цілому технологія охолодження зерна має численні переваги, які повинні бути враховані при розрахунках економічної ефективності: захист від псування шкідниками і їх розмноження; захист від грибків і продуктів їх життєдіяльності - мікотоксинів; відмова від дорогої та екологічно небезпечної фумігації; зниження втрат від дихання зерна до мінімуму; відпадає необхідність у такій операції як пересипання; зниження витрат на сушіння; збереження якості врожаю; відсутність тріщин від внутрішніх напружень; охолодження можна застосовувати незалежно від погодних умов[1,3,16,25,53,145].

1.3. Аналіз метрологічних умов досліджуваного регіону

Зерно, використовуване у дослідженнях, було вирощене у Мелітопольському районі, який відноситься до півдня Степової зони України.

При проведенні досліджень використовували дані спостережень за метеорологічними умовами, надані районною метеостанцією «Мелітополь».

Аналіз представлених даних дозволяє узагальнити метеорологічні показники і зробити висновки щодо метеорологічних умов у період досліджень: середньорічна температура повітря становила $9,9^{\circ}\text{C}$, середня температура

самого теплого місяця дорівнювала $24,8^{\circ}\text{C}$, а самого холодного - мінус $4,3^{\circ}\text{C}$. Зима була малосніжною з частими тривалими відлигами, після яких наставали різкі похолодання. Перші заморозки відзначалися у середині жовтня. Закінчувалися заморозки в другій декаді квітня.

Клімат степу характеризується, як найбільш посушливий у порівнянні з іншими ґрунтово-кліматичними зонами України. Ця зона є зоною з найменшою відносною вологістю. У літній період тут буває у середньому до 8 - 11 днів з відносною вологістю повітря меншою 35%. Тут переважають південно-східні та північно-східні напрями вітру, середньомісячна швидкість яких у зимовий період становить 7 м/с, а влітку - 5 м/с. Річна кількість опадів у районі досліджень коливається у межах 388-430 мм.

Для Запорізької області характерна мінливість метеорологічних. У 2010 році спостерігалися незначні коливання температур. Весна цього року була затяжна, в перші і другі декади березня на тлі підвищених опадів відзначалися знижені температури. Перехід середньодобових температур через 10°C до більш високих значень стався у першій декаді квітня. Розвиток зернових культур відбувався у терміни, близькі до звичайних. Значний вплив на якість зерна надає погода у передзбиральний період врожаю. Температура серпня та вересня мало відрізнялася від середніх багаторічних температур. Посушливістю відзначалися перші декади вересня і жовтень.

Аналіз метеорологічних умов 2011 року показав, що він відрізнявся підвищеною сонячною активністю, різкими перепадами температур і кількостей опадів. У першій декаді січня спостерігалася відлига в період вимушеного спокою - підвищена температура, яка була на 6°C вище норми, на тлі невеликої кількості опадів. Друга і третя декади січня і весь лютий характеризувалися негативними температурами в рамках норми. Весна цього року була відносно стабільною: температура і кількість опадів значно не відрізнялися від середніх багаторічних. Весь червень був прохолодний з частими опадами в першій декаді, кількість, яких у 3 рази перевищила середні багаторічні дані. Липень і серпень характеризувались високими температурами,

які перевищували середні багаторічні показники. У цей період відзначалася посуха.

2012 рік характеризувався зниженими температурами в зимовий та підвищеними у весняний періоди. Літо традиційно спекотне та сухе з короткочасними зливовими дощами при підвищеній випаровуваності вологи. Спостерігалися часті суховії, що негативно впливало на розвиток рослин.

Таким чином, виходячи з аналізу метеорологічної ситуації, впродовж 3 років досліджень можна відзначити нестабільність клімату. Сприятливі умови в періоди збору зерна, безсумнівно, впливають на якість врожаю, змінюючи якість зерна при зберіганні. Однак слід зазначити, що дотримання агрономічних норм і правил, своєчасні підгодівлі й поливи і т. п. дозволили всі ці три роки отримувати зерно в повній відповідності діючим стандартам і цілком придатним для розробки і дослідження технології його тривалого зберігання.

1.4 Вплив основних складових факторного простору на якісні характеристики досліджуваного процесу

Вихідний стан зерна характеризується сукупністю різних фізичних і фізіологічних властивостей зерна. До таких відносяться ступінь зрілості, життєздатність, цілісність, вологість, однорідність і хімічний склад [54,55,56,58].

Ступінь зрілості, життєздатність, цілісність, вологість, однорідність і хімічний склад характеризують вихідний стан зерна, а такі фактори як доступ повітря до партії зерна, що закладена на зберігання, і його температура та відносна вологість – умови зберігання.

Наукою встановлено, що «при зберіганні зерна прагнуть створити такі умови, при яких початкова якість не змінювалася б, або зміни, що призводять до погіршення, зводилися б до мінімуму. При сприятливих умовах зберігання у нормальному зерні навіть після закінчення багатьох років можуть статися лише відносно невеликі зміни» [16,151,154].

Щоб зберегти зерно і втрати в ньому сухої речовини, необхідно знайти способи правильного регулювання фізіологічних процесів під час зберігання.

Під диханням, післязбиральним дозріванням, проростанням розуміють процеси, у яких виявляється життєдіяльність зернової маси під час зберігання. На ці фізіологічні процеси значно впливають багато факторів: температура, вологість, доступ повітря під час зберігання[93].

1.4.1 Тепломасообмінні характеристики. На основі експериментальних даних науковими дослідженнями встановлено, а практикою підтверджено, що на процес зберігання зерна дуже сильно впливає такий фактор, як температура зерна [54,56,58,85].

Коливання температур значно впливають на інтенсивність процесів, що протікають у зерновій масі при її зберіганні. Встановлено, що підвищення температури і інтенсивність дихання перебувають у прямій залежності.

Аналіз динаміки інтенсивності дихання показав, що його підвищення спостерігається у певному інтервалі температур і підпорядковується правилу Вант-Гоффа. У результаті подальшого теплового впливу виникає поступове відмирання клітин зерна, що призводить до його загибелі як живого організму. Тому інтенсивність дихання різко падає.

Багато вчених досліджували вплив низьких температур на зміну якості зерна при його зберіганні. Відомі роботи Н.П. Козьміної, М.С. Романової, О.К. Абрамової, І.О.Клеєва [6, 62,80,81, 150]. У них значна увага приділялась впливу температури і вологості зернової маси на її проростання, дозрівання, зміни у хімічному складі тощо.

У роботах відзначається наступне:

1. При штучному зволоженні пшениці до 20-25% і витримуванні її при низьких температурах протягом 60 днів насіння пшениці вологістю 18-20% не слід охолоджувати нижче -25°C . Внаслідок застосування таких умов значно знижувалася схожість. [6, 11].

2. Знижувалася схожість зерна вологістю 20-24% при його проморожуванні до -41°C . Відмічено також незначну різницю вмісту сирової та сухої клейковини в зерні як у контрольному (вологістю 12% при температурі -27°C), так і в промороженому (вологістю 20-24% при температурі -25°C) стані [40,71,85,].

3. Визначено, що найважливішою умовою процесу післязбирального дозрівання зерна являється температура. Так, тільки в умовах плюсової температури насіння здатне дозрівати. Найбільш інтенсивно воно дозріває при $15-30^{\circ}\text{C}$ [79].

В процесі зберігання свіжозібраного зерна пшениці вологістю 22,7% при температурі -25°C післязбиральне дозрівання зерна повільно відбувалося, а його схожість підвищилася з 40 до 60% [21,40,41]. При зберіганні свіжозібраного зерна пшениці за умов: вологість 22,7% температура -25°C післязбиральне дозрівання зерна відбувалося повільно, а його схожість підвищилася з 40 до 60%.

4. Не було виявлено суттєвих біохімічних змін при дослідженні процесу зберігання пшениці в діапазоні температур від -18 до -25°C . Залишилася майже без змін активність ферментів дегідрогенази, каталази, амілази.

Дослідженнями Трисвятського Л.О. встановлено, що в умовах низьких температур інтенсивність дихання різко падає. Він відмічає, що різкого підвищення інтенсивності дихання не спостерігається навіть у зерна з підвищеною вологістю при наявності вільної води, якою характеризується критична вологість зерна [142,143,144,145,146].

Величина температури впливає також на розвиток та життєдіяльність мікроорганізмів у зерновій масі. Консервуюча дія температури на мікрофлору спостерігається при її зниженні до 8°C , що дозволяє проводити процес зберігання зернової маси без погіршення її якості [150].

Науковцями сформульовано положення про залежність температури зернового насипу в сховищах від температури зовнішнього повітря. Встановлено, що температура зернового насипу в сховищах, як правило, відстає

від температури зовнішнього повітря, а діапазон коливань температури зовнішнього повітря завжди значно ширший, ніж температури зернового насипу. У весняний та осінній періоди відбувається короточасний збіг вищевказаних температур.

Встановлення характеру згасання температурної хвилі в товщі зернової маси має свої складності, тому що внаслідок часткої зміни хвилі не встигають пройти через увесь насип і нашаровуються одна на одну.

Таким чином, аналіз літературних джерел показує, що активність фізіолого-біохімічних і мікробіологічних процесів у зерновій масі різко сповільнюється при знижених температурах (нижче 10 °C) [16,61,71,72,80,84,93].

1.4.2 Гігроскопічна взаємодія. Середовищем, у якому відбуваються життєві процеси в зерні, являється волога. Тому вміст води в зерні є одним з найважливіших показників, що характеризують його початковий стан [5,23,37].

Якщо вміст води в зерні невисокий (до 15-16% в перерахунку на гідрофільну частину), вважають, що вона перебуває у ньому в зв'язаному стані. При цьому волога майже не бере участі у реакціях обміну речовин організму, бо міцно утримується білками і крохмалем. Активність гідролітичних і дихальних ферментів різко зростає при появі вільної води, наслідком чого являється різка зміна фізіологічної активності зерна. Така волога називається критичною [14,21,43, 53].

Дослідженнями Л.О.Трисвятського, В.Л.Кретовича і Е.М.Ушакової та ін. встановлені залежності між вологістю зерна та інтенсивністю його дихання. На основі проведених експериментів ними доведено, що зерно середньої сухості, яке перебуває на грані критичної вологості, дихає приблизно в 2-4 рази інтенсивніше сухого і має малий газообмін, і тому володіє достатньою стійкістю при зберіганні. Вологе зерно дихає у 4-8 разів інтенсивніше сухого. Зерно вологістю понад 17% вважається вологим, і інтенсивність дихання в нього у 20-30 разів вища, ніж у сухого [93]. Для таких ферментів як ліпаза,

декарбоксилаза глютамінової кислоти порогом активності являється вологість зерна, що складає 8% і вище [56,94,144,104].

Зміну вмісту моносахаридів і сахарози в пшеничних зародках, що зберігалися при вологості від 8 до 18%, вивчав В.Л. Кретович. Він встановив, що кількість моносахаридів у зародках пшениці підвищується із підвищенням вологості, що призводить до відповідного зниження вмісту сахарози. Зворотний процес спостерігався у сухому зерні: відмічався синтез сахарози при одночасному зменшенні вмісту моносахаридів [79,85].

У сухому зерні відзначається зворотний процес: синтез сахарози при одночасному зменшенні вмісту моносахаридів.

Н.П.Козьміна і В.Л.Кретович спостерігали процес збільшення активності протеолітичних ферментів при впливі на зерно вологи і тепла. Вони дійшли висновку, що такий процес відбувається внаслідок збільшення розчинності цих ферментів у воді або ж в результаті підвищення вмісту сульфгідрильних сполучень[54,55,56,143].

Розвиток мікроорганізмів і шкідників у зерновій масі стимулює наявність у ній певної кількості вологості. Це було доведено дослідженнями Л.О. Трисвятського, Є.М. Мішустіна, О.П. Подьяпольської, О.П. Ордіна [144,145,146]. Ними була встановлена межа мінімальної кількості вільної вологи, при якій розвиток мікроорганізмів ще можливий. Граничною межею вологості зерна, при якій ще можливий розвиток мікроорганізмів, вологість, що перевищує критичну на 0,5-1,0%, [78,79].

На розвиток процесу самозігрівання значно впливає такий фактор як вихідна вологість зерна. Що вологість зерна оказує значний вплив на швидкість процесу самозігрівання зернової маси пшениці, доведено дослідями Ламурьо, Клейтона і Вернгелла [12,45,71,74,75]. На основі проведених експериментів встановлено, що в зерновій масі відбувається переміщення вологи під впливом температур за напрямком потоку тепла, що призводить до накопичення значної кількості крапельнорідкої вологи. Результатом такого процесу являється самозігрівання, а у деяких випадках і проростання зерна.

Ряд авторів висловлюють думку, що від зерна, що має більш високу температуру (в центрі насипу), виникає переміщення вологи до його більш холодного прошарку. Вони пояснюють цей факт сезонним коливанням температури, яке викликає виникнення конвективних струмів повітря в зерносховищах. Таке явище спостерігається восенні у сховищах різних типів. Автори звертають увагу на те, що найбільш високі температури відзначаються у верхній частині центральної зони насипу в зимовий період. А влітку найбільш низькі температури зерна спостерігаються у нижніх шарах центральної зони. Перерозподіл вологи шарами зернової маси виникає у результаті розшарування температури зерна. Такий процес може підвищити вологість верхнього шару зерна товщиною 250 мм на 4-6% [21,23,105,107,]. З аналізу зазначених літературних джерел можна зробити висновок, що вологість зерна вище критичної істотно впливає на активність процесів, які відбуваються у зерновій масі в процесі зберігання.

1.4.3 Аераційний чинник. На характер та інтенсивність процесів, що протікають у зерні під час його зберігання, а також на стан мікрофлори та розвиток мікробіологічних процесів значно впливає доступ атмосферного повітря до зернової маси. Доведено, що вплив ступеня аерації на життєдіяльність зерна, що володіє різною вологістю, не однаковий [1,19].

Відомо, що мікрофлора зернової маси складається, в основному, з аеробних мікроорганізмів [1, 2, 74, 75, 91]. Тому, щоб викликати пригнічення її розвитку та скорочення чисельності, необхідно створити умови з обмеженим доступом кисню.

Встановлено, що при тривалому зберіганні зернових мас без їх переміщення і продування, у міжзернових просторах накопичується вуглекислий газ і убуває кисень. Цей факт істотно не впливає на життєдіяльність сухого зерна, оскільки воно має невисоку інтенсивність дихання.

1.5 Обґрунтування конструктивної та технологічної реалізації досліджуваного процесу

Якість насіннєвого і продовольчого зерна залежить переважно від можливості регулювання фізичних, хімічних і біологічних процесів у зерновій масі під час зберігання у сховищі. Найдовше зберігається сухе й охолоджене зерно[37,53,93,137,154].

Партію зерна, що зберігається у насипах, називають зерновими масами. Під зерною масою розуміють біоценоз із зовсім особливими властивостями.

Різноманітна конфігурація зерен і домішок, їхні різні розміри зумовлюють те, що при розміщенні їх у ємкостях утворюються пустоти (шпари), заповнені повітрям, яке впливає на всі компоненти зернової маси, видозмінюється і може істотно змінюватися за складом, температурою і навіть тиском від звичайного повітря атмосфери. У зв'язку з цим, повітря міжзернових просторів також належить до компонентів, що входять до зернової маси [8, 30, 85, 91,154].

Крім зазначених постійних компонентів, у окремих партіях зерна можуть бути комахи і кліщі. Оскільки зернова маса є для них середовищем, у якому вони існують і впливають на стан, їх вважають п'ятим додатковим та вкрай небажаним компонентом зернової маси.

Отже, будь-яку зернову масу при її зберіганні й обробленні потрібно розглядати насамперед як комплекс живих організмів.

Основними властивостями зернової маси є: фізичні (сипкість, шпаруватість, сорбційна ємність і самосортування), теплофізичні (питома теплоємність, теплопровідність, температуропровідність і тепловологопровідність) і фізіологічні (післязбиральне дозрівання, дихання зерна, проростання, життєдіяльність мікроорганізмів і кліщів) [154].

До фізіологічних властивостей зернової маси належать наступні: дихання, що поділяється на аеробне й анаеробне; зміна складу повітря міжзернового

простору. Усі властивості зернової маси поділяють на дві групи: фізичні й фізіологічні.

До фізіологічних властивостей зернової маси належать: терміни зберігання (біологічна і господарська довговічність зернової маси); післязбиральне дозрівання, дихання і проростання зерна при зберіганні, життєдіяльність мікроорганізмів і комах; самозігрівання. Тип дихання залежить від біологічних особливостей, ступеня зрілості зерна, вологості й температури.

Для приймання зерна розробляють універсальну технологічну схему, що містить такі основні операції: приймання і зважування транспортних засобів; розвантаження транспортних засобів (саморозвантаження, вручну, авторозвантажувачем); попереднє очищення зерна (повітряне перекидання, на зерноочисниках, повітряно-ситових сепараторах та ін.); тимчасове зберігання зерна в накопичувальних бунтах, бункерах, складах; сушіння зерна в зерносушарках або установках для активного вентилявання (з підігріванням або без підігрівання атмосферного повітря); очищення зерна від домішок і доведення зернової маси до стандарту; очищення зерна від довгих і коротких домішок у трієрах; сортування зерна на фракції за крупністю у сепараторах; спрямування зерна в сховища; знезараження зерна (за потребою)[23,26,50,67,79].

Вивчення зернових мас як об'єктів зберігання показало, що найважливішими чинниками, що впливають на їхній стан і зберігання, є: вологість зернової маси і навколишнього середовища; температура зернової маси і навколишнього середовища; доступ повітря до зернової маси (ступінь її аерації). Ці чинники покладено в основу режимів зберігання зернових мас[40,87].

Щоб забезпечити той чи інший режим зберігання усіх партій зерна, особливо насіннєвого, захистити зернові маси від небажаних впливів навколишнього природного середовища, унеможливити невиправдані втрати їхньої маси та якості, потрібні спеціальні сховища.

Крім того, до сховищ пред'являють багато вимог: технічних (будівельних, протипожежних, тощо), технологічних, експлуатаційних і економічних. Залежно від цього сховища будують із різних будівельних матеріалів: деревини, каменю, цегли, залізобетону, металу та ін. Вибір залежить від місцевих умов, цільового призначення зерносховищ, тривалості зберігання зерна й економічних міркувань. Правильно побудовані зерносховища з каменю, цегли, залізобетону, внаслідок малої теплопровідності цих матеріалів, дають змогу також уникнути різко виражених явищ термовологопровідності в зерновій масі [15, 16, 66].

До сховищ пред'являються жорсткі вимоги. Вони мають бути добре ізольованими від атмосферних і ґрунтових вод та від різких перепадів температури; захищеними від проникнення гризунів і комах-шкідників хлібних запасів; мати механізми для завантаження й розвантаження та швидкого переміщення зернових мас; забезпечувати зберігання кількох партій насіння, запобігаючи їхньому змішуванню[23,93]. Крім того, у сховищах мають бути умови для контролю процесу зберігання зерна і насіння та проведення профілактичних і оздоровлювальних заходів. Зерносховище має бути досить міцним і стійким, тобто витримувати тиск зернової маси на підлогу й стіни, тиск вітру тощо. Воно повинне також оберігати зернову масу від несприятливих атмосферних впливів і ґрунтових вод. Покрівлю, вікна й двері влаштовують так, щоб унеможливити потрапляння атмосферних опадів, а стіни й підлогу ізолюють від проникнення крізь них ґрунтових і поверхневих вод. У правильно спорудженому зерносховищі при його нормальній експлуатації у більшості зон країни вологості майже не буває. Вологість повітря у таких сховищах легко підтримують на рівні 60...75 % протягом усього року [21,137].

Зерносховища мають забезпечувати надійність захисту зернових мас від гризунів і птахів, а також від комах-шкідників та кліщів, бути зручними для знезаражування (дезінсекції) й видалення пилу.

Застосовують два основних способи розміщення зерна в сховищах: підлогове і силосне. При підлоговому розміщенні зерно зберігають насипом або

в тарі на підлозі сховища при невеликій висоті шарами (5,0...5,5м). При силосному розміщенні висота зернової маси може досягати 30 м [158, 175].

У підлогового і силосного способів зберігання є свої переваги і недоліки.

Підлогове зберігання дає змогу зберігати зерно підвищеної вологості, а також зернопродукти в тарі, проте такі сховища важко цілком механізувати, зробити їх герметичними[67].

При силосному зберіганні краще використовується об'єм сховища, тут можна цілком механізувати приймання, оброблення і вивантаження зерна, однак вартість силосних сховищ вища, ніж підлогових, а їхнє будівництво триваліше.

Зерносховища (додаток А) можна класифікувати за такими показниками[37,137]: за способом зберігання зерна (складські і силосні приміщення); за часом зберігання (для тимчасового або тривалого зберігання); за конструктивними особливостями (навіси, склади, елеватори та ін.); за видом проведених у них операцій (тільки зберігання або зберігання та оброблення); за ступенем механізації (немеханізовані, напівмеханізовані і механізовані); за наявністю і типом вентиляційних установок (канальна, підлогова, переносна тощо).

Зберігання зерна може бути тимчасовим або тривалим. Як тимчасове, так і довгострокове зберігання зернових мас повинно бути організоване таким чином, щоб не було втрат у масі за винятком неминучих біологічних і, тим більше, втрат у якості.

Для зберігання зерна використовують наступні типи зерносховищ (додаток Б).

У період збирання зернових культур виникає необхідність організації тимчасового зберігання зерна на токах або відкритих площадках, на хлібоприймальних підприємствах - в бунтах[53,137].

Зберігання у тарі використовують для протруєного і деяких партій насіннєвого матеріалу. Обов'язково зберігають у тарі каліброване і протравлене насіння кукурудзи, оброблене на спеціальних заводах або цехах; насіння

овочево-баштанних, ефіроносних культур, трав, дрібне і сипке насіння технічних та олійних культур.

Одним із найважливіших шляхів зменшення втрат і підвищення якості продукції є забезпечення кожного господарства власним сучасним зерносховищем. Так, в аграрно розвинених країнах до 80% врожаю зберігається у його виробника.

Згідно зі статистикою в цей час більш 40% господарств України потребують пристосованих для зберігання зерна приміщеннях, а наявні в наявності — як правило, комірною типу з напольним зберіганням зернових; у деяких регіонах України забезпеченість господарств приміщеннями для зберігання зерна становить усього лише 12-20%.

1.6 Розробка принципової схеми та конструкції експериментального обладнання

На основі проведеного аналізу було розроблено сховище для зберігання сільськогосподарської продукції (рис.1.2) [12,21,30,44,86,87,111,129,132], що містить повітропідвідні канали 1, прошарки 2 зовнішніх стін 3, прошарок горища 4, прошарок сховища над продукцією 5 й продукцію 6. Над каналами 1 встановлені перфоровані ґрати 7, які можуть перекриватися поворотними заслінками 8, що встановлені на осях 9. Зовнішні стінки 3 у нижній частині мають жалюзійні отвори 10 для регулювання подачі повітря або крізь прошарки 2 зовнішніх стін і горища 4, або крізь продукцію.

Спочатку повітря подають у повітропідвідні канали та прошарки 2 зовнішніх стін 3, починаючи з зовнішнього прошарку, забезпечуючи тим самим поступовий перепад температур без утворення конденсату. При цьому жалюзійні отвори 10 зовнішніх стін закриті. Після проходження повітря крізь прошарки 2 зовнішніх стін 3, воно поступає у прошарки горища 4 й прошарок сховища над продукцією 5.

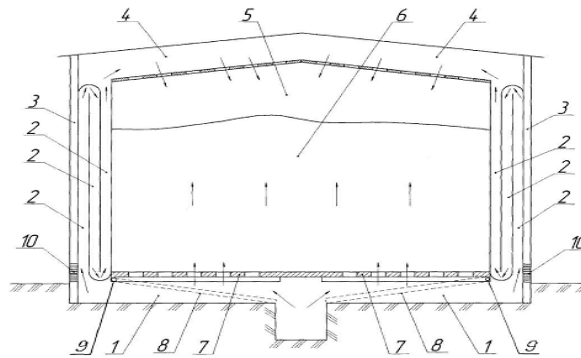


Рис. 1.2. Загальний вигляд сховища для зберігання сільськогосподарської продукції:

1 – повітропідвідні канали; 2 – прошарки; 3 – зовнішні стіни; 4 – прошарок горища; 5 – прошарок сховища над продукцією; 6 – продукція; 7 – перфоровані ґрати; 8 – поворотні заслінки; 9 – вісі; 10 – жалюзійні отвори.

Після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря, поворотні заслінки 8 опускають на днище повітропідвідного каналу 1 і повітря подають крізь перфоровані ґрати 7 в продукцію 6 у зворотному напрямку. Тепер повітря, що пройшло крізь продукцію 6, вертається у зворотному напрямку крізь прошарок горища 4, прошарки 2 зовнішніх стін 3 та виходить в жалюзійні отвори 10, забезпечує тим самим стабільність температур по всьому простору сховища та продукції.

Таким чином, створення спрямованих потоків повітря, спочатку крізь прошарки зовнішніх стін 5 послідовно, починаючи від зовнішнього прошарку, з подальшою подачею повітря в прошарок горища й у прошарок сховища над продукцією забезпечує поступовий перепад температур без утворення конденсату, а після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря, подача повітря у зворотному напрямку крізь продукцію забезпечує інтенсифікацію процесу вентилювання сільськогосподарської продукції у сховищі, що дозволяє раціонально організувати робочий процес вентилювання та підвищити якість продукції.

Дана конструкція дозволяє уникнути значних втрат зерна, зберегти якість зерна, а також знизити витрати на зберігання. Потік повітря, який

проходить крізь зернову масу, справляє різнобічний технологічний вплив на зерно. Під його дією змінюються газовий склад повітря у міжзернових проміжках, температура і вологість зерна та інтенсивність фізіологічних і мікробіологічних процесів у зерновій масі.

1.7 Висновки до 1 розділу

1. На основі огляду існуючих технологій та процесів зберігання зерна встановлено, що існуючі методи не в повній мірі відповідають сучасним тенденціям підвищення якісних характеристик означеної сировини за умови її довготривалого зберігання.

2. Встановлено, що одним із напрямків вирішення проблеми процесів зберігання зернової маси являється синтез методів активного вентилявання та використання охолодження при обробці в їх раціональному поєднанні.

3. Здійснена оцінка конструктивних та технологічних параметрів обладнання для реалізації процесу довготривалого зберігання зернової продукції.

4. На основі аналізу факторного простору та фізико-хімічних властивостей зерна пшениці, як об'єкта зберігання встановлено перспективність його зберігання в охолодженому стані за умови активної вентиляції оброблюваної продукції.

5. Обґрунтовано напрям досліджень підвищення ефективності зернозберігаючих комплексів із встановленням їх раціональних параметрів за сталих характеристик індексу деформації клейковини в оброблюваній продукції.

6. Запропоновано принципову схему сховища для зберігання сільськогосподарської продукції, яка реалізує ідею комплексної технологічної обробки зернової маси за рахунок ефективного розподілу охолодженого потоку повітря, що проходить крізь сировину, регулюючи його газовий склад у міжзернових проміжках, температуру, вологість та інтенсивність фізіомікробіологічних процесів у оброблюваній продукції.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЯКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ОБ'ЄКТА ОБРОБКИ

2.1 Мета, завдання і програма досліджень

Метою експериментальних досліджень було одержання даних, необхідних для підтвердження теоретичних результатів, а також дослідження впливу на процес охолодження пшениці факторів, не врахованих у теоретичному аналізі.

Програмою досліджень передбачено виконання таких завдань:

- дослідження технологічного процесу зберігання пшениці;
- визначення якісних показників пшениці у процесі зберігання у зерносховищі;
- аналіз сховища для зберігання сільськогосподарської продукції, а саме зерна;
- визначення взаємодії температури, повітря, коефіцієнта теплопровідності з зерном.

Відповідно до поставлених завдань загальна програма досліджень містить такі етапи:

- розробку та створення експериментальної установки зерносховища;
- визначення оптимальних технологічних та енергетичних характеристик розробленого обладнання;
- визначення впливу технологічних параметрів зерносховища на якісні показники процесу зберігання зерна;
- аналіз та узагальнення отриманих експериментальних даних.

Програма лабораторних досліджень передбачала перевірку і уточнення наступних положень.

Алгоритм проведення експериментальних досліджень процесу охолодження при зберіганні зерна представлено у блок-схемі (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Блок-схема підготовки та експериментальних досліджень процесу охолодження при зберіганні зерна.

2.2. Розробка експериментальної установки.

2.2.1 Опис розробленого обладнання. Нами було запропоновано та виготовлено на кафедрі: обладнання переробних і харчових виробництв у Таврійському державному агротехнологічному університеті експериментальні зерносховища для дослідження процесу охолодження пшениці з використанням різних режимів зберігання та встановлення показників якості пшениці, що зберігається [2,8,19,41,82,86,87,90,99,100,106,112,114,136,137].

Експериментальна установка для дослідження процесу охолодження зерна (рис. 2.2) складається з міні-зерносховищ, охолоджувальних пристроїв, датчиків включення та фіксування температурних режимів, термометра та ноутбуку [111,129,132,164].

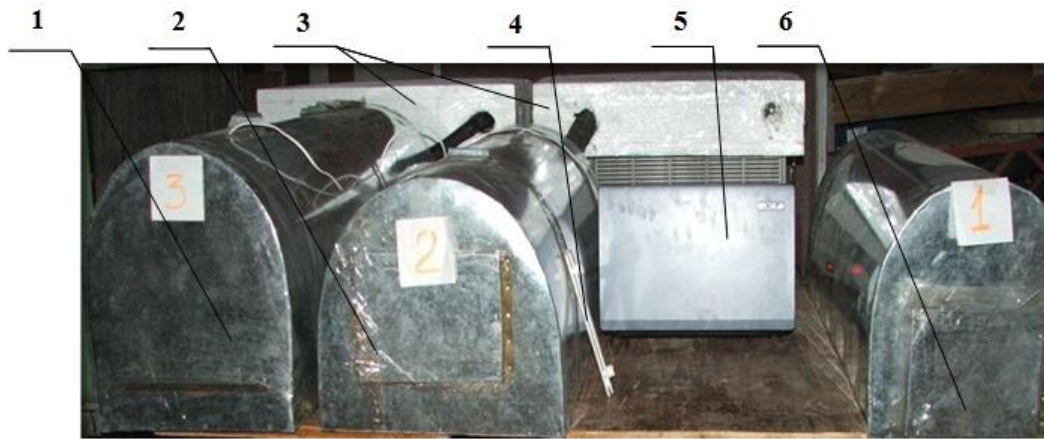


Рис. 2.2. Загальний вигляд експериментальної установки:

1, 2 – склад (зерносховище) з охолодженням; 3 – охолоджувачі; 4 – термометр; 5 – ноутбук; 6 – склад (зерносховище) без охолодження.

На рис.2.3 можливо спостерігати блок керування та фіксування температури у зерносховищі.

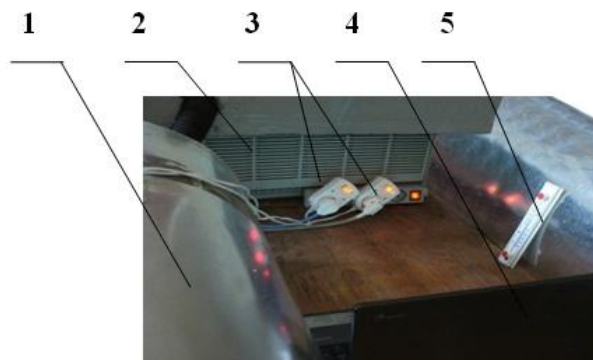


Рис. 2.3. Блок керування та фіксування температури у зерносховищі:

1 – склад (зерносховище) з охолодженням; 2 – охолоджувач; 3 – температурні датчики; 4 – термометр; 5 – ноутбук

Для кожного із зерносховищ був вибраний температурний діапазон, завдяки якому можливо спостерігати зміну показників якостей пшениці.

У процесі охолодження використовували однаковий початковий матеріал, тобто пшениця на початку експерименту була закладена з однаковими показниками.

Новизна технічного рішення із застосування охолодження у зерносховищі захищена трьома патентами на корисні моделі України №72101, №72178, №72541(додаток В).

2.2.2 Візуалізація конструкції зерносховища та процесу охолодження. За допомогою програми 3D Max можливо зробити 3D-моделювання, анімації, імітації та візуалізації. 3D Max забезпечує доступ до нових ефективних інструментів, підвищує продуктивність і спрощує робочі процеси, що дозволяє більш ефективно працювати зі складними компонентами у високому дозволі [119].

На підставі виконаних експериментальних досліджень нами було зроблено наглядне уявлення процесу охолодження пшениці у зерносховищі у програмі 3D Max (рис. 2.4, 2.5, 2.6).

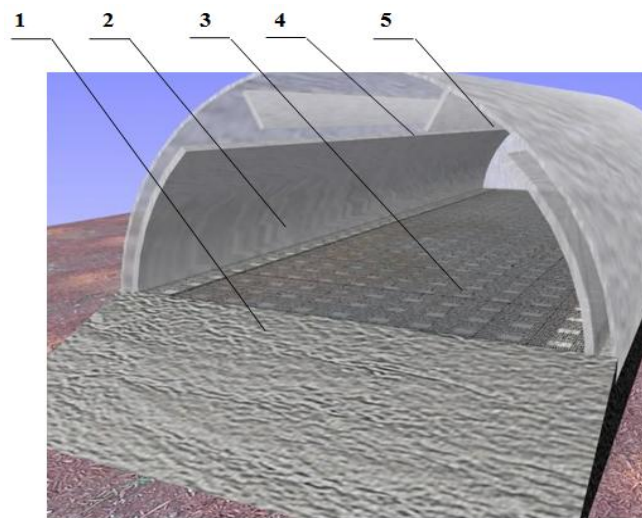


Рис. 2.4. 3D моделювання зерносховища:

1 – фундамент; 2 – перегородки; 3 – решето; 4 – повітровідводич; 5 – криша.

За допомогою цієї програми можливе наглядне зображення застосування винаходу у практиці та виявити, що необхідно урахувати під час виробництва, а також зосередитися на окремих деталях під час планування будови або модернізації зерносховища [29,65,66,111,129,132,169,170].

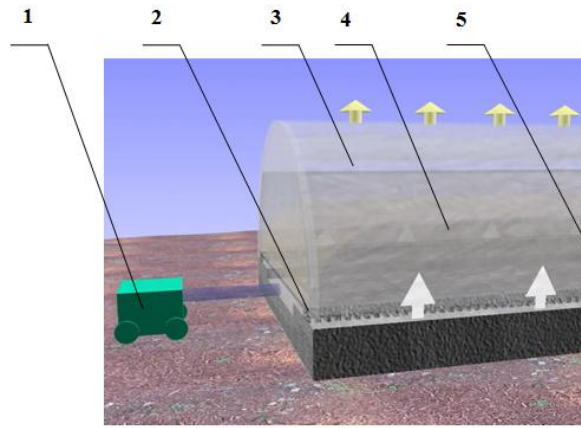


Рис. 2.5. Процес охолодження у 3D моделюванні:

1 – охолоджувач; 2–криша; 3–стіни; 4–зернова маса; 5–охолоджувальне повітря.

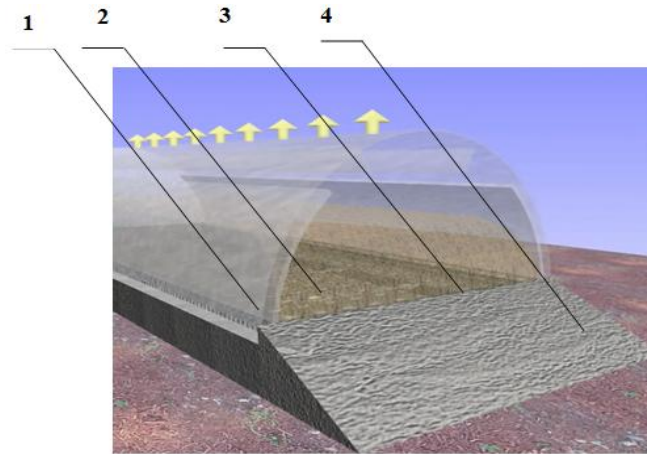


Рис. 2.6. Розміщення зерна у зерносховищі у 3D моделюванні:

1 – стіни; 2–зернова маса; 3–решето; 4–фундамент.

2.3. Вимірjувальне та експериментальне оснащення

Для виявлення якісної картини споживання енергії у розробленого устаткування, оцінки робочих, кінетичних та якісних параметрів досліджуваного процесу було здійснено експериментальні дослідження на дослідній установці зерносховища.

Зміна подачі холодоносія реалізується внаслідок керування частоти обертання вентилятора холодогенератора за допомогою автотрансформатора АОСН-20-220-75 (рис. 2.7), який призначений для роботи зі змінним струмом. Він містить рухомий струмознімальний контакт у вигляді графітового ролика, що дозволяє плавно змінювати напругу від нуля до максимуму. Також обмотка

згаданого автотрансформатора має декілька клем, завдяки яким можна отримувати різні характеристики струму на виході. Прилад можна застосовувати як стабілізатор, бо його підключення до установки запобігає стрибкам напруги в мережі. Реєстрація частоти обертання приводного вала вентилятора виконувалась за допомогою безпроводного тахометра UNI-T UT372 (рис. 2.8).

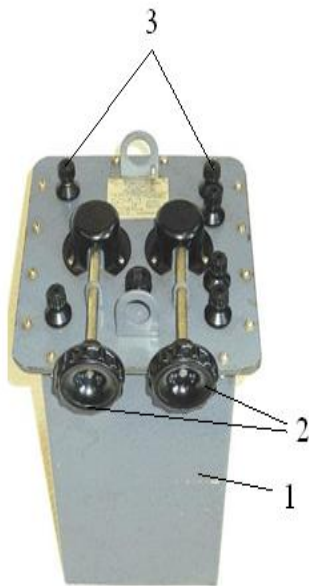


Рис. 2.7. Лабораторний автотрансформатор АОСН-20-220-75: 1 – зовнішній кожух; 2 – регулятори напруги; 3 – вхідні та вихідні клеми.



Рис. 2.8. Частотомір UNI-T UT372: 1 – лазерний зчитувач; 2 – цифровий індикатор; 3 – панель керування.

Для визначення енергетичних характеристик досліджуваної установки використовувався електронний ватметр EMF-1 (рис. 2.9), який призначений для вимірювання споживаної потужності у мережі 220В, 16А (максимум) з підключенням через побутову розетку. За допомогою цього приладу вимірювались наступні показники: напруга в мережі, частота та сила змінного струму, споживана потужність, коефіцієнт потужності (100% для активного навантаження), час роботи обладнання та сумарна спожита електроенергія за весь період роботи установки в кВт·год.

При вимірюванні маси користувалися лабораторними вагами JADEVERSNUGII-150 (рис. 2.10), межа вимірювання 0...500 г.



Рис. 2.9. Електронний ватметр EMF-1: 1 – корпус ватметра; 2 – панель керування; 3 – індикаторний дисплей.



Рис. 2.10. Ваги лабораторні JADEVERSNUGII-150.

Температуру холодоносія оцінювали сертифікованим термометром «Infrared Thermometer»; межі виміру $-25...120\text{ }^{\circ}\text{C}$, похибка вимірювання $\pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, який інтегрований у контролер температури «SPLIT» (рис. 2.11).

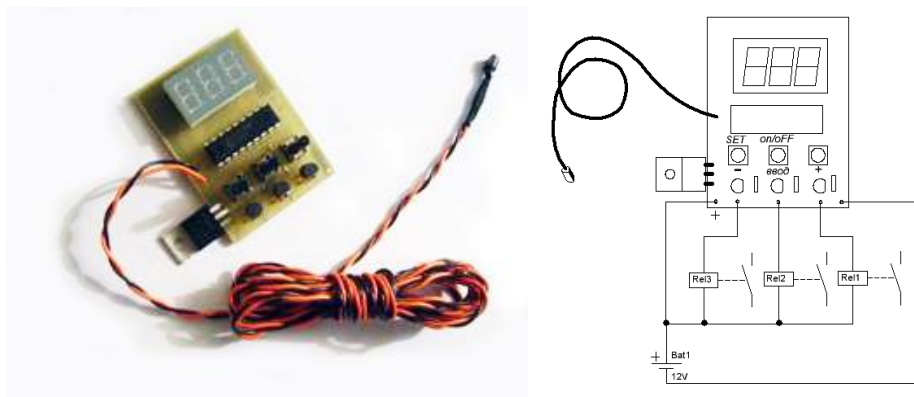


Рис. 2.11. Загальний вигляд контролера температури «SPLIT»

Для вимірювання швидкості руху повітря у повітропроводі застосовується ручний анеометр МС-13 ГОСТ 6376-74; межі виміру $1...20\text{ м/с}$, поріг чутливості $0,8\text{ м/с}$, похибка вимірювання $\pm 0,3\text{ м/с}$.

Для вимірювання тиску повітряного потоку в повітропроводі використовували багатомежовий мікроманометр з похилою трубкою ММН-240 ТУ-25-01-277-70.

Для реєстрації часу охолодження застосовувався секундомір СДСпр-1 ГОСТ 5272-72; похибка вимірювань $\pm 0,4$ с за 20 хвилин.

Для контролю вологості зерна використовувався вологомір «Wile-55» (рис. 2.12). Для оцінки забрудненості шкідниками використовувалась мікробіологічна шафа (рис. 2.13).



Рис. 2.12. Загальний вигляд вологоміра «Wile-55» для контролю вологості зерна.



Рис. 2.13. Загальний вид обладнання для оцінки забрудненості шкідниками зерна:

- 1 – завантажувальна шафа;
- 2 – ексікатор; 3 – термометр;
- 4 – бюкса

Забір зернової сировини було здійснено за методом точкового відбору з використанням лабораторного пробовідбірника, схема якого зображена на рис.2.14. У зовнішньому патрубку 1 з конічним наконечником і вікнами по довжині щільно вставляється внутрішній патрубок 2, розділений внутрішніми заслінками 3 на ряд камер 4. Кожна камера має вікно, яке за розмірами і розміщенням збігається з отвором у патрубку 1. Під час повороту внутрішньої трубки 2 за допомогою важеля 5 отвори в ній збігаються з отворами в зовнішній трубці або перекриваються її стінками. Положення «камери відкриті» і «камери закриті» фіксуються заслінкою 6, що розміщується у стінці внутрішньої трубки.

Працює конструкція таким чином: після введення пробовідбірника в приготовлену суміш камери внутрішньої трубки закриті, після фіксації глибини введення пробовідбірника камери відкриваються, у них самопливом

засипається суміш, потім камери закриваються і пробовідбірник виймається. При цьому суміш кожної камери становить одну пробу. Конструкція розглянутого пробовідбірника широко використовується дослідниками тому, що надає змогу одночасно відібрати відразу від 4 до 20 проб [123].

