

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

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

**Обґрунтування процесу зберігання зерна в
охолодженому стані**

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

_____ Леонід ТЕМЧЕНКО

Керівник: _____ Юрій ЧУРСІНОВ

Рецензент: _____ Владислав ГРИЦИШИН

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій
Ступінь вищої освіти: «Магістр»
Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»
Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«09» листопада 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Темченку Леоніду Григоровичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування процесу зберігання зерна в охолодженому стані».
Керівник роботи: Чурсінов Юрій Олександрович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом закладу вищої освіти від «09» листопада 2023 року № 3423.
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 08 грудня 2023 року
3. Вихідні дані до роботи: 1. Літературні джерела та періодичні видання. 2. Наукова та науково-технічна документація, що стосується питань первинної обробки зерна, зокрема зберігання в охолодженому стані з застосуванням бункерів активного вентилявання. 3. Нормативно-технологічна документація. 4. Патентна документація.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Сучасний стан проблеми післязбирального обробітку зерна. 2 Теоретичні передпосилання процесу зберігання зерна в холоді при його вентиляванні. 3 Експериментальні дослідження зберігання шару зерна в охолодженому стані, що радіально продувається. 4 Практичне впровадження отриманих результатів. 5 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 6 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Стан питання. 2. Мета та задачі досліджень. 3. Результати експериментальних досліджень. 4 Практичне впровадження отриманих результатів. 5 Кошторис витрат на проведення досліджень. 6 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, прізвище та ім'я консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 4	професор ЧУРСІНОВ Юрій	09.11.2023	08.12.2023
5	професор ЧУРСІНОВ Юрій	09.11.2023	08.12.2023
6	професор ЧУРСІНОВ Юрій	09.11.2023	08.12.2023

7. Дата видачі завдання 09 листопада 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	09.11-10.11.23	виконано
2	Сучасний стан проблеми післязбирального обробітку зерна	13.11-15.11.23	виконано
3	Теоретичні передпосилання процесу зберігання зерна в холоді при його вентиляванні	16.11-17.11.23	виконано
4	Експериментальні дослідження зберігання шару зерна в охоложеному стані, що радіально продувається	20.11-22.11.23	виконано
5	Практичне впровадження отриманих результатів	23.11-28.11.23	виконано
6	Охорона праці та захист навколишнього середовища	29.11-30.11.23	виконано
7	Організаційно-економічна частина	01.12-04.12.23	виконано
8	Загальні висновки та бібліографія	05.12-06.12.23	виконано
9	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	07.12.2023	виконано

Здобувач вищої освіти _____ Леонід ТЕМЧЕНКО
(підпис)

Керівник роботи _____ Юрій ЧУРСІНОВ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської роботи містить: 87 сторінок друкованого тексту, 26 рисунків та ілюстрацій, 8 таблиць та використано 47 літературних джерел.

Мета роботи – дослідження та обґрунтування режимів і циклів зберігання зерна в охолодженому стані шляхом вентилявання в металевих сховищах циліндричного типу.

Об'єктами досліджень є технологічні процеси зберігання зерна в охолодженому стані, що продувається.

Предметом дослідження є режими роботи сховищ зерна при продувці їх охолодженим повітрям і процеси, що відбуваються в зерном шарі на різній висоті від місця подачі повітря.

Постійне нарощування виробництва зерна в розвинених країнах нерозривно пов'язано зі створеною за багато десятиліть і періодично вдосконалюваною системною інфраструктурою збирання, обробки, зберігання і реалізації врожаю. В Україні, де в основі своїй, така системна інфраструктура не була створена, експлуатована на даних технологічних операціях техніка має значний знос, що перевищує в 2...3 рази паспортний термін служби у зерновиробників, і в 1,5...2 рази в системах зберігання (елеватори) і у переробників зернової продукції. Зарубіжний досвід показує, що гарантоване збереження врожаю забезпечують збалансована системи тимчасового і тривалого його зберігання. Отже, розробка нових та удосконалення діючих систем для тимчасового та тривалого зберігання зерна є актуальним завданням.

Ключові слова: РОБОТА, АКТИВНЕ ВЕНТИЛЮВАННЯ, ХОЛОД, СИЛОС, ДОСЛІДЖЕННЯ, МАТРИЦЯ, ПЛАНУВАННЯ, ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА, АДЕКВАТНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО ОБРОБІТКУ ЗЕРНА	9
1.1 Узагальнення класифікаційних, технологічних і конструктивних ознак зерноскладищ	9
1.2 Аналіз результатів досліджень і вибір напрямів експериментальних робіт	28
Висновки за розділом	31
2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДПОСИЛАННЯ ПРОЦЕСУ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА В ХОЛОДІ ПРИ ЙОГО ВЕНТИЛЮВАННІ	33
2.1 Вихідні передумови для обґрунтування режимів зберігання зерна при вентиляванні зернової маси холодим повітрям	33
2.2 Методика інженерного розрахунку основних параметрів, що сприяють видаленню вологи з зернової маси, що зберігається в охолодженому стані	36
Висновки за розділом	43
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБЕРІГАННЯ ШАРУ ЗЕРНА В ОХОЛОДЖЕНОМУ СТАНІ, ЩО РАДІАЛЬНО ПРОДУВАЄТЬСЯ	44
3.1 Програма та методика експериментальних досліджень	44
3.2 Результати вивчення процесу зберігання зерна в холоді і нерівномірності розподілу температур в шарі зерна, що радіально продувається	46
Висновки за розділом	52
4 ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	53
4.1 Результати вивчення процесу зберігання зерна в охолодженому стані з вентилявання атмосферним повітрям	53
4.1.1 Результати вентилявання зерна атмосферним повітрям в насіпу (буртах)	53
4.1.2 Результати вивчення вентилявання зерна в кільцевому шарі	56
4.1.3 Результати вивчення вентилявання зерна в вертикально продувається атмосферним повітрям шарі	61