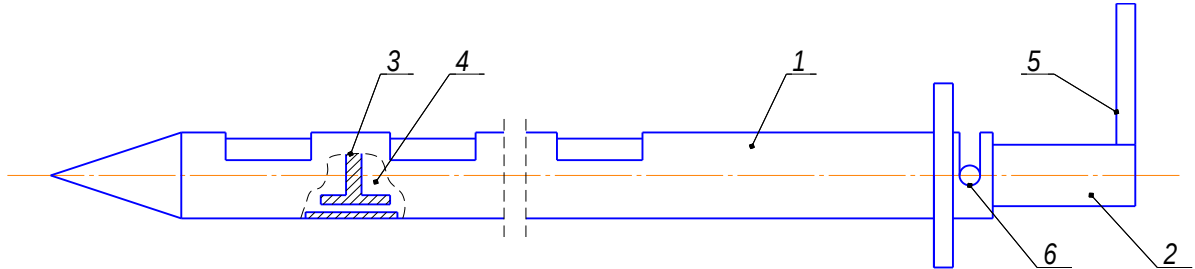


Рис. 2.14. Схема конструкції трубчастого пробовідбірника:

1 – зовнішній патрубок; 2 – внутрішній патрубок; 3 – заслінка; 4 – камера;
5 – важіль; 6 – фіксувальна заслінка

Для виміру індекса деформації клейковини був використаний прилад ІДК-1 (рис. 2.15), принцип і метод роботи якого засновані на вимірі величини залишкової деформації проби клейковини після дії тарованого навантаження (пуансона) протягом заданого часу (30 с).

Індикатор деформації клейковини ІДК-1М – механічний прилад із стрілочним індикатором умовних одиниць пружності та невеликими елементами електроніки (елементи контролю і управління, елементи сигналізації). Величина деформуючого навантаження – 120 г.

Прилад призначений для визначення якості клейковини пшениці і пшеничної муки хлібопекарського і макаронного розмелу по її здатності чинити опір деформуючому навантаженню стискання двома площинами і фіксованим часом дії, згідно до ГОСТ 13586.1-68 та ГОСТ 27839-88.

Оцінка пружності клейковини розпочинається з увімкнення приладу для його підігріву за 15-20 хв. до початку. Потім відбирають наважку 4 г клейковини з відмитої проби та скачують у кульку, яку завантажують у чашку з водою на 15 хв. Далі треба натиснути кнопку 6 та підняти пуансон у верхнє положення, у центр столика 8 покласти клейковину, натиснути кнопку 2 і

відпустити ii. Через 30с після загорання лампочки 5 зняти показання зі шкали індикатора 4.



Рис. 2.15. Прилад ІДК-1: 1 – кнопка вмикання; 2 – кнопка «Пуск»; 3 – «калібрування» стрілки амперметра; 4 – шкала індикатора; 5 – лампочка «Відлік»; 6 – кнопка «Гальмо»; 7 – падаючий вантаж (пуансон); 8 – столик для кульки клейковини.

2.4. Розробка допоміжного оснащення для оцінки коефіцієнта теплопровідності.

Коефіцієнт теплопровідності пшениці визначався на лабораторній установці для визначення коефіцієнта теплопровідності сільськогосподарських матеріалів (рис.2.16) у лабораторії Таврійського державного агротехнологічного університету.

Спочатку треба включити термостат 9 та нагрівач 13. Потім продукт поміщають у зразок (ячейку) 12, теплоізований з бічних сторін. Зверху на нього укладають гарячу термopару 3 і притискають нагрівач, знизу - холодну термopару і холодильник 11, у якому закріплено датчик теплового потоку. Затискаємо за допомогою гвинта і вантажів. Таке розміщення нагрівача 13 (зверху) і холодильника 11 (знизу) вибрано для виключення появи конвективних потоків теплоти у зразку.

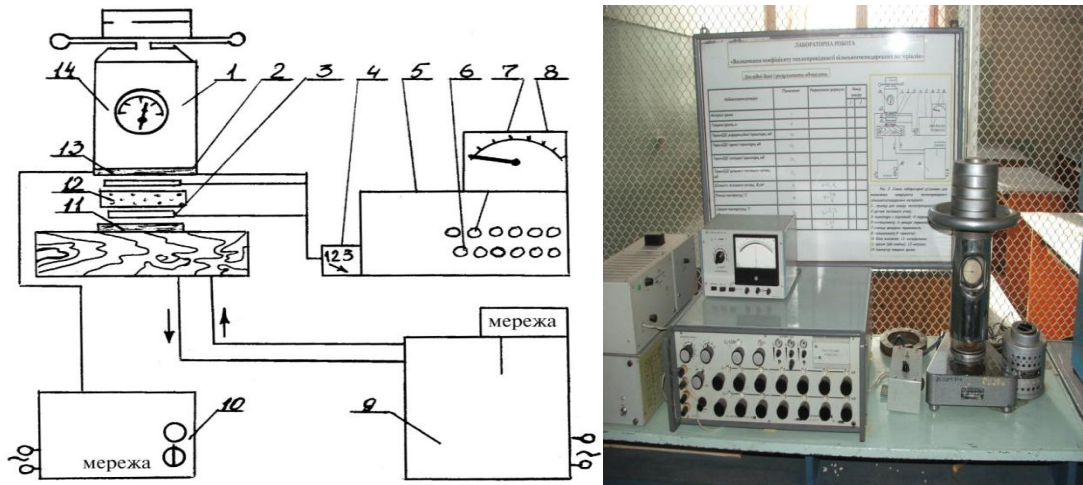


Рис. 2.16. Установка для визначення коефіцієнта теплопровідності сільськогосподарських матеріалів:

1 – прилад для виміру теплопровідності ІТФ-3; 2 – датчик теплового потоку; 3 – термопари з підложкой; 4 – перемикач; 5 – потенціометр; 6 – декадні перемикачі; 7 – віконця декадних перемикачів; 8 – гальванометр; 9 – термостат; 10 – блок живлення; 11 – холодильник; 12 – зразок (або ячейка); 13 – нагрівач; 14 – індикатор товщини зразка.

Особливу увагу слід звертати на точність встановлення зразка на центр холодильника 11, де розташований датчик теплового потоку, а також точність установки гарячої та холодної термопар на центр зразка. Не допускаються повітряні зазори між зразком, частинами приладу і термопарами. Вмикається тумблер «мережа» на блоці живлення 10 потенціометра. Після досягнення стаціонарного режиму теплового потоку через зразок зробити виміри та зняти показання значень термо-ЕРС у віконцях 7 декадних перемикачів 6.

Коефіцієнт теплопровідності визначали за формулою:

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{\Delta t}, \quad (2.1)$$

де q – тепловий потік через зразок, Вт/м²;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·К);

δ – товщина зразка, м;

Δt – різниця температур на його поверхнях.

Щільність теплового потоку

$$q = U_q \cdot k_q, \quad (2.2)$$

де U_q – розмір термо-ЕРС датчика теплового потоку, мВ;

$$k_q - \text{коефіцієнт датчика теплового потоку} \left(78 \frac{\text{Вт}}{\text{мВ м}^2} \right),$$

Різниця температур холодної і гарячої поверхонь зразка

$$\Delta t = \frac{U_{\Delta t}}{k_t}, \quad (2.3)$$

де $U_{\Delta t}$ – розмір термо - ЕДС диференційної термопари, мВ;

$$k_t - \text{коефіцієнт термопари} (0,083 \text{ мВ}/^\circ\text{C}).$$

Температура гарячої поверхні зразка

$$t_z = \frac{U_{t_z}}{\kappa_t}, \quad (2.4)$$

де U_{t_z} – розмір термо-ЕРС гарячої термопари, мВ.

Температура холодної поверхні зразка

$$t_x = \frac{U_{t_x}}{\kappa_t}, \quad (2.5)$$

де U_{t_x} – розмір термо-ЕРС холодної термопари, мВ.

Середня температура, яка зіставлена зі знайденим значенням коефіцієнта теплопровідності

$$t_{cp} = \frac{t_z + t_x}{2}. \quad (2.6)$$

Розбіжність у значеннях коефіцієнта теплопровідності для двох зразків, замірених двома термопарами, не перевищує 2,5%, що знаходиться в межах помилки досліду 5%.

2.5 Методика визначення фізико-механічних і теплофізичних параметрів процесу охолодження

2.5.1 Методика визначення вологості зерна. Вологість зерна визначають методом висушування в сушильній шафі згідно ГОСТ 12041-82 [36]. Для аналізу відбирають пробу масою приблизно 50 г, потім розмелюють на млинку і совком або ложечкою з різних місць проби беруть виїмки для наважок по 5 г, які відважують у попередньо зважених бюксах.

Зерна висушують при температурі 130°C протягом 40 хв. Після висушування зерна протягом зазначених строків бюкси виймають із шафи, закривають кришками і поміщають на 15-20 хв у ексикатор для охолодження, а потім зважують з точністю до 0,01 г.

Вологість зерна (у відсотках) дорівнює втраті води зерном, помноженій на 100% і поділеній на величину наважки.

Аналіз вважається закінченим, якщо розбіжність між паралельними дослідженнями не перевищує 0,2%, в іншому разі аналіз повторюють.

У дуже вологому зерні (понад 20%) вологість визначають з попереднім підсушуванням. Для цього з проби зерна беруть наважку 20 г, поміщають у неглибоку чашку діаметром 8-10 см і підсушують у сушильній шафі при температурі 105°C протягом 30 хв. Потім наважку охолоджують в ексикаторі та зважують.

Підсушене зерно розмелюють і далі проводять аналіз вже звичайним способом. Вологість зерна (X) розраховують за формулою [24] :

$$X = 100 - (B - b), \quad (2.7)$$

де B – 20-грамова наважка неподрібненого зерна після попереднього підсушування;

b – 5-грамова наважка після повторного висушування.

У зв'язку з тим, що вищезазначена методика вимірювання вологості тривала в часі, а в разі нашого експерименту потрібна велика кількість таких вимірів, то ми користувалися вологоміром «Wile-55» (рис. 2.12).

Даний вологомір вимірює вміст води в цільних зернах, насінні, і являє собою мікропроцесорний електронний прилад, який показує дані на дисплеї щодо процентного вмісту води в 16 різних типах зерна і насіння.

Вимірюваний діапазон вмісту води від 8% до 35% (від 6% до 25% для олійних культур).

Виміри проводилися у такій послідовності:

- наповнювали вимірювальний циліндр зерном спочатку на одну чверть, акуратно струшували та продовжували заповнення «до країв»;
- повертали кришку вимірювального циліндра по різьбі за годинниковою стрілкою до тих пір, поки центральний рухомий стрижень кришки не зрівняється з площиною кришки;
- здійснювали вимір.

Оскільки вологість зерна може відрізнятись у різних частинах партії зерна, то здійснювали не менше п'яти вимірювань.

2.5.2 Методика визначення площі поверхні зернини.

Площу поверхні зернини $F_{\text{зер}}$ визначали за формулою [2.8]

$$F_{\text{зер}} = 4\pi R(l + 3R), \quad (2.8)$$

де R – приведений радіус зернини;

l – довжина зернини, $l = 11 \dots 15$ мм.

$$R = \frac{5a + 6b}{60}, \quad (2.9)$$

де a – товщина зернини, $a = 4 \dots 6$ мм;

b – ширина зернини, $b = 7 \dots 8, 7$ мм;

2.5.3 Методика обробки узагальнення чисел подібності процесу охолодження. У досліджуваному процесі можна вважати, що загальну гідродинамічну ситуацію в апараті може характеризувати сумарна середня швидкість потоку холодоагента та число, що відповідає критерію Рейнольдса (Re).

Тому, запис числа Рейнольдса слід модифікувати, привівши його до характерних параметрів процесу охолодження у вібраційному полі.

Прийнявши в якості характерного розміру системи – діаметр оброблюваного матеріалу (зернини), а за характерну швидкість – частоту потоку, модифіковане число Рейнольдса набуде вигляду:

$$Re_B = \frac{\rho d^2 \Pi}{\mu} \quad (2.10)$$

де ρ – густина зерна, кг/м³;

d – діаметр зернівки, м;

Π – величина потоку холодоносія, кг/с;

μ – динамічна в'язкість, Па с.

Співвідношення між конвективними та молекулярними процесами переноса тепла характеризується числом Пекле (Pe). Також дане число являється критерієм подібності для процесів конвективного теплообміну.

$$Pe_B = Re_B \cdot Sc; \quad (2.11)$$

де Sc – число Шмідта;

$$Sc = \frac{\nu}{D}; \quad (2.12)$$

де D – коефіцієнт дифузії (волога – повітря); $D = 0,216 \cdot 10^{-4}$ м²/с

ν – кінематична в'язкість, м²/с.

Підставляючи (2.10) і (2.12) у (2.11), отримаємо:

$$Pe_B = \frac{\rho d^2 \Pi}{\mu} \cdot \frac{\nu}{D}, \quad (2.13)$$

$$Pe_B = \frac{\rho d^2}{D}. \quad (2.14)$$

Модифіковане вібраційне число Стентона – число подібності

$$St = \frac{\beta}{d\Pi}, \quad (2.15)$$

де β – коефіцієнт масовіддачі при охолодженні.

Маса видаленої вологи при сушінні за проміжок часу:

$$M = \beta F(C_H - C_r), \quad (2.16)$$

де F – площа поверхні зернини;

C_H – концентрація вологи в повітрі в умовах насичення при температурі повітря;

C_r – поточне значення концентрації вологи в повітрі

Шуканий вираз для числа Стентона, в узагальнених змінних набуде вигляду:

$$St_B = A Re_B^n \Pi_1^m T^k. \quad (2.17)$$

де Π_1 – безрозмірний параметричний комплекс завантаження;

$$\Pi_1 = \frac{V_3}{V_{\Pi}}, \quad (2.18)$$

де V_3 – об'єм завантаження;

V_{Π} – об'єм контейнера;

T – безрозмірна температура;

$$T = \frac{T_3}{T_{\Pi}}, \quad (2.19)$$

де T_3 – температура зерна, під час охолодження якого визначається на основі бази експериментальних даних;

T_{Π} – початкова температура зерна;

A, n, m, k – константи визначення яких визначається на основі бази експериментальних даних.

2.5.4 Визначення вмісту клейковини у пшениці. Аналіз досліджень показує, що в різних країнах світу товарне зерно пшениці класифікується за різними ознаками, за різними нормами якості та системами його оцінки, прийнятими і чинними в конкретній країні або регіоні. При цьому уніфікованих на увесь світовий ринок класифікацій зерна не існує, тому в кожному конкретному випадку визначальними є значущі показники якості.

Одним з основних показників, що визначають якість зерна в Україні, є кількість і якість клейковини. Під клейковиною розуміють високогідратовану білкову речовину, що складається в основному з гліадину і глютеніну.

Нами було використане ручне відмивання клейковини за методом ГОСТ 13586.1-68 [115, 116, 117].

2.6 Обробка експериментальних результатів досліджень

Під час отримання результатів експериментальних досліджень виникає потреба у перевірці достовірності цих результатів, а також адекватності теоретичних висновків і залежностей.

Достовірність результатів експериментальних досліджень оцінюємо за вірогідною ймовірністю P_n (надійністю) або ймовірністю того, що дійсне значення ймовірності величини потрапляє у довірчий інтервал:

$$m = \pm t_{\beta} \sigma_m \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}{N-1}}, \quad (2.20)$$

де t_{β} – гарантійний коефіцієнт Ст'юдента для довірчої вірогідності (ГОСТ 8.207-76);

σ_m – середньоквадратичне відхилення (дисперсія) вимірів:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}{N-1}}, \quad (2.21)$$

де N – кількість вимірів;

x_i – значення вимірюваної величини;

$\bar{x}$ – середньоарифметичне значення вимірюваної величини:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.22)$$

Щоб отримати вірогідне значення вимірюваних величин, необхідну кількість вимірів під час розподілу похибок, близького до нормального [141], визначаємо за формулою:

$$N \geq \frac{1 + P_n + 2n_{cm}}{1 - P_n}, \quad (2.23)$$

де n_{cm} – число вимірів із грубими похибками, які відкидали.

Відповідно до рекомендацій [142], вірогідна ймовірність вибрана в інтервалі (0,8...0,9), тоді при $n_{cm} = 0$ маємо:

$$N \geq \frac{1 + (0.8...0.9)}{1 - (0.8...0.9)}. \quad (2.24)$$

У подальшому за N відомих вимірів визначається ймовірність P_n за умови, що похибка середнього значення не виходить за межі вірогідного інтервалу m . Для цього вираховуємо середньоарифметичне значення σ_o середньоквадратичного відхилення σ_m :

$$\sigma_o = \frac{\sigma_m}{N}, \quad (2.25)$$

Потім визначається коефіцієнт Ст'юдента:

$$t_{cm} = \frac{\mu}{\sigma_o}. \quad (2.26)$$

Після чого, за відомими t_{cm} та N визначаємо розрахункову вірогідну ймовірність P_{n1} . Якщо P_{n1} виявляється нижчою за необхідну, то визначаємо мінімальну кількість вимірів:

$$N_{\min} = \frac{k_B^2 t_{\beta}^2}{\Delta^2}, \quad (2.27)$$

де Δ – точність вимірів;

k_B – коефіцієнт варіації, рівний:

$$k_B = \frac{\sigma_m}{\bar{x}}. \quad (2.28)$$

Перевірку адекватності теоретичних залежностей проводимо за допомогою відхилень, значень шуканого параметра $\hat{y}$ від експериментально встановлених та усереднених $\bar{y}$ за числом повторень дослідів m , що вираховуються за теоретичними залежностями.

Оцінку відхилень проводимо із використанням теорії Фішера, для чого розраховуємо екстремальне значення критерія Фішера f_e і порівнюємо із

теоретичним f_m , яке приймається за необхідного рівня значущості. Якщо $f_e \leq f_m$, то теоретична залежність адекватна.

Значення критерія Фішера для експериментальних вимірів визначаємо за залежністю:

$$f_e = \frac{S_a}{S_b}, \quad (2.29)$$

де S_a – дисперсія адекватності, яка рівна:

$$S_a = \frac{m}{n-1} \sum_{i=1}^N (\bar{y} - \hat{y})^2, \quad (2.30)$$

де S_b – дисперсія відтворюваності:

$$S_b = \frac{l}{N(m-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{u=1}^m (y_{iu} - \hat{y}), \quad (2.31)$$

де m – кількість паралельних дослідів;

l – кількість значущих коефіцієнтів теоретичної залежності.

Теоретичне значення критерія Фішера приймаємо за таблицею при відповідних ступенях вільності f_1 і f_2 та рівні значущості q (зазвичай $q=0,05$), тоді:

$$f_1 = N - 1, \quad (2.32)$$

$$f_2 = N(m-1). \quad (2.33)$$

Якщо теоретичні розрахунки виявляться неадекватними порівняно з даними експериментів, то необхідно переходити до більш складних, досліджуючи раніше прийняті під час складання теоретичних припущень.

Розрахунок довірчого інтервалу коефіцієнтів регресії здійснювався за формулами:

$$S(b) = T_i \bar{s}_y(\bar{y}) \quad (2.34)$$

$$\Delta b_{кр} = t \cdot S(b) \quad (2.35)$$

де $S(b)$ – помилка у визначенні відповідного коефіцієнта;

T_i – розрахункові коефіцієнти для планів Бокса – Бенкіна.

Перевірка моделей на адекватність здійснювалась за критерієм Фішера:

$$F = \frac{s_{na}^2}{s_g^2}, \quad (2.36)$$

де s_{na}^2 – дисперсія неадекватності:

$$s_{na}^2 = \frac{\sum_1^{13} y_i^2 - \frac{[b \cdot \sum y_s x_i x_j]}{f_{na}}}{f_{na}} \quad (2.37)$$

Перевірка однорідності дисперсій виконувалася за допомогою критерію Кохрена G:

$$G = \frac{(s_i^2)_i}{\sum_{i=1}^N s_i^2} \quad (2.38)$$

Якщо $G < G_{\text{табл}}$ за заданою величиною помилки і числам ступенів свободи $f_1 = n-1$ і $f_2 = N$, гіпотеза про однорідність ряду дисперсій може бути прийнята. При однорідності дисперсій розраховується оцінка усередненої дисперсії відтворюваності:

$$s_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{s}_i^2}{N(n-1)} \quad (2.39)$$

Для отриманих у результаті експерименту поверхонь відгуку з метою отримання комплексних показників якості зерна був використаний статистичний метод аналізу головних компонент[98,99]. Складають серію лінійних комбінацій всіх відгуків, які називаються головними компонентами.

При цьому кожна лінійна комбінація містить найбільшу частину дисперсії або варіації усіх відгуків і в той же час вона лінійно незалежна від усіх інших головних компонент. Головна компонента Y_j представляє собою лінійну комбінацію 5 змінних[171]:

$$\bar{Y}_j = \beta_1 Y_{1,j} + \beta_2 Y_{2,j} + \dots + \beta_p Y_{p,j}, \quad j=1, 2, \dots, 13 \quad (2.40)$$

де $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5$ – коефіцієнти лінійної комбінації. Рівняння (2.26) виразимо у матричній формі. Позначимо:

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix} \quad \bar{Y} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_1 \\ \bar{Y}_2 \\ \bar{Y}_3 \\ \bar{Y}_4 \\ \bar{Y}_5 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} Y_{1,1} & Y_{1,2} & Y_{1,3} & Y_{1,4} & Y_{1,5} \\ Y_{2,1} & Y_{2,2} & Y_{2,3} & Y_{2,4} & Y_{2,5} \\ Y_{3,1} & Y_{3,2} & Y_{3,3} & Y_{3,4} & Y_{3,5} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{13,1} & Y_{13,2} & Y_{13,3} & Y_{13,4} & Y_{13,5} \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

Тоді головну компоненту можна записати в матричному вигляді:

$$\bar{Y} = Y\hat{\beta} \quad (2.42)$$

при заданому векторі значень $\hat{\beta}$ вибіркова дисперсія $\bar{Y}$ визначається як:

$$\sigma^2 = \hat{\beta}^T S \hat{\beta} \quad (2.43)$$

де $\hat{\beta}^T$ – транспонована матриця;

S – коваріаційна матриця для Y .

Основне завдання аналізу головних компонент полягає у тому, щоб знайти головну компоненту з найбільшою дисперсією. Це завдання має рішення при наступному обмеженні вектора $\hat{\beta}$:

$$\hat{\beta}^T \hat{\beta} = \hat{\beta}_1^2 + \hat{\beta}_2^2 + \dots + \hat{\beta}_p^2 = 1. \quad (2.44)$$

Тоді припустимо:

$$\varphi = \hat{\beta}^T S \hat{\beta} - \lambda(\hat{\beta}^T \hat{\beta} - 1), \quad (2.45)$$

де λ – множник Лагранжа.

Вектор часткових похідних

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \hat{\beta}} = 2S\hat{\beta} - 2\lambda\hat{\beta} \quad (2.46)$$

після прирівнювання його нулю зводиться до рівняння

$$(S - \lambda I)\hat{\beta} = 0. \quad (2.47)$$

Воно має відмінне від нуля рішення тільки в тому випадку, коли визначник матриці дорівнює 0. У цьому випадку визначником матриці є алгебраїчне рівняння щодо λ . Тому потрібно знайти 5 характеристичних коренів коваріаційної матриці S . Множачи ліву частину рівняння на $\hat{\beta}^T$ і враховуючи, що $\hat{\beta}^T \hat{\beta} = 1$, будемо мати:

$$\beta^T (S - \lambda I) \hat{\beta} = \hat{\beta}^T S \hat{\beta} - \lambda = 0 \quad \text{або} \quad \hat{\beta}^T S \hat{\beta} = \lambda. \quad (2.48)$$

Таким чином, щоб максимізувати дисперсію, вибирається найбільший характеристичний корінь коваріаційної матриці S . Тоді перша головна компонента задається рівнянням (2.34). Друга головна компонента задається другим за величиною характеристичним коренем і т. д.

Оскільки аналіз головних компонент заснований на коваріаційній матриці S , то значення набувають її наступні властивості:

1. Всі характеристичні корені позитивні.
2. Сума всіх характеристичних коренів дорівнює сумі елементів на головній діагоналі матриці S , тобто дорівнює сліду матриці trS .

$$trS = \sum_{i=1}^5 \lambda_i \quad (2.49)$$

3. Добуток характеристичних коренів дорівнює визначнику матриці S .
4. Відношення найбільшого характеристичного кореня до сліду матриці S визначає частку дисперсії, що припадає на першу головну компоненту.
5. Зазвичай характеристичні корені не рівні між собою.

Так як відгуки експерименту матриці S не інваріантні щодо зміни масштабу, то зміна одиниці виміру приводить до зміни розсіювання багатовимірної вибірки (її форми та положення центру).

Перехід до стандартизованих змінних вирішує проблему інтерпретації головної компоненти, так як вони виявляються в безрозмірних числах.

$$y_{i,j} = \frac{Y_{i,j} - \bar{Y}_i}{s_i} \quad (2.50)$$

де $\bar{Y}_i, s_i$ – відповідно середня і середнє квадратичне відхилення i -того відгуку.

Матриця S переходить у кореляційну матрицю. При цьому сума характеристичних коренів стає рівною кількості відгуків, так як у кореляційній матриці на головній діагоналі стоять одиниці.

За наявності головного (найбільшого) характеристичного кореня його можна визначити наступним чином.

Будь-яку квадратичну матрицю можна представити у вигляді:

$$A = UDU^{-1} \quad (2.51)$$

де U та U^{-1} – деяка матриця і зворотна їй матриця;

D – діагональна матриця, що зветься канонічною формою матриці A .

Прийнявши як D - діагональну матрицю, складену з характеристичних коренів матриці A , отримаємо в такому випадку $A^k = UD^kU^{-1}$. Припустимо, що λ_1 – головний корінь, причому λ_1^k настільки більше будь-якого зі значень, що їх можна прийняти рівними нулю. Тоді шукане співвідношення набуде вигляду:

$$A^k = \begin{bmatrix} u_{1,1} \\ u_{2,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ u_{5,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{1,1} & \cdot & \cdot & \cdot & v_{1,5} \end{bmatrix} \quad (2.52)$$

Помноживши ліву частину на ненульовий вектор, отримаємо вираз:

$$w_k = A^k = \mu \lambda_1^k \begin{bmatrix} u_{1,1} \\ u_{2,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ u_{5,1} \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

де $\mu = \sum_{j=1}^5 v_{1,j} x_j$ – скалярна величина.

Аналогічно знаходиться $w_{k-1} = A^{k-1}$. З визначення w_k випливає, що відношення i -того елемента вектора w_k до i -того елемента w_{k-1} дорівнює головному характеристичному кореню.

Першу головну компоненту визначаємо з рішення системи рівнянь визначника матриці (2.40), підставляючи туди значення знайденого характеристичного кореня.

Головна компонента являє собою деяку лінійну комбінацію п'яти змінних:

$$y_j = \sum_{j=1}^5 \quad (2.54)$$

Для розрахунку коефіцієнтів рівняння використовуємо головний характеристичний корінь кореляційної матриці. Це найбільший з усіх коренів. Він визначається з наступного співвідношення для кореляційної матриці: усі характеристичні корені матриці позитивні; сума елементів головної діагоналі дорівнює сумі характеристичних коренів; якщо послідовно множити матриці A , A^2 , A^3 , і т.д. на довільний вектор, то співвідношення між відповідними компонентами векторів наближається до значення головного характеристичного кореня. Далі знаходимо добуток довільного вектора C на матрицю A в ступені i .

Також під час обробки експериментальних даних використовуємо методи графічного зображення, які дають найбільш наочне уявлення про результати експерименту, дозволяють краще зрозуміти фізичну сутність досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності досліджуваних перемінних величин, встановити наявність екстремумів функції. При цьому отримані точки на графіку з'єднуємо плавною лінією так, щоб вона проходила щонайближче до усіх екстремальних точок, оскільки більшість функцій мають плавний характер.

2.7 Висновки до 2 розділу

1. Визначені методики та програма досліджень, які передбачають структуру та алгоритм теоретичних та експериментальних досліджень для визначення оптимальних технологічних і раціональних параметрів розробленого обладнання із врахуванням комплексу означених процесів.

2. Розроблено експериментальну модель сховища зернової продукції, що дає змогу здійснювати комплексний технологічний вплив за інтенсивної обробки зернової маси.

3. Розроблено установку для визначення коефіцієнта теплопровідності сільськогосподарських матеріалів, а також сформовано комп'ютерну імітаційну

модель розробленого зерносховища та протікання у ньому процесу зберігання зернової маси.

4. Обґрунтовані критерії оцінки технологічних режимів зберігання зерна, що характеризують закономірності зміни якісних характеристик оброблюваної продукції досліджуваного процесу, зокрема, вологості, площі поверхні зерна та вмісту клейковини, як основного фактора якісної хлібопекарської продукції

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПРОЦЕСУ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ В ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ УМОВАХ

3.1 Постановка задач теоретичних досліджень. Передумови та припущення.

Одним з ефективних способів, як з точки зору інтенсифікації самого процесу зберігання зерна, так і збереження якісних характеристик оброблюваної продукції, є активний спосіб зберігання продукту за допомогою вентилявання сировини з пониженою температурою холодоносія [76,78,80,151,159].

Теплообмін в оброблюваній продукції за даного способу являє собою складне явище, пов'язане з одночасним перенесенням теплоти та маси речовини, де враховується значна кількість визначних факторів, при цьому найбільшого значення набувають як теплофізичні властивості контактного холодоносія, так і фізико-хімічні властивості самого продукту. Врахування всіх цих факторів, що впливають на процес теплообміну при розробленому способі зберігання, та їх аналітична інтерпретація є дуже важним не лише в теоретичному, а й в експериментальному плані.

Основним параметром у процесі охолодження при обробці зернової продукції за умови активного вентилявання є температура та вологість продукту, які являють собою основні чинники для кінцевого формування клейковини в зернині. Тому одним з основних завдань у дослідженні процесу зберігання при означеному способі обробки є визначення коефіцієнта теплопровідності оброблюваного матеріалу в залежності від параметрів холодоносія, умов його підведення до продукту та фізичних властивостей оброблюваної сировини.

Друге припущення полягає в інтерпретації досліджуваної системи як тієї, що містить у якості дисперсійного середовища тверду сипку фазу, між частками якої зосереджені прошарки, заповнені повітрям. Рівноважна

фіксована товщина такого прошарку відповідає мінімуму поверхневої енергії. Таку систему можна з достатньо високою вірогідністю назвати структурою з коагуляційними контактами.

Контакти даного типу практично повністю відновлюються після руйнування за міцністю, що досить важливо для масообмінних хіміко – технологічних процесів у харчових дисперсних системах.

Процеси активного збереження зернової продукції при реалізації масообміну в структурах з високим вмістом твердої фази характеризуються переважно зміною їх структурно – механічних або реологічних властивостей.

3.2. Кінетичні закономірності процесу конвективного теплообміну зернової продукції

Конвективний теплообмін у шарі зернової продукції є складним процесом одночасного перенесення тепла та маси, який описується складною системою диференціальних рівнянь [33,73,73,113]. Рішення їх отримано лише для тіл класичної форми. Тому для вирішення прикладних задач при описі даного процесу за умови активного вентилявання можна використовувати спрощений механізм теплообміну між оброблюваним матеріалом та холодоносієм.

Для опису процесів зміни вологовмісту зерна і холодоносія можуть бути використані аналітичні диференціальні рівняння матеріального балансу та масообміну.

У безперервно діючому комплексі зберігання зернопродукції відбувається постійна взаємодія холодоносія з зерном. За певних умов для спрощення математичного опису можна допустити лінійний характер розподілу параметрів за висотою ангара. При такому спрощенні для опису динаміки процесу зберігання та охолодження матеріалу прийнята модель проточного реактора ідеального перемішування [153].

Математичний опис процесу охолодження зерна та холодоносія складено у вигляді рівнянь зміни параметрів досліджуваного процесу на виході

при наступних припущеннях: рушійною силою процесу теплообміну при охолодженні прийнята різниця температури зерна та холодоносія, різниця парціальних тисків на поверхні матеріалу та холодоносія; градієнтами параметрів процесу по висоті і поперечному перерізу нехтуємо. Охолодження зерна приймаємо безградієнтним.

Процес охолодження у даному випадку опишеться диференціальними рівняннями:

$$m_v \cdot C_p \frac{dt_2}{d\tau} = G_v \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2) - \alpha \cdot f_F \cdot (\bar{t} - \bar{\Theta}) - k_T \cdot \Sigma F \cdot (\bar{t} - t_B), \quad (3.1)$$

$$m_z \cdot C_z \frac{d\Theta_2}{d\tau} = G_z \cdot C_z \cdot (\Theta_1 - \Theta_2) + \alpha \cdot f_F \cdot (\bar{t} - \bar{\Theta}) - \beta \cdot f_F \cdot (P_n \cdot (\Theta) - P_v) \cdot \frac{P}{P_o} \cdot r', \quad (3.2)$$

$$m_{zo} \frac{dU_2}{d\tau} = G_{zo} \cdot (U_1 - U_2) - \beta \cdot f_F \cdot (P_n \cdot (\Theta) - P_v) \cdot \frac{P}{P_o}, \quad (3.3)$$

$$-m_v \frac{dd_2}{d\tau} = G_v \cdot (d_2 - d_1) - \beta \cdot f_F \cdot (P_n \cdot (\Theta) - P_v) \cdot \frac{P}{P_o} \cdot 10^3, \quad (3.4)$$

$$\bar{t} = 0,5 \cdot (t_1 + t_2); \quad \bar{\Theta} = 0,5 \cdot (\Theta_1 + \Theta_2); \quad \bar{d} = 0,5 \cdot (d_1 + d_2), \quad (3.5)$$

де m_v - маса повітря в обсязі зерносховищі, кг;

C_p - питома теплоємність холодоносія, Дж/кг⁰С;

t_1 і t_2 - температура холодоносія на вході та на виході з зерносховища °С;

G_v - об'ємні витрати повітря агента, кг/с;

α - коефіцієнт теплообміну між зерном і холодоносієм, Вт/м² °С;

f_F - загальна площа поверхні зерна, яка визначається, м²;

P_n - парціальний тиск на поверхню зерна;

$\bar{\Theta}$ - середня температура холодоносія, °С;

Θ_1 і Θ_2 - початкова та кінцева температура повітря;

k_T - коефіцієнт теплопередачі від холодоносія до зовнішнього середовища, Вт / м² °С;

ΣF - сумарна площа стінок зерносховища м²;

t_B - температура повітря у приміщенні, °С.

m_z – вага зерна, що знаходиться в зерносховищі, кг;

C_z – питома теплоємність зерна, Дж / кг. °С;

G_z – витрата зерна, кг/с;

β – коефіцієнт масообміну, кг/м²·Па с;

$\bar{d}$ – середній вологовміст холодоносія, г/кг (сухої речовини);

d_1 і d_2 – початковий та кінцевий вологовміст холодоносія, г/кг (сухої речовини);

P_v – парціальний тиск холодоносія, Н / м²;

m_{zo} – вага абсолютно сухого зерна в зерносховищі, кг;

G_{zo} – вихід абсолютно збереженого зерна, кг / с;

r' – вільна теплота пароутворення, Дж / кг;

U_1 і U_2 – вологовміст зернового матеріалу на вході і на виході з зерносховища, кг / кг (сухої речовини).

Таким чином, процеси тепло- і масообміну при запропонованому способі зберігання описуються системою.

Відомо, що процес масообміну зернової продукції збільшується зі збільшенням різниці парціальних тисків парів води на поверхні зерна та повітря, а також від його швидкості потоку в зерновому шарі. Підвищення температури поверхні вологого тіла супроводжується збільшенням насиченої водяної пари, а, отже, і різниці насиченої водяної пари і водяної пари в повітрі. Залежність парціального тиску водяної пари на поверхні зерна від температури апроксимована лінійним виразом:

$$P_n \cdot (\Theta) = a \cdot \bar{\Theta} - c, \quad (3.6)$$

де a, c – коефіцієнти з розмірністю: Па/°С, Па, відповідно.

Залежність парціального тиску водяної пари в повітрі на основі Іd діаграми можна виразити співвідношенням:

$$P_v \cdot (\bar{d}) = b \cdot \bar{d}, \quad (3.7)$$

де b – емпіричний коефіцієнт, Па · кг/г.

Коефіцієнт масообміну поверхні зерна та повітря залежить від швидкості останнього і цю залежність можна апроксимувати виразом:

$$\beta \cdot (V_v) = a + b \cdot V_{ca}, \quad (3.8)$$

де V_{ca} - швидкість повітря при подачі, м / с.

При зовнішньому вологообміні, коли відбувається випаровування вологи з поверхні зерна, перенесення пари з його поверхні в навколишнє середовище відбувається, в основному, за рахунок різниці парціального тиску пари на поверхні зерна та навколишнього середовища. Інтенсивність випаровування визначається за такою залежністю [120,]:

$$M = k \cdot (p_H - p_{\Pi}) \cdot \frac{101,3}{b}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (3.9)$$

де M – швидкість випаровування вологи в кг / с з 1 м² поверхні зерна;

k – коефіцієнт випаровування, що залежить від швидкості і характеру руху повітря відносно поверхні випаровування;

$p_H - p_{\Pi}$ – парціальний тиск, відповідно, насиченої водяної пари при температурі води і водяної пари в потоці повітря Н / м²;

b – барометричний тиск у Н / м².

Таким чином, при збільшенні швидкості повітря може бути досягнуто зменшення температури вологого тіла. Однак температура зерна у процесі охолодження не повинна перевищувати меж, що гарантують збереження його якості з урахуванням гранично допустимих значень.

Тому швидкість випаровування вологи з зернового матеріалу, з урахуванням закону Дальтона, а також перерозподілу вологи усередині зерна, складе:

$$M = \Psi \cdot k \cdot (p_H - p_{\Pi}) \cdot \frac{101,3}{b}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (3.10)$$

де Ψ – коефіцієнт, що враховує зниження швидкості випаровування води при її перерозподілі під дією поступової обробки внутрішніх шарів зерна до максимально допустимої температури, становитиме.

$$\Psi = \left(1 - \frac{T_{ca(max)} - (T_{ca(max)} \cdot \Delta)}{T_{кин}} \right), \quad (3.11)$$

де $T_{ca(max)}$ – максимально допустима температура повітря, °C;

$T_{кин}$ – температура кипіння води, °C;

Δ – коефіцієнт, що враховує відношення товщини поверхневого і внутрішнього шару ядра зерна (рис. 3.1).

Перегрів ядра зерна припустимий лише в поверхневому шарі $h_{нов}$. Внутрішній шар ядра повинен бути нагрітий до температури, при якій його білкова частина не руйнується.

Об'єднавши вирази (3.12) і (3.13), отримаємо інтенсивність випаровування води при зовнішньому вологообміні з урахуванням перерозподілу води в зерні під дією поступової обробки внутрішніх шарів зерна до максимально допустимої температури:

$$M = \left(1 - \frac{T_{ca(max)} - (T_{ca(max)} \cdot \Delta)}{T_{кин}} \right) \cdot k \cdot (p_H - p_H) \cdot \frac{101,3}{b}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сек}, \quad (3.12)$$

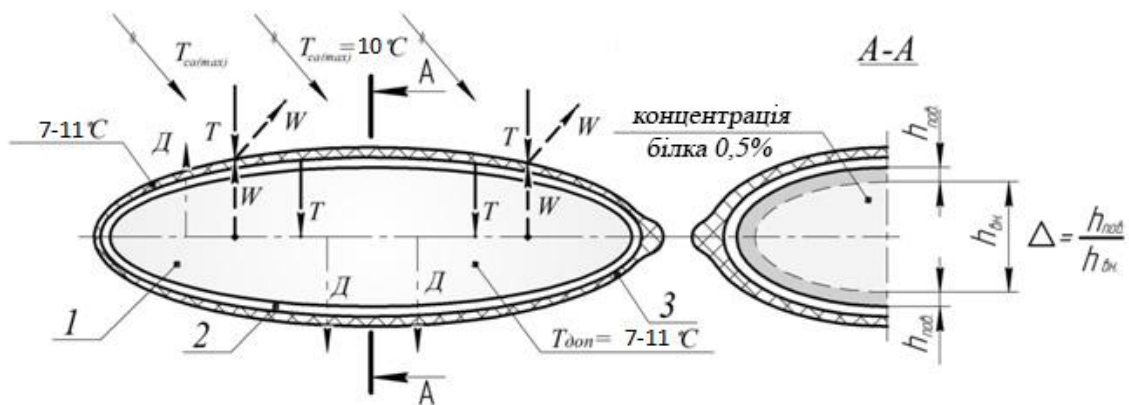


Рис. 3.1. Розрахункова схема для дослідження зерна у процесі зберігання:

1 - ядро; 2 - повітряна порожнина; 3 - оболонка; $\leftarrow \rightarrow$ - потік холодоносія;

$\longrightarrow$ - температурний градієнт; $-\ - \longrightarrow$ - градієнт вологовмісту;

$-\ - \ - \longrightarrow$ - градієнт тиску

Для спрощення математичного опису динаміки процесу охолодження й зернового матеріалу та швидкості подачі холодоносія управління вихідною вологістю матеріалу здійснюється тільки зміною температури повітря.

Виходячи з основних положень теорії теплообміну між зерном і холодоносієм з урахуванням рівнянь (3.12-3.17) і (3.17) отримані математичні моделі, які описують динаміку зміни параметрів зернового матеріалу та холодоносія на виході з зерноскла, з урахуванням перерозподілу вологи в зерні під дією поступового прогріву внутрішніх шарів зерна до певної допустимої температури нагріву зерна:

$$m_v \cdot C_p \frac{dt_2}{d\tau} = G_v \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2) - \alpha \cdot f_F \cdot (\bar{t} - \bar{\Theta}) - k_T \cdot \Sigma F \cdot (\bar{t} - t_B), \quad (3.13)$$

$$m_z \cdot C_z \frac{d\Theta_2}{d\tau} = G_z \cdot C_z \cdot (\Theta_1 - \Theta_2) + \alpha \cdot f_F \cdot (\bar{t} - \bar{\Theta}) - \beta \cdot \Psi \cdot f_F \cdot (a \cdot \bar{\Theta} - c - b \cdot \bar{d}) \cdot r', \quad (3.14)$$

$$m_{zo} \frac{dU_2}{d\tau} = G_{zo} \cdot (U_1 - U_2) - \beta \cdot \Psi \cdot f_F \cdot (a \cdot \bar{\Theta} - c - b \cdot \bar{d}), \quad (3.15)$$

$$-m_v \frac{dd_2}{d\tau} = G_v \cdot (d_2 - d_1) - \beta \cdot \Psi \cdot f_F \cdot (a \cdot \bar{\Theta} - c - b \cdot \bar{d}) \cdot \varsigma, \quad (3.16)$$

де ς – сталий коефіцієнт $\varsigma = 10^3 \text{ г / кг}$.