4.2 Практична реалізація та вивчення експлуатаційних можливостей зберігання зерна в вентилятованих ємностях	67
Висновки за розділом	68
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	70
5.1 Розробка організаційно-технологічної карти	70
5.2 Утилізація відходів на елеваторі ТОВ «Павлоградзернопродукт»	71
Висновки за розділом	72
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	73
6.1 Організація проведення дослідження	73
6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження	75
6.3 Розрахунок ціни дослідження	78
Висновки за розділом	78
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	79
БІБЛІОГРАФІЯ	81

Постійне нарощування виробництва зерна в розвинених країнах нерозривно пов'язано зі створеною за багато десятиліть і періодично вдосконалюваною системною інфраструктурою збирання, обробки, зберігання і реалізації врожаю. В Україні, де в основі своїй, така системна інфраструктура не була створена, експлуатована на даних технологічних операціях техніка має значний знос, що перевищує в 2...3 рази паспортний термін служби у зерновиробників, і в 1,5...2 рази в системах зберігання (елеватори) і у переробників зернової продукції. Зарубіжний досвід показує, що гарантоване збереження врожаю забезпечують збалансована системи тимчасового і тривалого його зберігання. Тому основою підвищення виробництва зерна в країні можна визнати створення, в першу чергу у зерновиробників, відповідної сучасним вимогам матеріально-технічної бази (МТБ) обробки і тимчасового зберігання зібраного врожаю, а в другу, одночасно з першою, розвиток системної інфраструктури, в якій гарантоване тимчасове і тривале зберігання зерна сприятиме стабілізації цін на нього і продовольчої безпеки країни.

Оцінка діяльності західноєвропейських фірм, зайнятих виробництвом техніки для післязбиральної обробки і зберігання зерна, показує, що більшість з них на основі асоціаційного об'єднання, займаються проектуванням, будівництвом і монтажем під «ключ» технологічних ліній. При цьому підрядники за контрактом із замовником залишають за собою право на технічне обслуговування, ремонт і модернізацію створюваного ними об'єкта. Особливе місце при розробці подібних об'єктів приділяється зниженню енергоспоживання на проведення технологічних операцій, екології та умов праці обслуговуючого персоналу.

В даний час вітчизняна промисловість не випускає технологічно та технічно обґрунтованої техніки та обладнання для зберігання зерна.

Таким чином, викладене дозволяє зробити висновок, що вітчизняна промисловість практично не випускає металеві зерносховища необхідної номенклатури. Наявний закордонний досвід по виробництву і експлуатації

металевих зерносховищ в аграрному секторі України, особливо місткістю понад 100 тон, вельми обмежений і в найближчій перспективі не може бути однозначно відтворений, тому що він не відповідає ринковим ціновим умовам, що склалися за кордоном, а в Україні економічним.

Дана робота присвячена узагальненню класифікаційних ознак зерносховищ і обґрунтуванню терморежимів і циклів вентилявання зерна в металевих зерносховищах і циліндричних силосах з вертикальною і радіальною подачею повітря в зернову масу.

Мета роботи – дослідження та обґрунтування режимів і циклів зберігання зерна в охолодженому стані шляхом вентилявання в металевих сховищах циліндричного типу.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі досліджень:

- розробка узагальненої схеми класифікаційних ознак, технологічних особливостей і основних прийомів зберігання зерна;
- обґрунтування методики розрахунку процесу зберігання зерна в холоді за умови його вентилявання;
- розробка методичної структури експериментально-теоретичних досліджень шару зерна, що продувається холодом;
- дослідження експлуатаційних можливостей і оцінка умов зберігання зернової маси при радіальній і вертикальній продувці її холодним та атмосферним повітрям;
- провести розрахунок витрат на проведення досліджень.

Об'єктами досліджень є технологічні процеси зберігання зерна в охолодженому стані, що продувається.

Предметом дослідження є режими роботи сховищ зерна при продувці їх охолодженим повітрям і процеси, що відбуваються в зерном шарі на різній висоті від місця подачі повітря.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО ОБРОБІТКУ ЗЕРНА

1.1 Узагальнення класифікаційних, технологічних і конструктивних ознак зерноскладищ

Різноманіття класифікаційних ознак, притаманних зерноскладищам, позбавила змоги створення єдиної системи їх класифікації, без якої дуже складно віддати перевагу тій чи іншій конструкції, вибрати правильне рішення при їх розробці та обґрунтувати режими експлуатації в залежності від використання в технологічній лінії необхідного призначення і умов зберігання зерна. У даній роботі, попутно з метою описання відомих систем для зберігання зерна і елементів конструкції, що входять до них, нами зроблена спроба, скласти таку класифікацію. Вона включає в себе чотири складових ознаки сталості об'єкта у вигляді зерноскладища (табл. 1.1). До цих ознак ми віднесли (рис. 1.1): технологію зберігання зерна, конструкцію одиничного складища, режим роботи і технологічну схему аеродинамічної розподільчої системи і варіанти компоновок одиничних складищ.