Враховуючи, що температура на виході з зерноскла t_2 та кінцевий вологовміст d_2 холодоносія швидко набувають постійні значення, то при рішенні рівнянь можна прийняти $d_2 = \bar{d}$, $t_2 = \bar{t}$ їх постійними в часі і використовувати їх середні значення $\bar{t} = 0,5 \cdot (t_1 + t_2) = 0,5 \cdot (50 + 46) = 48^\circ\text{C}$, $\bar{d} = 0,5 \cdot (d_1 + d_2) = 7,11 \text{ г/кг}$.

Тоді система спрощується:

$$m_z \cdot C_z \frac{d\Theta_2}{d\tau} = G_z \cdot C_z \cdot (\Theta_1 - \Theta_2) + \alpha \cdot f_F \cdot (\bar{t} - 0,5 \cdot \Theta_1 + 0,5 \cdot \Theta_2) - \beta \cdot \Psi \cdot f_F \cdot (a \cdot \bar{\Theta} - c - b \cdot \bar{d}) \cdot r', \quad (3.17)$$

$$m_{zo} \frac{dU_2}{d\tau} = G_{zo} \cdot (U_1 - U_2) - \beta \cdot \Psi \cdot f_F \cdot (a \cdot \bar{\Theta} - c - b \cdot \bar{d}), \quad (3.18)$$

Для отримання теоретичних кривих охолодження зернових культур, необхідно знайти складові математичної моделі виходячи з особливостей пропонованого обладнання для зберігання сільськогосподарської сировини.

Питому теплоємність зерна у залежності від його вологості можна визначався за емпіричної залежності [52, 111, 112]:

$$C_z = 1,45 + 0,0274 \cdot W, \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}, \quad (3.19)$$

де W - вологість зерна, %.

Коефіцієнт тепловіддачі між поверхнею зерна і холодоносієм визначається з відомого теплового рівняння [75]:

$$\alpha = \frac{Q}{F \cdot \Delta t} = \frac{Q \cdot \rho_m \cdot d_{\text{э}}}{6 \cdot G_{\text{сЛ}} (T_c - T_{\text{ж}})}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}, \quad (3.20)$$

де Q - кількість переданого в одиницю часу тепла;

F - ефективна поверхня теплообміну, м^2 ;

$G_{\text{сЛ}}$ - маса частинок у шарі, кг;

ρ_m - щільність матеріалу, $\text{кг} / \text{м}^3$;

$d_{\text{э}}$ - еквівалентний діаметр зерна, м;

$\Delta t = T_c - T_{\text{ж}}$ - середній температурний напір, $^{\circ}\text{C}$.

Щільність вологого повітря визначають як величину, зворотну питомій обсягом:

$$\rho = \frac{1}{\nu} = \frac{1 + 0,001}{V_0}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.21)$$

де ν – питомий об'єм вологого повітря, $\text{м}^3 / \text{кг}$;

V_0 – об'єм вологого повітря на 1 кг сухого повітря.

Питомий об'єм вологого повітря визначався за формулою:

$$\nu = \frac{V_0}{1 + 0,001 \cdot d}, \text{ м}^3/\text{кг}, \quad (3.22)$$

де d – вологовміст повітря, $\text{г} / \text{кг}$.

3.3 Аналітична інтерпретація процесу охолодження при обробці зерна у зерносховищі.

Аналіз існуючих методів досліджень процесу охолодження дозволяє зробити висновок про доцільність застосування найбільш перспективного на теперішній час методу досліджень – математичного моделювання. Обґрунтування параметрів процесу охолодження зерна лише тільки експериментальними методами занадто трудомістке та економічно недоцільне.

З метою більш широкого дослідження процесу охолодження зерна у зерносховищі та скорочення обсягів експериментальних робіт було проведено відповідні теоретичні дослідження процесу. Технологічна ефективність процесу охолодження залежить від багатьох факторів, які можуть бути розділені на дві групи: фактори, що обумовлені технологічними властивостями зерна, а також фактори, що залежать від режиму роботи та параметрів охолодження та умов його експлуатації [10, 148,149,150,160,174].

Для досягнення високої технологічної ефективності охолодження, необхідно встановити режим роботи пристрою з урахуванням властивостей партії зерна.

У багатьох технологічних процесах, а також у техніці й побуті при сушінні і зволоженні матеріалу, опаленні приміщень, при пневматичному приводі механізмів у якості робочого тіла застосовується повітря. При розрахунку вказаних процесів необхідно знати властивості і параметри атмосферного повітря, яке завжди містить деяку кількість вологи.

Таким чином, атмосферне повітря являє собою суміш сухого повітря і водяної пари, будучи так званим вологим повітрям. При охолодженні повітря нижче температури точки роси відбувається конденсація водяної пари. У природних умовах прикладом подібного явища є утворення туману [18, 68].

Виходячи з самої природи зерна та можливих втрат врожаю виникає необхідність у захисті його від активного впливу факторів абіотичного середовища, а також у створенні таких умов протягом зберігання, які б

попереджували інтенсивний обмін речовин у клітинах зерна. Проблемою зберігання зерна займалися багато вітчизняних і зарубіжних дослідників [6,85,]. Аналіз розроблених ними способів зберігання, у тому числі застосування рециркуляції зернових сумішей з різним співвідношенням сухого і вологого зерна, показує широку спрямованість виконаних досліджень, але потребує більш детальнішого дослідження, тому проблема залишається актуальною і в даний час. Вирішити це завдання успішно можна тільки із застосуванням відповідних методів підготовки продуктів та закладання і збереження їх у необхідних умовах. Зокрема, при наявності необхідної технічної бази, а саме сховищ для зберігання із необхідним устаткуванням, збудованих з урахуванням особливих властивостей зерна[72, 84,86].

Системний аналіз передбачає, перш за все, спрощення процесу з метою виділення найбільш суттєвих особливостей об'єкту. При моделюванні технологічного процесу його показують різними схемами: функціональними, параметричними та операторними. Найбільш інформативною є параметрична схема, що дає уяву про всі фактори, які характеризують технологічний процес охолодження (рис.3.2) [2, 5, 10,113,118, 124,128,131,134,162,168].

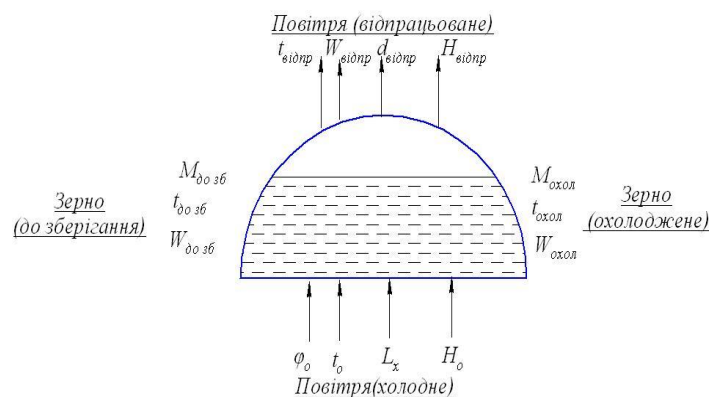


Рис. 3.2. Функціонально – параметрична схема

Через шар зерна пропускають охолоджене атмосферне повітря.

У процесі охолодження зерна з нього випаровується частина вологи.

Витрата вологи (кг / с) , що видаляється при охолодженні (3.23).

$$W_{ox} = M_{охол} \frac{(W_{дозб} - W_{охол})}{(1 - W_{дозб})}, \quad (3.23)$$

де $M_{охол}$ - маса охолодженого зерна, кг;

$W_{охол}$ - вологість охолодженого зерна, $\frac{\text{кг(води)}}{\text{кг(зерна)}}$;

$W_{дозб}$ - вологість до зберігання зерна, $\frac{\text{кг(води)}}{\text{кг(зерна)}}$.

Витрата повітря для охолодження зерна.

$$L_x = \frac{W_x}{\varphi_{відпр} - \varphi_0}, \quad (3.24)$$

де L_x - витрата холодного повітря, кг/с;

W_x - вологість холодного повітря;

$\varphi_{відпр}$ - вологомісткість відпрацьованого повітря з камери, $\frac{\text{кг(пара)}}{\text{кг(сухогоповітря)}}$;

φ_0 - вологомісткість повітря на вході в камеру, $\frac{\text{кг(пара)}}{\text{кг(повітря)}}$;

Тепловий баланс охолоджувача зерна.

$$L(H_{відпр} - H_{дозб}) = Q_{дол.теп.} + W \cdot C_v \cdot t_{хол.нов.} + M_{дозб} \cdot C_{дозб} \cdot (t_{дозб} - t_{охол}), \quad (3.25)$$

де L_x - витрата холодного повітря, кг/с;

$H_{відпр}$ - ентальпія відпрацьованого повітря, кДж/кг;

$H_{дозб}$ - ентальпія повітря до зберігання, кДж/кг;

$Q_{дол.теп.}$ - додатковий теплоприток (через стіни, підлогу, стелю, обладнання), кДж/с;

W - кількість води, що випаровується із зерна, кг/с;

C_v - теплоємність води, кДж/(кг·°C);

$t_{охол.нов.}$ - температура холодного повітря, °C;

$M_{дозб}$ - маса холодного зерна, кг;

$C_{\partial o z b}$ - теплоємність холодного зерна, кДж/(кг·°C);

$t_{\partial o z b}$ - температура зерна до зберігання, °C;

$t_{o x l}$ - температура охолодженого зерна, °C;

Коефіцієнт тепло- і вологообміну в охолоджуємому зерноскладі.

$$\Delta_x = C_{\partial} \cdot t_{\partial o z b} + q_{m.x.} - q_{\partial o n . t e n .}, \quad (3.26)$$

де Δ_x - коефіцієнт тепло- і вологообміну в охолодженому зерноскладі;

C_{∂} - теплоємність води, кДж/(кг·°C);

$t_{\partial o z b}$ - температура зерна до зберігання, °C;

$q_{m.x.}$ - питома кількість теплоти, що віддається охолоджуваним зерном , кДж/кг;

$q_{\partial o n . t e n .}$ - питомі притоки теплоти (через стіни, підлогу, стелю, устаткування, інфільтрацію), кДж/кг.

$$q_{m.x.} = M_{\partial o z b} \cdot C_z (t_{\partial o z b} - t_{o x l}) \quad (3.27)$$

де $M_{\partial o z b}$ - маса зерна, кг;

C_z - теплоємність зерна, кДж/(кг·°C);

Рівняння тепло- і вологообміну, яке описує зміни параметрів охолоджуючого вологого повітря

$$H = H_{\partial o z b} + \Delta_x \cdot (\varphi - \varphi_{\partial o n p}), \quad (3.28)$$

де H - поточне значення ентальпії вихідного повітря, кДж/кг;

$H_{\partial o z b}$ - ентальпія повітря на вході, кДж/кг;

Δ_x - коефіцієнт тепло- і вологообміну в охолодженому зерноскладі, кДж/(кг вологи);

φ - поточне значення вологомисткості повітря, $\frac{\text{кг(вод.пара)}}{\text{кг(повітря)}}$;

$\varphi_{відпр}$ - вологомiсткiсть вiдпрацьованого повітря, $\frac{кг(вод.пара)}{кг(повітря)}$.

Пiдставимо (2.4) i (2.5) в рiвняння (2.6),

$$H = H_{дозб} + [C_v \cdot t_{дозб} + M_{дозб} \cdot C_z (t_{дозб} - t_{охол}) - q_{доп.тепл.}] \cdot (\varphi - \varphi_{відпр}) \quad (3.29)$$

Питома кiлькiсть теплоти, яка вiдводиться вiд охолоджуваного матерiалу, висловимо через рiвняння конвективного теплообмiну Ньютона-Рихмана

$$q_{м.х.} = \alpha \cdot (t_{дозб} - t_{охол}), \quad (3.30)$$

α - коефiцiєнт тепловiддачi, Вт/м² · с ;

Висловимо α через критерiї подiбностi G_r (критерiй Грассгофа), P_r (критерiй Прандтля), N_u (критерiй Нуссельта), R_e (критерiй Рейнольдса).

Критерiй Грассгофа

$$G_r = \frac{\beta \cdot g \cdot d^3 \cdot \Delta t}{\nu^2}, \quad (3.31)$$

де $\beta = \frac{1}{T}$ - о об'ємний коефiцiєнт теплового розширення, 1/⁰С ;

g - прискорення вiльного падiння, м/с²;

d - дiаметр зерна, м ;

Δt - рiзниця температур, ⁰С ;

ν - кiнематичний коефiцiєнт в'язкостi повітря, м²/с .

Критерiй Прандтля

$$P_r = \frac{\nu}{a}, \quad (3.32)$$

де a - коефiцiєнт температуропровiдностi, м²/с .

Критерiй Нуссельта

$$N_u = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}, \quad (3.33)$$

λ - коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/м. 0 С .

Критерій Рейнольдса.

$$R_e = \frac{w \cdot d}{\nu}, \quad (3.34)$$

w - швидкість повітря, м/с .

Критеріальне рівняння набуде виду:

$$N_u = 0,15 R_e^{0,33} \cdot P_r^{0,43} \cdot G_r^{0,1} \left(\frac{P_r}{P_{r3}} \right)^{0,25}, \quad (3.35)$$

Звідки

$$\alpha = \frac{N_u \cdot \lambda}{d} = \frac{\left[0,15 \cdot R_e^{0,33} \cdot P_r^{0,43} \cdot G_r^{0,1} \left(\frac{P_r}{P_{r3}} \right)^{0,25} \right] \cdot \lambda}{d}, \quad (3.36)$$

Внаслідок проведеного аналізу було складено рівняння тепло – і вологообміну, завдяки якому можливо розрахувати зміни, які відбуваються під час зберігання.

Остаточне рівняння тепло- і вологообміну, яке описує зміни параметрів охолоджуючого вологого повітря, приймає вигляд:

$$H = H_{\text{дозб}} + \left\{ C_{\text{в}} \cdot t_{\text{дозб}} + \frac{\left[0,15 \cdot R_e^{0,33} \cdot P_r^{0,43} \cdot G_r^{0,1} \left(\frac{P_r}{P_{r3}} \right)^{0,25} \right] \cdot \lambda}{d} \cdot (t_{\text{дозб}} - t_{\text{відпр}}) - g_{\text{доп.тепл.}} \right\} \cdot (\varphi - \varphi_{\text{відпр}}), \quad (3.37)$$

На підставі даного рівняння було проведено розрахунки щодо основних характеристик сировини її ентальпії та вологовмісту в залежності від способу обробки (рис.3.3, 3.4).

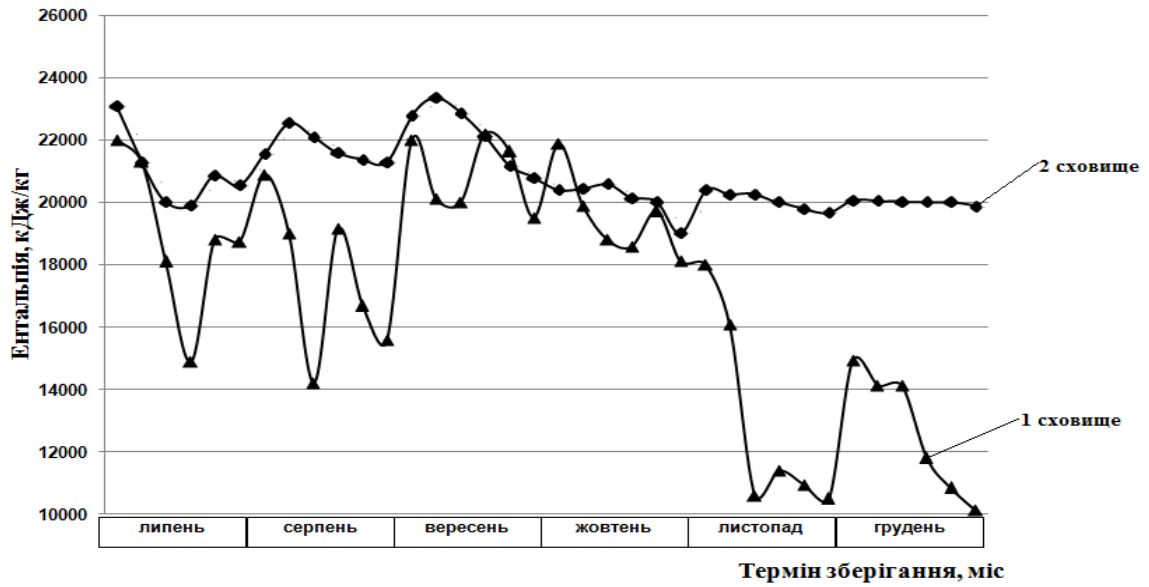


Рис. 3.3. Розрахункові дані ентальпії оброблюваної сировини в першому та другому експериментальному сховищі.

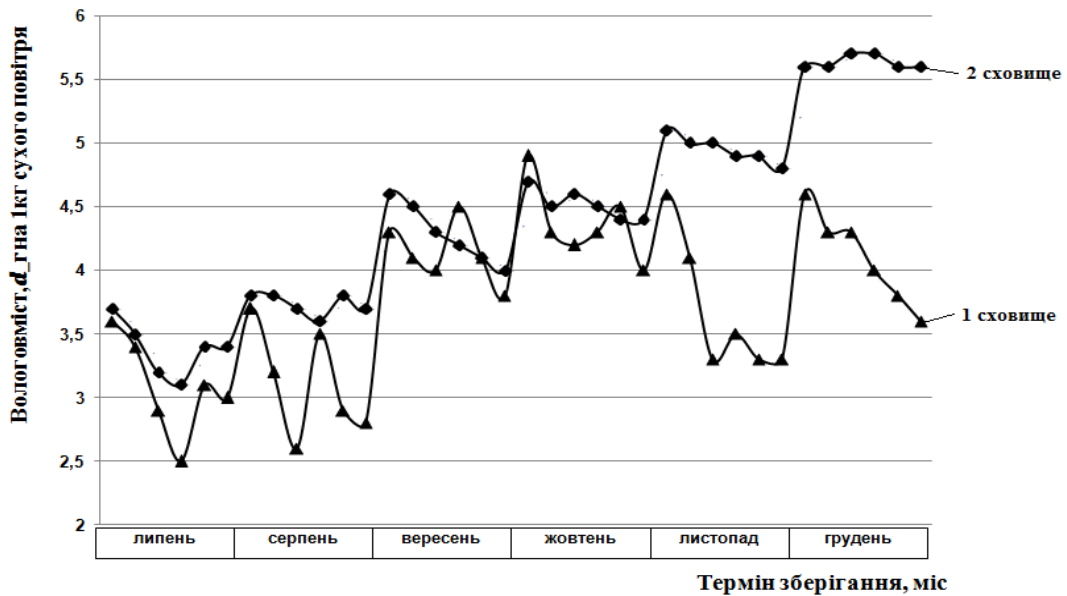


Рис. 3.4. Розрахункові дані вологовмісту оброблюваної сировини в першому та другому експериментальному сховищі.

Аналіз перебігу досліджуваного процесу в першому зерносховищі, що відображено на рис. 3.3, засвідчив відсутність сталої характеристики ентальпії а, як наслідок, вологовмісту на відміну від перебігу у другому зерносховищі де чітко простежує стабільність вищезначених параметрів.

3.4 Функціональна залежність коефіцієнту теплопровідності від якісних характеристик оброблюваної продукції

Теплопровідність зернової маси невисока, так як її компоненти (зерно і повітря) погані провідники тепла [28,33,64,74,95.133,152,153.174]. Теплопровідну здатність характеризує коефіцієнт теплопровідності, що показує, яка кількість теплоти передається в одиницю часу через одиницю поверхні при зміні температури на один градус на одиницю довжини матеріалу:

$$\lambda = \frac{q}{dt/dn} \quad (3.38)$$

де q - тепловий потік, $Вт/м^2$;

dt/dn - градієнт температури, $град/м$.

Коефіцієнт теплопровідності λ є фізичною властивістю речовини. Він залежить від природи речовини, її агрегатного стану, температури і тиску (для газів). У більшості випадків значення коефіцієнта теплопровідності визначені експериментально і містяться у довіднику.

У складних випадках коефіцієнт теплопровідності обумовлений різними факторами, які не завжди піддаються розрахунку або точному експериментальному визначенню. Так, наприклад, коефіцієнт теплопровідності пористих матеріалів сильно залежить від об'ємної частки пустот, розміру пор, а також від фізичних властивостей рідини або газу, що заповнюють пори. У разі кристалічних речовин істотний вплив на теплопровідність надає природа кристалічної фази. В аморфних тілах важливу роль грає ступінь орієнтації молекул.

Зерно погано проводить тепло, коефіцієнт його теплопровідності коливається у межах від 0,1 до 0,4 Вт / (м К), у той час, як, наприклад, коефіцієнт теплопровідності міді 300-390 Вт / (м К). Теплопровідність зернової маси у 3-5 разів менша за теплопровідність однієї зернини через наявність у ній

повітряних порожнин. Внаслідок низької теплопровідності зернова маса здатна тривалий час зберігати сталу температуру[73,74,75,76,95,104,124].

У практиці зберігання зерна погана теплопровідність зернової маси і насіння дозволяє тривалий час зберігати їх в охолодженому стані, а холод - дешевий і незамінний консервант будь-якої сільськогосподарської продукції.

З підвищенням показника вологості зерна теплопровідність зернової маси також підвищується. Через низьку теплопровідність зернової маси при сушінні зерна кондуктивним методом можливий перегрів окремих верств зерна, знижується схожість насіння, погіршуються технологічні гідності зерна[31,33,71].

Специфічні властивості зерна, як об'єкта охолодження, значною мірою обумовлені особливим станом води, що міститься у зерні, і механізмом взаємодії її з речовинами зерна. У зерні немає вільної води, вона більш-менш міцно пов'язана з тканинами зерна та його клітинами, або знаходиться у вигляді водного розчину тієї чи іншої концентрації і складу. Вода в зерні не тільки найважливіша складова частина, а й активний агент, який бере участь у біохімічних процесах, що постійно відбуваються у зерні.

Теплові властивості зерна визначаються його теплофізичними характеристиками: питомою теплоємністю, теплопровідністю і температуропровідністю, що визначають розвиток процесів переносу (визначаються теплопровідністю λ).

3.5 Аналітичні засоби моделювання мікробіологічних та біохімічних процесів при зберіганні зернової маси.

Перенос молекулярної (індекс m) та клітинної (індекс z) систем відбувається за допомогою індукованих примусовою й природною конвекцією механізмів. На підставі невеликих діапазонів довжин ($l_m^* \approx 10^{-9}$ м для протеїнів і $l_z^* \approx 10^{-6}$ м для мікроорганізмів) вони перебувають у механічній і тепловій рівновазі. Характеристичні внутрішні шкали часу переносу імпульсу у воду як

дисперсійне середовище $\tau_{i, m}^{внутр*} = \frac{l_m^{*2}}{\nu^*} \approx 10^{-12}$ с і $\tau_{i, z}^{внутр*} = \frac{l_z^{*2}}{\nu^*} \approx 10^{-6}$ с дають вказівку

щодо механічної рівноваги. Аналогічно характеризують внутрішні шкали часу

$$\tau_{i, m}^{внут*} = \frac{l_m^{*2}}{a^*} \approx 10^{-11} \text{ с і } \tau_{e, z}^{внутр*} = \frac{l_z^{*2}}{a^*} \approx 10^{-5} \text{ с перенос енергії у воду. Ці оцінки}$$

вимагають подальшого розгляду поблизу меж переходів фаз. Там значною мірою спостерігається зміна стану «час реакції на термогідродинамічний вплив», тому що вони створюють поля швидкостей, поля індукованих тертям нормальних напруг і тангенціальних напруг, а також поля внутрішньомолекулярного тиску й температури.

Розміри внутрішніх шкал часу диспергованих молекулярних і клітинних систем значно відрізняються від типової тривалості процесу $\tau^{проц*}$ обробки.

Отже, число Дебори $De = \frac{\tau^{внутр*}}{\tau^{проц*}}$ приймає нескінченно мале значення. Цей

безрозмірний індекс виражає локальну рівновагу, тобто наявність «конгруентного термогідродинамічного стану» безперервної фази й диспергованих молекулярних і клітинних систем у будь-який момент часу в процесі впливу високого тиску при даних просторових координатах. Це значно полегшує моделювання, так як дозволяє нам відобразити технологічний вплив на молекулярні й клітинні реакції як загальні скалярні величини Θ^* . У

безрозмірному вигляді для відношення $\Theta = \frac{\Theta^*}{\Theta_0^*}$ ми отримали відповідну модель

переносу:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\Theta \vec{U}) = \frac{1}{Re_0 Sc_0} \nabla \cdot (D_\Theta \nabla \Theta) + D_{a0} Q_\Theta \quad (3.39)$$

Ліва сторона рівняння моделі повністю збігається з рівнянням збереження маси. Для молекулярного біокомпонента рівняння (3.38) виражає індуковані зміни, які пов'язані з дифузією, а також з якісною зміною (активацією або дезактивацією) біокомпонентів. Ефекти дифузії ґрунтуються на існуванні неоднорідних полів скалярної величини Θ . Параметр D_Θ у першому члені

правої сторони рівняння (3.38) даний для константи дифузії молекулярного або клітинного процесу. Величина дифузії залежить, очевидно, від зворотного значення добутку критерію Рейнольдса Re_0 і критерію Шмідта $Sc_0 = \frac{\nu_0^*}{D_0^*} ab$.

Критерій Шмідта дає оцінку відношенню дифузійного переносу імпульсу до скаляра Θ . Наступний ефект, пов'язаний з позитивним або негативним "виробництвом" Θ , виражає безрозмірний початковий член $D_{a0}Q_\Theta$. Значення критерію Дамкьо́ллера Da_0 встановлює інтенсивність джерела Q_Θ . Він описує відношення між конвекційною шкалою часу й шкалою часу молекулярної реакції. Наприклад, при реакції n -ного порядку з концентрацією $c = \Theta$ інтенсивність джерела $Q_\Theta = -kc^n$ й критерію Дамкьо́ллера становить

$$Da_0 = \frac{L_0^* k_0^* c_0^{*n-1}}{u_0^*}.$$

Одна з основних ідей рівняння (3.38) полягає у тому, що молекули – якщо переважають необхідні значення термодинамічної змінної тиску й температури – реагують відповідним чином. Отже, клітинні реакції можна моделювати аналогічно[59]. Індуковане тиском придушення життєдіяльності мікроорганізмів як скалярна величина залежить від інтенсивності джерела пригнічення життєдіяльності (наприклад, величина внутрішньомолекулярного тиску в сполученні з чутливістю відповідних мікроорганізмів до розмноження), дифузійного переносу знищених мікроорганізмів на основі чистого броунівського руху й конвекційного переносу на основі примусової й природної конвекції у мікробіологічній суспензії.

Уводячи початковий член у рівняння (3.38) ми виходили із гіпотези, що додатково до локальної механічної й теплової рівноваги між диспергованою й безперервною фазами існує локальна однорідність. Конкретно це позначає, що реакції як у розглянутому місці оброблюваного продукту, так і в його безпосередньому просторовому оточенні проходять у залежності того ж самого локального термогідродинамічного стану. Таким чином, у місцях із просторово дуже маленькою дистанцією між реакціями, що протікають, не існують як

взаємні впливи, так і обмеження й уповільнення. Так як цих взаємодій повністю не уникнути, то ми вважали раціональним зневажити взаємодіями, якщо середня відстань $\bar{s}^*$ між двома молекулами або мікроорганізмами приймає істотно більше значення, ніж їх характеристичні шкали довжин l_m і l_z . Перевірка вірогідності цього вимагає розрахунку розміру наступного критерію, числа Кнудсена Kn , що знаходить застосування у газовій динаміці для порівняної аргументації. Для досягнення мети наших досліджень адаптуємо визначення

числа Кнудсена як $Kn = \frac{\bar{s}^*}{l^*}$. Унаслідок цього ми вважали, що локальна однорідність приблизно існує при невеликих концентраціях дисперсних систем, тобто для більших значень $\bar{s}^*$. Перепереверка вірогідності локальної однорідності, тобто що ніякі взаємозв'язки не відбуваються між сусідніми просторовими зонами, має, крім того, велике значення щодо масштабування. Це виходить із того факту, що вимірювання кінетичних даних реакції відбуваються у дуже маленьких комірках, у яких вплив теплогідромеханічних розподілів виявляється відносно незначним. Тут повинна переважати апроксимативно не тільки локальна, але й, до певного розміру, глобальна однорідність. На противагу цьому, розподіли теплогідромеханічних полів, що неминуче трапляються у великих камерах, спроможні впливати на швидкість реакції іншим способом, ніж це виражено рівнянням (3.38).

Зважаючи на ці умови ми зробили висновок, що перенос маси, імпульсу, енергії й скалярів здійснює сильний вплив на взаємодії, однак точної подоби досягти неможливо. Це працює, зокрема, якщо своєю метою ставити конкретні результати технологічного впливу, як, наприклад, інактивація клітинних і молекулярних систем, але становить значну складність не тільки для масштабування, але й для будь-якого спрощення моделювання й імітації.

Дотепер використання повного рівняння переносу відсутнє для скалярних величин. Напроти, відомі численні спрощення, наприклад, застосовувані для опису тимчасової залежності молекулярних і клітинних реакцій.

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = D_{a0} Q_{\Theta} \quad (3.40)$$

Модель (3.40) являє собою найчастіше використовуваний математичний вираз [122,123]. Для спрощення рівняння (3.39) ми ввели член $\nabla \cdot (\Theta \vec{U})$, яким можна врахувати ефект конвекційного переносу Θ через завжди присутнє в рідкій частці продукту поле швидкості $\vec{U}$:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\Theta \vec{U}) = +D_{a0} Q_{\Theta} \quad (3.41)$$

Таким чином, викликані під час впливу ВТ поля температури й течії значно впливають на перетворення будь-якого цільового компонента оброблюваного продукту. Так, автори [15] показали, що дані поля дійсно значно впливають на інактивацію патогенних мікроорганізмів при довготривалому зберіганні продукції .

3.6. Висновки до 3 розділу

1. На основі аналізу теоретичних досліджень процесу охолодження зерна у розробленому зерносховищі розроблено функціонально-параметричну схему досліджуваного процесу. Отримано остаточне рівняння тепловобміну, що описує зміни параметрів охолоджуючого повітря. Встановлено межі ефективного робочого режиму розробленого обладнання, за якими ентальпія становить 18000...20000 Дж/кг за вологості оброблюваної продукції 10...12 %.

2. Розглянуто закономірності впливу зернової маси на елементи досліджуваної технологічної системи, зокрема на шпаруватість, вологість та щільність.

3. Обґрунтовано фізичну модель взаємодії зернової маси з холодоносієм у процесі її активного вентилявання, а саме аналітичну інтерпретацію її зовнішнього та внутрішнього вологообміну в залежності від технологічних параметрів обробки.

4. Запропоновано засоби аналітичної інтерпретації протікання мікробіологічних та біохімічних процесів при зберіганні зернової маси за умови активного вентилявання із застосуванням охолодження при зберіганні сировини.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗЕРНА У ЗЕРНОСХОВИЩІ

Результати дослідів, проведених у 2012-2015 роках, показали, що застосування технології охолодження зерна від 0°C до 14°C дало позитивний ефект.

Для підвищення ефективності зберігання зерна та максимального збереження його споживчої цінності можливо заздалегідь, залежно від температури зберігання, прогнозувати очікуваний вихід.

Відповідно до складеного плану був проведений повнофакторний експеримент по визначенню клейковини, індексу деформації клейковини і вологості зерна із застосуванням охолодження у зерносховищі. А також зроблено аналіз з зараженості шкідниками.

Якість зерна контролюють як у процесі післязбиральної обробки (застосовують внутрішньогосподарський контроль якості), так і на стадії зберігання (здійснюють державний контроль готової продукції). Зерно продовольчо-кормове і технічне контролюють за показниками, встановленими для зберігання кожної культури стандартами ДСТУ. На кожен зернову культуру є стандарти, що обумовлюють якісні показники зерна відповідно з подальшим його використанням. Для характеристики якості зерна застосовують загальні показники, що відносяться до зерна усіх культур, і спеціальні, що застосовуються лише для зерна окремих культур.

4.1 Вплив коефіцієнта теплопровідності на фізико-механічних характеристики досліджуваної сировини

4.1.1 Шпаруватість зерна. Наявність свердловин у міжзерновій масі впливає на багато фізичних і фізіологічних процесів. У зерновій масі є міжзернові простори - свердловини, заповнені повітрям. Свердловини складають значну частину обсягу зернового насипу і роблять істотний вплив на

інші його фізичні властивості і фізіологічні процеси. Якщо розглянути одиницю об'єму зерна пшениці - 1 м^3 , то кількість зерен у ньому становить 25 млн. штук (маса 1000 шт. - 30 г), а. значить, і така ж кількість локальних повітряних об'ємів у зазорах між зернами, сполучених між собою. Схематично це показано на рис.4.1.

Таким чином, зернова маса представляє з себе пористий проникний матеріал з дуже малою теплопровідністю і високою теплоємністю.

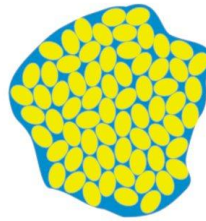


Рис. 4.1. Зерно і повітря у міжзернових шпаринах

Так, повітря, що циркулює по свердловинах, конвекцією сприяє передачі тепла і переміщенню парів води. Значна газопроникність зернових мас дозволяє використовувати цю властивість для продування їх повітрям (при активному вентиляванні) або вводити в них пари різних хімічних речовин для знезараження (дезінсекції). Запас повітря, а, отже, і кисню створює у зерновій масі на якийсь період (іноді дуже тривалий) нормальний газообмін для її живих компонентів, а також сприяє збереженню життєздатності[1,12,94.151].

Величина шпаруватості зернової маси залежить, в основному, від факторів, що впливають на натуру зерна. Так, зі збільшенням вологості зменшується сипучість, а, отже, і щільність укладання. Великі домішки зазвичай збільшують шпаруватість, дрібні легко розміщуються у міжзернових просторах і зменшують їх. Зернові маси, що містять великі й дрібні зерна, мають меншу шпаруватість. Вирівняні зерна, а також шорсткі або зі зморщеною поверхнею укладаються менш щільно.

У зв'язку з самосортуванням шпаруватість різних ділянок зернової маси може бути неоднаковою, що призводить до нерівномірного розподілу повітря в окремих її ділянках. При великій висоті насипу зернових мас відбувається їх ущільнення і шпаруватість зменшується. Знаючи обсяг, займаний зерновою

масою, і її шпаруватість, легко встановити обсяг повітря, що знаходиться в свердловинах. Ця кількість повітря при активному вентиляванні приймається за один обмін[30]. Таким чином, шпаруватість зернових мас має технічне і фізіологічне значення. У таблиці 4.1 представлені межі шпаруватості для різних культур[33,51,67].

Таблиця 4.1.

Шпаруватість для зернових культур, %

Вид культур	Межі шпаруватості, %
Пшениця, жито	35 - 45
Гречка, рис	50 - 65
Овес	50 - 70

Для практики зберігання зернових мас має значення як загальна величина шпаруватість, так і її структура. Чим більший обсяг у зерновій масі займають свердловини, тим менше щільність укладки. Отже, для розміщення зернових мас з великою шпаруватістю необхідна і велика за обсягом місткість зерносховищ.

Розмір і форма свердловин (великі чи дрібні свердловини) впливають на повітря-і газопроникність зернової маси, її сорбційні властивості, опірність повітрю при активному вентиляванні. Свердловини займають у зерновій масі значний обсяг. Відомо, що при щільності зерна пшениці 1,2 ... 1,4 г / см³ її натура становить 730 ... 820 г / л. Різниця між щільністю і натурою є наслідком нещільності укладки зерен та наявності між ними значних міжзернових просторів[62].

Таким чином, шпаруватість є відношенням обсягу, зайнятого проміжками між твердими частинками зернової маси, до загального обсягу, зайнятому зерновою масою. Шпаруватість зерна визначають за формулою

$$S = \frac{(W - V)}{W} \cdot 100 \quad (4.1)$$

де W - загальний обсяг, займаний зерновою масою, см³;

V - істинний обсяг твердих частинок зернової маси, см³.

Шпаруватість зернової маси залежить від форми, пружності, розмірів і стану поверхні зерен, від кількості і складу домішок, від маси і вологості зернової партії, форми і місткості сховища.

Зернова маса має меншу шпаруватість, укладається більш щільно, якщо вона має у своєму складі великі і дрібні зерна. За інших рівних умов тонкі і короткі зерна укладаються більш щільно, ніж зерна іншої форми.

Великі домішки зазвичай збільшують шпаруватість, дрібні - легко розміщуються у міжзернових просторах і зменшують її. Шпаруватість зростає із збільшенням вологості зернової маси.

При тривалому зберіганні у зв'язку з ущільненням (осадкою) зернової маси її шпаруватість зменшується. Таким чином, знаючи обсяг, займаний зерновою масою, і її шпаруватість, легко встановити обсяг повітря, що знаходиться в свердловинах. При активному вентиляванні цю кількість повітря приймають за один обмін.

У результаті самосортування шпаруватість різних ділянок зернової маси може бути неоднаковою. Це призводить до нерівномірного забезпеченості повітрям окремих ділянок зернової маси та іншим небажаним явищам.

За допомогою програми MATLAB представимо наглядно залежність коефіцієнта теплопровідності від шпаруватості (рис.4.2.)

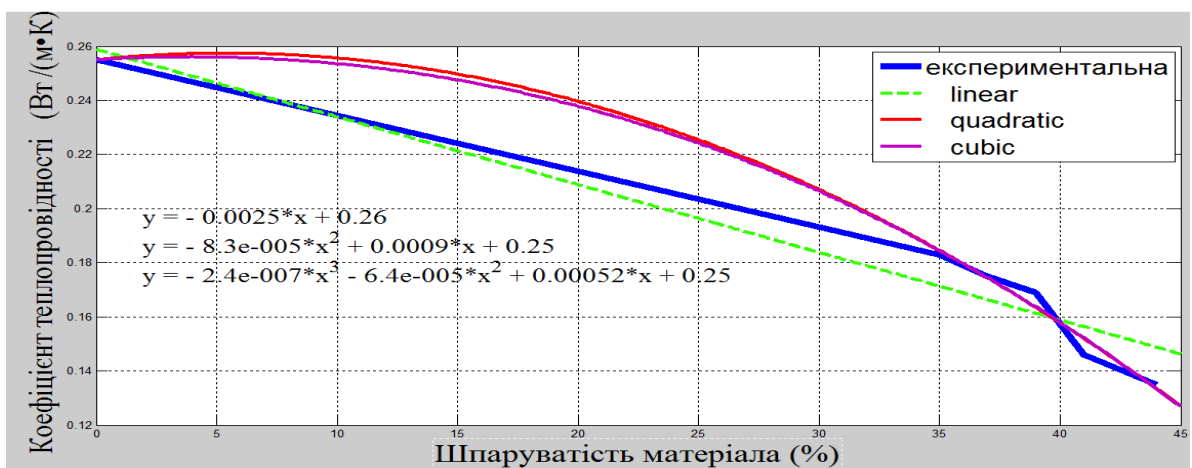


Рис. 4.2 Залежність коефіцієнта теплопровідності λ (Вт / (м К)) від шпаруватості матеріалу (%)

Згідно з графіком на рис.4.2 ми бачимо, що найбільш приближеним до експериментального графіка є лінійний графік з залежністю $y = -0.0025 \cdot x + 0.26$. При використанні даної залежності за певних отримати значення шпаруватісті або коефіцієнта теплопровідності без розрахунків поточних точок.

4.1.2 Вологість зерна. Вибір оптимальної вологості зерна при зберіганні залежить від первісної температури зерна, тривалості зберігання, виду культури, вихідної якості.

Теплофізичні характеристики одиничного зерна залежать від його вологості і температури, а характеристики зернового шару, крім того, від форми і розміру зерен, щільності їх укладання. Питома теплоємність одиничних зернівок і зернового шару практично однакова, оскільки маса повітря у міжзерновому просторі шару зневажливо мала в порівнянні з масою зерна. Вона залежить від його вологості і температури зерна. Зі збільшенням вологості питома теплоємність зерна зростає [36,62].

Питома теплоємність сухої речовини зерна становить 1,55 кДж / (кг К), що в 2,7 разів менше, ніж у води.

Теплопровідності одиничного зерна та зернової маси істотно різні. Якщо теплопровідність одиничного зерна становить близько 0,3 Вт / (м · К), то теплопровідність зернового шару в 2,5-3 рази нижче. Низька теплопровідність зернового шару порівняно з теплопровідністю теплоізоляційних матеріалів. Внаслідок поганої теплопровідності теплота в зерновій масі затримується, в основному, в тонкому шарі, що безпосередньо контактує з гарячими поверхнями сушарки. Зерно в цьому шарі може швидко перегрітися, а якість його погіршитися. Теплопровідність зернового шару з підвищенням вологості зерна спочатку збільшується, а потім знижується [64].

На рис. 4.3 надані експериментальні дослідження коефіцієнта теплопровідності від вологості. На графіку ми бачимо, що найбільш

наближеним до експериментального графіка є графік четвертого рівня з залежністю $\lambda = 1.6e + 0.02 \cdot x^4 - 65 \cdot x^3 + 5.3 \cdot x^2 + 0.95x + 0.08$.

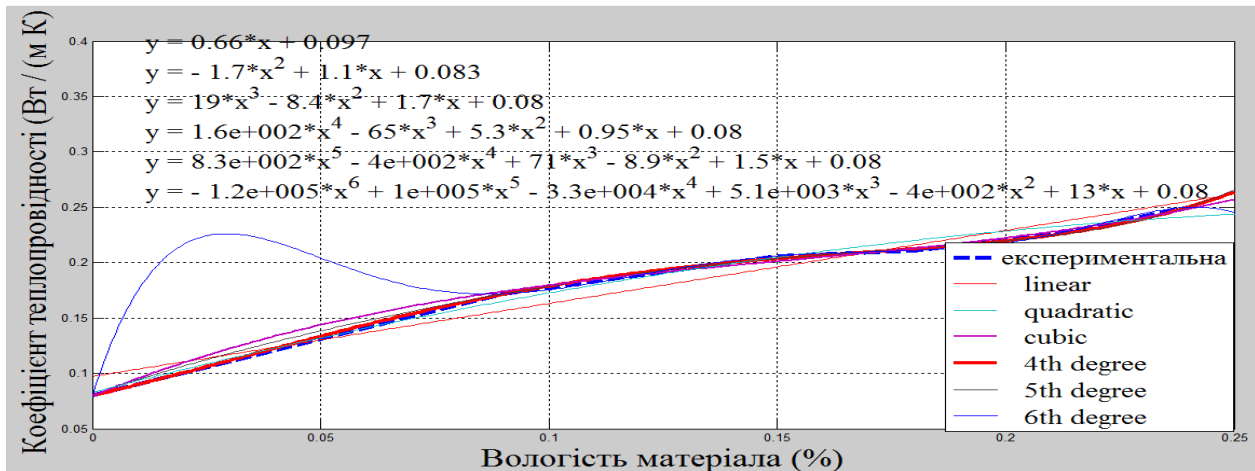


Рис. 4.3 Залежність коефіцієнта теплопровідності λ (Вт / (м К)) від вологості матеріалу (%)

4.1.3 Щільність зерна. Щільність зерна в цілому і його анатомічних частин мають важливе технологічне значення і залежать від хімічного складу. На відмінностях по щільності заснована вся технологічна схема переробки зерна.

Насипна щільність зерна коливається у наступних межах (в т / м³): овес (0,30-0,50), ячмінь (0,48-0,68), кукурудза (0,60-0,85), просо (0,68-0,75), жито (0,67-0,75), пшениця (0,73-0,85).

На величину щільності зерна в залежності від його розмірів впливають багато чинників. Позначається різниця у хімічному складі: крупне зерно містить крохмалю відносно більше, ніж дрібне; в дрібному зерні відносно більше оболонки, ніж у великому. У дрібному зерні частка зародка відносно більша в порівнянні з великим. Дрібне зерно, як правило, містить більше повітря, ніж велике, що зменшує його щільність [1,21,28,37,153].

Щільність зерна в цілому і його анатомічних частин має важливе технологічне значення. Зазвичай, зерно, яке має добрий налив, має і більш високу щільність, ніж зерно, яке не дозріло. Щільність зерна і його частин залежить від їх хімічного складу. Найбільшу щільність мають крохмаль і мінеральні речовини, тому із збільшенням їх частки росте щільність зернівки, і,

навпаки, збільшення кількості білка (1, 34 - 1, 37) і ліпідів (0, 89 - 0, 99) знижують щільність зерна.

За допомогою програми MATLAB можливо розрахувати та графічно представити зміни коефіцієнта теплопровідності від щільності.

Проаналізувавши графік (рис 4.4.), ми зробили висновок, що лінійний графік є найбільш приближений до експериментальних досліджень, та отримали рівняння $\lambda = 0.00014 \cdot x + 0.03$.

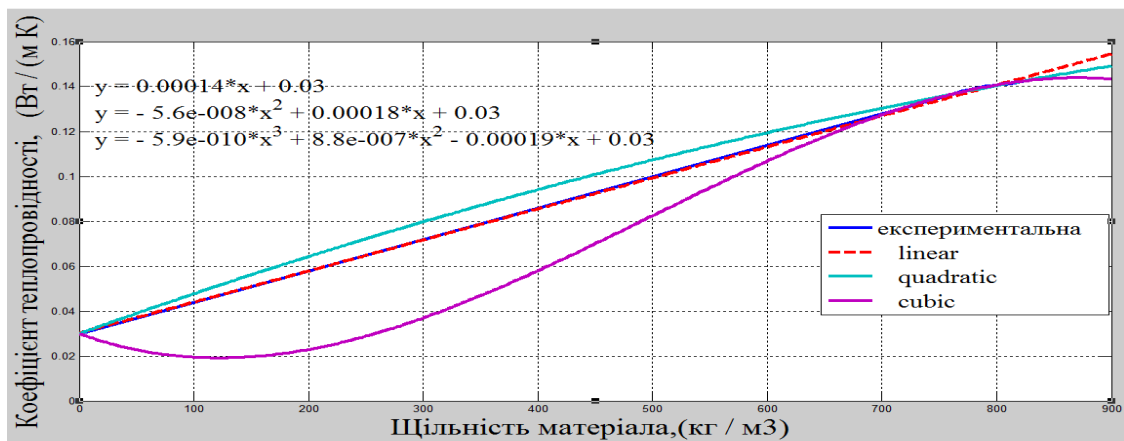


Рис. 4.4. Залежність коефіцієнта теплопровідності λ (Вт / (м К)) від щільності матеріалу ($\text{кг}/\text{м}^3$).

При обробці результатів експериментальних досліджень отримані апроксимації у вигляді наступних рівнянь:

для шпаруватості

$$\lambda = -0.0025 \cdot x + 0.26, \quad (4.2)$$

для вологості

$$\lambda = 1.6e + 0.02 \cdot x^4 - 65 \cdot x^3 + 5.3 \cdot x^2 + 0.95x + 0.08, \quad (4.3)$$

для щільності

$$\lambda = 0.00014 \cdot x + 0.03, \quad (4.4)$$

які надають кількісну оцінку отриманих результатів, внаслідок чого отримані аналітичні залежності дозволяють виконати розрахунок процесу теплопереносу.

Отримані аналітичні залежності є основою для визначення кількості тепла та дотичного дослідження процесу охолодження.

Отримані результати експериментальних досліджень, які ми спостерігаємо (рис. 4.2 , рис. 4.3 і рис. 4.4) та рівняння апроксимації (4.2), (4.3) і (4.4) вказують на те, що експериментальні дані майже не мають відхилень від теоретичних даних, тобто даних, які відомі іншим винахідцям.

Необхідно відзначити, що зі збільшенням шпаруватості коефіцієнт теплопровідності зменшується. А стосовно вологості і щільності, то, навпаки, зі збільшенням цих показників коефіцієнт теплопровідності збільшується.

Таким чином, отримані графічні залежності та аналітичні рівняння можуть бути використані при інженерних розрахунках, у випадках, коли необхідно враховувати змінення величини λ , в залежності від інших характеристик матеріалу, що використовується для охолодження, а саме вологості, щільності та шпаруватості.

4.2. Вплив температури та терміну зберігання зерна на якісні характеристики сировини.

4.2.1 Клейковина. При зберіганні повинна зберігатися якість і кількість зерна. Це означає захист зерна від несприятливих погодних умов, цвілевих грибів та інших мікроорганізмів, зволоження, високих температур, гризунів, птахів, сторонніх запахів і забруднень[23,50,115,116,117,131,138,144,172].

Показники якості зерна необхідні для ведення торгівлі. Від якості зерна залежить якість продукту, одержуваного при його переробці, і втрати під час зберігання[25,36,50,71,80,81].

Підвищення вологості заготовлюваного зерна в результаті комбайнового збирання вимагає застосування нових методів для забезпечення його збереження.

Одним з таких методів є зберігання зерна в охолодженому стані[37,63].

Найбільшу небезпеку для зерна, що зберігається, представляє тепловий нагрів. Ця проблема стає особливо гострою у зв'язку зі збільшенням місткості зерносховища.

Навіть при хорошій теплоізоляції зерносховищ підвищення температури

зерна відбувається у процесі дихання[118,120,121,124] .

Для експерименту ми використовували два зерносховища (склад №1, склад №2), де застосовували охолодження, і третій склад (№3) без охолодження. У зерносховищі №1 підтримували температуру зерна в межах від 0°C - 7°C , а в зерносховищі №2 температура зерна перебувала в діапазоні від 7°C - 14°C .

При дослідженні брали за основу національний стандарт України про технічні умови пшениці ДСТУ 3768: 2010 [117], завдяки якому визначені необхідні показники, які впливають на якість пшениці після зберігання і для хлібопекарських виробів, тобто на якість хліба.

Головними технологічними показниками, що визначають хлібопекарські властивості зерна пшениці, є масова частка білка і сирої клейковини, а також якість клейковини [139,145,146,151,154].

Під клейковиною розуміють білкові речовини зерна, здатні при набуханні у воді утворювати зв'язну еластичну масу. Її виділяють з тіста відмиванням водорозчинних речовин, крохмалю та клейковини. Клейковина, відмита з шматочка тіста, називається сирою. У ній міститься до 70% води, при перерахунку на суху речовину 82 - 88% клейковини складають білки - гліадин і глютенін. Вміст сирої клейковини приблизно в два рази перевищує вміст білка [12,37,143].

Досліджень пов'язаних з охолодженням зерна і визначенням впливу обраних режимів зберігання на якість клейковини, у відомих роботах не було.

Спираючись на відомості, отримані з літературних джерел, і результати проведених досліджень, нами була зроблена спроба встановити залежність між клейковиною пшениці (фактор y) і термінами зберігання (фактор x_1), середня температура в зерносховищі (фактор x_2). Визначення зв'язку проводили за допомогою теорії кореляції, методи якої найбільш повно і з достатнім ступенем точності відображають наявність або відсутність математичної залежності [24,140,141,142,159,166,].

Була розглянута множинна лінійна і нелінійна кореляція і складена розрахункова таблиця даних, отриманих у результаті експерименту, а для зручності обчислень - розрахункова таблиця.

Вихідні дані, отримані в результаті експерименту, задовольняють вимогам проведення статистичного аналізу.

Частні коефіцієнти кореляції [77,78] обчислені за формулами (4.5), (4.6), а сукупний - за формулою (4.7).

У результаті проведених досліджень, в якості факторів розглядалися термін зберігання (фактор x_1) і середня температура (фактор x_2). Отримана лінійна і параболічна залежність для клейковини пшениці (y)[109,119].

$$R_{x_1,y(x_2)} = \frac{R_{x_1,y} - R_{x_1,x_2}R_{x_2,y}}{\sqrt{(1-R_{x_1,x_2}^2)(1-R_{x_2,y}^2)}} \quad (4.5)$$

$$R_{x_2,y(x_1)} = \frac{R_{x_2,y} - R_{x_1,x_2}R_{x_1,y}}{\sqrt{(1-R_{x_1,y}^2)(1-R_{x_1,x_2}^2)}} \quad (4.6)$$

$$R_{x_1,x_2(y)} = \frac{R_{x_1,x_2} - R_{x_1,y}R_{x_2,y}}{\sqrt{(1-R_{x_1,y}^2)(1-R_{x_2,y}^2)}} \quad (4.7)$$

У таблиці 4.2 надані експериментальні значення, які отримано при зберіганні у першому зерносховищі.

Таблиця 4.2

Значення клейковини пшениці при зберіганні в першому зерносховищі із застосуванням охолодження.

Термін зберігання, місяць	Середня температура зерна в зерносховищі, $t_{cp}, ^\circ\text{C}$	Клейковина, %
1	7	27,5
2	5	27,7
3	4	27,8
4	3	27,8
5	0	27,9
6	0	27,9

За допомогою матриці можна проаналізувати результати дослідження та побудувати поверхні лінійної та криволінійної залежності математичної моделі клейковини пшениці для двох зерносховищ і ліній рівнів криволінійної

залежності. А також прогнозувати подальше зберігання зерна в сховищі за клейковиною.

Матриця коефіцієнтів кореляції для факторів представлена (додаток Г1)

Для даних першого зерносховища на підставі кореляційної матриці можна зробити висновок згідно отриманих числових характеристик: клейковина пшениці (Y) - коливається: $27,62 \pm 0,19$, тобто 27,43 - 27,81%. При цьому спостерігається сильний зростаючий зв'язок від терміну зберігання (фактор x_1), і сильний спадний зв'язок від середньої температури зберігання зерна в зерносховищі (фактор x_2).

Для побудови множинної лінійної і нелінійної моделі коефіцієнтів визначені за допомогою пакету MathCad [52,60,77,83,97,98,101,102,103,109].

Функціональна інтерпретація даних характеристик матиме вид $Y = -12,9 + 7,25x_1 + 4,76x_2$, а не лінійна $Y = -44,86 + 26,63x_1 + 1,69x_2 - 2,42x_1^2 - 3,1x_1x_2 - 0,99x_2^2$.

Математична модель лінійної та криволінійної залежностях дає можливість отримати теоретичні значення для конкретних умов зберігання зерна.

Порівнявши теоретичні та експериментальні значення дослідів можна зробити висновок, що відхилення величин незначні, тобто отримана математична модель адекватна і дає можливість з достатнім ступенем точності прогнозувати вихід зерна першого класу залежно від температури зберігання [35,94, 95,101].

На підставі отриманих залежностей (рис. 4.5 і рис.4.6) можна здійснити прогноз зберігання зерна в зерносховищі із застосуванням охолодження, тобто з пониженням температури до 0^0 С показник клейковини зріс порівняно з закладанням на 0,4%.

Таким чином, при терміні зберігання 4,3 місяця, температура зерна повинна бути не більше $1,44^0$ С, і клейковина при цьому складе 27,9%.

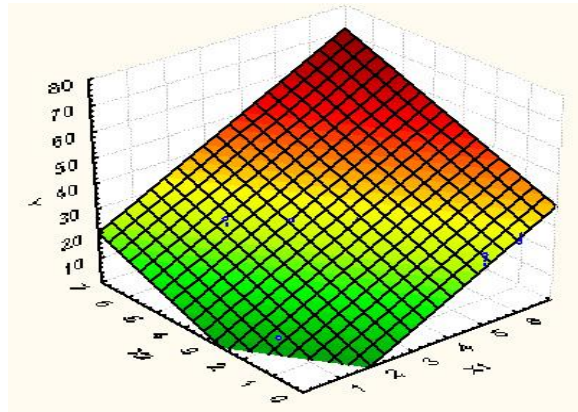
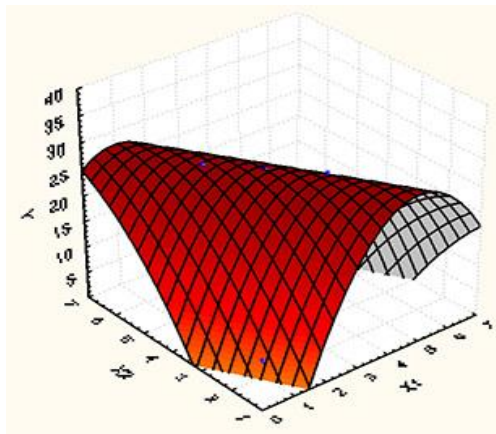
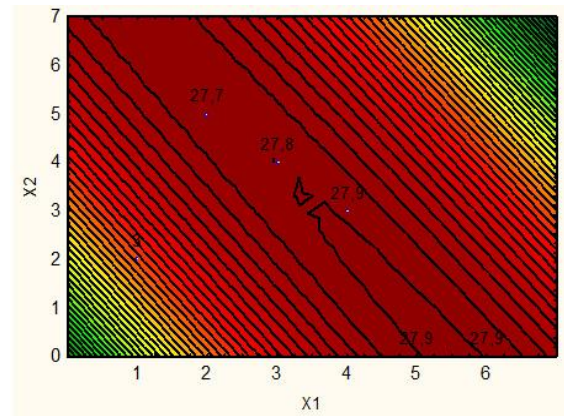


Рис.4.5. Поверхня лінійної залежності – клейковини пшениці для зерносховища № 1: x_1 –термін зберігання; x_2 – середня температура зерна у зерносховищі; Y – клейковина пшениці.



а)



б)

Рис. 4.6. Поверхня і лінії рівня параболічної залежності (а), лінії рівнів (б) – клейковини пшениці для зерносховища № 1: x_1 – термін зберігання; x_2 –середня температура зерна в зерносховищі; Y – клейковина пшениці.

Аналогічно визначаємо клейковину під час зберігання в зерносховищі №2, де підтримували температуру зерна в межах від 7°C – 14°C .

Отримані дані під час експеримент відображено у таблицю 4.3.

На підставі проведених дослідів надані дані, які піддаємо подальшій обробці за допомогою матриці коефіцієнтів кореляції (додаток Г2).

Таблиця 4.3

Значення клейковини пшениці при зберіганні в другому зерносховищі із застосуванням охолодження.

Терміни зберігання, місяць	Середня температура зерна в зерносховищі, $t_{cp}, ^\circ C$	Клейковина, %
1	13	27
2	12,3	27,3
3	12	27,5
4	10	27,7
5	10	27,7
6	8,5	27,8

Аналізуючи результати дослідження можемо побудувати поверхні лінійної та криволінійної залежності математичної моделі клейковини пшениці для другого зерносховища, та ліній рівнів криволінійної залежності.

Для даних другого зерносховища можна зробити висновок, згідно отриманих числових характеристик клейковина пшениці в другому зерносховищі (Y) - коливається: $27,53 \pm 0,40$, тобто 27,13 - 27,93%. При цьому спостерігається сильний зростаючий зв'язок від терміну зберігання (фактор x_1), і сильний спадний зв'язок від середньої температури зерна в зерносховищі (фактор x_2).

Функціональна інтерпретація даних характеристики матиме вид $Y = 27,5 + 0,15x_1 - 0,04x_2$ - для лінійної залежності та криволінійної - $Y = 60,54 - 4,7x_1 - 4,3x_2 + 0,15x_1^2 + 0,34x_1x_2 + 0,13x_2^2$

Хлібопекарські якості пшениці оцінюються в основному за кількістю та якістю клейковини. Клейковина - це білковий студень, що залишився після відмивання з тіста крохмалю, клітковини водорозчинних речовин. Її вміст у зерні пшениці коливається від 14 до 50% і вище. Вона складається з набряклих білків - гліадин і глютену.

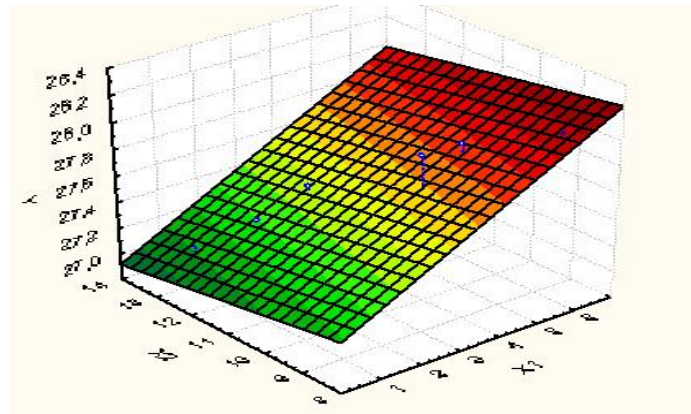
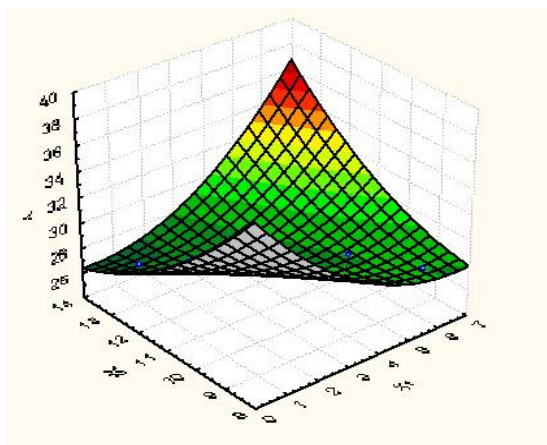
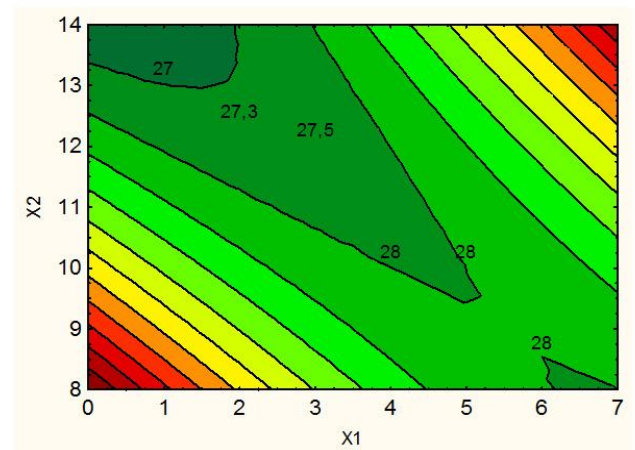


Рис. 4.7. Поверхня лінійної залежності – клейковини пшениці для зерносховища № 2 (7°C – 14°C): x_1 – термін зберігання; x_2 – середня температура зерна в зерносховищі; Y – клейковина пшениці.



а)



б)

Рис.4.8. Поверхня і лінії рівня параболічної залежності – клейковини пшениці для зерносховища № 2: x_1 – термін зберігання; x_2 – середня температура зерна у зерносховищі; Y – клейковина пшениці.

У стандарті клейковина, її кількість і якість визначає клас зерна.

Під якістю клейковини розуміють сукупність її фізичних властивостей: розтяжність, пружність, еластичність, в'язкість, зв'язність здатність зберігати фізичні властивості в часі. На рис 4.8. видно як змінюється клейковина при зміні температури і терміну зберігання [12].

При оптимізації, згідно з отриманими даними, можна зробити висновок, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 6 місяців при температурі не більше 8,4 °С, клейковина при цьому складе 27,8%.

Якість клейковини визначається її фізичними властивостями: пружністю, розтяжністю, еластичністю, здатністю до набухання. Ці цінні властивості клейковини зумовлюють високу газоутворюючу здатність пшеничного тіста, що забезпечує високий об'ємний вихід хліба та його хорошу пористість.

4.2.2 Індекс деформації клейковини. Якість клейковини визначають на приладі ІДК-1 (індекс деформації клейковини). Залежно від показань приладу клейковина за якістю ділиться на три групи: I - хорошої якості; II - задовільної; III - незадовільної.

За хлібопекарськими властивостями м'яку пшеницю поділяють на три групи: сильна, середня і слабка.

Клейковина високої якості має світло-сірий або світло-жовтий колір. Темні тони у забарвленні з'являються внаслідок несприятливих впливів на зерно при дозріванні, обробці (перегрів при сушінні) або зберіганні (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Якість клейковини зерна пшениці за шкалою приладу ІДК

Показник шкали ІДК-1, ум. од.	Характеристика клейковини	Група клейковини
0-15	Незадовільна міцна	III
20-40	задовільна міцна	II
45-75	Хороша (помірно пружна)	I
80-100	Задовільна слабка	II
105-120	Незадовільна слабка	III

Зерно пшениці з клейковиною III групи не придатне для хлібопечіння. На кількість і якість клейковини впливають такі фактори: сортові особливості;

технологія обробітку пшениці (попередники, строки сівби, рівень азотного живлення); погодні умови в період дозрівання зерна і збирання врожаю; несприятливі дії, які зерно відчуває при вирощуванні (ураження шкідливим клопом-черепашкою), зберіганні (проростання і самозігрівання) і обробці (перегрів при сушінні) [45,46,115,116,117,131,138,144,161,172].

У ході експерименту були отримані дані, щодо індексу деформації клейковини пшениці, які надалі заносяться у таблицю 4.5.

Для даних першого зерносховища можна зробити висновок згідно отриманих числових характеристик, ІДК пшениці (Y) - коливається: $63,83\% \pm 3,71$, тобто 65,66 - 66,0%. При цьому спостерігається сильний спадний зв'язок з терміном зберігання (фактор x_1), і сильний зростаючий зв'язок з середньою температурою зерна (фактор x_2).

Рівняння моделі лінійної та нелінійної залежності мають вигляд для лінійної характеристики $Y = 68,7955 - 1,61x_1 - 0,04x_2$, для криволінійної - $Y = -45 + 38,5x_1 + 33,5x_2 - 3,5x_1^2 - 5,8571x_1x_2 - 2,3571x_2^2$

Представимо поверхні параболічної та лінійної на рис. 4.9 та рис. 4.10

Таблиця 4.5

Значення індексу деформації клейковини пшениці при зберіганні в першому зерносховищі із застосуванням охолодження.

Термін зберігання, місяц	Середня температура зерна в зерносховищі, t_{cp} $^{\circ}C$	Індекс деформації клейковини, %
1	7	68
2	5	68
3	4	65
4	3	62
5	0	60
6	0	60

За допомогою значень, отриманих під час експерименту, створюємо матрицю (додаток ГЗ, додаток Д1).

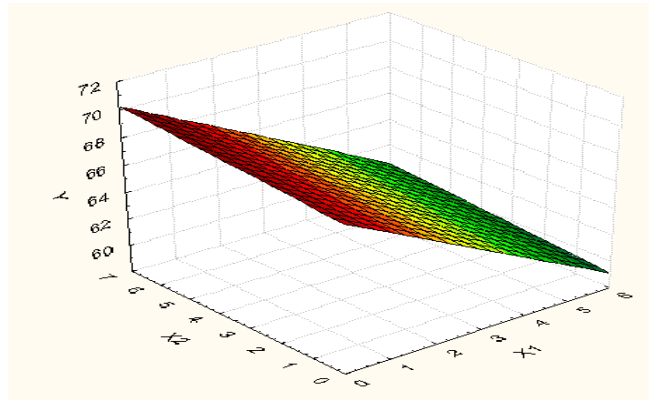
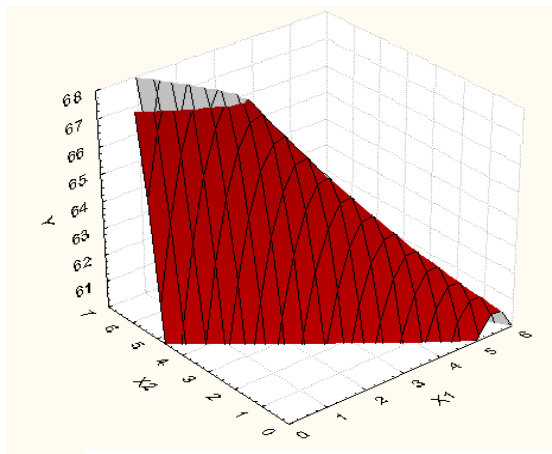
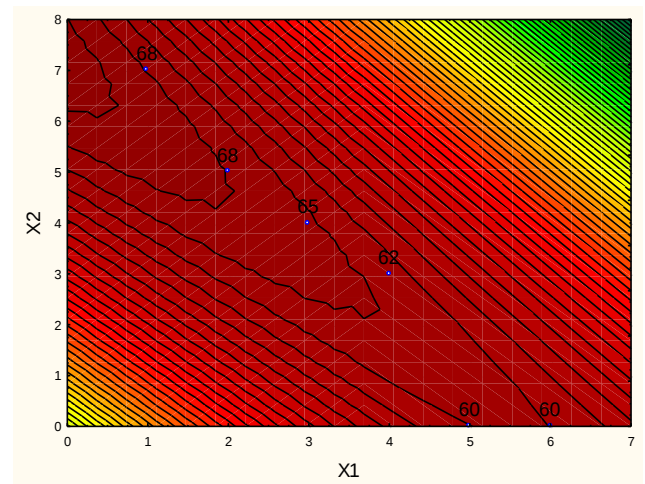


Рис. 4.9. Поверхня лінійної залежності - індексу деформації клейковини пшениці для зерносховища № 1: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна в зерносховищі; Y - ІДК пшениці.

Індекс деформації клейковини 60,9%, температурі 0°C при терміні зберігання після 5,5 місяців.



а)



б)

Рис. 4.10. Поверхня і лінії рівня параболічної залежності (а), лінії рівнів (б) - індексу деформації клейковини пшениці для зерносховища № 1: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна у зерносховищі; Y - ІДК пшениці.

Для визначення індексу деформації клейковини в другому зерносховищі побудуємо матрицю(додаток Г4, додаток Д2).

Таблиця 4.6

Значення індексу деформації клейковини пшениці при зберіганні в другому зерносховищі із застосуванням охолодження

Терміни зберігання, місяць	Середня температура зерна в зерносховищі, $t_{cp}, ^\circ C$	ІДК, %
1	13	75
2	12,3	73
3	12	72
4	10	69
5	10	69
6	8,5	68

Для даних другого зерносховища можна зробити висновок згідно отриманих числових характеристик, ІДК пшениці по другому складу (Y) - коливається: $71,0\% \pm 2,76$, тобто 68,24 - 73,76%. При цьому спостерігається сильний спадний зв'язок з терміном зберігання (фактор x_1), і сильний зростаючий зв'язок з середньою температурою зерна у зерносховищі (фактор x_2).

Рівняння даної моделі лінійної та нелінійної залежності набудуть вид для лінійної характеристики - $Y = 64,83 - 0,72x_1 + 0,79x_2$, для криволінійної - $Y = 57,32 + 1,61x_1 + 0,55x_2 + 0,0235x_1^2 - 0,18x_1x_2 + 0,067x_2^2$.

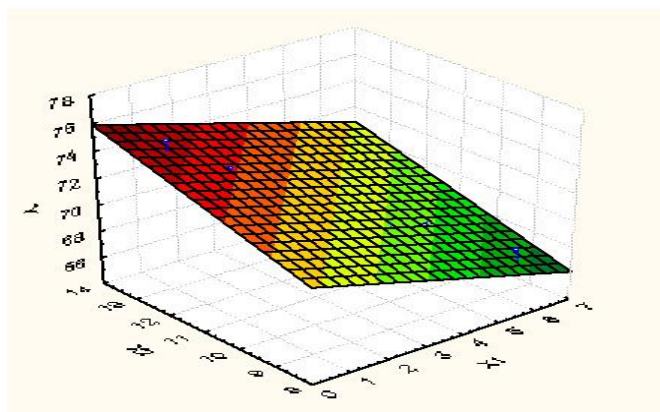
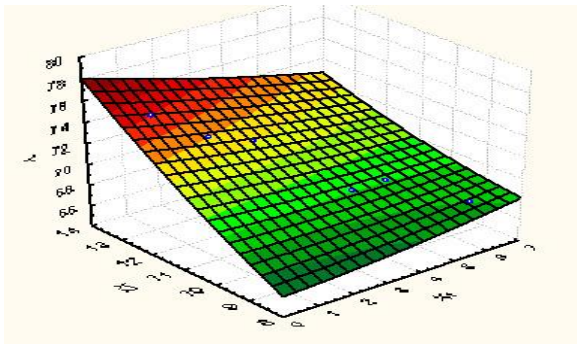
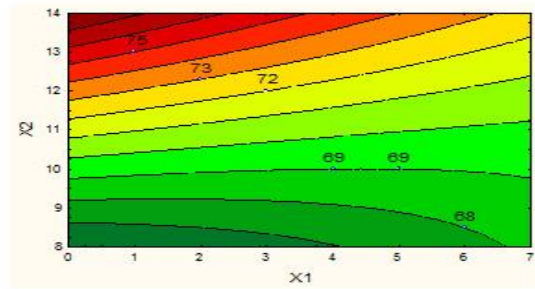


Рис. 4.11. Поверхня лінійної залежності - індексу деформації клейковини пшениці для зерносховища № 2: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна в зерносховищі; Y - ІДК пшениці.



а)



б)

Рис. 4.13. Поверхня і лінії рівнів параболічної залежності (а), лінії рівнів (б) - індексу деформації клейковини пшениці для зерносховища № 2: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна в зерносховищі; Y - ІДК пшениці.

Параметри оптимізації індекса деформації клейковини (додаток Г4, додаток Д4). Зберігання після 3 місяців при температурі не нижче 8,5 градусів (ІДК - 70%). Зберігання 6 місяців при температурі 8,5 градусів (ІДК - 75%).

4.2.3. Вихідна вологість. Для тривалого зберігання вологість зерна додатково знижують. Вологість зерна - один з найбільш важливих показників його якості, який визначають відразу ж після прийому. Вода робить сильний вплив на саме зерно і мікроорганізми на його поверхні. На вологому зерні швидше розвиваються мікроби, збільшується число кліщів, комах, відбуваються інші зміни [13,14, 21,44,61,79,80].

Вологість відображає частку поживних речовин зерна і тривалість його зберігання. Чим вище вміст вологи в зерновій масі, тим менше вона містить поживних речовин і тим швидше псується. Надмірна кількість вологи призводить до активації фізіологічних, фізико-хімічних процесів. Зерно починає набухати, проростати, розщеплюються високомолекулярні біополімери, активізуються ферменти. Знижується натура, сипучість зерна, воно стає вразливим для механічних пошкоджень. Якщо вологим зерно залишається на тривалий термін, його зберігання і обробка стають неможливими. У будь-якому випадку вихід зерна і якість продукції при використанні вологої сировини знижуються.

Зі сказаного вище очевидно, що для поліпшення якості зерна та полегшення його переробки необхідна сушка. Цю процедуру проводять, враховуючи конкретний стан зерна при вологості. Перш за все, вологість зерна визначається окремо від домішок, оскільки вологість різних культур відрізняється одне від одного.

Волога в зерні може бути: механічно пов'язаною (інакше називається вільною); фізико-хімічно зв'язаною; хімічно зв'язаною.

Вільна вода видаляється з зернової маси найлегше. Якщо зберігання зернової маси організовано правильно, капель рідинної вологи в ній бути не повинно. Надмірна кількість вологи може утворитися при різких температурних перепадах або потрапити в зернову масу при несправних стінах, даху сховища, тобто в результаті порушення правил зберігання.

Всередині самого зерна вода впливає на фізичні, хімічні, біологічні властивості зерна, які визначають його цінність. Виділити хімічно зв'язану воду можна тільки порушивши структуру білків, жирів, вуглеводів, до складу яких вона входить. Молекули такої води вже не мають властивості розчинника, оскільки пов'язані з гідрофільними речовинами. Видалення зв'язаної води призводить до зміни технологічних особливостей зерна.

Щоб визначити вологість зерна, використовують наступну градацію: сухе зерно, середньої сухості, вологе, сире[117].

Ці оцінки мають різне вираження у залежності від культури. Для насіння бобових культур цей показник більше середнього, а для олійних, навпаки, менше. Різниця у показниках пояснюється хімічним складом і анатомічною будовою культури. Так, олійні містять велику кількість жиру, що не утримує воду. Тому вода в соняшнику, ріпині та інших культурах утримується у великих кількостях у гідрофільній частини зерна і активізує біохімічні процеси.

Рівень вологості, при якому в зерні виникає вільна волога, а також різко збільшується інтенсивність дихання, називають критичною. Її величини різні для кожного конкретного виду культури.

Вміст вологи відіграє вирішальну роль у збереженні зерна і робить великий вплив на технологію зернових продуктів, одержуваних при промисловій переробці.

Для основних зернових культур: пшениці, жита, ячменю, вівса, гречки прийняті наступні стани зерна по вологості: сухе - до 14%; середньої сухості - понад 14% до 15,5%; вологе - від 15,5% до 17%; сире - понад 17%.

Стан за вологістю використовують для розміщення та обліку зерна при зберіганні.

Як відомо, вологість зерна робить винятково великий вплив на його збереження. При зберіганні зерна вологість у нормальних умовах не піддається різким змінам, проте завдяки здатності поглинати і віддавати вологу зерно може зменшувати або збільшувати вологість при зберіганні. Особливо значні коливання вологості зернового насипу при зберіганні можуть відбуватися у верхніх шарах у залежності від температури і вологості зовнішнього повітря.

Вологість зерна при зберіганні визначають стандартними методами відповідно до вимог ДСТУ[117].

При закладці зерна на зберігання, а також після очищення, сушіння та перед вивантаженням проводять повний технічний аналіз зерна. Вологість зберігання сухого, середньої сухості і охолодженого зерна визначають один раз на місяць, вологого і сирого - один раз у 15 днів.

Вологість як показник якості зерна має двояке значення: економічний і технологічний. При продажу партія зерна приймається без обмежень, якщо вологість зерна не перевищує обмежувальних кондицій (для пшениці і ячменю - 14,5%), оскільки в зерні цінуються сухі речовини, а не вода. За взаємною домовленістю сторін може прийматися зерно з підвищеною вологістю, але в цьому випадку зменшується оплачувана маса партії зерна, тобто робиться натуральна знижка з фізичної маси в розмірі один відсоток за кожен зайвий відсоток води. Крім того, стягується плата за сушку зерна і насіння.

Технологічне значення вологості величезне. Зернові культури тривалий час зберігають з мінімальними втратами, якщо вони знаходяться у сухому стані

(коли в них немає вільної води). Для успішної переробки зерна потрібна певна вологість, при великій вологості не можна успішно розмолоти зерно в борошно або переробити його в крупу, виділити масло з насіння олійних культур. Заносимо значення матриці коефіцієнтів кореляції у таблицю (додаток Г5).

Таблиця 4.7

Значення вологості пшениці при зберіганні в першому зерносховищі із застосуванням охолодження.

Термін зберігання, місяц	Середня температура зерна в зерносховищі, $t_{\text{ср}}^{\circ\text{C}}$	Вологість, %
1	7	13
2	5	12,5
3	4	12,3
4	3	12
5	0	12
6	0	12,2

Для даних першого зерносховища можна зробити висновок згідно отриманих числових характеристик, що вологість пшениці (Y) - коливається: $12,3\% \pm 0,4$, тобто 11,9-12,7%, при цьому спостерігається сильний спадний зв'язок з терміном зберігання (фактор x_1), і сильний зростаючий зв'язок з середньою температурою зерна (фактор x_2).

Функціональна інтерпретація матриці коефіцієнтів кореляції, представлена в табл.4.7, набуде вигляду: для лінійної характеристики $Y = 12,2 - 0,04x_1 + 0,08x_2$; для криволінійної $Y = -17,5 + 10,65x_1 + 7,3x_2 - 0,95x_1^2 - 1,33x_1x_2 - 0,43x_2^2$.

Поверхні лінійної та криволінійної залежності математичної моделі для вологості пшениці - зерносховище № 1, представлені на рис.4.13-4.14.

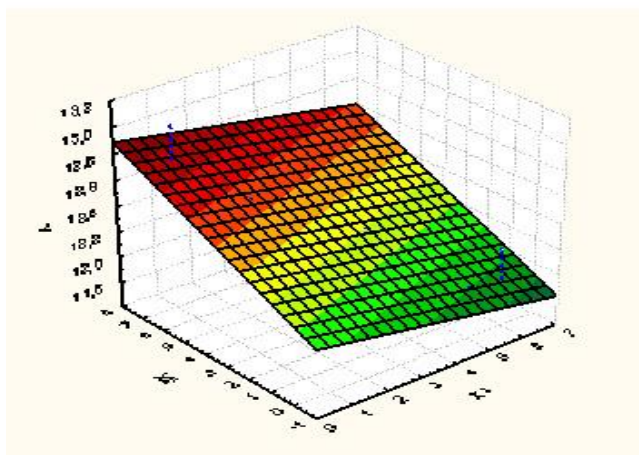
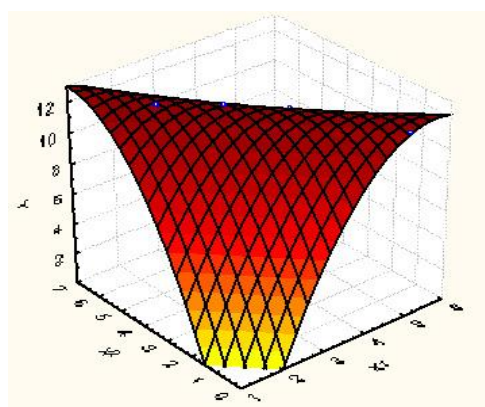
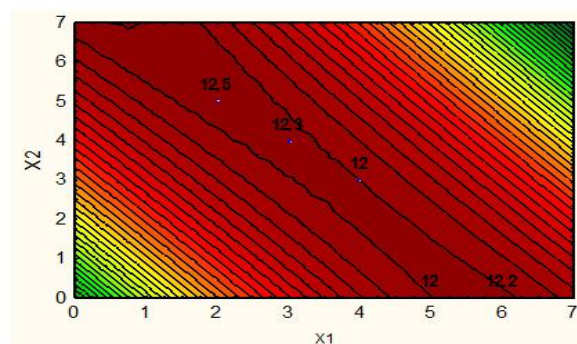


Рис.4.13. Поверхня лінійної залежності - вологості пшениці для зерносховища № 1: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна в зерносховищі; Y - вологість пшениці.



а)



б)

Рис.4.14 Поверхня і лінії рівнів параболічної залежності - вологості пшениці для зерносховища № 1: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна в зерносховищі; Y - вологість пшениці.

Можна зробити висновок, що при температурі 0°C вологість буде 12,35%, а термін зберігання складе 5,6 місяців.

Так само визначаємо для другого зерносховища. Заносимо у таблицю 4.8 значення вологості пшениці при зберіганні, а матрицю коефіцієнтів кореляції відображаємо в додатку Г6.

Таблиця 4.8

Значення вологості пшениці при зберіганні у другому зерносховищі із застосуванням охолодження.

Термін зберігання, місяц	Середня температура зерна в зерносховищі, $t_{cp}^{\circ C}$	Вологість, %
1	13	13,5
2	12,3	12,7
3	12	12,3
4	10	12,1
5	10	12
6	8,5	12,2

Для даних другого зерносховища можна зробити висновок згідно отриманих числових характеристик, вологість пшениці (Y) - коливається: $12,47 \pm 0,56$, тобто 11,97-13,03%, при цьому спостерігається сильний спадний зв'язок з терміном зберігання (фактор x_1), і сильний зростаючий зв'язок з середньою температурою зерна у зерносховищі (фактор x_2)[165].

Рівняння моделі лінійної та нелінійної залежності мають вигляд для лінійної характеристики $Y = 17,41 - 0,51x_1 - 0,29x_2$; для криволінійної $Y = 108,71 - 13,46x_1 - 13,15x_2 + 0,53x_1^2 + 0,86x_1x_2 + 0,46x_2^2$

Розглянувши рівняння були побудовані моделі і визначені найкращі значення при зберіганні пшениці із застосуванням охолодження.

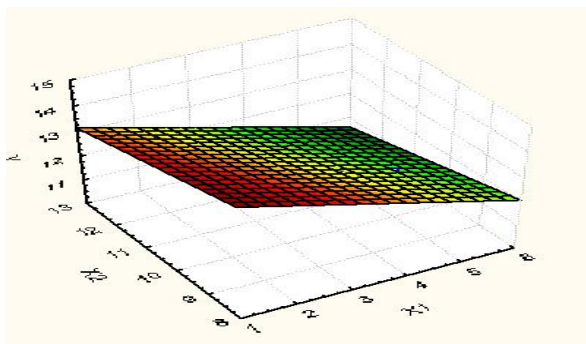


Рис.4.15. Поверхня лінійної залежності - вологість пшениці для зерносховища № 2: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура зерна в зерносховищі; Y - вологість пшениці.