Технологія зберігання зерна в першу чергу залежить від способу його зберігання. Так, до періоду початкової стадії першого етапу індустріального виробництва зерна (кінець XIX – початок XX століття), тимчасове зберігання його здійснювались на відкритих майданчиках (буртовий) або зерноскладищах – амбарах (складський підлогово-горизонтальний), що зводяться, як правило, з місцевих будівельних матеріалів (дерева, цегли, кам'яних блоків, глини і т.д.). Тривале зберігання здійснювали в зерноскладищах (амбарах) або в спеціально обладнаних ямах (траншейний), які закривали різними теплоізоляційними матеріалами (тирсою, соломною і т.д.) і засипали землею. Такі способи зберігання зерна були поширені в Європі, Америці.

Таблиця 1.1 – Класифікація та елементна база зерносховищ

№ п/п	Класифікаційні, технологічні та конструктивні ознаки	Складальні елементи
1	2	3
1.	Технологія зберігання зерна	невентильована, вентильована, вентильована з підігрівом повітря на 5...9 °С, при штучному охолодженні повітря до +5...+10 °С, в газовому середовищі, при хімічній консервації, комбінована газохімічна
1.1.	Спосіб зберігання	траншейний (в ямі), буртовий, складський підлогово-горизонтальний, секційний підлогово-горизонтальний, підлоговогоризонтальний-вертикальний, ємкісно-вертикальний
1.2.	Спосіб завантаження	ручний, самосвальноручний, самосвальний, транспортерно-механізований
1.3.	Спосіб розвантаження	ручний, ручний-механізований, транспортерно-механізований, гравітаційний, гравітаційно-механізований, гравітаційно-аеродинамічний
1.4.	Контрольно-вимірювальна система	органолептична, термоелептична, термозондування, напівавтоматична, автоматична, комп'ютеризована
2.	Конструкція сховища	горизонтальна, вертикальна, горизонтально-вертикальна, похила
2.1.1.	Матеріал для опор (фундаментів)	цегла, метал, залізобетонні конструкції, місцеві будівельні матеріали
2.1.	Тип опор (фундамент)	стовпчатий, стрічковий, плоско-плиточний, плоскострічковий с боковими отворами, плоскострічковий с центральним отвором, плоскострічковий с центральним та боковими отворами, комбіновані
2.2.	Форма опорної поверхні для зерна	плоска, конусна, плоско-конусна, пірамідоподібна, похила

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
2.3.	Горизонтальний перетин зернової ємкості	квадрат, прямокутник, круг, багатокутник, комбіноване, складної конфігурації
2.4.	Розвантажувальне виконання	центральне, змішане бокове, бокове-виносне, бокове-виносне механізоване, комбіноване, аеродинамічне, бокове-виносне аеродинамічне, пневматичне
2.5.	Вертикальні поверхні (стіни)	збірні залізобетонні, безкаркасні, каркасні, панельні, навивные, рулонні, зварні кругові
2.5.1.	Матеріал для стін	цегла, місцеві матеріали, азбест-цементні плити, залізобетон, монолітобетон, метал, дерево (фанера), пластик, тканево-прорезнений матеріал
2.6.	Конструкція покрівлі	плоска, похила, похила-ломана, похила симетрична, похила зі зміщеним коньком, пірамідоподібна
2.6.1.	Матеріал для покрівлі	дерев'яна дранка, солома, рубероїд, гума, азбестоцементні плити, кераміка, водонепроникненна плівка, тканево-прогумований матеріал, залізобетонні плити, метал
2.7.	З'єднання (шви)	цементні, зварні-цементні, безболтові, болтові, зварні, зварні-болтові, скобні, скобні-болтові
3.	Аеродинамічна розподільна система	індивідуальна, суміщена, суміщено-комбінована
3.1.	Режим експлуатації	нагнітання, розрідження
3.2.	Спосіб підвода повітря в зернову масу	наземний, підземний, через розподільні короба, перфоровані та вертикальні труби, усічений конус, перфорований конус, комбінований через аерожолоб та вертикальні стінки короба
3.3.	Тип системи	ручний-переносний, підлогово-переносний, механічний переносний, стаціонарний, телескопічний
3.4.	Установка (розташування)	горизонтальна, вертикальна, похила
3.5.	Розташування розподільників відносно опорної поверхня для зерна	заглиблене, напівзаглиблене, поверхнєве, горизонтально-вертикальне, в середині зернової маси
3.6.	Конструктивна форма розподільників	канал, итруба, короб, телескопічний короб, жалюзійний короб
3.7.	Робоча поверхня розподільників	кругла, щилиноподібна та жалюзійга решітка, сітка, щілина
3.8.	Розстановка (компоновка) розподільників	одинична, хрестова, хрестова-багатоканальна, трикутна, трикутно-розімкнена, з виносною роздавальною коробкою, паралельно-індивідуальна, паралельно-згрупована