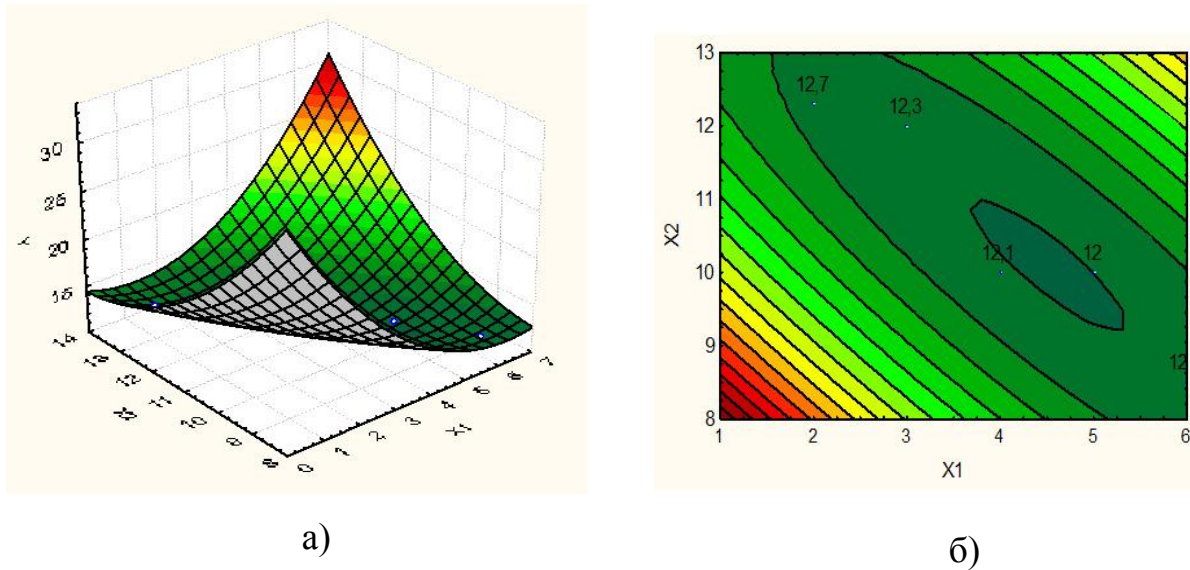


Рис. 4.16 Поверхня і лінії рівнів параболічної залежності - вологість пшениці для зерносховища № 2: x_1 - термін зберігання; x_2 - середня температура у зерносховищі; Y - вологість пшениці.

4.2.4. Зараженість шкідниками. Спочатку технологія зберігання зерна з охолодженням розроблялася для консервації вологого зерна перед сушінням. У даний час найчастіше охолоджують сухе зерно, ніж вологе - головним чином, для попередження розвитку комах-шкідників. Якщо ж температура і вологість сприятливі для комах, то виникають значні втрати від пошкодження зерна шкідниками.

Більшість жучків мають дуже короткий цикл розвитку - в ідеальних умовах цикл відтворення довгоносиків займає всього 25 днів. Якщо комахи перебувають в оптимальних умовах по температурі і вологості, то через поїдання ними зерна та виділення продуктів життєдіяльності виникають суттєві втрати. Проблема загострюється тим, що в таких умовах комахи стрімко розмножуються. У більшості їх видів дуже короткий цикл розвитку. Так, наприклад, у довгоносика за ідеальних умов він проходить всього за 25 днів. Втрат, викликаних поїданням комахами, можливо ефективно уникнути при охолодженні врожаю до температури нижче 13 ° C [147].

При відповідних низьких температурах комахи впадають у зимову сплячку і не приносять шкоди складованому зерну. Якщо ж комасі вдається знайти більш оптимальні умови температури і вологості, то через поживання і виділення екскрементів виникають суттєві втрати. Проблема постійно загострюється, оскільки в оптимальних для себе умовах комахи стрімко розмножуються[16,32,34,40,42,43,50,53,69,70,91,108].

Зараженість зерна шкідниками комор частіше за інших в зернопродуктах знаходяться хлібні і хижі кліщі. Визначають їх кількісно при розгляданні під лупою з п'ятикратним збільшенням після проходу через сито з діаметром осередків 1,5 мм після просіювання 1 кг зерна. У цьому ж зразку визначають зараженість зерна довгоносом, хрущом, борошноїдом, міллю та іншими.

Партії зерна, заражені шкідниками-комахами, вважають некондиційними. Наявність комах не допускають навіть обмежувальні кондиції, таке зерно не приймається хлібоприймальними підприємствами.

Зараження зерна комахами і кліщами призводить до його забруднення екскрементами шкідників, їх ліночними шкірками і т. д. Екскременти довгоносиків та зернової молі залишаються всередині зерна і при переробці потрапляють у борошно. Щури та миші є небезпечними розповсюджувачами багатьох інфекційних хвороб. Основними шкідниками хлібних запасів є комахи (жуки, метелики), кліщі, мишоподібні гризуни і птахи.[21,23,53,145,154]

Можлива лише зараженість кліщами (1 і 2-го ступеня), так як вони менш небезпечні, в цьому випадку встановлюються знижки з закупівельної ціни. Зараженість висловлюють кількістю примірників живих шкідників в 1 кг зерна (мертвих - відносять до смітної домішки і при визначенні зараженості не враховують). У документах, які характеризують якість зерна, обов'язково зазначають показник зараженості. Якщо в наважці не знайдені живі шкідники, то положення фіксують як «зараженість не знайдено».

У нашому випадку в першому і другому зерносховищі зараженість не виявлена, а в контрольному зерносховищі без охолодження виникли після

першого місяця зберігання, що є вже сигналом для подальшого зберігання [126].

4.3 Оптимізація параметрів процесу охолодження зерна

Ґрунтуючись на результатах попередніх експериментальних даних досліджуваних процесів зберігання зерна за використання розробленого способу та зерносховища, здійснено статистичний аналіз якісних параметрів вихідної сировини (табл. 4.9).

Якісним параметром оптимізації досліджуваного процесу визначено масову частку клейковини K , %:

$$K = f(W, P, T), \quad (4.8)$$

де W – вологість сировини, %; P – об'ємна подача повітря, м³/год; T – температура обробки сировини, °C.

Енергетична характеристика досліджуваного процесу буде мати наступну функціональну інтерпретацію:

$$N_{\text{заг}} = f(W, P, T), \quad (4.9)$$

Дослідження впливу перерахованих вище факторів на технологічні та енергетичні параметри досліджуваного процесу під час здійснення однофакторних експериментів пов'язане зі значними труднощами та об'ємами робіт. Тому доцільно здійснити статистичний аналіз для отримання функціональної залежності у вигляді множинної регресії другого порядку за допомогою рототабельного центрально-композиційного планування (РЦКП) багатфакторного експерименту [8,17,19,88,89].

Метод РЦКП дає змогу більш точно отримати математичний опис розподілу даних за рахунок збільшення кількості експериментів у центральних точках матриці плану і спеціального вибору величини “зіркового значення” α .

Кількість факторів (РЦКП) становить:

$$k = k_{\text{я}} + 2n + k_0, \quad (4.10)$$

де k_y – кількість факторів у ядрі плану; n – кількість факторів; $2n$ – кількість досліджень у зіркових точках; k_0 – кількість факторів у центрі плану з координатами $(0,0\dots 0)$. Рототабельність композиційного плану набувається за умови, що зіркове значення α вибирається з інтервала $\alpha^{\frac{n}{4}}$ при $n \leq 5$, тобто для трифакторного експерименту $\alpha = 1,682$, для чотирифакторного – $\alpha = 4$.

Аналіз статистичних характеристик отриманих даних показав, що коефіцієнти їх асиметрії прямують до нуля, тобто розподіл експериментальних даних є симетричним та апроксимується за нормальним законом.

За негативного значення асиметрії несиметричність вибірки за зміщенням центру розподіляється праворуч, у протилежному разі – навпаки. Негативний коефіцієнт ексцесу свідчить про закругленість піка досліджуваного розподілу, додатний – про загостреність вершин [17,20].

Також було встановлено інтервали групування вихідних зразків оброблюваної сировини за якісними характеристиками досліджуваного процесу (табл. 4.10).

Графічна інтерпретація даних таблиці 4.9 виражена на рис. 4.17.

Вибір діапазонів варіювання факторів функцій (4.8), (4.9) проводився таким чином, щоб будь-яка їх сукупність, передбачена планом експерименту, могла бути реалізована в даних інтервалах і не призводила до протиріч. Для цього було здійснено пошукові експерименти для визначення областей, у яких необхідні сполучення рівнів факторів були б стійко реалізовані.

Усі фактори, які входять у функції (4.8), (4.9) є величинами, що мають різну розмірність, а значення даних величин факторів мають різні порядки. Тому, для отримання поверхні відгуку цих функцій було здійснено операцію кодування факторів, що являє собою лінійне перетворення факторного простору [39]. Встановлено такі значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний -1 , середній 0 , максимальний $+1$ та зіркові значення $-\alpha$; $+\alpha$. Істинні значення факторів матриці РЦКП встановлені на основі здійснення пошукових експериментів і наведені в табл. 4.11.

Для проведення РЦКП повнофакторного експерименту було складено матриці планування експериментів, які подані в таблицях(додаток Е).

Заплановано отримати рівняння множинної регресії 2-го порядку:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_{ij} x_{ij}, \quad (4.11)$$

де y – одна з якісних функцій S_{op}, M_{zm}, N_{zag} ; b_0, b_i, b_{ij} – коефіцієнти регресії, отримані методом найменших квадратів.

Таблиця 4.9

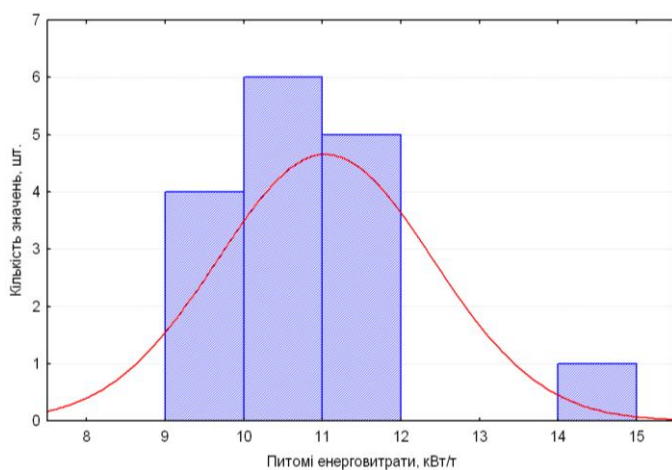
Статистична характеристика якісних параметрів вихідної сировини

Показник	Значення параметрів	
	$K, \%$	$N_{zag}, \text{кВт/т}$
Кількість факторів, шт.	16	16
Мінімальне значення	20	9,15
Максимальне значення	27	15
Середнє значення	22,68	11,03
Верхня величина довірчого інтервала	23,9	11,76
Нижня величина довірчого інтервала	21,46	10,3
Геометричне середнє	22,58	10,96
Гармонічне середнє	22,47	10,89
Медіана	22	11
Мода	21	11
Частота моди	3	4
Нижній кuartиль	21	10,25
Верхній кuartиль	24,5	11,55
Розмах	7	5,85
Кuartиль розмаху	3,5	1,3
Дисперсія	5,29	1,88
Асиметрія	0,59	1,44
Коефіцієнт ексцесу (куртозису)	-0,87	4,08

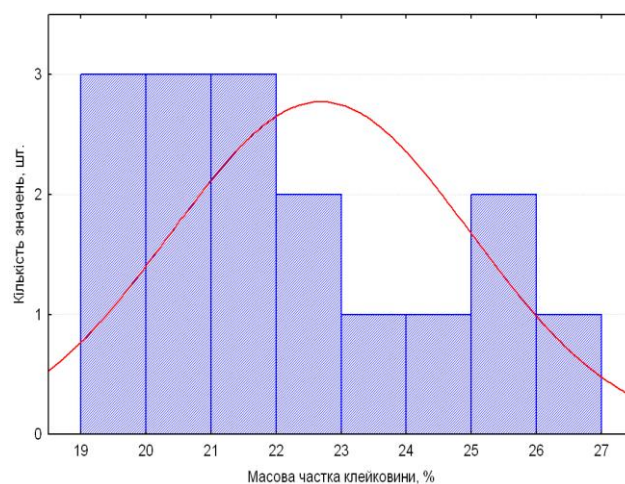
Таблиця 4.10

Інтервали групування вихідних зразків якісних параметрів досліджуваних процесів

Межі групування	Експериментальні дані		Очікуваний нормальний розподіл	
	Частота	%	Частота	%
Для технологічного показника клейковини				
$19 < x \leq 20$	2	7,69	1,82	7,01
$20 < x \leq 21$	6	20,08	4,62	19,91
$21 < x \leq 22$	4	16,38	6,08	16,4
$22 < x \leq 23$	6	19,08	6,66	18,63
$23 < x \leq 24$	5	19,23	4,77	17,33
$25 < x \leq 26$	3	10,58	2,22	10,52
$26 < x \leq 27$	4	11,0	1,87	10,2
Для енергетичної характеристики				
$8 < x \leq 9$	1	6,25	0,05	0,29
$9 < x \leq 10$	0	0	0,61	3,84
$10 < x \leq 11$	3	18,75	3,14	19,611
$11 < x \leq 12$	4	25	6,12	38,28
$12 < x \leq 13$	8	50	4,60	28,74
$13 < x \leq 14$	0	0	0,22	18,2



а)



б)

Рис. 4.17. Гістограма розподілу отриманих даних якісних та енергетичних параметрів досліджуваного процесу: а) – масова частка клейковини; б) – питомі енерговитрати.

Таблиця 4.11

Рівні факторів та інтервали варіювання параметрів оптимізації

Фактори	Рівні факторів					Інтервал варіювання
	- α	-1	0	+1	+ α	
Оцінка за питомою поверхнею новоутворених частин S, см ² /г						
x ₁ – вологість оброблюваного матеріалу, %	7	10	13	16	19	3
x ₂ – об'ємна подача повітря, м ³ /год	4900	5200	5500	5800	6100	300
x ₃ – температура теплоносія, °C	4	7	10	13	16	3

Таблиця 4.12

Значення розрахованих критеріїв до отриманих регресійних моделей

Критерій оцінки	Позначення критерію	Функція відгуку	
		K	N
Коефіцієнт детермінації;	R^2	0,56	0,84
Дисперсія адекватності	$S_{\text{ад}}$	5,08	7,32
Дисперсія відтворюваності	$S_{\text{відт}}$	2552	2137
Критерій Фішера	F	2,4	3,8
Критичне значення критерію Фішера, яке рівне значенню розподілу Фішера	$F_{\alpha, f1, f2}$	$8,74_{0,05;3;12}$	$8,74_{0,05;3;12}$

Для оцінки адекватності отриманих регресійних рівнянь використаємо аналітичні та графічні методи аналізу. Гіпотезу про відтворюваність дослідів перевіряємо за допомогою критерію Кохрена, який показує, що на 95% рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, тому що розрахункове значення критерію менше за табличне. Перевірку значущості коефіцієнтів регресії здійснюємо за t-критерієм Стюдента. Оцінку адекватності отриманих математичних моделей провадимо за критерієм Фішера, який показав, що розрахункові значення значно нижчі від критичних, відповідно отримані регресійні моделі адекватно описують поверхні відгуку, та їх можна використовувати в цілях оптимізації досліджуваних процесів [9]. Розрахункові значення критеріальної оцінки відображені в таблиці 4.12.

Графічний метод полягає в аналізі залишків на нормальній площині ймовірності, який показав достатньо близьке їх розташування до прямої, що відповідає нормальному закону розподілу (рис. 4.18 а, б). Тому, гіпотезу про нормальний розподіл помилок вважаємо адекватною.

Також аналіз графічної залежності (рис 4.18 в, г) розподілу вихідних залишків від прогнозованих значень показав, що вони мають хаотичний характер розташування на площині і в їх поведінці не спостерігається будь-якої закономірності. Ґрунтуючись на згаданих спостереженнях, можна зробити висновок, що залишки не мають кореляційних зв'язків між собою, тобто регресійна модель достатньою мірою описує взаємозв'язок експериментальних величин та є адекватною.

Як видно із таблиці 4.12, всі рівняння регресії виявились адекватними.

Після обробки експериментальних даних у статистичному середовищі STATISTICA 10.0 було отримано коефіцієнти комплексних рівнянь множинної регресії 2-го порядку та побудовано такі залежності[20]:

- вміст клейковини в досліджуваному матеріалі залежно від початкової температури сировини, об'ємної подачі повітря та температури теплоносія:

$$K = -145 + 0,8W + 0,059P + 0,69T - 0,11W^2 - 0,07T^2 + 0,03WT \quad (4.12)$$

- питомі енерговитрати залежно від початкової температури сировини, об'ємної подачі повітря та температури теплоносія:

$$N = 189 - 1,4W - 0,06P - 2,7T + 0,05W^2 - 0,12T^2 + 0,003WT \quad (4.13)$$

За результатами проведених експериментів досліджень та випробувань розробленого комплексу зберігання зернової сировини на основі побудованих поверхонь відгуку досліджуваного процесу (рис. 4.19, 4.20).

Визначено оптимальні технологічні параметри його роботи (табл. 4.13), компромісне значення яких отримано методом Крамера в математичному середовищі “Mathcad 15”.

Також визначено, що за цих параметрів вміст клейковини в оброблюваній сировині становить 24...26 % за комплексних енергетичних затрат 9,15...9,28 кВт/т оброблюваної продукції.

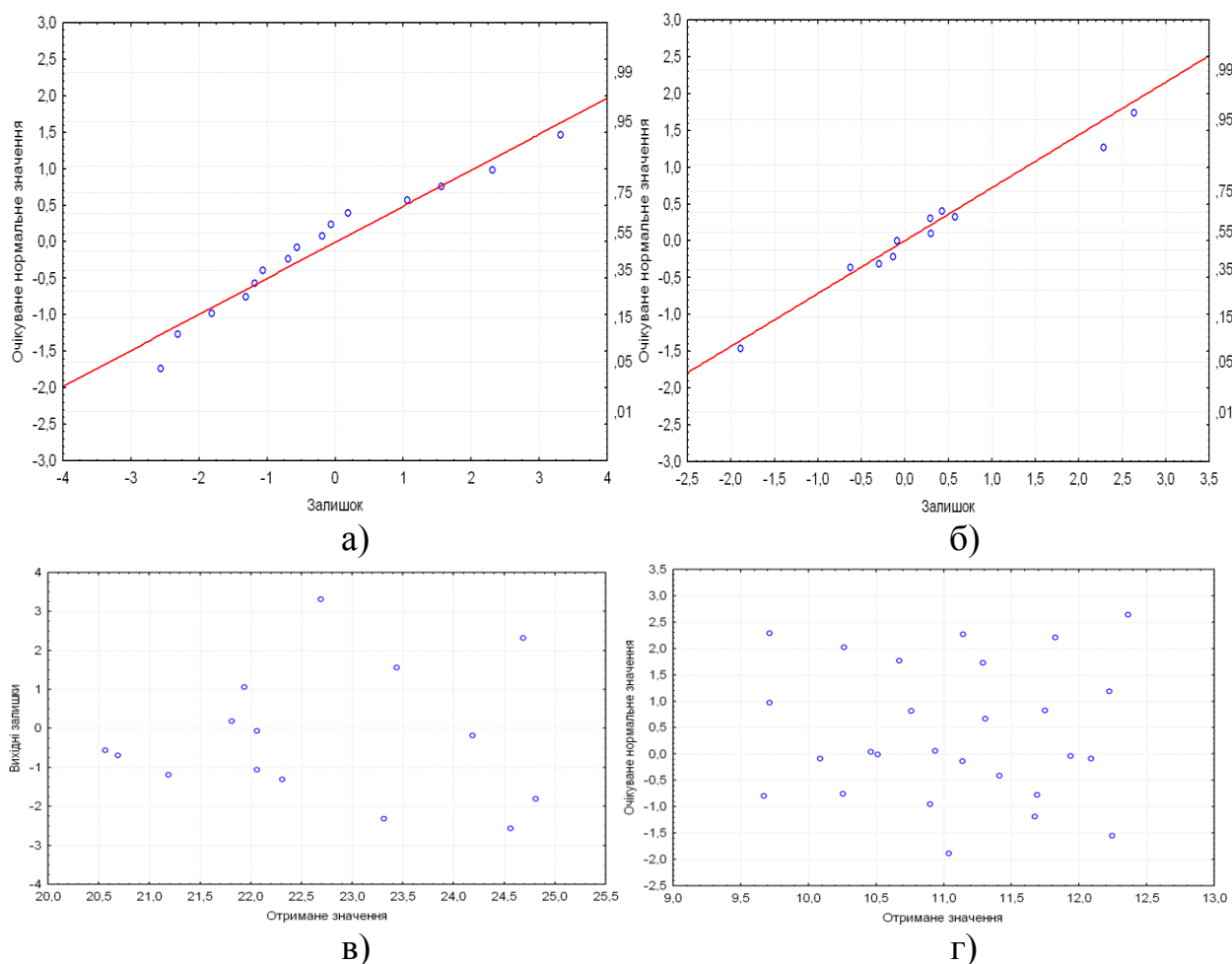


Рис. 4.18. Графічна інтерпретація розподілу ймовірнісних залишків відносно отриманих значень: а, б – нормальний розподіл ймовірнісних залишків відповідно для клейковини та питомих енерговитрат; в, г – розподіл вихідних залишків від прогнозованих значень відповідно для клейковини та питомих енерговитрат.

Таблиця 4.13

Оптимальні технологічні параметри досліджуваного процесу зберігання сировини

Технологічний параметр	Рациональне значення
Вологість оброблюваного матеріалу, %	12,5-14
Об'ємна подача повітря, м ³ /год	5200-5700
Температура робочого теплоносія, °С	7-11

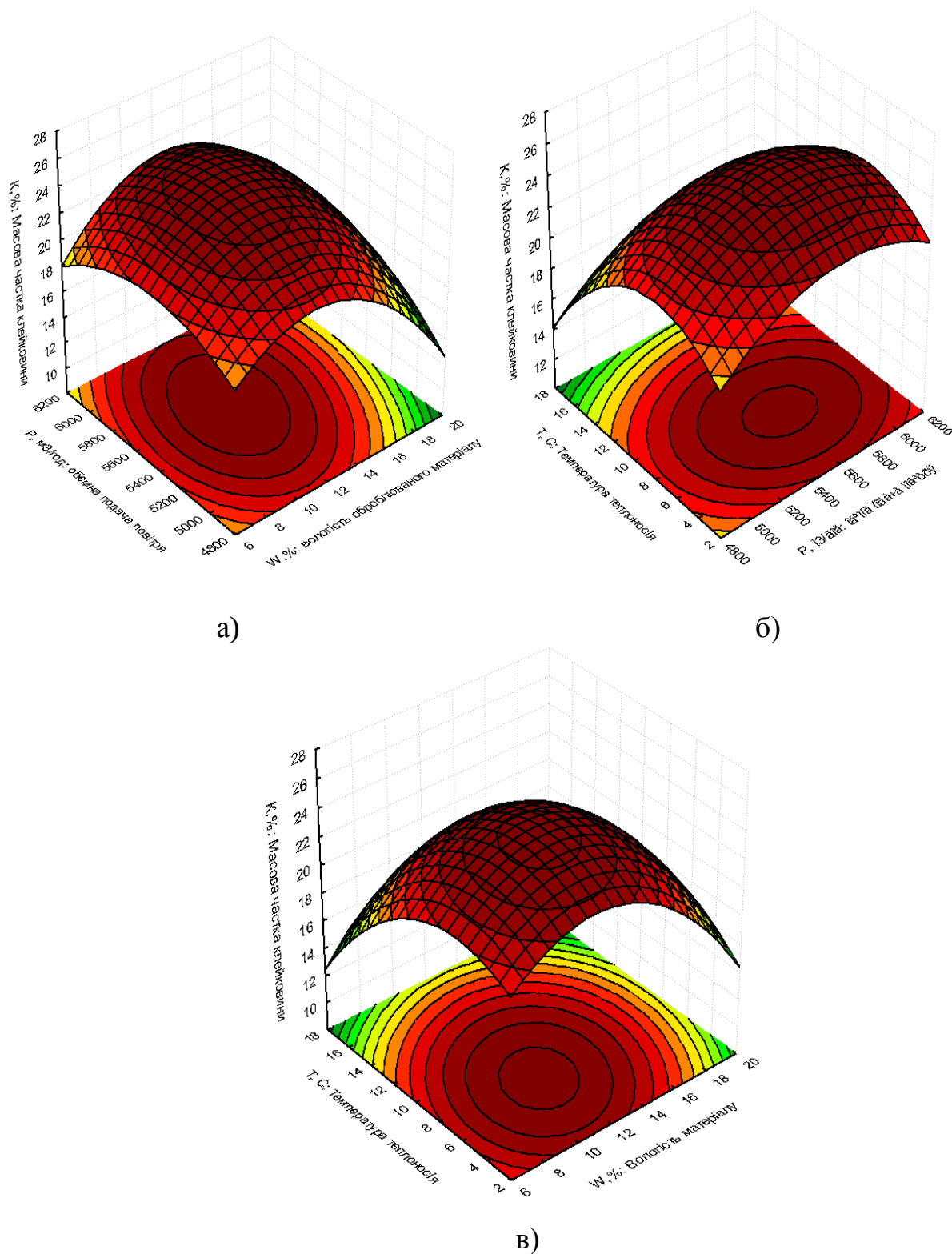


Рис. 4.19. Поверхні відгуків та їх проекції для якісних параметрів процесу зберігання зерна у парній взаємодії основних факторів: а) – об'ємної подачі повітря та вологості оброблюваного матеріалу; б) – температури теплоносія та об'ємної подачі повітря; в) – температури теплоносія та вологості матеріалу.

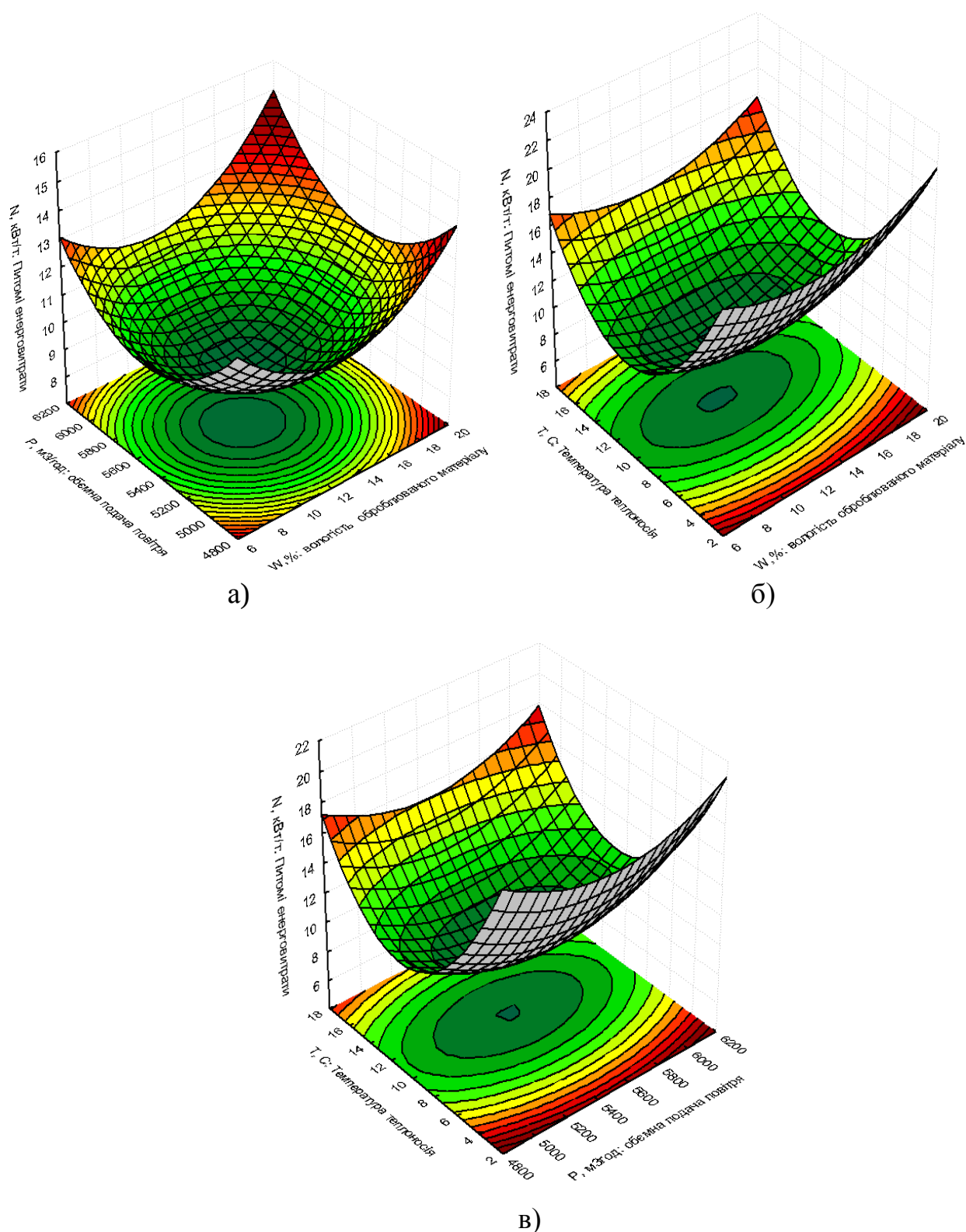


Рис. 4.20. Поверхні відгуків та їх проєкції для енергетичної оцінки досліджуваного процесу: а) – об'ємної подачі повітря та вологості оброблюваного матеріалу; б) – температури теплоносія та об'ємної подачі повітря; в) – температури теплоносія та вологості матеріалу.

4.4. Вплив розробленого методу на хлібопекарські властивості зернової сировини.

Одними із найбільш важливих показників, які характеризують хлібопекарські властивості зерна пшениці є показники кількості та якості клейковини. Кількість і якість клейковини залежить від сорту та умов вирощування (кліматична зона, тип ґрунту, погодно-кліматичні умови, попередник, зона зрошення, система удобрення). Класність зерна пшениці нормується кількістю та якістю клейковини, хоча перевага надається вмісту білка [7].

Визначення якості клейковини в Україні на відміну від інших регіонів світу, має вкрай важливе значення. Це пов'язано з тим, що в Україні дуже поширений клоп-черепашка, який в окремі роки ушкоджує до 20 % зерна. Максимально допустимий ступінь ушкодження знаходиться у межах 2-3 %.

Як видно з експериментальних досліджень зміна якості сирової клейковини трохи поліпшилась, вона стала більш пружною, хоча зміни ці по обох досліджуваних зразках зерна пшениці були невеликі. У цьому разі слід зазначити, що зберігання у регульованому температурному режимі сприяло укріпленню клейковини, а в нерегульованому – розслабленню[79].

Вміст білка в зерні пшениці є детермінантним критерієм хлібопекарської якості борошна. Для кожного сорту пшениці існує мінімальний рівень вмісту білка, який гарантує задовільні хлібопекарські якості борошна. З іншого боку, залежність між вмістом білка та технологічною якістю є специфічною для кожного сорту пшениці: якість борошна одних сортів поліпшується з підвищенням вмісту протеїну, тоді як інших може поліпшуватися не пропорційно порівняно зі зростанням вмісту протеїну, а в деяких навіть знижуватись. Тобто лише вміст білка, сам по собі, не пояснює різниці між двома партіями борошна різної якості[80,172].

Вміст білка в зерні пшениці залежно від сорту та умов вирощування коливається у широких межах від 8 до 25 %, і в середньому дорівнює 13,5 %.

Як видно з попередніх експериментальних досліджень, у процесі

зберігання зерна як у регульованих, так і нерегульованих умовах, вміст білка практично не змінювався в обох дослідних сортах, що свідчить про його стабільність у процесі зберігання.

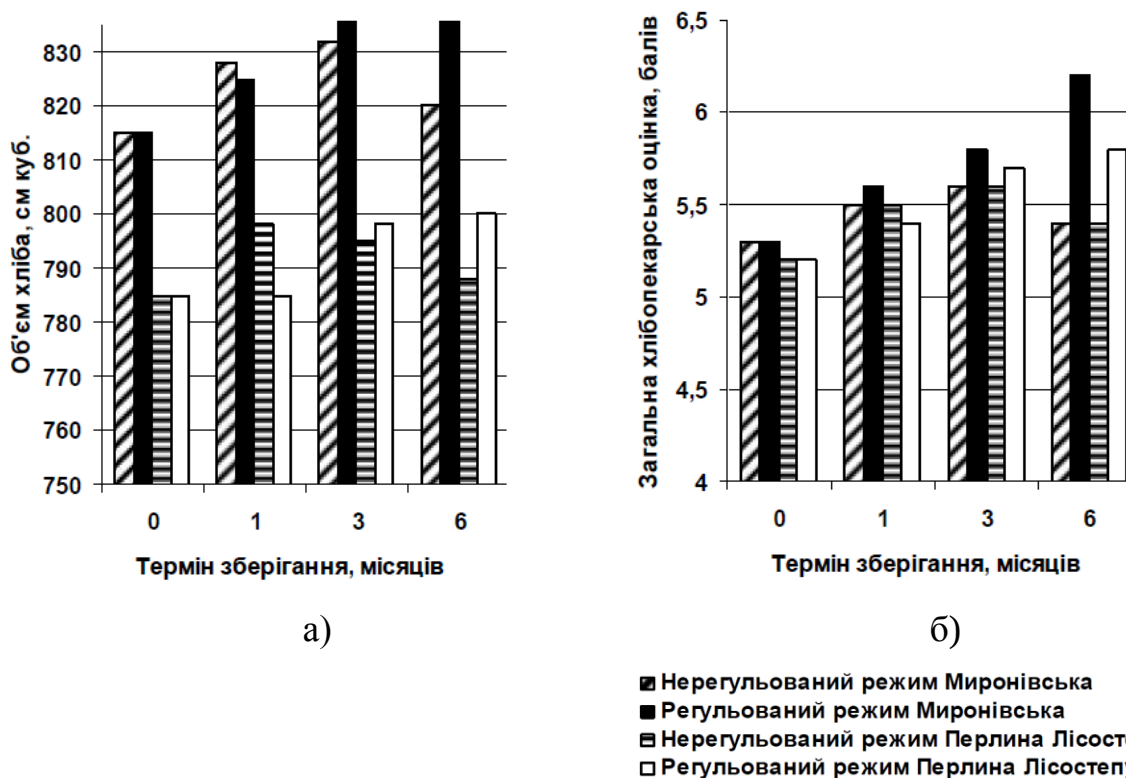


Рис. 4.21. Хлібопекарські властивості оброблюваної продукції за умови розробленого методу: а) об'єм хліба; б) загальна хлібопекарська оцінка

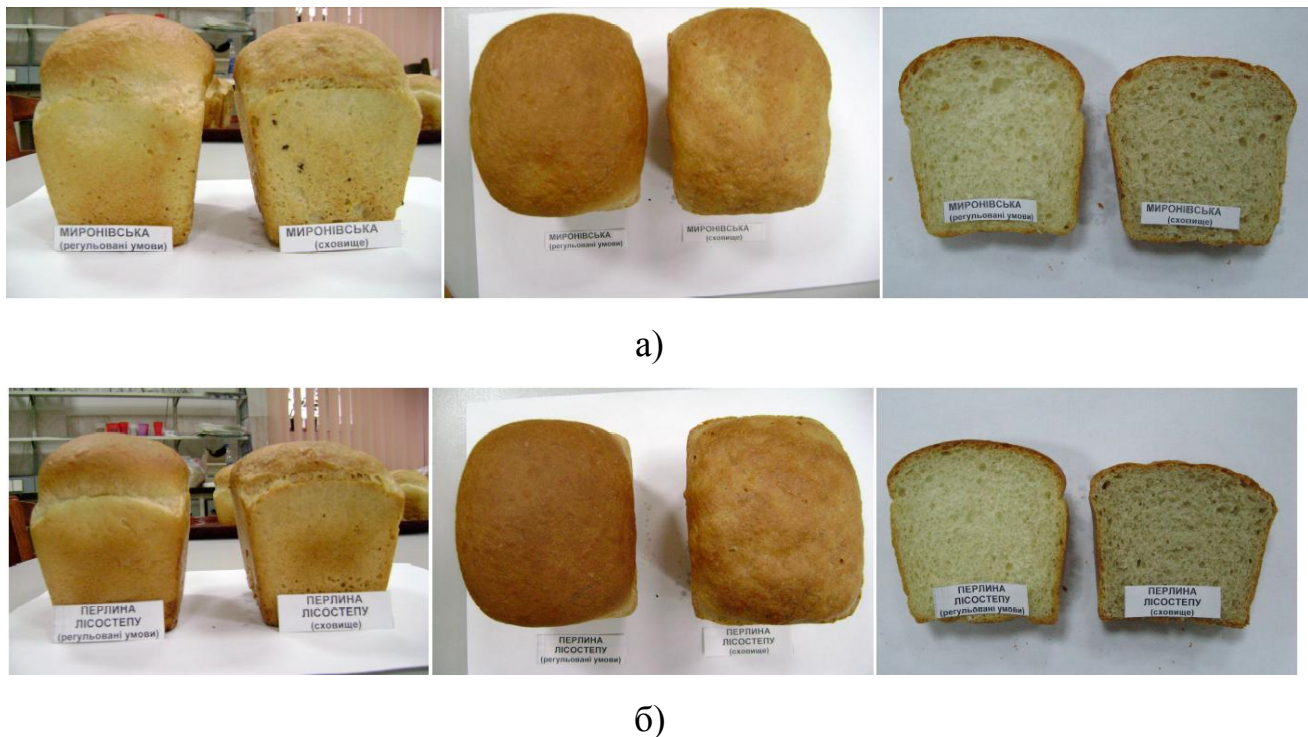


Рис. 4.22. Хліб отриманий із досліджуваних сортів: а) Миронівський; б) Перлина Лісостепу.

Різниця між показниками при різних термінах зберігання та різних режимах у середньому становила максимум 0,1-0,6%, що допускається похибкою досліду.

Для оцінки хлібопекарських властивостей зерна проводилася пробна лабораторна випічка згідно з методикою Держкомісії з сортовипробування. Випікали хліб із борошна, отриманого з досліджуваних зразків зерна озимої пшениці. Якість хліба оцінювали за величиною об'ємного виходу (рис. 4.21, а) та загальною хлібопекарською оцінкою (рис. 4.21, б).

Загальна хлібопекарська оцінка залежить від об'єму хліба, зовнішнього вигляду хліба (форми, поверхні, кольору скоринки) та внутрішнього (пористості, еластичності, кольору м'якуша). Загальна хлібопекарська оцінка в досліджуваних зразках зерна пшениці озимої мала ту ж саму динаміку змін, що і об'єм хліба, отриманий із зерна дослідних зразків.

Хліб, отриманий у результаті пробної випічки із дослідних зразків зерна пшениці, яке зберігалось у регульованих і нерегульованих умовах протягом 6 місяців, наведено на рис. 4.22.

Аналізуючи отримані результати (рис. 4.22), ми бачимо, що значно кращі результати отримано при зберіганні зерна пшениці в регульованих умовах. Хліб, отриманий із зерна, яке зберігалось за цього режиму, має більший об'єм, шкірка його поверхні більш гладенька та тонша, без розривів, форма хліба правильна, пори м'якушки менші і вирівняні за розміром, колір м'якушки біліший.

4.5 Побудова *id* діаграми Мольєра-Рамзіна досліджуваного процесу

Знаходження параметрів вологого повітря і розрахунку процесів тепло - і масообміну значно полегшуються при використанні *id* діаграми, яка вперше була запропонована проф. Л.К. Рамзіним.

При побудові діаграми в основу покладено два параметра: вологомісткість і ентальпія. За *id* діаграми, знаючи два будь-яких параметра можна визначити всі інші параметри вологого повітря. Будь-яка точка в *id* діаграмі позначає цілком певний фізичний стан повітря, а зміна цього стану зображується лінією процесу.

У процесі охолодження повітря у повітроохолоджувачі при $d = \text{const}$ підвищується його відносна вологовмісткість і при певній температурі, рівній температурі точки роси, повітря стає насиченим. При подальшому охолодженні повітря буде відбуватися конденсація водяної пари з нього і відповідно, осушення повітря. Повітря може охолоджуватися і за рахунок безпосереднього випаровування з нього води, що має більш низьку температуру. Якщо теплота, необхідна для випаровування води, береться тільки з навколишнього повітря, то вологовмісткість його збільшиться, а температура знижиться [72,95,175].

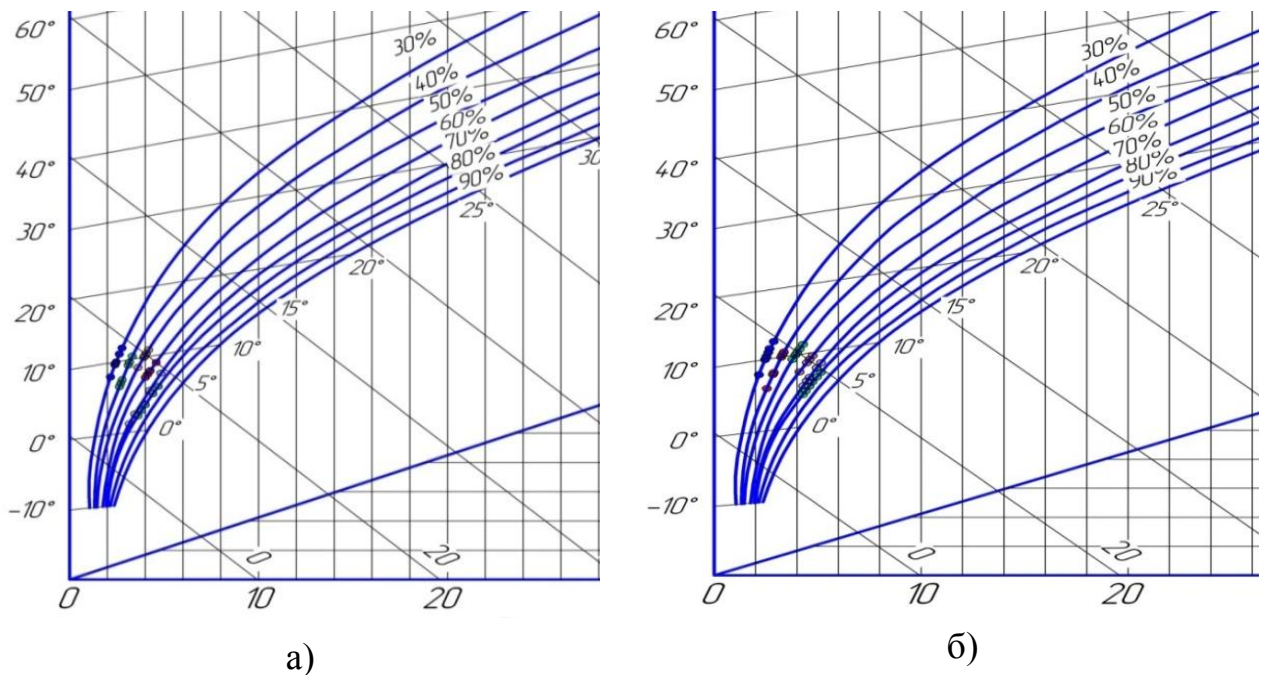


Рис. 4.23 *id* діаграма Мольєра-Рамзіна для реалізації процесу зберігання зернової продукції у досліджуваних зерносховищах: а) - для першого зерносховища; б) - для другого зерносховища.