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
3.9.	Матеріал для розподільників	метал, проволока, пластик. Дерево, комбінований, залізобетон
4.	Компоновка сховищ	індивідуальна, лінійна, групова прямокутна, групова кругова, групова лінійна

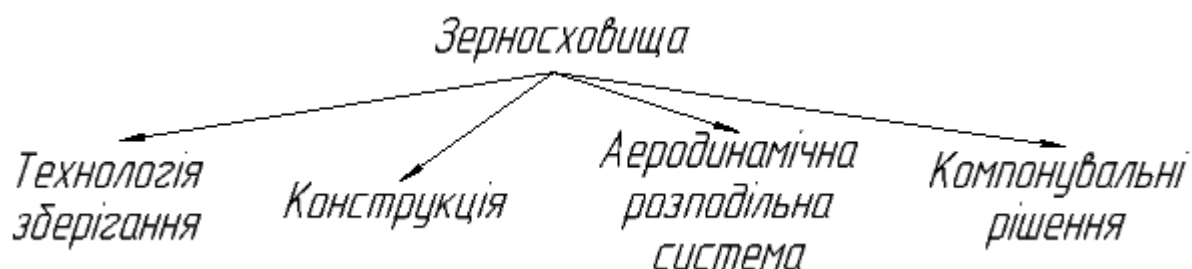


Рисунок 1.1 – Узагальнена схема класифікаційних ознак зерносховищ

В Україні розвиток промислових способів зберігання зерна відбувалося ідентично американському, тільки з відставанням в 35...40 років. В даний час у зерновиробників, в зв'язку з реформуванням сільського господарства, найбільшого поширення мають способи буртовий і складський підлогово-горизонтальний під навісом або зваленням на майданчик для тимчасового зберігання зерна, складський підлогово-горизонтальний в коморах (складах) і складський ємнісно-вертикальний при тривалому зберіганні зерна.

Способи завантаження і розвантаження зерносховищ залежать від їх конструкції або способу зберігання зерна. Так, при траншейному, буртовому і підлогово-горизонтальному способах можливі завантаження ручна (лопатами), самозвально-ручна (скидання або зсипання зерна з транспорту, в т. ч. гужового, і формування в ручну висоту засипки зерна) і самозвальна (висота засипки зерна формується чи ні). Транспортно-механізований спосіб завантаження може бути використаний при всіх перерахованих способах зберігання зерна. Він вимагає, для перших трьох способів зберігання, наявності засобів механізації, наприклад, зернокидачів, зерноавантажувачів, пересувних транспортерів різноманітних типів, а для інших – розвинену систему транспортних засобів стосовно до

промислового зберігання зерна, наприклад, у зерновиробників і в елеваторно-складській галузі.

Способи розвантаження: при траншейному зберіганні зерна, в основному, ручний, а при буртовому і складському підлогово-горизонтальному, ручний або транспортно-механізований. У всіх інших способах, включаючи і складський підлогово-горизонтальний, можуть застосовуватися транспортно-механізований, гравітаційний, гравітаційно-механізований і гравітаційно-аеродинамічний способи розвантаження. Транспортно-механізований спосіб розвантаження здебільшого використовується при складському підлогово-горизонтальному зберіганні зерна. Конструктивно даний спосіб охоплює значну кількість транспортних одиниць різних типів (стрічкові і скребкові конвеєри, шнеки, похилі і вертикальні транспортери), які можуть використовуватися індивідуально або в різних комбінаціях (варіантах). Приклад роздільних способів завантаження і розвантаження сховищ складського підлогово-горизонтального зберігання зерна показаний на рисунку 1.2, а комбінований або поєднаний на рисунку 1.3. При цьому горизонтальні транспортери можуть переміщатися по довжині, висоті і ширині (рис. 1.3, а) сховища або по довжині і висоті секцій (рис. 1.3, б) сховища. При відсутності вертикальної стінки секцій в середині сховища, ширина транспортера може бути рівною ширині сховища, а сам транспортер має можливість переміщуватися по довжині сховища і висоті секцій.

У випадках складського ємнісно-вертикального зберігання зерна, силоси розвантажуються гравітаційно, а відведення його від ємностей, при плоскій опорній зерновій поверхні (рис. 1.3, а) дні у зерносховищ, може здійснюватися шнековим або скребковим транспортерами, пневмотранспортерами або аерожолобами.