Також *id* діаграма вологого повітря широко застосовуються для розрахунків параметрів кондиціонування повітря, під якими розуміють сукупність засобів і способів впливу на температуру і вологість повітря [15,18,37,44,47].

За допомогою рис 4.27 ми можемо бачати одразу температуру, вологість повітря, ентальпію та вологовміст.

Завдяки діаграмі можливо спостерігати та робити висновки стосовно того, як змінюється ентальпія і вологовміст у залежності від температури та

вологості повітря. А вологість повітря змінюється у залежності від пори року, а конкретніше від місяця року, тому нами представлені точки на шести лініях (шість місяців проведення дослідів) у залежності від вологості повітря.

4.6. Перевірка адекватності математичної моделі.

Експериментальні дослідження засвідчили зміни ентальпії рис. 4.24 і 4.25, які відбувалися на протязі терміну збереження у різних зерносховищах, де підтримували різні температури в діапазоні від $0 - 7^{\circ}\text{C}$ та від $7 - 14^{\circ}\text{C}$.

Для кожного місяця брали по 6 точок, тобто перевірку проводили через кожні 5 днів. За допомогою графічного зображення можливо спостерігати, як теоретичні дані відхиляються від експериментальних, а сама похибка не перевищує 4 %, що є доказом адекватності моделі.

Для більш детального зображення (додаток Е) надані діаграми завдяки, яким можливо одразу спостерігати ентальпію та вологовміст.

Таким чином, можна зробити висновок, що для зерносховища №1 (у якому температура знаходилась у діапазоні від $0-7^{\circ}\text{C}$) та для зерносховища №2 (температура якого знаходилась у діапазоні від $7 - 14^{\circ}\text{C}$) спостерігається зменшення ентальпії у кінці зберігання, та підвищення вологовмісту. А якщо розглядати по двох зерносховищам, то у першому більш помітно змінюється ентальпія і вологовміст [1,3,6].

Грунтуючись на результатах теоретичного аналізу розробленого обладнання, було побудовано математичну модель тепло – масообміну зернової маси в процесі її зберігання у розробленому зерносховищі, що дає змогу, враховуючи якісні параметри холодоагента, отримати апріорні залежності основних показників досліджуваної системи.

Взявши за основу теоретичні залежності, було здійснено експериментальні випробування та за допомогою розробленого комплексу вимірювального оснащення отримано розрахункові дані ентальпії оброблюваної сировини в досліджуваних зерносховищах.

Для порівняльного аналізу теоретичної моделі процесу охолодження при зберіганні зернової маси побудовано експериментальні та теоретичні графіки розподілу основних параметрів досліджуваної системи розбіжність між якими становить 5,9...9,13%.

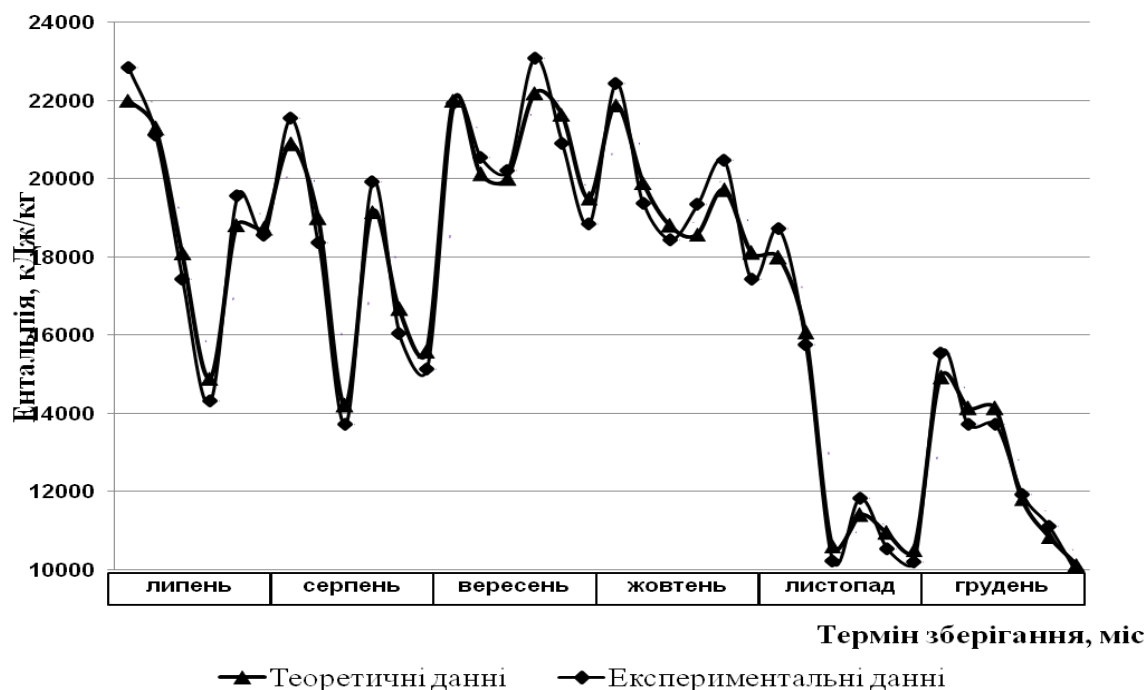


Рис. 4.24. Розподіл теоретичного та експериментального значення ентальпії у першому зерносховищі

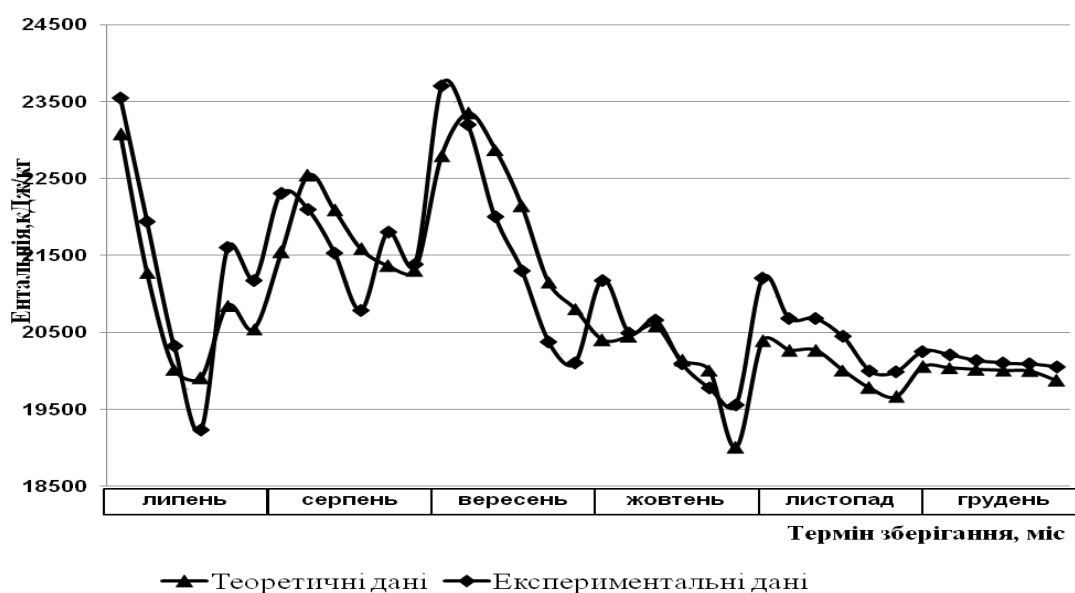


Рис. 4.25. Розподіл теоретичного та експериментального значення ентальпії у другому зерносховищі.

4.7 Висновки до 4 розділу

1. У результаті проведених пошукових експериментів визначено раціональні межі варіювання технологічних та якісних параметрів процесу зберігання зернової сировини та проаналізовано статистичний характер вихідних значень отриманих результатів у залежності від способу зберігання зернової сировини.

2. При використанні ід-діаграми Мольєра-Рамзіна отримано серію експериментальних графоаналітичних кривих зміни температури, відносної вологості та повітря, що є базисними факторами у зміні ентальпії та вологовмісту зернової продукції на протязі довготривалого терміну зберігання.

3. За допомогою програми MATLAB встановлено залежності отриманих експериментальних розподілів показників шпаруватості, вологості та щільності, що дають можливість прогнозувати вміст клейковини в зерновій масі залежно від технологічних режимів її зберігання.

4. За результатами багатофакторного експерименту одержано математичні моделі у вигляді множинної регресії другого порядку, які адекватно описують досліджуваний процес зберігання зернової продукції. Аналіз отриманих моделей дозволив отримати оптимальні технологічні параметри роботи досліджуваного обладнання: вологість оброблюваного матеріалу 12,5...14 %; об'ємна подача повітря 5200...5700 м³/год та температура робочого теплоагента 7...11 °С. За даних технологічних режимів вміст клейковини при довготривалому зберіганні становитиме 24 % за енерговитрат 9,15 кВт/т.

5. Проведено якісну оцінку хлібопекарських властивостей зерна залежно від способу його зберігання, яка засвідчила, що при довготривалому зберіганні доцільно використовувати регульований температурний режим, що сприяє стабільному збільшенню об'єму та покращенню органолептичних показників хлібобулочної продукції.

6. При порівнянні теоретичних та експериментальних досліджень виявлено розбіжність, яка становить 5,2...9,13% для робочого режиму, що дозволило прийняти побудовану математичну модель процесу як адекватну для опису технологічних характеристик розробленого зерносховища.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНИЙ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНО–ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ
РОЗРОБЛЕНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

У період стрімкої інтеграції економіки України до світових структур однією із головних завдань аграрної галузі країни є підвищення її конкурентоздатності. На наш погляд, найбільш суттєвим чинником, що дозволить вирішити відповідне питання, є підвищення якості зберігання продукції. У свою чергу, це дозволить мінімізувати втрати при зберіганні продукції, а також допоможе максимально зберегти первісну якість та поживність продуктів харчування[57,90,127,156,163].

Ми пропонуємо застосувати при зберіганні зернових культур модернізоване зерносховище з охолоджувальною установкою ,а також обґрунтовані режими обробки.

Запропонована нами технологія охолодження зерна дозволить господарствам:

- мінімізувати втрати у період зберігання;
- максимально зберегти первісну якість зернових культур після зберігання.

А це, у свою чергу, призведе до збільшення економічної ефективності функціонування господарств.

Наведемо розрахунки [4,11,22,41,57,90,92,156] та обґрунтуємо економічну ефективність застосування охолодження зерна у зерносховищах.

5.1 Розрахунок основних техніко–економічних параметрів

Необхідні капіталовкладення для реалізації проекту розрахуємо за формулою:

$$K_{\text{с}} = K_p + K_m + K_n , \quad (5.1)$$

де K_p — вартість обладнання, грн.;

K_m — вартість монтажу обладнання, грн.;

K_n — вартість навчання персоналу, грн..

Витрати електроенергії:

$$E_{\text{в}} = M_m K_{\text{зод}} \quad (5.2)$$

де M_m – встановлена потужність, кВт;

$K_{\text{зод}}$ – кількість годин роботи за виробничий цикл.

Вартість електроенергії:

$$B_{\text{ен}} = E_{\text{в}} B_{\text{од}} , \quad (5.3)$$

де $B_{\text{од}}$ – вартість 1 кВт-год електроенергії для сільськогосподарських виробників, грн.

Витрати на оплату праці персоналу:

$$O_n = T_{\text{см}} K_{\text{зод}} K_o \quad (5.4)$$

де $T_{\text{см}}$ – годинна оплата праці;

$K_{\text{зод}}$ – кількість годин роботи у виробничий цикл;

K_o – кількість обслуговуючого персоналу.

Амортизаційні відрахування

$$H_a = \frac{100\%}{C_c} , \quad (5.5)$$

де H_a – норма амортизаційних відрахувань, %;

100% – відсоток балансової вартості засобу виробництва;

C_c – строк служби того чи іншого засобу виробництва (за технічним паспортом).

$$P_a = \frac{B_{\text{в}} \cdot H_a}{100\%} , \quad (5.6)$$

де P_a – річний розмір амортизаційних відрахувань, грн.;

$B_{\text{в}}$ – балансова вартість засобу виробництва, грн.;

H_a – норма амортизаційних відрахувань, %.

Обсяг продукції після зберігання з урахуванням витрат.

$$V' = V \cdot k_{\text{вт}} , \quad (5.7)$$

де V – первісний обсяг продукції, закладеної на зберігання, т;

K_{vt} —коефіцієнт втрат у процесі зберігання, %.

Ефект від застосування обладнання, т.:

$$V'_e = V'_{np} - V'_{\delta}, \quad (5.8)$$

V'_{np} — обсяг продукції після зберігання з урахуванням втрат (проектний)

V'_{δ} — обсяг продукції після зберігання з урахуванням витрат (без застосування обладнання)

Прибуток від реалізації продукції після зберігання.

$$\Pi = B_p - C_{\epsilon}, \quad (5.9)$$

де B_p — виручка від реалізації, грн.;

C_{ϵ} — повні витрати, грн..

$$B_p = V' \cdot \Pi_p, \quad (5.10)$$

V' — обсяг продукції після зберігання, т;

Π_p — ціна реалізації продукції, грн..

Розрахунок додаткової виручки, за рахунок застосування устаткування.

$$B_{p\delta} = B_{pnp} - B_{p\delta}, \quad (5.11)$$

де B_{pnp} — виручка від реалізації (при застосуванні обладнання), грн.;

$B_{p\delta}$ — виручка від реалізації (без застосування обладнання), грн..

Розрахунок додаткового прибутку, за рахунок застосування устаткування.

$$\Pi_{\delta} = \Pi_{np} - \Pi_{\delta}, \quad (5.12)$$

Π_{np} — прибуток від реалізації продукції після зберігання (при застосуванні обладнання), грн.;

Π_{δ} — прибуток від реалізації продукції після зберігання (без застосування обладнання), грн..

Проведемо підстановку у (5.12) показників (5.9), отримаємо:

$$\Pi_{\delta} = (B_{pnp} - C_{\epsilon}) - (B_{p\delta} - C_{\epsilon}) = B_{pnp} - B_{p\delta} = B_{p\delta} \quad (5.13)$$

Отже, як показали розрахунки, додатковим прибутком є показник, що характеризує додаткову виручку від реалізації, зокрема це є обсяг втраченої продукції у період зберігання. У свою чергу, провівши аналогічну підстановку у (5.11) показників (5.7), (5.8), (5.10) отримаємо:

$$B_{p\delta} = [(V \cdot k_{vt(125pH)}) \cdot \Pi_p - (V \cdot k_{vt(b)}) \cdot \Pi_p], \quad (5.14)$$

$$B_{p\delta} = V \cdot \Pi_p \cdot (k_{vt(125pH)} - k_{vt(b)}), \quad (5.15)$$

$$k_{vt\partial} = k_{vt(126pH)} - k_{vt(b)}, \quad (5.16)$$

$$B_{p\partial} = V \cdot C_p \cdot k_{vt\partial}, \quad (5.17)$$

де $k_{vt\partial}$ – коефіцієнт реального зменшення втрат від застосування устаткування.

Відповідно додатковий прибуток від реалізації:

$$\Pi_{\partial} = V \cdot C_p \cdot k_{vt\partial}, \quad (5.18)$$

Оцінка річного економічного ефекту:

$$E_{ef} = \Pi_{\partial} - (B_{en} - O_n - P_a) \quad (5.19)$$

де Π_{∂} – додатковий прибуток від реалізації, грн.;

B_{en} – вартість електроенергії, грн.;

O_n – оплата праці, грн.;

P_a – річний розмір амортизаційних відрахувань, грн..

Термін окупності:

$$T_o = \frac{K_{\epsilon}}{E_{ef}}. \quad (5.20)$$

де K_{ϵ} – капітальні вкладення, грн.;

E_{ef} – річний економічний ефект, грн..

Проектно-кошторисна оцінка розробленого проекту наведена у таблиці 5.1 за ринковими цінами на початок 2014 року.

Таблиця 5.1

Необхідні матеріали та обладнання для впровадження розробки, з урахуванням монтажу та оплати праці робітників.

Найменування	Ціна, грн.
Бетон	63360
Решітка	37500
Ангар	136800
Охолоджувальна установка	200000
Кріплення для жорсткості	5000
Зварювальні роботи	2000
Заливка бетону	3500

Далі наведемо іншу необхідну інформацію для оцінки ефективності використання розробки (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Вихідні дані для розрахунків

Найменування	Ціна
Енергоспоживання двигунів, кВт·год	19
Тарифна ставка оплати праці, грн/год	40
Базові втрати продукції, без застосування обладнання, %	5
Втрати продукції, із застосуванням обладнання, %	0,25
Обсяг продукції для зберігання, т	300
Зміна якості продукції у процесі зберігання без застосування обладнання	
обсяг продукції первісного вигляду, %	60
обсяг продукції пониженої якості, %	40
Зміна якості продукції у процесі зберігання із застосуванням обладнання:	
обсяг продукції первісного вигляду, %	99,5
обсяг продукції пониженої якості, %	0,5

Відповідно до запропонованої нами методики оцінки ефективності впровадження розробки наведемо загальні розрахунки.

Використовуючи формулу (5.1) та вихідні дані таблиці 5.1, оцінимо капіталовкладення.

Загальні капіталовкладення по реалізації нашого проекту складуть 448160 грн. ($K_g = 448160$ грн.)

Відповідно до таблиці 5.2, загальна тривалість роботи охолоджувальної установки за 6 місяців зберігання складе 146 год.

Використовуючи формулу (5.2) оцінимо витрати спожитої електроенергії – 2747 кВт.

Використовуючи формулу (5.3) оцінимо вартість спожитої електроенергії, враховуючи, що вартість 1 кВт·год на 30.04.2014 року для сільськогосподарських виробників складає 0,95 грн. ($B_{en} = 2635$ грн.)

За формулою (5.4) оцінимо витрати на оплату праці обслуговуючого

персоналу, враховуючи загальну кількість годин роботи = 146 год та тарифну ставку оплати праці $O_n = 5480$ грн.

Проведемо розрахунок норми амортизаційних відрахувань за формулою (5.5), враховуючи, що запланований термін експлуатації обладнання до повного відшкодування його первісної балансової вартості – 14 років, отримаємо: $H_a = 7,14\%$.

Далі за формулою (5.6) розрахуємо річний розмір амортизаційних відрахувань, враховуючи, що первісна балансова вартість співпадає з початковими капіталовкладеннями для впровадження нашої розробки.

$$\text{Отримаємо : } P_a = \frac{448160 \cdot 7,14}{100\%} = 32011,2 \text{ грн.}$$

Проведемо оцінку прибутковості устаткування, та враховуючи, що на зберігання планується закладати пшеницю, відповідно до ринкових цін за 2013–2014 рік, середня ціна реалізації 1 т продукції 2–3 класу – 3500 грн, ціна реалізації 1 т продукції 4–5 класу 2200 грн.

За формулою (5.7) розрахуємо обсяг продукції після зберігання з урахуванням втрат, за базовим варіантом – V'_δ (без застосування обладнання) та за проектним (із застосуванням обладнання) – V'_{np} . Отримаємо:

$$V'_\delta = 300 \cdot 0,95 = 285 \text{ т;}$$

$$V'_{np} = 300 \cdot 0,9975 = 299,25 \text{ т.}$$

За формулою (5.8) розрахуємо ефект від застосування обладнання :

$$V'_e = 299,25 - 285 = 14,25 \text{ т}$$

Використовуючи формули (5.9) – (5.14) розрахуємо додатковий прибуток, за рахунок застосування устаткування.

Спочатку оцінимо обсяг та вартість продукції, що буде реалізована за середньою ціною 1 т продукції – 3500 грн.

Відповідно за проектним варіантом :

$$V'_{np} = 299,25 \cdot 0,995 = 297,75 \text{ т;}$$

$$B'_p = 297,75 \cdot 3500 = 1042138 \text{ грн.}$$

За базовим варіантом

$$V'_{np} = 285 \cdot 0,6 = 171 \text{ т;}$$

$$B'_p = 283,475 \cdot 3500 = 598500 \text{ грн.}$$

Оцінимо обсяг та вартість продукції, що буде реалізована за середньою ціною 1 т продукції – 2200 грн

$$V'_{np} = 299,25 \cdot 0,005 = 1,5 \text{ т;}$$

$$B'_p = 1,5 \cdot 2200 = 3291 \text{ грн.}$$

За базовим варіантом

$$V'_{np} = 285 \cdot 0,4 = 114 \text{ т;}$$

$$B'_p = 114 \cdot 2200 = 250800 \text{ грн.}$$

Відповідно до розрахунків, загальна виручка від реалізації проектного та базового варіантів складе :

$$B_{pnp} = 1042138 + 3291 = 1045429 \text{ грн.}$$

$$B_{pб} = 598500 + 250800 = 849300 \text{ грн.}$$

Розрахуємо додаткову виручку від реалізації, за рахунок застосування устаткування за формулою (5.11)

$$B_{pд} = 1045429 - 849300 = 196130 \text{ грн.}$$

У методичній частині забезпечення розрахунків нами було доведено, що додатковій прибуток від застосування обладнання є рівним додатковій виручці від реалізації ($\Pi_{\partial} = B_{pд}$), тому :

$$\Pi_{\partial} = 196130 \text{ грн.}$$

Далі проведемо оцінку річного економічного ефекту, використовуючи формулу (5.15).

$$E_{\text{еф}} = 196130 - (2635 + 5480 + 32011) = 156004 \text{ грн.}$$

Завершальним етапом оцінки ефективності впровадження будь-якої технологічної розробки є розрахунок терміну окупності за формулою (5.16) для його обчислення.

$$T_o = \frac{448160}{156004} = 2,87 \text{ років}$$

Враховуючи завантаженість охолоджувальної установки (таблиця 5.2), її можливо використовувати у кооперативний спосіб, тобто для асоціації виробників зерна. До складу асоціації виробників можуть входити від 2 до 7 господарств. Зрозуміло, що у такому разі капітальні вкладення, поточні

витрати з використання обладнання та обсяги зберігання продукції кожного з господарств зменшаться пропорційно кількості господарств, що увійдуть до складу асоціації.

Проведемо розрахунок ефективності капіталовкладень у разі кооперативного використання охолоджувального обладнання, з урахуванням відстані транспортування обладнання у радіусі 50 км. Відповідно, повні витрати, пов'язані з транспортуванням та обслуговуванням обладнання складуть близько 12000 грн.

Використовуючи методичну та розрахункову частини (для 1-го господарства), проведемо відповідні розрахунки.

Кількість господарств – 2

1. Оцінка капіталовкладень

$$K_{\epsilon} = 448160 - (200000/2) = 348160 \text{ грн.}$$

2. Річний розмір амортизаційних відрахувань

$$P_a = \frac{348160 \cdot 7,14}{100\%} = 24888 \text{ грн.}$$

3. Повні витрати пов'язані з транспортуванням та обслуговуванням обладнання

$$П_{\text{в}} = 12000 / 2 = 6000 \text{ грн.}$$

4. Оцінка річного економічного ефекту

$$E_{\text{еф}} = 196130 - (2635 + 5480 + 24888 + 6000) = 157156 \text{ грн.}$$

5. Термін окупності

$$T_o = \frac{348160}{157156} = 2,22 \text{ років.}$$

Проведемо аналогічні розрахунки для 3-х, 4-х, 5-ти, 6-ти та 7-ми господарств, що будуть кооперативно використовувати охолоджувальну установку. Для більшої наочності результатів розрахунку, представимо їх у вигляді рисунку 5.1.

Як бачимо, у залежності від кількості господарств, що кооперативно планують використовувати обладнання, термін окупності капітальних вкладень для кожного із учасників зменшується від 2,87 років при

використанні обладнання тільки одним господарством, до 1,66 років при максимально можливій кількості учасників.

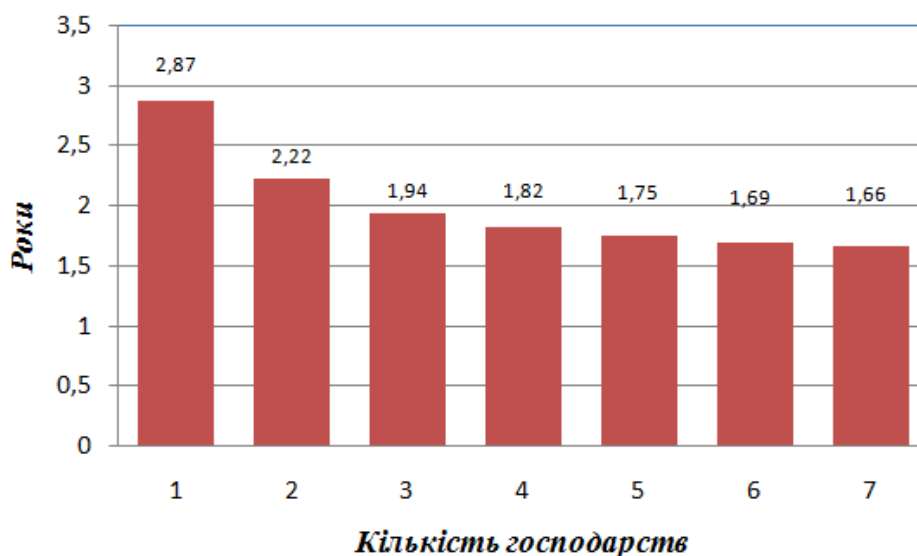


Рис. 5.1 Термін окупності обладнання для кожного із господарств

Деякі господарства для зниження ризиків при зберіганні сушать зерно до вологості, нижче рекомендованої. Однак така стратегія негативно позначається на економічних показниках господарства, так як висушування зерна понад норми вимагає додаткових витрат дорогих часу й електроенергії, хоча і вирішує частково проблему появи цвілі і комах-шкідників. Крім того, таке зерно втрачає у вазі, воно більш схильне до фізичного пошкодження при переміщенні. Тому для економічного зберігання рекомендується вологість зерна доводити до значень, близьких до оптимальних, і використовувати температурний контроль зернової маси.

5.2 Визначення конкурентоспроможності розробленого комплексу зберігання зерна за умови активного вентилявання.

Сучасний стан переробних і харчових виробництв характеризується використанням різноманітних технологій та обладнання, що розроблене як вітчизняними, так і закордонними науковцями.

Традиційне обладнання переробних і харчових виробництв частково потребує модернізації через значні енерговитрати, металоємність тощо. З точки

зору конкурентоспроможності, перевагу надають впровадженню більш складних процесів, проте різко зменшується ручна праця, видаляються зайві операції.

Оцінка розробленого способу зберігання зерна за конкурентоспроможністю здійснювалася у порівнянні із класичними способами зберігання з метою подальшої переробки.

Для порівняння окремих способів використовували узагальнені показники оцінки двох видів, що визначались як середнє геометричне від окремих оціночних показників, але при визначенні одного із них були враховані ступені вагомості окремих показників [17, 20, 68].

Розглядали три подібних способи для зберігання зерна: зберігання у висушеному стані, зберігання у насиченому розчині інертного газу та розроблений спосіб. У якості показників для оцінки технічного рівня розробленого способу були використані вміст клейковини (%), забрудненість шкідниками (%), загальна енергонасиченість комплексу (Вт/кг), об'єм, що займає комплекс (м³), орієнтовна ціна (грн.) (табл. 5.3).

За першим способом узагальнений показник оцінки визначаємо таким чином [20,156] :

$$D^I = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n}, \quad (5.21)$$

де $d_1, d_2, \dots, d_n$ – бажаності для окремо взятих показників, які визначаються:

$$d_i = \exp \left[-e^{-(x'_i - 4)} \right], \quad (5.22)$$

де x'_i – значення кожного i – го показника за безрозмірною шкалою x' .

Інтервали варіювання $d_{\min}, d_{\max}$ (рис. 5.4) кожного показника залежать від його ступеня вагомості.

Значення показників x_i переносимо на безрозмірну шкалу x' з урахуванням масштабних лінійних коефіцієнтів [20] :

$$M'_x = \frac{(x_{i \max} - x_{i \min})}{(x'_B - x'_A)}, \quad (5.23)$$

де $x_{i \max}$ і $x_{i \min}$ – відповідно максимальне та мінімальне значення окремих номінальних показників машин;

x'_B – максимальне значення безрозмірної шкали x' для процесу охолодження $d_{\max}=0,91$;

x'_A – мінімальне значення безрозмірної шкали x' для процесу охолодження $d_{\min}=0,2$.

При цьому значення x'_A і x'_B визначаємо за формулами [20] :

$$x'_B = 4 + [-\ln(-\ln d_{\max})], \quad (5.24)$$

$$x'_A = 4 + [-\ln(-\ln d_{\min})]. \quad (5.25)$$

Кожне статистичне значення окремого показника оцінки способу x_i переводимо в масштабні значення шкали за такою методикою[35]:

– для показників, збільшення яких покращує конкурентоспроможність способу (продуктивність):

$$x'_i = x'_A + \frac{x_{ic} - x_{i\min}}{M'_x}, \quad (5.26)$$

– для показників, збільшення яких погіршує конкурентоспроможність способу (питомі енерговитрати):

$$x_i = x'_B - \frac{x_{ic} - x_{i\min}}{M'_x}, \quad (5.27)$$

де x_{ic} – статистичне значення i -го показника.

Після чого знаходимо всі бажаності d_i за формулами (5.28) та (5.29), потім узагальнений D^I -й показник за формулою (5.30). Максимальне значення узагальненого показника відповідає кращому варіанту способу.

Аналогічно першому способу, при визначенні узагальненого показника другого виду кожний окремий показник перетворюємо в безрозмірну величину за наступними формулами [98] :

– для показників, збільшення яких покращує конкурентоспроможність способу:

$$d_i = d_{i\max} + (d_{i\min} - d_{i\max}) \cdot (x_i - x_{i\max}) / (x_{i\min} - x_{i\max}), \quad (5.28)$$

– для показників, збільшення яких погіршує конкурентоспроможність способу:

$$d_i = d_{i\max} + (d_{i\min} - d_{i\max}) \cdot (x_i - x_{i\min}) / (x_{i\max} - x_{i\min}), \quad (5.29)$$

де $x_{i\max}, x_{i\min}$ – граничні значення окремих показників;

$d_{i\min}, d_{i\max}$ – безрозмірні оцінки показника (для розрахунків ми прийняли $d_{i\max} = 5, d_{i\min} = 1$).

Узагальнюючу оцінку визначаємо як середнє геометричне значень:

$$D^{\Pi} = \sum_{i=1}^n a_i \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i^{a_i}}, \quad (5.30)$$

де a_i – ступінь вагомості i -того показника.

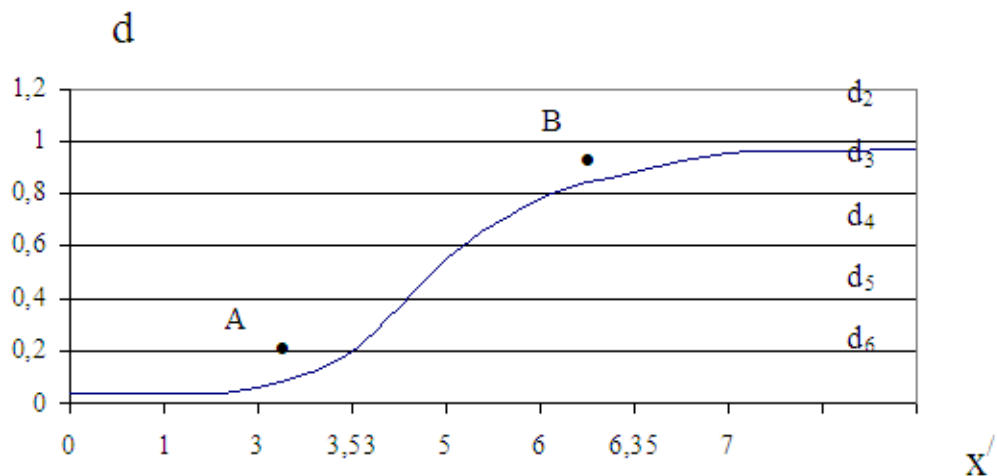


Рис. 5.2 Шкала значень коефіцієнта переваги (бажаності)

Ступінь вагомості показників визначаємо методом граничних і номінальних значень за формулою [92,98]:

$$a_i = \frac{1 - q_i}{\sum_{i=1}^n (1 - q_i)}, \quad (5.31)$$

де q_i – частка покращення i -го показника в майбутньому:

$$q_i = \frac{P_{igr}}{P_{in}}; \quad (5.32)$$

$$q_i = \frac{P_{in}}{P_{igr}}, \quad (5.33)$$

де P_{igr} – граничне (прогнозоване) значення показника за i -м критерієм;

P_{in} – номінальне значення показника за i -м критерієм.

Таблиця 5.3

Вихідні дані способу для реалізації процесу зберігання зерна

Тип способу зберігання	Вміст клейковини, %	Загальна енергонасиченість процесу на 100 т, кВт/кг	Об'єм, що займає комплекс, м ³	Орієнтовна ціна, грн.
Активне вентилявання (розроблений)	2,7	2747	2000	448160
Висушування	2,3	3221	2000	450152
В інертному газі	2,5	3753	2000	518876

Таблиця 5.4

Таблиця значень ступенів вагомості показників І виду

Тип способу зберігання		Техніко- експлуатаційні показники			
		1	2	3	4
		Вміст клейковини, %	Загальна енергонасиченість процесу на 100 т, кВт/кг	Об'єм, що займає комплекс, м ³	Орієнтовна ціна, грн.
Активне вентилявання (розроблений)	1	0,0000	0,5895	0,0000	0,0000
Висушування	2	0,2007	0,1867	0,0000	0,1385
В інертному газі	3	0,1984	0,1811	0,0000	0,1140
Середнє значення ступеня вагомості для і-тої групи способів асер.		0,1479	0,2393	0,0000	0,0887
					1,0000

Таблиця 5.5

Таблиця безрозмірних та узагальнюючих показників якості II виду

Тип способу зберігання		Техніко - експлуатаційні показники				Узагальнені показники, D	Рейтинг
		1	2	6	7		
		Вміст клейковини, %	Загальна енергонасиченість процесу на 100 т, кВт/кг	Об'єм, що займає комплекс, м ³	Орієнтовна ціна, грн.		
Активне вентилування (розроблений)	1	1,0000	5,000	0,0000	5,0000	3,4580	1
Висушування	2	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,4366	2
В інертному газі	3	5,0000	3,0392	0,0000	3,0400	2,0823	3

Найкращий узагальнюючий показник D=3,4580

Таблиця 5.6

Таблиця безрозмірних та узагальнюючих показників якості I виду

Тип способу зберігання		Техніко - експлуатаційні показники				Узагальнені показники, D	Рейтинг
		1	2	6	7		
		Вміст клейковини, %	Загальна енергонасиченість процесу на 100 т, кВт/кг	Об'єм, що займає комплекс, м ³	Орієнтовна ціна, грн.		
Активне вентилування (розроблений)	1	0,7122	0,6767	0,0000	0,7084	0,6971	1
Висушування	2	0,6379	0,5784	0,0000	0,6423	0,6365	2
В інертному газі	3	0,6774	0,6212	0,0000	0,6773	0,6568	3

Залежно від напрямку покращення показника, використовуємо ту чи іншу формулу для визначення q_i . Якщо відповідно до вимог технічного прогресу показник треба зменшити (наприклад, питомі енерговитрати, об'єм, що займає сировина, масу), то використовуємо формулу (5.32), а якщо ці показники треба збільшити (наприклад, продуктивність), тоді використовуємо формулу (5.33).

У якості номінальних значень використовуємо середні статистичні значення показників, які досягнуті в період проведення оцінки технічного рівня та рівня якості способу.

Граничні значення показників визначаємо, як найкраще значення даного показника для групи способів, які оцінюються. У нашому випадку ступені вагомості показників визначаються за результатами оцінки лише даної групи способів (табл. 5.4). У випадку оцінки іншої групи способів аналогічного технологічного призначення вони будуть мати інше значення.

Оцінку технічного рівня розробленого комплексу, де реалізований охолоджувальний спосіб зберігання зерна за представленими узагальненими техніко-економічними показниками заносимо у таблиці 5.5, 5.6.

5.3 Впровадження та виробнича апробація зберігання зернової сировини методом довготривалого охолодження

Фізична особа підприємець Шевчик О.Ф. підприємство "Шевчик" с.Терпіння Мелітопольського району Запорізької області розташоване на південному сході України у зоні, сприятливій для обробітку сільськогосподарських культур. Центральна садиба розташована у селі Терпіння. Відстань до районного центру міста Мелітополь – 17 км, до обласного міста Запоріжжя – 140 км. Бази реалізації продукції розташовані в містах Мелітополь, Запоріжжя. Шляхи по всіх пунктах і базам реалізації продукції з твердим покриттям.

Господарство розташоване на рівнинній місцевості, тому поверхня землевикористання являє собою рівнину.

За рік в середньому випадає до 400 мм опадів. Літні опади складають 31% від річної суми з максимальними у червні, липні місяцях.

Основними для землеробства є осінньо-зимові опади, літні лише поповнюють запаси вологи у ґрунті.

Відносна вологість повітря узимку складає 75-80%, весною та восени – 35-75%, а улітку 25-30%. Самим холодним місяцем є січень з середньою температурою – 7,4⁰С, а самий теплий липень з середньомісячною температурою +23,1⁰С і абсолютним максимумом до +38⁰С.

Ґрунт у зимовий період промерзає – в середньому до 50-60 мм. Відтавання ґрунту швидке. Орієнтовна тривалість безморозного періоду складає 160-175 днів.

Середньорічна температура повітря складає +8,3⁰С. Пануючими вітрами є вітер північно-східного напрямку.

Сильні і тривалі вітри спостерігаються у зимовий і весінній період, відмічаються сильні пилкові бурі. Рельєф полів рівний, довжина гонів складає 600...1500 м, що є благоприємним використанню широкозахватних та швидкісних агрегатів. Господарська діяльність спрямована на виробництво зерна, овочів.

Показники господарської діяльності зведені у таблиці 5.7, 5.8.

Таблиця 5.7

Структура земельних угідь

Вид сільгоспугідь	Площа, га	% від оранки
Загальна площа	2650	100%
Сільськогосподарські угіддя	2478	93,5%
Оранка	2424	91,5%

Таблиця 5.8

Посівні площі основних культур та їх врожайність.

Культура	2013			2014			2015		
	Площа, га	Врожайність, т/га	Валовий збір, т	Площа, га	Врожайність, т/га	Валовий збір, т	Площа, га	Врожайність, т/га	Валовий збір, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зернові-зернобобові									
Пшениця озима	754	3,2	2412,8	739	1,95	1862,5	643	1,85	1189,6
Ячмінь яровий	350	2,5	875	270	2,25	607,5	285	1,83	522,6
Овес	170	2,1	357	140	1,68	235,2	156	1,85	288,6
Кукурудза на зерно	210	4,8	1008	235	4,1	963,5	240	4,9	1176
Соняшник	400	2,1	840	610	1,89	1152,9	700	2,05	1435
Кормові культури									
Кукурудза на силос	310	9,8	3038	270	8,7	2349	195	10,1	1969,5
Багаторічні									
На сіно	120	1,8	216	90	1,95	175,5	110	2,3	253
На зелений корм	110	2,0	220	70	2,5	175	95	2,6	247

Згідно з таблицею 5.8. за останні три роки врожаї озимої пшениці складають 1,83 т/га, соняшнику 20,5 ц/га, кукурудзи на зерно 4,9 т/га, кукурудзи на силос 10,1 ц/га. Головними причинами такої врожайності є недостатня кількість добрив, порушення у технології зберігання.

5.4 Рекомендації, щодо впровадження зерносховища в господарство

Вирощений врожай потрібно не тільки зібрати, але й забезпечити його надійне зберігання. Для запобігання псуванню зерна його можливо консервувати за рахунок зниження температури. З цією метою зерно вентилують охолодженим до $0 \dots + 8^{\circ} \text{C}$ повітрям. Після чого воно, через його поганий теплопровідності, буде нагріватися дуже повільно, і оброблений матеріал зможе успішно зберігатися протягом декількох тижнів.

При цьому тривалість зберігання зерна після охолодження буде тим більше, чим менше була його вологість.

Проаналізувавши існуючі зерносховища, ми прийшли висновку, що найбільш зустрічаємим є зерносховища з розмірами (6x12x30) у яких можливо зберігати 300т.зерна(у нашому випадку зберігали пшеницю з вологістю від 13%).

Необхідні дії для зберігання зерна у підлогових зерносховищах:

1.Збудувати підлогове металеве зерносховище, при цьому враховуємо ґрунтові води, кліматичні умови та ізоляцію приміщення.

2.Підготувати зерносховище до зернової культури.

3.Зробити аналіз партій зерна у лабораторій згідно ДСТУ.

4.Завантажити у зерносховища.

5 Включити охолоджувальну установку(об'ємна подача повітря 5200-5700 м³/год)

Повітряний потік, що генерується і подається вентилятором в зерносховище, надходить в простір аераційної підлоги. Вона може бути виготовлена із секцій, в цілому вона повина бути досить жорстка і міцна. Настильний матеріал має площу аераційних отворів, що не перешкоджає вільному проходженню повітря.

6.Застосувати охолодження у зерносховищі (підтримуючи температури від 7°C-11°C).

Таблиця 5.9.

Графік роботи охолоджувальної установки

Місяць	Неділя	Кількість годин, що працює охолоджувальна установка			
		1	2	3	4
Липень		24	10	10	9
Серпень		9	9	8	8
Вересень		7	6	5	5
Жовтень		5	5	5	4
Листопад		3	3	3	3
Грудень		2	1	1	1

7.Зробити аналіз зернової культури згідно ДСТУ на протязі зберігання.

Для забезпечення високоякісного зберігання зерна в зерносховищі виробники приділяють значну увагу їх елементної бази та відповідних систем. Це зумовило значний розвиток технології їх виробництва і досить високий технічний рівень вентиляційних систем, що забезпечують належну аерацію зерна і відповідний температурний режим в процесі його зберігання, завдяки чому досягається якісне зберігання зерна без втрати його кількості і споживчих характеристик.

В результаті зберігання із застосування охолодження в зерні можуть підвищуватися енергія проростання, а також поліпшуватися окремі технологічні властивості, такі як, наприклад, об'ємний вихід і хлібопекарське якість. Завдяки ряду досліджень було встановлено, що хоча за час дозрівання вже зібраного врожаю помітного збільшення кількості клейковини не відбувається, але значно поліпшується її якість, вона стає більш еластичною і краще розтягується, що важливо при випічці хлібу.

5.5 Висновки до 5 розділу

1. Комплексна техніко-економічна оцінка розробленої технології та обладнання для зберігання зернової продукції засвідчила, що впровадження

розробленого сховища з активним вентиляванням із застосуванням охолодження, порівняно з існуючим устаткуванням, дає змогу отримати річний економічний ефект у 157156 грн., за терміну окупності 2,22 року.