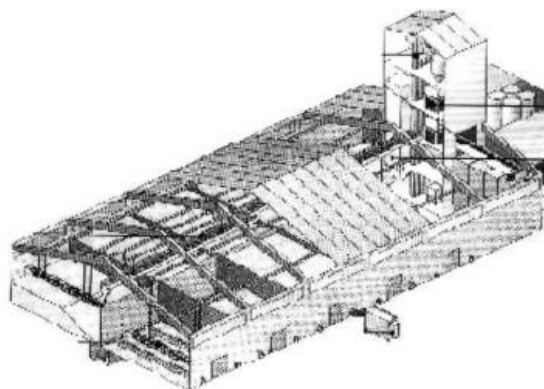


Рисунок 1.2 – Конструкція системи завантаження та розвантаження зерна при складському підлогово-горизонтальному способі зберігання (фірма «Shmidt» Німеччина)

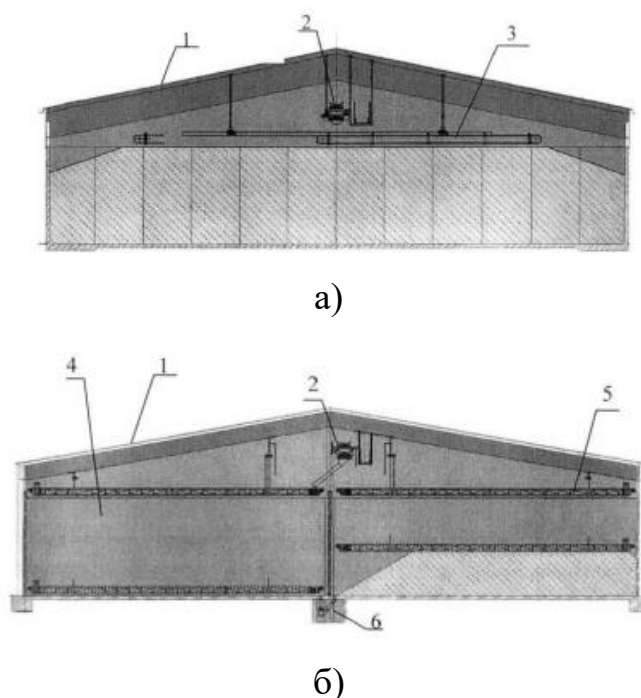


Рисунок 1.3 – Комбіновані системи завантаження та розвантаження сховищ підлогово-горизонтального об'ємного (а) та секційного (б) складування зерна
 1 – сховище; 2 – верхня транспортна система; 3 – горизонтальний транспортер, що переміщається по ширині, довжині ємкості; 4 – секція сховища; 5 – горизонтальний секційний транспортер, що переміщується по довжині та висоті зернової ємкості; 6 – нижня транспортна система.

Контрольно-вимірвальна система, що застосовується для оцінки стану зерна при зберіганні, може представляти органолептичну (занурення руки в

зернову масу для визначення її температури і вологості за допомогою методу «на зуб»), термолептичну (установка термометрів в зерновій масі і відбір проб для визначення вологості зерна за допомогою вологоміра) або термозондовану (найпростіші системи термопідвісок в зерновій масі, підключені до цифрового індикатору опитування і відбір проб для визначення вологості зерна вологоміром) системи. Найбільш складними контрольно вимірювальними системами є напівавтоматичні, автоматичні і комп'ютеризовані. Вони дозволяють не тільки оцінювати стан зернової маси при зберіганні, але й, при необхідності, можуть через розподільну аеродинамічну систему, автоматично підтримувати термовологий режим зберігання зерна. Остання (комп'ютерна) система дозволяє цілодобово записувати телеметрию зберігання зерна, переробляти результати інформації і, відповідно до обраного режиму, підтримувати термовологий стан газоповітряної суміші всередині сховища. Перераховані складні контрольно-вимірювальні системи, в основному, використовуються при вентиляванні зерна атмосферним повітрям, коли останнє не обхідно нагрівати або охолоджувати.

По будівельно-монтажному виконанню індивідуальні безтарні сховища для зерна представляють три різновиди: горизонтальні, вертикальні і горизонтально-вертикальні («поверхові»). Відомі [12] і інші, наприклад, вертикально-похилі, які не знайшли широкого поширення в інфраструктурі зберігання зерна. Конструктивно всі зерносховища виконані з значної кількості досить різноманітних елементів, до яких належать тип опор (фундамент), форми опорної зернової поверхні і горизонтального перетину ємності, конструкції розвантажувальних систем, стінок і покрівлі. Крім цього в класифікаційній системі враховується матеріал, з якого виготовлено зерносховище і вид з'єднань його елементів.

Не вдаючись детально в опис конструкцій фундаментів і форм опорних зернових поверхонь сховищ із залізобетонних елементів, які дуже детально і докладно висвітлені в роботі [12], розглянемо інші, не наведені в цій роботі відомі технічні рішення елементної бази зерносховищ. До них, перш за все, віднесемо конструкції для тривалого (рис. 1.4) і тимчасового (рис. 1.5) зберігання відповідно

вологого і кондиційного за вологістю зерна. Як правило, тимчасове зберігання зерна здійснюється в вентиляваних ємностях з конусною або плоскою опорною поверхнею зернової маси. Роздача повітря здійснюється через аеродинамічні системи з радіальним або вертикальним розподільником його в зерновій масі. У цих конструкціях можна також зберігати і кондиційне за вологістю зерно або тимчасово після сушки.