2. Оцінка рівня досліджуваної технології та розробленого обладнання за основними показниками конкурентоспроможності відзначила його вищий рейтинг порівняно із типовими схемами.

3. Розроблені процеси та обладнання пройшли успішну виробничу апробацію та були впровадженні у ТОВ "Агро-сервіс" та у ФОП "Шевчик".

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі огляду існуючих технологій та процесів зберігання зерна встановлено, що одним із напрямків забезпечення довготривалого зберігання зернової маси є синтез методів активного вентилявання та охолодження у їх раціональному поєднанні при забезпеченні сталих характеристик клейковини, індексу клейковини та вологості в оброблюваній продукції.

2. Запропоновано принципову схему та розроблено експериментальну модель сховища для зберігання сільськогосподарської продукції, яка реалізує ідею комплексної технологічної обробки зернової маси за рахунок ефективного розподілу охолодженого потоку повітря, що проходить крізь сировину, регулюючи його газовий склад у міжзернових проміжках, температуру, вологість та інтенсивність фізико-мікробіологічних процесів в оброблюваній продукції.

3. Визначені методики та програму досліджень, які передбачають структуру та алгоритм теоретичних та експериментальних досліджень для визначення оптимальних технологічних і раціональних параметрів розробленого обладнання із врахуванням комплексу означених процесів. Розроблено установку для визначення коефіцієнта теплопровідності сільськогосподарських матеріалів, а також сформовано комп'ютерну імітаційну модель розробленого зерносховища та протікання в ньому процесу зберігання зернової маси.

4. На основі аналізу теоретичних досліджень процесу охолодження зерна у розробленому зерносховищі розроблено функціонально-параметричну схему досліджуваного процесу та отримано остаточне рівняння тепловологообміну, що описує зміни параметрів охолоджуючого повітря. Встановлено межі ефективного робочого режиму розробленого обладнання за якими ентальпія становить 18000...20000 Дж/кг за вологості оброблюваної продукції 10...12 %.

5. Обґрунтовано фізичну модель взаємодії зернової маси з холодоносієм у процесі її активного вентилявання, а саме аналітичну

інтерпретацію її зовнішньому та внутрішнього вологообміну в залежності від технологічних параметрів обробки, що дозволило визначити раціональні межі дослідження технологічних та якісних параметрів процесу зберігання зернової сировини та проаналізувати статистичний характер вихідних значень отриманих результатів в залежності від способу зберігання зернової сировини.

6. За допомогою математичної програми MATLAB встановлено функціональні інтерпретації отриманих експериментальних розподілів показників шпаруватості, вологості та щільності, що дають можливість прогнозувати вміст клейковини в зерновій масі залежно від технологічних режимів її зберігання.

7. За результатами багатofакторного експерименту одержано математичні моделі у вигляді множинної регресії другого порядку, які адекватно описують досліджуваний процес зберігання зернової продукції. Аналіз отриманих моделей дозволив отримати оптимальні технологічні параметри роботи досліджуваного обладнання: вологість оброблюваного матеріалу 12,5...14 %; об'ємна подача повітря 5200...5700 м³/год та температура робочого теплоносія 7...11 °C. За даних технологічних режимів вміст клейковини, при довготривалому зберіганні, становитиме 24 % за енерговитрат 9,15 кВт/т.

8. Проведено якісну оцінку хлібопекарських властивостей зерна залежно від способу його зберігання яка засвідчила, що при довготривалому зберіганні доцільно використовувати регульований температурний режим, що сприяє стабільним збільшенню об'єму та покращенню органолептичних показників хлібобулочної продукції

9. При порівнянні теоретичних та експериментальних досліджень виявлено розбіжність, яка становить 5,2...9,13% для робочого режиму, що дозволило прийняти побудовану математичну модель процесу як адекватну для опису технологічних характеристик розробленого зерносховища.

10. Комплексна техніко-економічна оцінка розробленої технології та обладнання для зберігання зернової продукції засвідчила, що впровадження розробленого сховища з активним низькотемпературним способом обробки, порівняно з існуючим устаткуванням, дає змогу отримати річний економічний ефект у 157156 грн., за терміну окупності 2,22 року. Оцінка рівня досліджуваної технології та розробленого обладнання за основними показниками конкурентоспроможності відзначила його вищий рейтинг, порівняно із типовими схемами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрономов Е.А. Хранение зерна. / Е.А. Агрономов М.: Пищепромиздат, 1935. – 222с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Макарова. – М.:Наука, 1976. – 280с.
3. Андерсон Дж. А., Хранение зерна и зерновых продуктов / А.У. Уолкок, Дж.А. Андрисон – М.: Колос, 1978. — 472 с.
4. Андрійчук В.Г. “Економіка аграрних підприємств”: Підручник. – 2-ге вид., доп. і перероблене. К.: КНЕУ, 2002. – 624с.
5. Анискин В.И. О техническом обеспечении обработки и хранения зерна в хозяйствах / В.И Анискин // Техника в сельском хозяйстве. - 1991.- №5.- С. 7 – 9.
6. Анискин В.И. Совершенствование обработки и хранения зерна на предприятиях агропромышленного комплекса / В.И. Анискин – М.:ВИМ, 1987.
7. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Л.Я. Ауэрман – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 415с.
8. Барабашук В. И. Планирование эксперимента в технике / В. И. Барабашук, Б. П. Креденцер, В. И. Мирошниченко. – К.: Техника, 1984. – 200 с.
9. Бараз В. Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel : учеб. пособие / Бараз В. Р. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2005. – 102 с.
10. Баскаков А.П. Теплотехника : Учебник для вузов / А.П.Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт и др.;Под ред. А.П. Баскакова. – М.: Энергоиздат, 1982.- 264с.
11. Батенко Л.П. “Управління проектами” КНЕУ, 2003 – 592 с.
12. Баум А.Е. Применение искусственно охлажденного воздуха при хранении за рубежом. / А.Е. Баум – М., ЦНИИТЭИ Минзага СССР 1977, 28с.

13. Бедин Ф.П. Физиологические, теплофизические и транспортные свойства : Учеб.пособие для студ.вузов, обучающихся по спец. «Технология хранения,переработки и консервирования плодов и овощей»,»Технология хранения и переработки зерна» / Ф.П. Бедин, Е.Ф. Балан, Н.И. Чумак. – О.: Астропринт,2002. – 306 с.
14. Берлинер М.А. Измерения влажности / М.А.Берлин Изд.2-е, перераб. и доп. – М., «Энергия»,1973. – 400с.ил.
15. Беспалова, С. В. Математические модели биологических процессов : учеб. пособие / Беспалова С. В., Гусев А. А. ; Донец. нац. ун-т. – Донецк : Изд-во ДонНУ, 2000. – 150 с.
16. Богомоллов О.В. Зберігання та переробка сільськогосподарської продукції / О.В. Богомоллов, Н.В. Верешко, О.М. Сафонова та ін. // Під. Ред..О.І. Шаповаленка, О.М. Сафоновой. – Харків.: Еспада,2008. – 544с. іл.
17. Бойко Н. Г. Теория и методы инженерного эксперимента : курс лекций / Н. Г. Бойко, Т. А. Устименко. – Донецк : ДонНТУ, 2009. – 158 с.
18. Бондарев В.А. Теплотехника / В.А. Бондарев, А.Е. Бондарь А. Г. Планирование эксперимента в химической технологии./ А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха // Вища школа, - Киев, 1976. - 180 с.
19. Бондарь А. Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры) : учеб. пособие / Бондарь А. Г., Статюха Г. А., Потяженко И. А. – К. : Высш. школа, 1980. – 264 с.
20. Боровиков В. П. Statistica. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows / В. П. Боровиков, И. П. Боровиков. – М. : Филинь, 1997. – 608 с.
21. Боуманс Г Эффективная обработка и хранение зерна / Пер.с.анг. В.И. Дашевского. – М.: Агропромиздат, 1991. – 608с.: ил.
22. Брустінов В.М., Кравец О.В., Пижинський Я.І. “Аграрний сервіс: теорія та практика” // навчальний посібник – 2008. – 247 с..
23. Бутковский В.А. Технологии зерноперерабатывающих производств/

Бутковский В.А., Мерко А.И., Мельников Е.М. – М.: Интеграф сервис, 1999. – 472с.

24. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. - 3-е изд. / Г. В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.

25. Верхованцева В.О. Аналіз способів зберігання зерна [Текст] / В.О. Верхованцева, В.Ф. Ялпачик // Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку: Міжнар. наук. – техн. конф.: [тези доп.]. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2011. – С.125-128.

26. Верхованцева В.А. Обоснование параметров зернохранилища [Текст] / В.А. Верхованцева // у праці Таврійський державний агротехнологічний університет. – Вип.12,Т. 3. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – С.185-189.

27. Верхованцева В.О. Визначення ефективності застосування методу охолодження зерна [Текст] / В.О. Верхованцева // у праці Таврійський державний агротехнологічний університет. – Випуск 11,Т. 1. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С.129-137.

28. Верхованцева В.О. Вплив коефіцієнта теплопровідності на щільність пшениці [Текст] / В.О. Верхованцева //Тези I Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології харчових виробництв» 26-27 березня 2015, Вінниця. : 20 – 22с.

29. Верхованцева В.О. Спосіб вентилявання сільськогосподарської продукції у сховищі [Текст] / В.О. Верхованцева // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг.: Міжнародна науково-практична конференція. – Харків : ХДУХТ 2012р,Ч.1. – С.313 - 314.

30. Веселов С.А. Проектирование вентиляционных установок предприятий по хранению и переработки зерна. / С.А Веселов. - М.: Колос,1976. – 288с.

31. Вукалович М.П. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара / М.П. Вукалович, С.Л. Равкин, А.А. Александров – М.: Из-во стандартов, 1969. – 408с.
32. Ганиев М.М. Вредители и болезни зерна и зернопродуктов при хранении / М.М. Ганиев, В.Д. Недорезков, Х.Г. Шарипов // Учебники и учебное пособия для студентов высших учебных заведений – М.: Колос, 2009 – 208с.
33. Гинзбург А. С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Справочник / [Гинзбург А. С., Громов М. А., Красовская Г. И.] – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
34. Голик М.Г. Влияние жизнеспособности зерна на его технологические свойства / М.Г. Голик , Н.Б. Воронюк Н.Б.. М.: ЦИНТИ Госкомзага СССР, 1968. – С.80-87.
35. ГОСТ 23729–88 Методы экономической оценки специализированных машин. – Введ. 1988–01–01. – М. : Госкомитет СССР по стандартам, 1988. – 6 с.
36. Гунько І. В. Надійність систем та обґрунтування інженерних рішень / Гунько І. В., Спірін А. В., Холодюк О. В. – Вінниця : ВДАУ, 2006. – 76 с.
37. Дацишин О. В., Ткачук А. І., Гвоздєв О. В., Ялпачик Ф. Ю., Гвоздєв В. О. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв. «Нова книга», Вінниця, 2009. – 486с.
38. Доброхотов В.Н. Семеноведение и контрольно-семенное дело / Доброхотов В.Н. – М.: Колос, 1940. – 208 с.
39. Дрейп Н. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 1, 2 / Н. Дрейп, Г.Смит. – М. : Мир, 1981. – 252 с.
40. Егоров Г.А. Технологические свойства зерна / Г.А. Егоров. - М: Агропромиздат, 1985. - 334 с.
41. Завалишин Ф. С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства. / Ф. С. Завалишин, М. Г. Мацнев. – М.: Колос, 1982. – 231с.

42. Закладной Г.А. Вредители хлебных запасов и меры борьбы с ними / Г.А. Закладной, В.Ф. Ротанова. – М.: Колос, 1973 – 280с.
43. Закладной Г.А. Защита зерна и продуктов его переработки от вредителей / Г.А. Закладной. – М.:Колос,1983. – 215с.
44. Заяц Ю.А. Совершенствование технологических процессов в перерабатывающей промышленности / Ю.А. Заяц, А.Н. Прохоров, В.Л. Яров. – К.:Урожай,1991. – 191с.
45. Зерно і продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії: ДСТУ 4117:2007. – Державний комітет стандартизації метрології та сертифікації України, 2007. – 8 с.
46. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины: ГОСТ 13586.1-68. – М.: Госстандарт, 1968. – 4 с.
47. Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии / Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. – М.: Колос,1999. – 550с.
48. Казаков Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки. / Е.Д. Казаков, В.Л. Кретович. – М.: Колос,1980. – 319с.ил.
49. Казаков Е.Д. Биохимия зерна и хлебопродуктов / Е.Д. Казаков, Г.П. Карпиленко – СПб.:ГИОРД, 2005. – 512 с.
50. Камінський В.Д. Переробка та зберігання сільськогосподарської продукції / В.Д. Камінський, М.Д. Бабіч // Навчальний посібник для вузів. – Одеса: Аспект,2000 – 460с.
51. Карпов Б. А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна / Карпов Б. А. – М.: Агропромиздат, 1987. – 288 с.
52. Кирьянов Д. В. Mathcad 13 / Д. В. Кирьянов. – СПб: БХВ –Петербург, 2006. – 608 с.
53. Кобець А.С. Машины і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна / А.С. Кобець, Ю.О. Чурсінов, С.А. Черних, М.П. Сабадаш, Н.В. Грекова, В.П. Канунніков – Дніпропетровськ : ДДАЕУ, 2014. – 614с
54. Козьмина Н.П Зерно / Н.П. Козьмина– М.: Колос, 1969. – 369с.

55. Козьмина Н.П. Биохимия зерна и продуктов его переработки. / Н.П. Козьмина – М.: Колос, 1976. – 375с.
56. Козьмина Н.П. Зерно и продукты его переработки / Н.П.Козьмина – М.: Заготиздат, 1961. – 520с.
57. Кравець О.В. Економічне обґрунтування впровадження інноваційних технологій у переробній галузі аграрного сектору[Текст]/ О.В. Кравець, В.О. Верхованцева // Тези міжнародної науково-практичної конференції 6-7 травня 2014 «Фінансово – економічні проблеми розвитку сільських територій» зб.матер.конференц. – Мелітополь, 2014. – С.126 – 128.
58. Кретович В.Л. Биохимия зерна и хлеба / В.Л. Кретович – М.: Наука, 1991. – 136с.
59. Кубасов, А.А. Химическая кинетика и катализ. Ч. 2. Теоретические основы химической кинетики / Кубасов А. А. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 158с.
60. Кудрявцев Е.М. MathCAD 2000 Pro. – М.: ДМК „Пресс“, 2001. – 576с.
61. Куприн Я.Н. Технология переработки зерна / Я.Н. Куприн. - М.: Колос, - 1977.
62. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. / С.С. Кутателадзе – М.: Атомиздат, 1979. – 415с.
63. Кюрчев С.В. Визначення параметрів оптимізації процесу охолодження зерна [Текст] / С.В. Кюрчев, В.О. Верхованцева // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім.Петра Василенка, 2015. – Вип. 163. – С. 228 – 239.
64. Кюрчев С.В. Вплив коефіцієнта теплопровідності на вологість зерна [Текст]/ С.В. Кюрчев, В.О. Верхованцева //Тези V всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційні технології в АПК», Луцький НТУ, травень 2015р – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. – С. 60 - 62.

65. Кюрчев С.В. Исследование рабочего процесса при вентилировании зерна в зернохранилище [Текст]/ С.В. Кюрчев, В.А. Верховланцева // Ежемесячный научный журнал Международного научного института «EDUCATION». – Новосибирск: Международный научный институт «EDUCATION», 2015. – №9(16). – С. 75 – 76.

66. Кюрчев С.В. Конструктивные особенности установки для охлаждения и сушки зерна активным вентилированием [Текст] / С.В. Кюрчев, В.О. Верховланцева // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип.5, Т.1. – С. 108 – 113. Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>

67. Кюрчев С.В. Особенности хранения зерновых запасов [Текст] / С.В. Кюрчев, В.О. Верховланцева // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип. 15, Т.3. – С. 189 – 194.

68. Лебедев П. Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Учебник для студентов технических вузов / Лебедев П. Д. – [2-е изд., перер.]. – М.: Энергия, 1972. – 320 с.

69. Левченко Е.А. Влияние и количественный учет вредителей хранящегося зерна и продуктов его переработке / Е.А. Левченко // Вредители с.х. культур и лесных насаждений – К.: Урожай, 1989. – Т.3. – С.379-383.

70. Левченко Є.А. Шкідники зерна і сільськогосподарських продуктів: довідник із захисту рослин / Є.А. Левченко; [за ред. М.П. Лісового]. – К.: Урожай, 1999. – С. 490 – 505.

71. Личко Н.М. Технология переработки продукции растениеводства / Н.М. Личко, В.Н. Курдина и др. // Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений – М.: Колос, 2000 – 552с.

72. Лонцин М. Основные процессы пищевых производств / М. Лонцин, Р. Меерсон; под ред. И. А. Рогова; пер. с англ. Ф. Н. Евтеевой. – М.: Лёгкая и пищевая пром-сть, 1983. – 279 с.

73. Лыков А.В. Теория сушки / Лыков А. В. – М.: «Энергия», 1968. – 472 с.
74. Лыков А. В. Теория теплопроводности / Лыков А. В. – М.: Высшая школа, 1967. – 595 с.
75. Лыков А.В. Теория теплопроводности. / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599с.
76. Лыков А.В. Тепломассообмен / Лыков А.В. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.
77. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad: учебный курс / Е.Г. Макаров. – СПб: Питер, 2005. – 448 с.
78. Малежик І.Ф. Процеси і апарати харчових виробництв / І.Ф. Малежик, П.С. Циганков, П.М. Немирович [та ін.]; за ред. І.Ф. Малежика. – К.: НУХТ, 2003. – 400 с.
79. Маленький Б.Е. Технология приемки, хранения и переработки зерна / Б.Е. Маленький, В.Б. Лебедев, Г.А. Винников – М.: Агропромиздат, 1990. – 367с.
80. Малин Н.И. Технология хранения зерна / Н.И. Малин – М.: Колос 2005. – 280с.
81. Малин Н.И. Энергосберегающая сушка зерна / Н.И. Малин – М.: КолоСС, 2004. – 240 с.
82. Мальцев П. М. Основы научных исследований. / П. М. Мальцев, Н. А. Емельянова – Киев: Вища школа, 1982. – 192с.
83. Мармоза А.Т. Практикум по математической статистике / А.Т. Мармоза. – К.: Вища школа, 1990. – 191 с.
84. Масліков М.М. Холодильна технологія харчових продуктів : Навч. посіб / М.М. Масліков. – К.: НУХТ, 2007. – 335с.
85. Машины и аппараты пищевых производств. Под ред. В. А. Панфилова. Москва. «Высшая школа» книга 1 и книга 2, 138с. 2001 год.
86. Меклер В.Я. Промышленная вентиляция и кондиционирование воздуха / В.Я. Меклер, П.А. Овчинников – М.: Стройиздат, 1978. – 311с.

87. Мельник Б.Е. Активное вентилирование зерна:Справочник / Б.Е. Мельник. – М.:Агропромиздат, 1986. – 159с.ил.
88. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследование сельскохозяйственных процессов / Мельников С.В., Алешкин В. Р., Рощин П. М. – Л.: Колос, 1972. – 199 с.
89. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П. М. Рощин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1980. – 168с., ил.
90. Мерко І.Т. Наукові основи і технології переробки зерна / І.Т. Мерко, В.О. Моргун – Одеса.:Друк,2001. – 348с..
91. Меры борьбы с потерями зерна при заготовках, послеуборочной обработке и хранении на елеваторах и хлебоприемных предприятиях / под ред. В.Б. Фейденгольдца. – М.: ДеЛи-принт, 2007. – 320с.
92. Методики економічного оцінювання техніки на етапі випробування : ДСТУ 4397:2005. – [Чинний від 2006-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України 2006. – 20 с. – (Національний стандарт України).
93. Механізація переробної галузі агропромислового комплексу / [О.В. Гвоздєв, Ф.Ю. Ялпачик, Ю.П. Рогач, М.М. Сердюк]. – К. : Вища освіта, 2006. – 479 с.
94. Механіко - технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів : Навч. Посібник / [О.М. Царенко, С.С. Яцун, М.Я. Довжик, Г.М. Олейник] ; за ред. С.С. Яцуна. – К. : Аграрная освіта, 2000. – 243 с.
95. Михеев М.А. Основы теплопередачи.Госэнергоиздат,1956.
96. Місце сільського господарства у світовому господарстві [Електронний ресурс].- [URL: soc-econom-region.univer.kharkov](http://soc-econom-region.univer.kharkov)
97. Молчанов А. А. Моделирование и проектирование сложных систем. - К.: Вища школа, 1999. – 664 с.
98. Нагирный Ю.П. Многокритериальная оценка и выбор решений / Ю.П. Нагирный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. –

1990. №9. С. 9 – 12.

99. Налимов В.В. Новые идеи в планировании эксперимента / В.В. Налимов [и др.]; под ред. В.В. Налимова. – К.: Колос, 1992. – 387 с.

100. Нарынян А.Р. Основы научных исследований / А.Р. Нарынян, В.А. Поздеев. К.: Изд – во Европейского у– та, 2002. – 110 с.

101. Остапчук Н.В. Математическое моделирование процессов пищевых производств / Н.В. Остапчук, В.Д. Каминский, Г.Н. Станкевич [и др.]; под ред. Н.В. Остапчука. – К.: Вища шк., 1992. – 175 с.

102. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств. учеб. пособие для вузов / Н. В. Остапчук. – К.: Вища шк, 1981. – 304 с.

103. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств / Н.В. Остапчук :Учебн. Пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.:Вища шк.,1991. – 367с.:ил.

104. Островский Э.В. Краткий справочник конструктора продовольственных машин / Э. В. Островский, Е. В. Эйдельман. – 3 –е изд. - М.: Агропромиздат, 1986. – 621 с.

105. Пилипюк В.Л. Технология хранения зерна и семян /В.Л. Пилипюк //Учебное пособие, Саратов, 2008 – 310с

106. Планирование эксперимента в химической технологии (основные положения, примеры и задачи). Бондарь А.Г., Статюха Г.А. – Издательское объединение «Вища школа», 1976. – 184с.

107. Платонов Л.Н.Элеватор и склады / П.И. Платонов, В.Г. Лебединский, В.Б. Фасман. – М.:Колос,1971 – 311с.

108. Подпратов Г.І. Зберігання і переробка продукції рослинництва / Подпратов Г.І., Скалецька Л.Ф., Сеньков А.М. – К.: Мета, 2002. – 495 с

109. Пономаренко В.С. Моделювання дискретних процесів: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1993. – 180 с.

110. Применение искусственно охлажденного воздуха при хранении зерна за рубежом. Баум А. Е. Серия «Элеваторная промышленность», М., ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1977, 28с.

111. Пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням: пат. 72178 UA. / В.О. Верхоланцева, В.Ф. Ялпачик, О.В. Гвоздев. – Заяв. 27.01.2012; опубл. 10.08.2012Бюл. №15.

112. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / За редакцією проф. І. Ф. Анежика. – К.: НУХТ, 2003. – 400с.

113. Псевдооживление / [Айнштейн В.Г., Баскаков А.П., Берг Б.В. и др.] ; под. ред. В.Г. Айнштейн. – М.: Химия, 1991. – 400 с.

114. Пунков С.П. Хранение зерна, элеваторно-складское хозяйство и зерносушение / С.П. Пунков, А.И. Стародубцева - М.: Агропромиздат, 1990. — 367 с.

115. Пшениця і пшеничне борошно. Вміст клейковини. Ч. 1. Визначення сирової клейковини ручним способом (ISO 21415-1:2006, IDT): ДСТУ ISO 21415-1:2009. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 12 с.

116. Пшениця і пшеничне борошно. Вміст клейковини. Ч. 2. Визначення сирової клейковини механічним способом (ISO 21415-2:2006, IDT). – К.: Держспожив- стандарт України, 2011. – 14 с. Товарознавство та інновації · Вип. 4 · 2012 263

117. Пшениця. Технічні умови: ДСТУ 3768-2010. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 14 с.

118. Рогов И.А. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы). / И.А. Рогов, В.Е. Куцаков, В.И. Филиппов, С.В. Фролов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1999.- 176с.:ил.- (Учебники и учеб.пособия для высших учебных заведений).

119. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – М.: Альтекс-А, 2004. – 384 с.

120. Самочетов В.Ф. Зерносушение / В. Ф. Самочетов, Г. А. Джорогян – М.: Колос, 1970. – 287 с.

121. Скалецька Л.В. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Практикум: Навчальний посібник / Л.В Скалецька, Т.М. Духовська, А.М. Сеньков. – К.: Вища школа, 1994. – 330 с.: ил.
122. Смолуховский М. Доступные наблюдению молекулярные явления, противоречащие обычной термодинамике // Эйнштейн А., Смолуховский М. Брауновское движение. - Л.: ОНТИ, 1936, с. 197;
123. Советов Б.Я. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1985. – 271 с.
124. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна / А.Я. Соколов – М.: Колос, 1967. – 488 с.
125. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна / А.Я. Соколов. - М.: Колос, 1984.
126. Соколов Е.А. Вредители запасов, их карантинное значение и меры борьбы / Е.А. Соколов // под общ. ред. с предисловием М.И. Маслова. – Оренбург: Димур, 2004. – 104 с.
127. Соловйова О.П. Сучасний стан ринку зерна в Україні [Електронний ресурс] / О.П. Соловйова. - URL: http://www.rusnauka.com/32_PWMN_2009/Economics/55294.doc.htm
128. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. / А. А. Спиридонов М.: Машиностроение, 1981 – 184 с., ил.
129. Спосіб вентильовання сільськогосподарської продукції в сховищах: пат. 72101 UA. / В.О. Верхованцева, В.Ф. Ялпачик, О.В. Гвоздев. – Заяв. 03.01.2012; опубл. 10.08.2012 Бюл. №15.
130. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства / под ред. Андреева П.А. - М.: Информагротех, 1995. - 576 с.
131. Станкевич Г. М. Сушіння зерна: Підручник / Г. М. Станкевич, Т. В. Страхова, В. І. Атаназевич – К.: Либідь, 1997. – 352 с.

132. Сховище для зберігання сільськогосподарської продукції: пат. 72541 UA. / В.О. Верхованцева, В.Ф. Ялпачик, О.В. Гвоздев. – Заяв. 03.01.2012; опубл. 27.08.2012Бюл. №16.
133. Теплотехнический справочник. /Под общей ред. В.И. Коренева и П.Д. Леедева -2-е изд., перераб. - М.: Энергия, 1976. - т.2
134. Технология переработки зерна / Под ред. Г.А.Егорова. Изд. 2-е. - М.: Колос, 1977.
135. Технология переработки зерна / Под ред. Я.Н. Куприца. - М.: Колос, 1965. - 504 с.
136. Технология пищевых производств: Учеб. для вузов / Под ред.Л.П. Ковальської. – М.: Колос,1999. – 751с.
137. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва: Підручник / Н.М. Осокіна, Г.С. Гайдай – Умань,2005. – 614с.:іл..
138. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції / [Маньківський А. Я., Скалецька Л. Ф., Подпретов Г. І., Сеньків А. М.]. – Ніжин: ВКП “Аспект”, 1999. – 384 с.
139. Тихонов Н.И. Хранение зерна [Текст] : учеб. пособие / Н. И. Тихонов, А. М. Беляков; ФГОУ ДПОС «ВИПККА», Каф. инновац. технологий. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2006. – 108 с.
140. Томашевский В. Н. Решение практических задач методами компьютерного моделирования / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова, А. А. Жолдаков. – К.: Изд. "Корнійчук", 2001. – 268 с.
141. Томашевский В.Н. Моделирование дорожных знаков в имитационном проекте автомобильного дорожного движения / В. Н. Томашевский, Д. С. Печенежский // Математическое моделирование. – 2001. – №1(6).
142. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнича група ВНУ, 2005. – 349 с.
143. Трисвятский Л. А. Хранение зерна / Трисвятский Л. А. – [5-е изд., перераб. и доп.] – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

144. Трисвятський Л.А. Хранение и технология сельськохозяйственных продуктов / Л.А. Трисвятський, Б.В. Лесик, В.Н. Курдина. – 2-е узд.М.: Колос,1975 – 448с.
145. Трисвятський Л.А. Хранение зерна / Л.А. Трисвяцкий. – М.: Агропромиздат, 1986. – 352с.
146. Трисвятський Л.А. Хранение и технология сельськохозяйственных продуктов. – М.:Агропромиздат,1991. – 414с.
147. Трібель С.О. Шкідники хлібних запасів / С.О. Трібель,М.В. Гетьман М.В., О.М. Лапа, О.О. Стригун. – К.: Колобіг,2007. – 48с.
148. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. Пер. с англ. / Ч. Хикс – М.: Мир. 1967, – 406 с.
149. Холодильні установки. Підручник / 6-е вид.,перероблене і доповнене / І.Г. Чумак, В.И. Чепурненко, С.Ю. Лур'яновський та ін.; За ред.. І.Чумака – Одеса:Рефпринтінформ. 2006. – 560с.
150. Хранение зерна. Пер.с англ.. под. ред.. Н.П. Козьминой . – М.: Колос 1975. – 424с.
151. Хранения зерна и зерновых продуктов / Пер. с англ. Х90 В. И. Дашевского, Г. А. Закладного; Предисл. Л. А. Трисвятского. – М.: Колос 1978 – 472с.,ил.
152. Цугленок, Н.В. Методика определения теплофизических свойств зернового материала [Текст] / Н.В. Цугленок, С.К. Манасян, Н.В. Демский, Н.Н. Конусов// Вестник КрасГАУ, № 4. – Красноярск, 2007. – С. 131–133.
153. Чижигов А. Г. Теплофизические характеристики семян пшеницы / А. Г. Чижигов, В.Ф. Кабанов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1976. – № 11. – С. 18 – 20.
154. Чурсінов Ю.О Системи та засоби захисту зернових запасів: навч. посібник / Ю.О. Чурсінов, С.А. Черних , В.С. Кошулько– Дніпропетровськ: ДДАУ, 2009. –313 с.
155. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем: искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.

156. Шпилько А. В. Методы определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / Шпилько А. В. – М. : Минсельхозпрод РФ. Всеросс. науч.-исслед. ин-т экономики сельского хозяйства, 1998.

157. Эдельштейн В. И. Овощеводство / Эдельштейн В. И. – М.: Колос, 1962. – 440 с.

158. Юдаев Н.В. Элеваторы, склады, зерносушилки / Н.В. Юдаев : Учебн.пособие – СПб.:ГИОРД, 2008. – 128с.: ил.

159. Юкиш А.Е., Техника и технология хранения зерна / А.Е. Юкиш, О.И. Ильина – М.: Дели принт, 2009. — 717 с

160. Ялпачик В.Ф. Аналітичні засоби моделювання мікробіологічних та біохімічних процесів при зберіганні зернової маси [Текст]/ В.Ф. Ялпачик, С.В. Кюрчев, В.О. Верхованцева // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2016. Вип. 16,Т.1. – С. 3 – 8.

161. Ялпачик В.Ф. Визначення індексу деформації клейковини пшениці за допомогою програми MathCad [Текст] / В.Ф. Ялпачик, С.В. Кюрчев, В.О. Верхованцева // Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: Міжнародна науково-практична конференція, 8-11 вересня 2015р.: [тези] / редкол.: Кюрчев В.М., Черевко О.І. [та ін.]. – Харків: ХДУХТ, 2015. – С. 345 –346.

162. Ялпачик В.Ф. Дослідження процесу теплообміну при охолодженні шару зерна пшениці [Текст]/ В.Ф. Ялпачик, С.В. Кюрчев, М.І. Стручаєв, В.О. Верхованцева // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім.Петра Василенка, 2015. – Вип. 166. – С. 50 – 56.

163. Ялпачик В.Ф. Економічна оцінка ефективності використання способу охолодження зерна [Текст]/ В.Ф. Ялпачик, О.В. Кравець, В.О. Верхованцева // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одесса, 2014. Вип. 45. –Т.2. – С. 199 – 201.

164. Ялпачик В.Ф. Експериментальна установка для зберігання зерна з використанням процесу охолодження [Текст]/ В.Ф. Ялпачик, В.О. Верхованцева // Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців « Перші наукові кроки -2015» 23-24 квітня 2015– Кам'янець-Подільський, 2015. – С. 26.
165. Ялпачик В.Ф. Изменение влажности пшеницы при хранении в зернохранилище с применением охлаждения [Текст]/ В.Ф. Ялпачик, В. О.Верхованцева // Научно –практический журнал Хранение и переработка зерна №7(184) 2014. С.43 –45 .
166. Ялпачик В.Ф. Исследования влияния условий хранения на изменения клейковины пшеницы[Текст] / В.Ф. Ялпачик, В.А. Верхованцева // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2014. Вип. 14,Т.3. – С. 128 – 131.
167. Ялпачик В.Ф. Обґрунтування режимів та способів зберігання зерна [Текст]/ В.Ф. Ялпачик, В.О. Верхованцева // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2011. Вип. 11,Т.6. – С. 98 – 105.
168. Ялпачик В.Ф. Планування експериментальних досліджень процесу охолодження [Текст]/ В.Ф. Ялпачик, М.І. Стручаєв, В.О. Верхованцева // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2015. Вип. 15,Т.1. – С. 3 – 8.
169. Ялпачик В.Ф. Пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарської продукції активним вентиляванням [Текст]/ В.Ф. Ялпачик, В.О. Верхованцева // Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно – ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді» 26 березня 2014 року – Харків: ХДУХТ, 2014, Ч. І. – С. 312.
170. Ялпачик В.Ф. Сховище для зберігання сільськогосподарської продукції [Текст]/ В.Ф. Ялпачик, В.О. Верхованцева // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та

послуг: Міжнародна науково-практична конференція. – Харків : ХДУХТ, 2013, Ч. 1. – С. 398 – 399

171. Ялпачик Ф.Ю. Методика експериментальних досліджень у процеси охолодження пшениці [Текст]/ Ф.Ю. Ялпачик, В.О. Верхоланцева // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету – Вінниця: ВНАУ, 2015. – Випуск 1(89), Том 2. 159 – 163.

172. Kiurchev S. LINEAR AND NONLINEAR RELATIONSHIP OF WHEAT STORAGE CHARACTERISTICS [Текст]/ S. Kiurchev, V .Vercholantseva // Canadian Scientific Journal, ISSUE 1. 2015: VOLUME 2, 10 – 15pp.

173. Oxley T.Z. The scientific principles of grain storage/ - Northern Publishing Co. Liverpool, England, 1948. - 103p.

174. Peter Golob, Graham Farrell and John E. Orchard Crop Post-Harvest: Science and Technology Volume 1 Principles and Practice 2002 by Blackwell Science Ltd, 548.

175. Smith C.V Meteorology and grain storage. – World Meteorol. Organ. Tech., 1969, Note 101. – 65p.

ДОДАТКИ

Додаток А
Класифікація зерносховищ



Рис.А Класифікація зерноскладів

Додаток Б
Види зерноскровищ

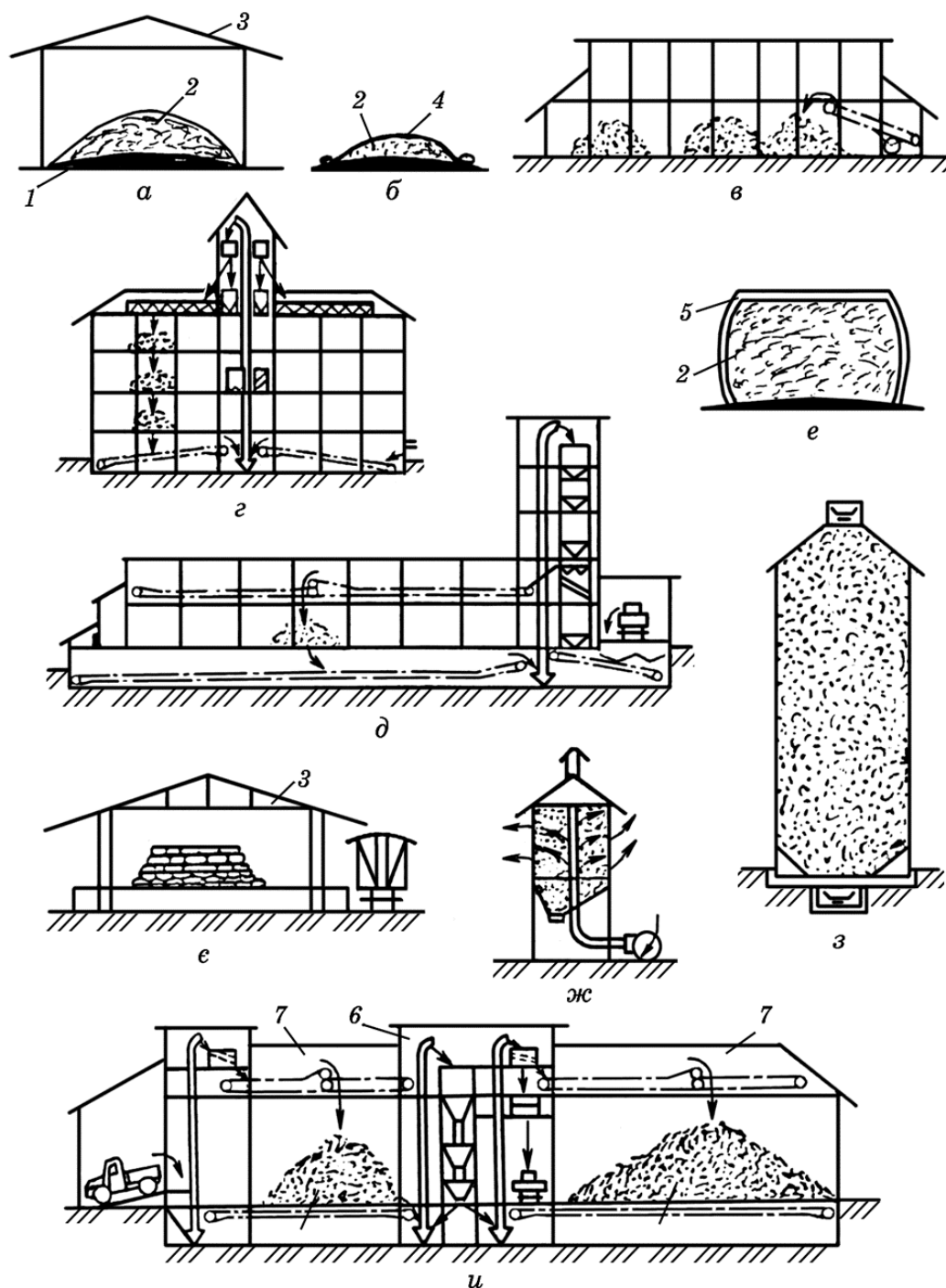


Рис. Б Види зерноскладищ

а- навіс; *б*-зерновий майданчик; *в*-склад-навіс; *г*-механічний тік; *д*-механізований склад; *е*-пакгауз; *ж*-надувний склад; *з*-силос невентильований; *и*-силос вентильований; *к*-елеватор; 1-зерновий майданчик; 2-бурт; 3-навіс; 4-брезент; 5-пластиковий каркас; 6-робоча вежа; 7-силос.

Додаток В
Патенти на корисну модель

Деклараційний патент
№72178





ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **72178** (13) **U**
(51) МПК
A01F 25/08 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2012 00850	(72) Винахідник(и): Верхоланцева Валентина Олександрівна (UA), Яппачик Володимир Федорович (UA), Гвоздев Олександр Вікторович (UA)
(22) Дата подання заявки: 27.01.2012	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.08.2012	(73) Власник(и): ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312, Україна (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.08.2012, Бюл.№ 15	

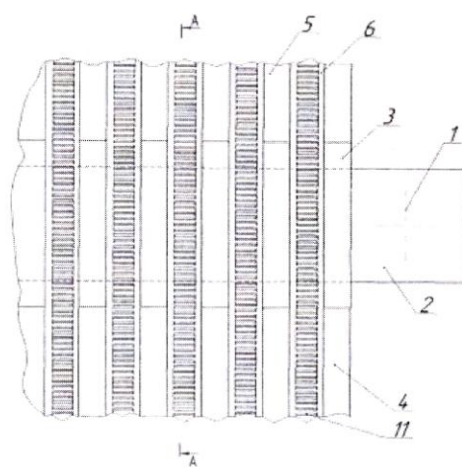
(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ Й СУШІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ АКТИВНИМ ВЕНТИЛЮВАННЯМ

(57) Реферат:

Пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням, що містить внутрішньопідлоговий канал, з'єднаний із джерелом вентилявання, плити й ґрати, на яких виконані поперечні відносно внутрішньопідлогового каналу рифлі, причому в рифлях ґрат виконані отвори, і плоскі кришки з поперечними пазами в нижній частині й ті, що утворюють із рифлями плит і ґрат вентиляційний канал, причому в плоских кришках над вентиляційним каналом між поперечними пазами виконані щілинні отвори, а в нижній частині додатково поздовжні пази, в яких встановлені рухливі пластини із щілинними отворами, розташованими під щілинними отворами кришок, причому щілинні отвори суміжних кришок виконані в шаховому порядку, а нижня поверхня вентиляційного каналу між рифлями плит має уклін під кутом так, що перетин каналу зменшується від внутрішньопідлогового каналу до периферії.

UA 72178 U

UA 72178 U



Фиг. 1

UA 72178 U

Корисна модель належить до галузі механізації сільськогосподарських процесів, зокрема до пристроїв для охолодження й сушіння біологічної маси зернових культур і інших сільськогосподарських продуктів.

Відомий пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням, що має внутрішньопідлоговий канал з вентилятором, рифлені плити, які встановлені на площі підлоги, що вентиляється, решітку з рифлями та отворами, розміщеними поперек поздовжньої осі каналу. Для більш рівномірного розподілу повітря по масі, що вентиляється, використовуються П-подібні кришки, установлені в рифлях решіток і плит з утворенням лабіринту [А. с. СРСР №1498429. МПК А 01 F 25/08, бюл. №29. 1989].

Недоліками існуючого пристрою є висока енергоємність, конструктивна та експлуатаційна складність та трудомісткість в експлуатації. Крім того, існуючий пристрій не в змозі забезпечити рівномірний розподіл повітря у масі зерна, що вентиляється тому, що використовуються П-подібні кришки без отворів, що може привести до значного погіршення якості продукту, що зберігається.

Відомий пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням, що має внутрішньопідлоговий канал з вентилятором, покритий решіткою, яка має жорсткий перфорований каркас із захисною перфорованою поверхнею, розташованою з боку виходу повітряного потоку в зерновий насип та виконаною з можливістю заміни, решітка також обладнана висувними елементами, розташованими в горизонтально встановлених по її краях П-подібних пазах, а захисна перфорована поверхня виконана з двох симетрично розташованих відносно поздовжньої осі повітропідвідного каналу перфорованих поверхонь з різним характерним розміром перфорації [Патент України на корисну модель № 63870. МПК А01F 25/08, бюл. №20, 2011].

Недоліками існуючого пристрою є висока енергоємність, складність та трудомісткість в експлуатації, що обумовлена тим, що висувні елементи, розташовані в П-подібних пазах уздовж внутрішньопідлогового каналу й стикаються своєю перфорованою площиною з сипучим сільськогосподарським продуктом. Крім того, існуючий пристрій дозволяє регулювати розмір отворів в перфорованих поверхнях дискретно, що не в змозі забезпечити рівномірний розподіл повітря у масі сільськогосподарського продукту, що вентиляється.

Найбільш близьким аналогом пристрою, що заявляється, вибраним як прототип, є пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням, що містить внутрішньопідлоговий канал, з'єднаний із джерелом вентилявання, плити й ґрати, на яких виконані поперечні відносно внутрішньопідлогового каналу рифлі, причому в рифлях ґрати виконані отвори, і плоскі кришки з поперечними пазами в нижній частині й, що утворюють із рифлями плит і ґрат вентиляційний канал [А. с. СРСР №1704691. МПК А01F 25/08, бюл. №2. 1992].

До недоліків прототипу слід віднести високу енергоємність, складність та трудомісткість в експлуатації, наприклад, при зміні сільськогосподарських продуктів, що зберігаються, тому що в цьому випадку необхідно змінювати плоскі кришки з іншими поперечними пазами. Також, використання плоских кришок без отворів веде до нерівномірності розподілу повітряного потоку по ширині сільськогосподарського продукту. Виконання вентиляційного каналу постійного перетину знижує рівномірність розподілу повітряного потоку по висоті сільськогосподарського продукту за рахунок падіння тиску на периферії каналу.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення пристрою для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням шляхом виконання в плоских кришках щільних отворів, ширина яких плавно регулюється пересуванням по поздовжніх пазах рухливих пластин із щільними отворами, розташованими під щільними отворами кришок, підвищуючи тим самим рівномірність розподілу повітряного потоку по довжині й ширині сільськогосподарського продукту. А виконання вентиляційного каналу з перетином, що зменшується від внутрішньопідлогового каналу до периферії, створюючи повітродіподільник постійного тиску, підвищує рівномірність розподілу повітряного потоку по висоті сільськогосподарського продукту.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням, що містить внутрішньопідлоговий канал, з'єднаний із джерелом вентилявання, плити й ґрати, на яких виконані поперечні відносно внутрішньопідлогового каналу рифлі, причому в рифлях ґрат виконані отвори, і плоскі кришки з поперечними пазами в нижній частині й ті, що утворюють із рифлями плит і ґрат вентиляційний канал, згідно з корисною моделлю, в плоских кришках над вентиляційним каналом між поперечними пазами виконані щільні отвори, а в нижній частині додатково поздовжні пази, в яких встановлені рухливі пластини із щільними отворами, розташованими під щільними

отворами кришок, причому щілинні отвори суміжних кришок виконані в шаховому порядку, а нижня поверхня вентиляційного каналу між рифлями плит має уклін під кутом так, що перетин каналу зменшується від внутрішньопідлогового каналу до периферії.

5 Таке сполучення істотних ознак як виконання у плоских кришках над вентиляційним каналом між поперечними пазами щілинних отворів, довжина яких дорівнює ширині вентиляційного каналу, а ширину розкриття щілинних отворів регулюють рухливими пластинами із щілинними отворами, розташованими під щілинними отворами кришок, й виконання щілинних отворів суміжних кришок в шаховому порядку дозволяє зрівняти статичний тиск по всій площі активного вентилявання, підвищуючи тим самим рівномірність розподілу повітряного потоку по довжині й ширині сільськогосподарського продукту. Крім цього, виконання нижньої поверхні вентиляційного каналу між рифлями плит під кутом так, що перетин каналу зменшується від внутрішньопідлогового каналу до периферії, створює повітророзподільник постійного тиску, підвищуючи, тим самим, рівномірність розподілу повітряного потоку по висоті сільськогосподарського продукту.

15 У сукупності істотні ознаки дозволяють підвищити рівномірність розподілу повітряного потоку по довжині, ширині й висоті сільськогосподарського продукту, що скорочує час, наприклад, на охолодження зерна при зберіганні або на його сушіння.

Корисна модель пояснюється кресленнями: на фіг. 1 зображений пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням, загальний вид; на фіг. 2 - перетин А-А на фіг. 1; на фіг. 3 - основні елементи пристрою в аксонометрії.

20 Пристрій містить джерело вентилявання 1, внутрішньопідлоговий канал 2, ґрати 3, розташовані по вентиляційній поверхні підлоги плити 4. Між рифлями 5 ґрат 3 і плит 4 за допомогою плоскої кришки 6 виконані вентиляційні канали 7. Кришки 6 у нижній частині мають поперечні пази 8. Для герметизації стиків плити 4 і ґрати 3 вони з'єднані між собою за допомогою сполучного матеріалу 9. У ґратах 3 в області вентиляційних каналів 7 виконані наскрізні отвори 10, що з'єднують порожнину внутрішньопідлогового каналу 2 з порожниною вентиляційного каналу 7.

У плоских кришках 6 над вентиляційним каналом 7 між поперечними пазами 8 виконані щілинні отвори 11 довжина яких дорівнює ширині вентиляційного каналу 7. У нижній частині кришки 6 мають додатково поздовжні пази 12, у яких установлені рухливі пластини 13 із щілинними отворами 14, виконаними під щілинними отворами 11 кришок 6. Ширина розкриття щілинних отворів визначається еквівалентним діаметром сільськогосподарського продукту й повинна бути на 80...85 % менше його значення, що запобігає влучення сільськогосподарського продукту у вентиляційні канали установки. Щілинні отвори 11 суміжних кришок 6 виконані в шаховому порядку, що зрівнює статичний тиск по всій площі активного вентилявання, підвищуючи тим самим рівномірність розподілу повітряного потоку по довжині й ширині сільськогосподарського продукту. Нижня поверхня 15 вентиляційного каналу 7 між рифлями 5 плит 4 виконана під кутом так, що перетин каналу зменшується від внутрішньопідлогового каналу 2 до периферії, створюючи повітророзподільник постійного тиску й, підвищуючи, тим самим, рівномірність розподілу повітряного потоку по висоті сільськогосподарського продукту.

40 Пристрій працює наступним чином.

Перед початком завантаження зерносховища та ведення процесу активного вентилявання пересуванням рухливих пластин 13 із щілинними отворами 14, виконаними під щілинними отворами 11 кришок 6 уздовж пазу 12 регулюють ширину розкриття щілинних отворів. Ширина розкриття щілинних отворів 11 визначається еквівалентним діаметром сільськогосподарського продукту й повинна бути на 80...85 % менше його значення, що запобігає влучення сільськогосподарського продукту у вентиляційні канали установки.

Після завантаження зерносховища виконують процес активного вентилявання для охолодження, наприклад, зерна при зберіганні або на його сушіння. Повітря, яке надходить від джерела вентилявання 1 по внутрішньопідлоговому каналу 2, проходячи крізь отвори ґрат 3, надходить у вентиляційний канал 7, поширюється рівномірно по всій його довжині й крізь пази 8 і щілинні отвори 11 продувається крізь шар сільськогосподарських продуктів, наприклад зернових культур. При цьому, залежно від виду культури, можна підібрати оптимальну ширину розкриття щілинних отворів 11 і умови ведення процесу активного вентилявання за допомогою рухливих пластин 13.

Після закінчення терміну зберігання зерна та розвантаження зернового складу виконують підготовку зерносховища для обробки та зберігання інших зернових культур, при ньому перевагою є простота та мала трудомісткість переналадження пристрою на новий сільськогосподарський продукт.

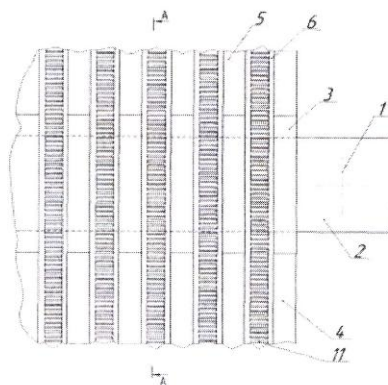
UA 72178 U

Застосування рухливих пластин із щілинними отворами в кришках над вентиляційним каналом дозволяє встановлювати будь-яку величину розкриття щілинних отворів у широких межах і застосовувати пристрій для різноманітних асортиментів сільськогосподарських продуктів.

- 5 Застосування корисної моделі дозволить підвищити рівномірність розподілу повітряного потоку по довжині, ширині й висоті сільськогосподарського продукту, що дозволить скоротити час, наприклад, на охолодження зерна при зберіганні або на його сушіння.

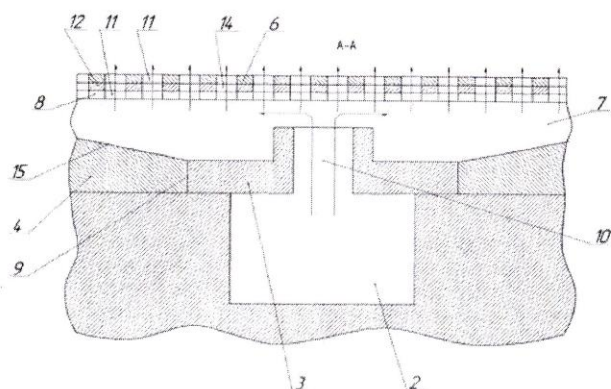
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 10 Пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням, що містить внутрішньопідлоговий канал, з'єднаний із джерелом вентилявання, плити й ґрати, на яких виконані поперечні відносно внутрішньопідлогового каналу рифлі, причому в рифлях ґрат виконані отвори, і плоскі кришки з поперечними пазами в нижній частині
- 15 й ті, що утворюють із рифлями плит і ґрат вентиляційний канал, який відрізняється тим, що в плоских кришках над вентиляційним каналом між поперечними пазами виконані щілинні отвори, а в нижній частині додатково поздовжні пази, в яких встановлені рухливі пластини із щілинними отворами, розташованими під щілинними отворами кришок, причому щілинні отвори суміжних кришок виконані в шаховому порядку, а нижня поверхня вентиляційного каналу між рифлями
- 20 плит має уклін під кутом так, що перетин каналу зменшується від внутрішньопідлогового каналу до периферії.

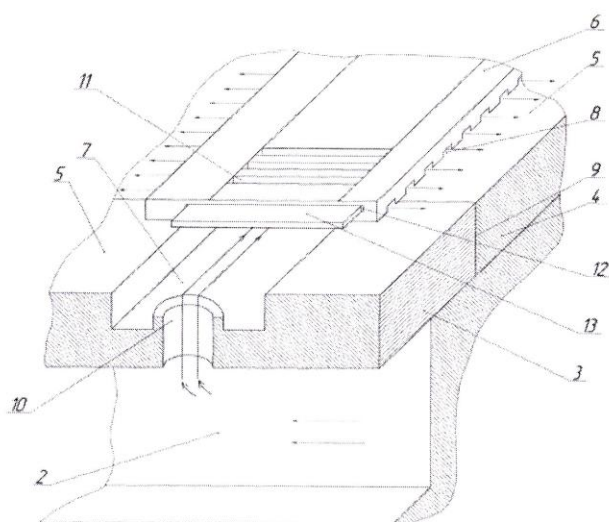


Фиг. 1

UA 72178 U



Фіг. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

(11) **72178**(19) **UA**(51) МПК
A01F 25/08 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2012 00850**

(22) Дата подання заявки: **27.01.2012**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.08.2012**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **10.08.2012, Бюл. № 15**

(72) Винахідники:
**Верхоланцева Валентина
Олександрівна, UA,
Ялпачик Володимир
Федорович, UA,
Гвоздєв Олександр
Вікторович, UA**

(73) Власник:
**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Б. Хмельницького, 18, м.
Мелітополь, Запорізька обл.,
72312, Україна, UA**

(54) Назва корисної моделі:

**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ Й СУШІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ
АКТИВНИМ ВЕНТИЛЮВАННЯМ**

(57) Формула корисної моделі:

Пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням, що містить внутрішньопідлоговий канал, з'єднаний із джерелом вентилявання, плити й ґрати, на яких виконані поперечні відносно внутрішньопідлогового каналу рифлі, причому в рифлях ґрат виконані отвори, і плоскі кришки з поперечними пазами в нижній частині й ті, що утворюють із рифлями плит і ґрат вентиляційний канал, який **відрізняється** тим, що в плоских кришках над вентиляційним каналом між поперечними пазами виконані щілинні отвори, а в нижній частині додатково поздовжні пази, в яких встановлені рухливі пластини із щілинними отворами, розташованими під щілинними отворами кришок, причому щілинні отвори суміжних кришок виконані в шаховому порядку, а нижня поверхня вентиляційного каналу між рифлями плит має уклін під кутом так, що перетин каналу зменшується від внутрішньопідлогового каналу до периферії.

Декларацийний патент № 72101





ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**
(51) МПК

(11) **72101**

(13) **U**

A01F 25/08 (2006.01)

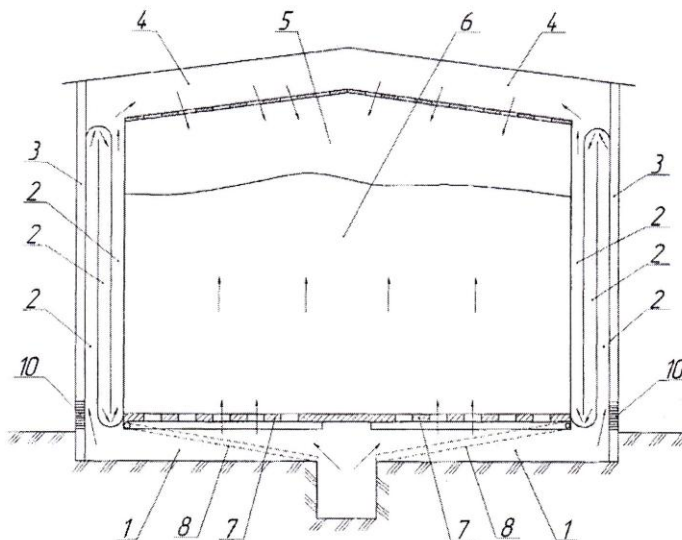
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2012 00055	(72) Винахідник(и): Верхоланцева Валентина Олександрівна (UA), Ялпачик Володимир Федорович (UA), Гвоздев Олександр Вікторович (UA)
(22) Дата подання заявки: 03.01.2012	(73) Власник(и): ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312, Україна (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.08.2012	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.08.2012, Бюл.№ 15	

(54) СПОСІБ ВЕНТИЛЮВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ В СХОВИЩАХ

(57) Реферат:

Спосіб вентилування сільськогосподарської продукції в сховищах включає подачу повітря послідовно через повітропідвідні канали, прошарки зовнішніх стін, прошарок горища й у приміщенні сховища над продукцією. Після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря його подають в продукцію у зворотному напрямку.



UA 72101 U

UA 72101 U

Корисна модель належить до способів зберігання сільськогосподарської продукції, зокрема до способів вентиляювання сільськогосподарської продукції в сховищах.

Відомий спосіб вентиляювання сільськогосподарської продукції в сховищах, що включає подачу повітря через повітропідвідні канали, прошарки зовнішніх стін й продукцію [А.с. СРСР № 1186139 МПК А01F25/08, бюл. № 39. 1985].

Недоліком відомого способу вентиляювання сільськогосподарської продукції в сховищах є зниження якості вентиляювання за рахунок можливого утворення конденсату на стельовому перекритті, що може призвести до зниження якості продукції.

Відомий спосіб вентиляювання сільськогосподарської продукції в сховищах, вибраний за найближчий аналог, що включає подачу повітря через повітропідвідні канали, прошарки зовнішніх стін, прошарок горища й продукцію [А.с. СРСР № 1771583 А01F25/08, бюл. № 40. 1992].

У відомому способі вентиляювання сільськогосподарської продукції в сховищах хоча і знижена можливість утворення конденсату на стельовому перекритті за рахунок того, що сховище має горище, але недоліком найближчого аналога є те, що повітря проходить прошарки зовнішніх стін паралельно й є можливість утворення конденсату на зовнішньому прошарку, особливо при значних перепадах зовнішньої температури й температури у сховищі. А це також може призвести до зниження якості продукції.

В основу корисної моделі поставлена задача: у способі вентиляювання сільськогосподарської продукції в сховищах шляхом узгодження температурного режиму вентиляювання при широкому діапазоні різниці температур ззовні й усередині сховища за рахунок поступового вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища, повітря й продукції без утворення конденсату, подачі повітря з зон низьких температур у зони з підвищеною температурою, підвищується інтенсифікація процесу та якість продукції.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі вентиляювання сільськогосподарської продукції в сховищах, що включає подачу повітря через повітропідвідні канали, прошарки зовнішніх стін, прошарок горища й продукцію, згідно з корисною моделлю, подачу повітря здійснюють у наступній послідовності: спочатку повітря подають у повітропідвідні канали й прошарки зовнішніх стін послідовно, починаючи від зовнішнього прошарку з подальшою подачею повітря в прошарок горища й у приміщення сховища над продукцією, потім після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря його подають в продукцію у зворотному напрямку.

Корисна модель пояснюється кресленням, на якому зображено сховище, поперечний розріз зі схемою руху вентиляюваного повітря.

Як показано на кресленні, сховище для здійснення способу вентиляювання сільськогосподарської продукції містить повітропідвідні канали 1, прошарки 2 зовнішніх стін 3, прошарок горища 4, приміщення сховища над продукцією 5 й продукцію 6. Над каналами 1 встановлені перфоровані грати 7, які можуть перекриватися поворотними заслінками 8, що встановлені на осях 9 (на кресленні не позначено). Зовнішні стінки 3 у нижній частині мають жалюзійні отвори 10.

Заявлений спосіб реалізується таким чином.

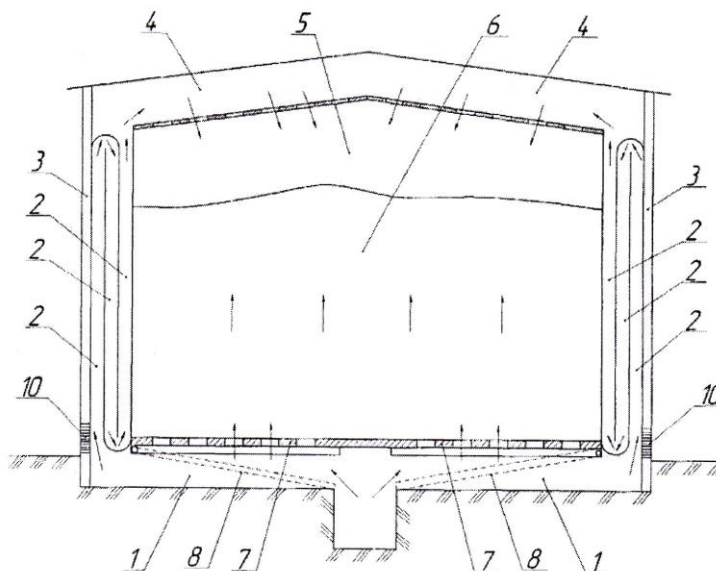
Спочатку повітря подають в повітропідвідні канали 1 і прошарки 2 зовнішніх стін 3, починаючи з зовнішнього прошарку, забезпечує тим самим поступовий перепад температур без утворення конденсату. Після проходження повітря крізь прошарки 2 зовнішніх стін 3, він надходить в прошарок горища 4 й приміщення сховища над продукцією 5. Після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря, поворотні заслінки 8 опускають на днище повітропідвідного каналу 1 і повітря подають крізь перфоровані грати 7 в продукцію 6 у зворотному напрямку. Тепер повітря, що пройшло крізь продукцію 6 повертається у зворотному напрямку крізь прошарок горища 4, прошарки 2 зовнішніх стін 3 та виходить в жалюзійні отвори 10, забезпечує тим самим стабільність температур по всьому простору сховища та продукції.

Таким чином, створення спрямованих потоків повітря спочатку крізь прошарки зовнішніх стін послідовно, починаючи від зовнішнього прошарку з подальшою подачею повітря в прошарок горища й у приміщення сховища над продукцією забезпечує поступовий перепад температур без утворення конденсату, а після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря, подача повітря у зворотному напрямку крізь продукцію забезпечує інтенсифікацію процесу вентиляювання сільськогосподарської продукції в сховищах, що дозволяє раціонально організувати робочий процес вентиляювання та підвищити якість процесу.

UA 72101 U

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

5 Спосіб вентилявання сільськогосподарської продукції в сховищах, що включає подачу повітря через повітропідвідні канали, прошарки зовнішніх стін, прошарок горища й продукцію, який відрізняється тим, що подачу повітря здійснюють у наступній послідовності: спочатку повітря подають у повітропідвідні канали й прошарки зовнішніх стін послідовно, починаючи від зовнішнього прошарку з подальшою подачею повітря в прошарок горища й у приміщення сховища над продукцією, потім після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря його подають в продукцію у зворотному напрямку.



Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

(11) **72101**(19) **UA**(51) **МПК****A01F 25/08 (2006.01)**(21) Номер заявки: **u 2012 00055**(22) Дата подання заявки: **03.01.2012**(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.08.2012**(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **10.08.2012, Бюл. № 15**

(72) Винахідники:

**Верхоланцева Валентина
Олександрівна, UA,
Ялпачик Володимир
Федорович, UA,
Гвоздєв Олександр
Вікторович, UA**

(73) Власник:

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Б. Хмельницького, 18, м.
Мелітополь, Запорізька обл.,
72312, Україна, UA**

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ВЕНТИЛЮВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ В СХОВИЩАХ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб вентилування сільськогосподарської продукції в сховищах, що включає подачу повітря через повітропідвідні канали, прошарки зовнішніх стін, прошарок горища й продукцію, який **відрізняється** тим, що подачу повітря здійснюють у наступній послідовності: спочатку повітря подають у повітропідвідні канали й прошарки зовнішніх стін послідовно, починаючи від зовнішнього прошарку з подальшою подачею повітря в прошарок горища й у приміщення сховища над продукцією, потім після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря його подають в продукцію у зворотному напрямку.

Деклараційний патент № 72541





ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**
(51) МПК

(11) **72541**

(13) **U**

A01F 25/08 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2012 00033	(72) Винахідник(и): Верхоланцева Валентина Олександрівна (UA), Ялпачик Володимир Федорович (UA), Гвоздев Олександр Вікторович (UA)
(22) Дата подання заявки: 03.01.2012	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.08.2012	(73) Власник(и): ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312, Україна (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.08.2012, Бюл.№ 16	

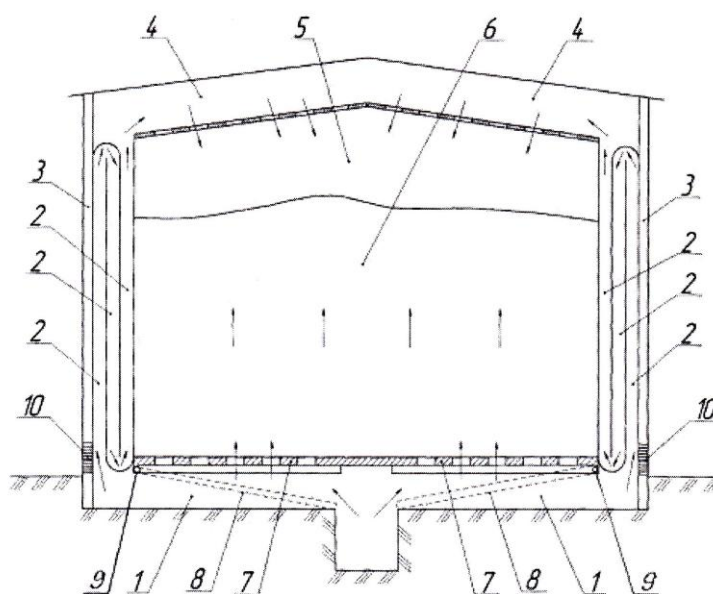
(54) СХОВИЩЕ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

(57) Реферат:

Сховище для зберігання сільськогосподарської продукції містить дах, зовнішні стінки із прошарками, з'єднаними з повітропідвідними каналами системи активної вентиляції й прошарком горища з перфорованим стельовим перекриттям. Прошарки зовнішніх стін розміщені з можливістю послідовного з'єднання з повітропідвідними каналами системи активної вентиляції й прошарком горища. Зовнішні стінки в нижній частині оснащені жалюзійними отворами, з'єднаними із прошарками й повітропідвідними каналами з поворотними заслінками.

UA 72541 U

UA 72541 U



UA 72541 U

Корисна модель належить до способів зберігання сільськогосподарської продукції, зокрема до пристроїв вентилявання сільськогосподарської продукції в сховищах.

Відоме сховище для сільськогосподарської продукції, що містить стельове перекриття, зовнішні стінки із прошарком, з'єднані з повітропідвідними каналами системи активної вентиляції, які оснащені поворотними заслінками [А.с. СРСР № 1186139 МПК А01F25/08, бюл № 39, 1985].

Недоліком відомого сховища для сільськогосподарської продукції є зниження якості вентилявання за рахунок можливого утворення конденсату на стельовому перекритті та зовнішніх стінках, особливо при значній різниці температур зовнішнього та внутрішнього повітря, що може привести до зниження якості продукції.

Відоме сховище для сільськогосподарської продукції, вибране за найближчий аналог, що містить дах, зовнішні стінки із прошарками, з'єднаними з повітропідвідними каналами системи активної вентиляції й прошарком горища з перфорованим стельовим перекриттям [А.с. СРСР № 1771583 А01F25/08, бюл. № 40, 1992].

У відомому сховищі для сільськогосподарської продукції хоча і знижена можливість утворення конденсату на стельовому перекритті за рахунок того, що сховище має горище, але важливим недоліком найближчого аналога є те, що повітря проходить прошарки зовнішніх стін паралельно і є можливість утворення конденсату на зовнішньому прошарку, особливо при значних перепадах зовнішньої температури й температури у сховищі, й неможливість регулювання напрямком та розподілом повітря при подачі його або крізь прошарки зовнішніх стін і горища, або крізь продукцію. А це також може привести до зниження якості продукції.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення сховища для зберігання сільськогосподарської продукції, в якому шляхом зміни конструктивно-технологічної схеми сховища, забезпечується регулювання температури повітря у відповідності до температури продукції, інтенсивності активного вентилявання. За рахунок цього підвищується продуктивність сховища та якість продукції.

Поставлена задача вирішується тим, що в сховищі для зберігання сільськогосподарської продукції, що містить дах, зовнішні стінки із прошарками, з'єднаними з повітропідвідними каналами системи активної вентиляції й прошарком горища з перфорованим стельовим перекриттям, згідно з корисною моделлю, прошарки зовнішніх стін розміщені з можливістю послідовного з'єднання з повітропідвідними каналами системи активної вентиляції й прошарком горища, а зовнішні стінки в нижній частині оснащені жалюзійними отворами, з'єднаними із прошарками й повітропідвідними каналами, які в області розміщення продукції оснащені поворотними заслінками для регулювання подачі повітря або крізь прошарки зовнішніх стін і горища, або крізь продукцію.

Таке сполучення суттєвих ознак, як виконання прошарків зовнішніх стін з можливістю послідовного з'єднання з повітропідвідними каналами системи активної вентиляції й прошарком горища, дозволяє поступово знижувати або підвищувати температуру повітря й вирівнювати її з температурою продукції без утворення конденсату на стельовому перекритті, зовнішніх стінках та продукції. А оснащення зовнішніх стінок в нижній частині жалюзійними отворами, з'єднаними із прошарками й повітропідвідними каналами, які в області розміщення продукції оснащені поворотними заслінками для регулювання подачі повітря або крізь прошарки зовнішніх стін і горища, або крізь продукцію, дозволяє у широких межах регулювати інтенсивність активного вентилявання. У сукупності істотні ознаки дозволяють підвищити продуктивність сховища та якість продукції у порівнянні з найближчим аналогом.

Корисна модель пояснюється кресленням, на якому зображено сховище, поперечний розріз зі схемою руху вентиляваного повітря.

Як показано на фігурі, сховище для зберігання сільськогосподарської продукції містить повітропідвідні канали 1, прошарки 2 зовнішніх стін 3, прошарок горища 4, приміщення сховища над продукцією 5 й продукцію 6. Над каналами 1 встановлені перфоровані грати 7, які можуть перекриватися поворотними заслінками 8, що встановлені на осях 9. Зовнішні стінки 3 у нижній частині мають жалюзійні отвори 10 для регулювання подачі повітря або крізь прошарки 2 зовнішніх стін і горища 4, або крізь продукцію 6.

Вентилювання продукції в сховищі здійснюють у такий спосіб.

Спочатку повітря подають в повітропідвідні канали й прошарки 2 зовнішніх стін 3, починаючи з зовнішнього прошарку, забезпечуючи тим самим поступовий перепад температур без утворення конденсату. При цьому жалюзійні отвори 10 зовнішніх стін закриті. Після проходження повітря крізь прошарки 2 зовнішніх стін 3, він поступає в прошарок горища 4 й приміщення сховища над продукцією 5. Після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря, поворотні заслінки 8 опускають на днище повітропідвідного

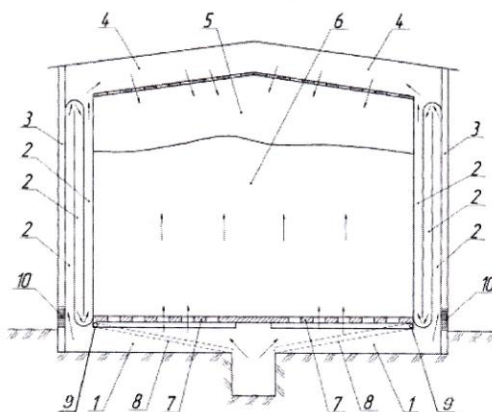
UA 72541 U

каналу 1 і повітря подають крізь перфоровані ґрати 7 в продукцію 6 у зворотному напрямку. Тепер повітря, що пройшло крізь продукцію 6, вертається у зворотному напрямку крізь прошарок горища 4, прошарки 2 зовнішніх стін 3 та виходить в жалюзійні отвори 10, забезпечує тим самим стабільність температур по всьому простору сховища та продукції.

- 5 Таким чином, створення спрямованих потоків повітря спочатку крізь прошарки зовнішніх стін послідовно, починаючи від зовнішнього прошарку з подальшою подачею повітря в прошарок горища й у приміщення сховища над продукцією забезпечує поступовий перепад температур без утворення конденсату, а після вирівнювання температур стінок повітропроводів, прошарків зовнішніх стін, горища й повітря, подача повітря у зворотному напрямку крізь продукцію
- 10 забезпечує інтенсифікацію процесу вентилявання сільськогосподарської продукції в сховище, що дозволяє раціонально організувати робочий процес вентилявання та підвищити якість продукції.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 15 Сховище для зберігання сільськогосподарської продукції, що містить дах, зовнішні стінки із прошарками, з'єднаними з повітропідвідними каналами системи активної вентиляції й прошарком горища з перфорованим стельовим перекриттям, яке відрізняється тим, що
- 20 прошарки зовнішніх стін розміщені з можливістю послідовного з'єднання з повітропідвідними каналами системи активної вентиляції й прошарком горища, а зовнішні стінки в нижній частині оснащені жалюзійними отворами, з'єднаними із прошарками й повітропідвідними каналами, які в області розміщення продукції оснащені поворотними заслінками.



Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

(11) **72541**(19) **UA**(51) МПК
A01F 25/08 (2006.01)(21) Номер заявки: **u 2012 00033**(22) Дата подання заявки: **03.01.2012**(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **27.08.2012**(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **27.08.2012, Бюл. № 16**(72) Винахідники:
**Верхоланцева Валентина
Олександрівна, UA,
Ялпачик Володимир
Федорович, UA,
Гвоздев Олександр
Вікторович, UA**(73) Власник:
**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Б. Хмельницького, 18, м.
Мелітополь, Запорізька обл.,
72312, Україна, UA**

(54) Назва корисної моделі:

СХОВИЩЕ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

(57) Формула корисної моделі:

Сховище для зберігання сільськогосподарської продукції, що містить дах, зовнішні стінки із прошарками, з'єднаними з повітропідвідними каналами системи активної вентиляції й прошарком горища з перфорованим стельовим перекриттям, яке **відрізняється** тим, що прошарки зовнішніх стін розміщені з можливістю послідовного з'єднання з повітропідвідними каналами системи активної вентиляції й прошарком горища, а зовнішні стінки в нижній частині оснащені жалюзійними отворами, з'єднаними із прошарками й повітропідвідними каналами, які в області розміщення продукції оснащені поворотними заслінками.

Додаток Г

**Матриці коефіцієнтів кореляції по показникам якості для двох
зерносховищ**

Додаток Г1

Матриця коефіцієнтів кореляції для вмісту клейковини в залежності від досліджуваних параметрів для першого зерносховища

Фактори	Результуючі ознаки		
	Терміни зберігання, (x ₁)	Середня температура зерна в зерносховищі (x ₂)	Клейковина (Y)
Терміни зберігання, місяць – x ₁	1,00	-0,98	0,96
Середня температура зерна в зерносховищі, t _{ср} – x ₂	-0,98	1,00	-0,97
Клейковина, % Y	0,96	-0,97	1,00
Середнє	3,50	3,17	27,62
Стандартне відхилення	1,87	2,79	0,19

Додаток Г2

Матриця коефіцієнтів кореляції для вмісту клейковини в залежності від досліджуваних параметрів для другого зерносховища

Фактори	Результуючі ознаки		
	Терміни зберігання (x ₁)	Середня температура зерна в зерносховищі, (x ₂)	Клейковина (Y)
Терміни зберігання, місяць – x ₁	1,00	-0,97	0,94
Середня температура зерна в зерносховищі, t _{ср} – x ₂	-0,97	1,00	-0,93
Клейковина, % Y	0,94	-0,93	1,00
Середнє відхилення	3,50	10,97	27,93
Стандартне відхилення	1,87	1,73	0,40

Матриця коефіцієнтів кореляції між факторами і результуючою ознакою
індексом деформації клейковини для першого зернохосовища

Фактори	Результуючі ознаки		
	Термін зберігання (x_1)	Середня температура зерна в зернохосовищі (x_2)	Індекс деформації клейковини (Y)
Термін зберігання, місяць – x_1	1,00	-0,98	-0,97
Середня температура зерна в зернохосовищі, t_{cp} – x_2	-0,98	1,00	0,95
ІДК, % Y	-0,97	0,95	1,00
Середнє	3,50	3,17	63,83
Стандартне відхилення	1,87	2,79	3,71

Матриця коефіцієнтів кореляції між факторами і результуючою ознакою
індексом деформації клейковини для другого зернохосовища

Фактори	Результуючі ознаки		
	Термін зберігання (x_1)	Середня температура зерна в зернохосовищі (x_2)	ІДК (Y)
Термін зберігання, місяць – x_1	1,00	-0,97	-0,97
Середня температура зерна в зернохосовищі, t_{cp} – x_2	-0,97	1,00	0,97
ІДК, % Y	-0,97	0,97	1,00
Середнє	3,50	10,97	71,00
Стандартне відхилення	1,87	1,73	2,76

Додаток Г5

Матриця коефіцієнтів кореляції між факторами і результуючою вологість для першого зерносховища.

Фактори	Результуючі ознаки		
	Термін зберігання (x_1)	Середня температура зерна в зерносховищі (x_2)	Вологість (Y)
Термін зберігання, місяць - x_1	1,0	-1,0	-0,8
Середня температура зерна в зерносховищі, t_{cp} - x_2	-1,0	1,0	0,8
Вологість, % Y	-0,8	0,8	1,0
Середнє	3,5	3,2	12,3
Стандартне відхилення	1,9	2,8	0,4

Додаток Г6

Оптимізація параметрів досліджуваної моделі за вологістю для другого зерносховища

Фактори	Результуючі ознаки		
	Термін зберігання (x_1)	Середня температура зерна у зерносховищі (x_2)	Термін зберігання (x_1)
Середня температура зерна в зерносховищі, t_{cp} - x_2	-0,97	1,00	0,76
Вологість, % Y	-0,84	0,76	1,00
Середнє	3,50	10,97	12,47
Стандартне відхилення	1,87	1,73	0,56

Додаток Д

Параметри оптимізації ІДК для першого та другого зерносховища

Лістинг обчислювального блоку для зерносховища № 1.

$$x_1 := 0 \quad x_2 := 0$$

$$y = (x_1, x_2) := -45 + 38.5x_1 - 33.5x_2 - 3.5x_1^2 - 5.86x_1 \cdot x_2 - 2.34x_2^2$$

Given

$$x_1 \leq 6 \quad x_2 \geq 0$$

$$x_1 \geq 1 \quad x_2 \leq 7 \quad y(x_1, x_2) < 68$$

$$x_2 \geq 0 \quad y(x_1, x_2) > 50$$

$$R := \maximize(y, x_1, x_2)$$

$$R = \left(\frac{5.5}{0} \right) \quad y(5.5, 0) = 60.875$$

Лістинг обчислювального блоку для зерносховища № 2.

$$x_1 := 0 \quad x_2 := 0$$

$$y = (x_1, x_2) := 57.32 + 1.61x_1 + 0.55x_2 + 0.23x_1^2 - 0.18x_1 \cdot x_2 + 0.067x_2^2$$

Given

$$x_1 \geq 1 \quad x_2 \geq 8$$

$$x_1 \leq 6 \quad x_2 \leq 13$$

$$x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0 \quad y(x_1, x_2) < 70$$

$$R := minimize(y, x_1, x_2)$$

$$R = \left(\frac{1}{8} \right) \quad y(1, 8) = 66.408$$

Додаток Е

Матриця планування багатofакторного експерименту

Трифакторна матриця для визначення оптимальних параметрів процесу зберігання зернової продукції

№ дослід	Фактори				Параметри				
	x ₁	x ₂	x ₃	F (x ₁ , x ₂ , x ₃)	W, %	P, м ³ /год	T, °C	K, %	N, кВт/т
1	+	+	+	+	16	5800	13	22	11
2	-	+	+	+	10	5800	13	21	10
3	+	-	+	+	16	5200	13	20	10,5
4	-	-	+	+	10	5200	13	22	10
5	+	+	-	+	16	5800	7	21	12
6	-	+	-	+	10	5800	7	23	11,2
7	+	-	-	+	16	5200	7	21	11,9
8	-	-	-	+	10	5200	7	22	11
9	+A	0	0	+	19	5500	10	20	11,2
10	-A	0	0	+	7	5500	10	24	10,5
11	0	+A	0	+	13	6100	10	25	11
12	0	-A	0	+	13	4900	10	23	11
13	0	0	+A	+	13	5500	16	20	12
14	0	0	-A	+	13	5500	4	27	15
15	0	0	0	+	13	5500	10	26	9,15
16	0	0	0	+	13	5500	10	26	9,15

W – вологість оброблюваного матеріалу; P – об'ємна подача повітря ; T – температура; K – масова частка клейковини

Додаток Ж

Акти впровадження результатів науково-дослідної роботи



Затверджено:
Директор ФОН «Шевчик»
Олександр Федорович

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ У ГОСПОДАРСТВО НАУКОВО – ТЕХНІЧНИХ РОЗРОБОК

Найменування впровадження. Пристрій для охолодження та сушіння сільськогосподарських продуктів активним вентиляванням, згідно формул патентів України на корисні моделі: № 72178. Бюл. № 15 від 10.08.2012, №72101. Бюл.15 від 10.08.2012 та №72541 Бюл.16 від 27.08.2012.

Ким запропонована до впровадження науково-технічна розробка Таврійським державним агротехнологічним університетом (ТДАТУ). Робота містить результати досліджень, виконаних автором у межах науково-дослідної роботи кафедри обладнання переробних і харчових виробництв Таврійського державного агротехнічного університету "Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції" державний реєстраційний номер (0111U002551).

Найменування підприємства де здійснено впровадження. ФОП «Шевчик»

Строки впровадження. 2014 – 2015.

Об'єм впровадження. 300 000 т зерна.

У рамках договору про спільне науково-технічне співробітництво виконані наступні роботи: перевірка основних технічних параметрів зерносховища й оцінка якості зерна при зберіганні.

Економічний ефект від впровадження. Річний економічний ефект становить 156 тис.грн.

Відповідальні виконавці впровадження:

від господарства



Олександр Федорович О.Ф. Шевчик

від ТДАТУ

зав.каф.ОПХВ,професор

Ф.Ю.Ялпачик Ф.Ю.Ялпачик

зав.каф.ТКМ, к.т.н.

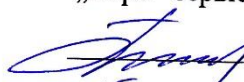
Кюрчев С.В. Кюрчев С.В.

аспірант кафедри ТКМ

Верхоланцева В.О. Верхоланцева В.О.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор товариства з
обмеженою відповідальністю
„Агро –сервіс”

 М.Ф. Бандура
« 15 » 101 2015р.

**Акт впровадження
результатів науково-дослідної роботи по зберігання пшениці зі
застосуванням охолодження, що використані у хлібобулочному
виробництві**

Комісія у складі представників ТОВ „Агро-сервіс”

Бандура М.Ф., Пшонков А.В.,
Верхунов О.А.

з однієї сторони, і представників Таврійського державного
агротехнологічного університету канд. техн. наук Кюрчева С.В., асистента
Верхоланцева В.О., з другої сторони, склали даний акт, про те що у ТОВ
„Агро-сервіс” впроваджено для хлібобулочного виробництва використання
пшениці, яка зберігалася у зерносховищі із застосуванням охолодження.



Від ТОВ „Агро-сервіс”
Директор

М.Ф.Бандура

Від ТДАТУ
канд. тех. наук, завідувач кафедри
технологій конструкційних матеріалів

 С.В. Кюрчев

асистент кафедри обладнання
переробних і харчових виробництв

 В.О. Верховланцева

Додаток 3

Акт впровадження у навчальний процес



Затверджую
Проректор з НІП
к.т.н., доц.

О.П. Ломейко

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

За матеріалами наукових досліджень процесу охолодження пшениці асистента кафедри «Обладнання переробних і харчових виробництв» В.О. Верхованцевої, авторським колективом у складі Ф.Ю. Ялпачика, С.В. Кюрчева, В.О. Верхованцевої підготовлені методичні вказівки «Вивчення процесу охолодження зерна у зерносховищі» для студентів з напрямків підготовки 7.05050313 та 8.05050313 «Обладнання переробних і харчових виробництв» по дисципліні «Обладнання складів».

Експериментальна установка для вивчення процесу охолодження зерна розроблена асистентом В.О. Верхованцевою використовується при виконанні курсових та дипломних робіт, пов'язаних зі зберіганням зернових культур, а також в науково-дослідній роботі студентів та аспірантів.

Зав. кафедрою ОПХВ

к.т.н., професор

Ф.Ю. Ялпачик