Фундаменти у таких зерносховищ використовуються стовпчасті, стрічкові, плоско-плитові і плоско-плиткові з центральної порожнистою опорною поверхнею. Для сховищ складського призначення прямокутної або циліндричної форми з плоскою опорною поверхнею фундаменти можуть мати більш складну конструкцію, якщо в них розміщені розподільні системи для вентилявання зерна. Конструкції фундаментів зерносховищ, а особливо форми опорних поверхонь для кондиційного за вологістю зерна, можуть відрізнятися від перерахованих. Відмінною особливістю конструкцій фундаментів і опорних поверхонь сховищ з різними формами горизонтальних перетинів є те, що вони виконуються, як правило, в одному блоці з монолітного бетону або з установкою плоских залізобетонних плит на фундаменти. Корпус (вертикальні поверхні) зернових ємностей в цих випадках можуть зводитися з металу, залізобетону, цегли, пластику та іншого матеріалу.

Форма горизонтального перетину зернових ємностей досить різноманітна, особливо змонтованих із залізобетонних конструкцій. На практиці, незалежно від матеріалу, з якого вони виготовлені, застосовуються зернові ємності з перетином у вигляді кола, прямокутника, квадрата або багатокутника (зазвичай не більше шести граней) [12]. Зернові ємності металевих сховищ, в основному, мають круговий або прямокутний (квадратний) перетин.

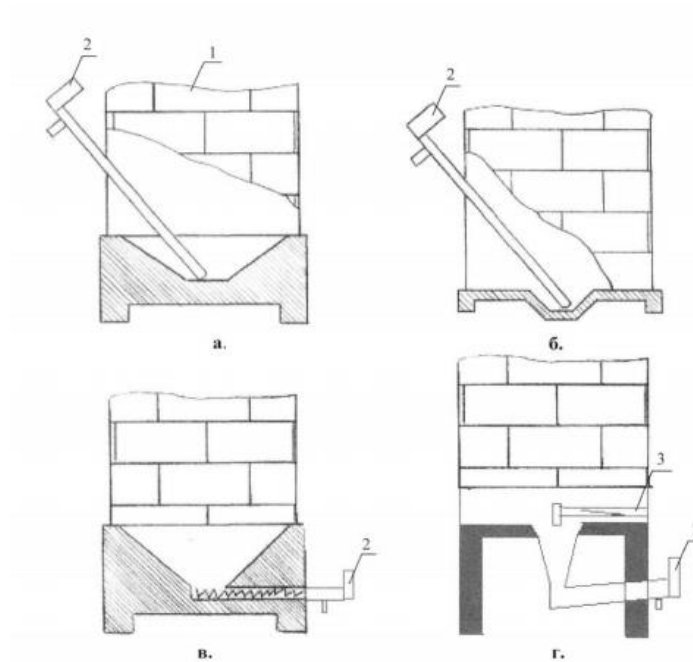


Рисунок 1.4 – Конструкції фундаментів і форми опорних зернових поверхонь сховищ для кондиційного за вологістю (13...15 %) зерна

а – монолітний фундамент з конусною опорною поверхнею для зерна;
 б – плоско-стрічковий фундамент з плоскоконусною опорною поверхнею для зерна; в – монолітний фундамент з конусною опорною поверхнею для зерна з отворами; г – плоско-стрічковий фундамент з центральним отвором в опорній поверхні для зерна з можливістю встановлення розвантажувального транспортера.

1 – зернова ємність; 2 – розвантажувальний транспортер;

3 – вивантажувальний шнек.

Відповідно до способу розвантаження зерносховищ (табл. 1.1), застосовуються різні пристрої і пристосування для спорожнення зернових ємностей. Як правило, циліндричні сховища з конусною опорною поверхнею розвантажуються гравітаційно через центральний співвісний отвір, розташований в вершині конуса. В сховищах підлогово-горизонтального складування зерна застосовуються різні засоби механізації (навантажувачі, зерномети та ін.), в т.ч. і ручна зачистка опорних поверхонь для зерна. У них також використовуються комбіновані (рис. 1.3) засоби механізації, які можуть виконувати функції, як їх розвантаження, так і завантаження. Найбільше різноманіття розвантажувальних

рішень мають зерносховища прямокутного (квадратного) перетину (рис. 1.6). У них зерно, в основному, розвантажується гравітаційно. У деяких випадках додатково використовуються засоби механізації: транспортери, аерожолоби, системи пневмотранспорту. Комбіноване механізоване розвантаження зернових ємностей здійснюється при різних компоновках останніх.

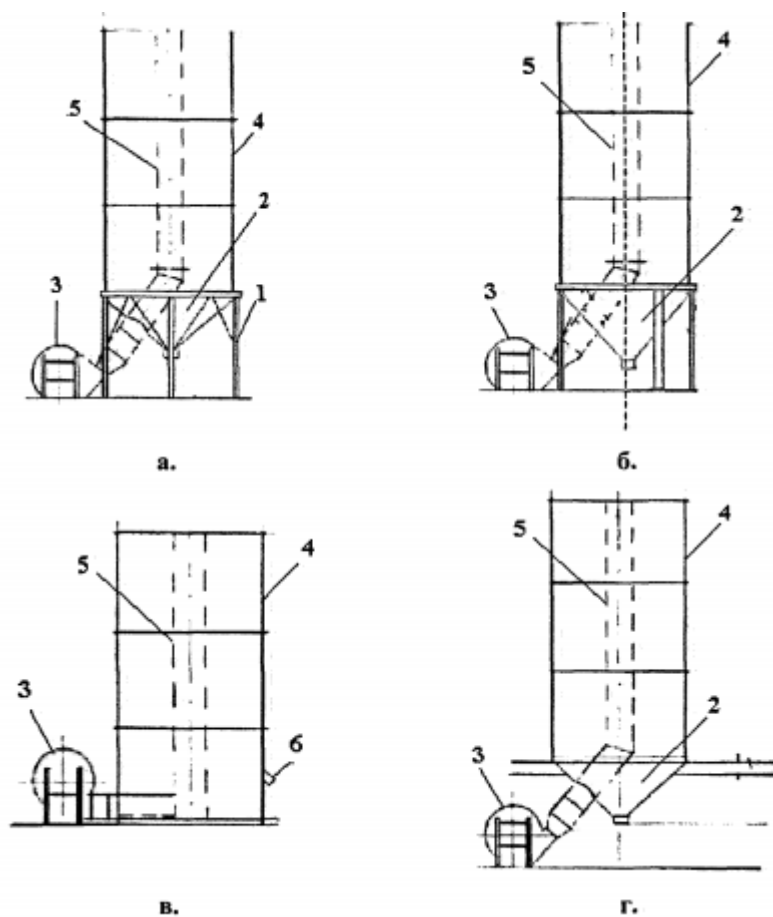


Рисунок 1.5 – Конструкції фундаментів та форми опорних поверхонь для зерна сховищ для тимчасового зберігання вологого зерна з радіальним розподілом повітря в зерновій масі

а – стовпчастий фундамент; б – стрічковий фундамент; в – плоско-плиточний фундамент з плоскою опорною поверхнею для зерна; г – плоско-плиточний фундамент з центральним отвором.

1 – опора ємності; 2 – конусна опорна зернова поверхня; 3 – вентиляційна система; 4 – зернова ємність; 5 – повітророзподільник; 6 – отвори для розвантаження зерна.

Способи зведення вертикальних поверхонь (стін) і використовувані для них матеріали істотно впливають на конструктивне рішення зернових ємностей (силосів). У таблиці 1.1 наведені основні види стін і матеріали, з яких вони зводяться. З усього наведеного різноманіття виділимо поверхні залізобетонні і металеві, як найбільш поширені в практиці. Перші, як уже зазначалося, детально розглянуті в роботі [12], а другі, зважаючи на наявність незначної інформації у вітчизняній літературі, вимагають деяких пояснень.

Перш за все, відзначимо, що стінки металевих циліндричних силосів поки зводяться трьома методами (рис. 1.7): рулонування, навивкой і листовими панелями. При рулонному способі зведення стін силосу, стикові шви листів з'єднують одностороннім або двостороннім зварюванням. В першому випадку з підварюванням підкладок. Силоси, зведені методом навивки, яка здійснюється за допомогою спеціальних механізмів системи фірми «Lipp» (Швейцарія), майже не вимагає зварювання. Вони зводяться із сталевий спіральної стрічки, яка по швах стиків, шляхом загину і пресування, утворює фланцеве з'єднання (типу «жерстяний шов»). За допомогою листових панелей (третій метод), за кордоном зводяться більшість силосів для зберігання зерна. Зазвичай листові панелі мають хвилясту форму і їх з'єднують між собою болтами. Зводять такі силоси, в основному, за допомогою нарощування панелей знизу, використовуючи для цього підйомні крани різних типів або спеціальні підйомні механізми.

Силосні стіни, що зводяться за першим і третім методом підсилюють вертикальними стійками, але в деяких випадках, за першим методом, збільшують товщину стінок панелей по висоті силосу. При рулонному методі зведення стін силосу для зняття навантаження на стінку від покрівлі (даху) і транспортної галереї завантаження ємностей зерном, в центрі її встановлюють опорну колонку (рис. 1.7, а). У минулому, в нашій країні відпрацьовувалися всі три перерахованих методи зведення вертикальних поверхонь (стін) металевих циліндричних силосів.

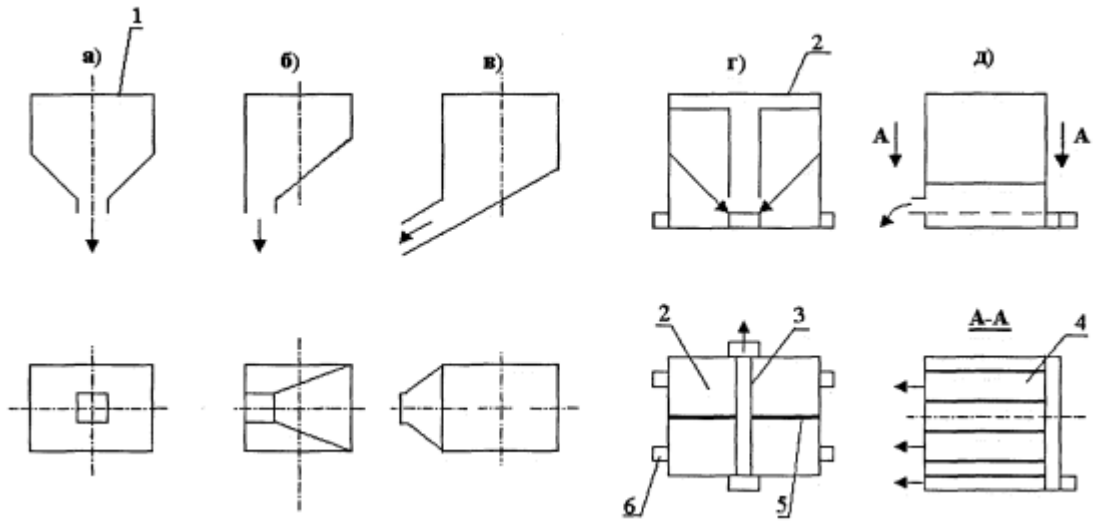


Рисунок 1.6 – Схеми гравітаційного розвантаження зерносховищ прямокутного (квадратного) перетину

а – центральна; б – змішана; в – бокова (виносна); г – механізована; (бокова-виносна); д – аеродинамічна (бокова-виносна).

1 – зернова ємність; 2 – секції зберігання зерна; 3 – транспортер; 4 – аерожолоб; 5 – перегородка між секціями; 6 – вентилятор;

→ – напрямок руху зерна

Здебільшого металеві циліндричні зерносховища є безкаркасними і збірними з гофрованих оцинкованих або алюмінієвих панелей (рис. 1.7, в). Витрата металу на такі зерносховища складають 15 – 20 кг на тону зерна. Болтові з'єднання при монтажі панелей вимагають герметизації, яка здійснюється за допомогою прокладок зі спеціальних паст. Зерносховища швейцарської фірми «Lirr» монтуються без болтових з'єднань по необхідному діаметру і утворюють герметичні шви між суміжними спіралями (рис. 1.7, б). Однак, такий спосіб монтажу силосів для зерна в світовій практиці не знайшов належного поширення. Вертикальні прямокутні зерносховища, як, наприклад, фірми «Liese» (Німеччина), збирають з складчастих панелей, які забезпечують необхідну жорсткість силосу. В інших випадках застосовують плоскі листи, як, наприклад, фірма «LAB» (Німеччина), але з установкою всередині ємності системи стяжок з різної форми

(кругляк, кутник, смуга та ін.) стержнів. У ряді випадків для зберігання насіннєвого зерна в прямокутних (квадратних) силосах, використовуються дерев'яні або фанерні панелі. Фірма «Kongsrilde» (Данія) для цих же цілей випускає циліндричні сховища, бокова поверхня яких набрана з дерев'яних дощочок (рис. 1.8, д).

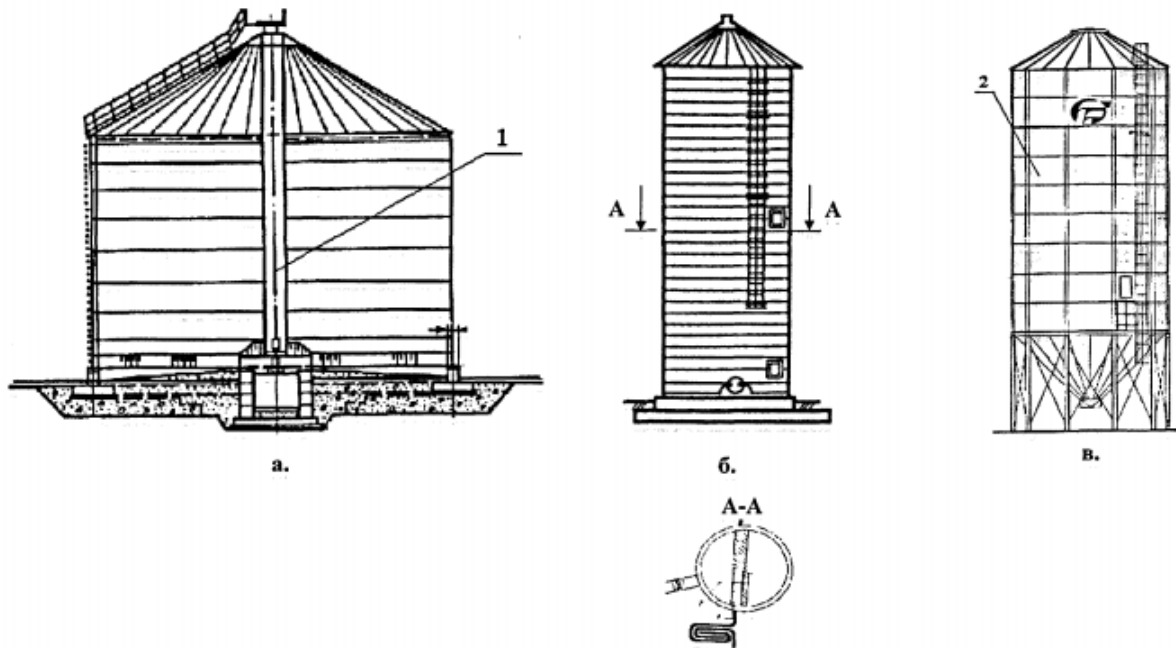


Рисунок 1.7 – Металеві циліндричні зерносховища, що зводяться різними методами

а – рулонування; б – навивка; в – листові панелі.

1 – опорна колона; 2 – листові панелі.

Покрівля прямокутних (в горизонтальному перетині) зерносховищ або зерноскладів різної довжини може бути каркасна різноманітної конструкції або з гофрованого листа *n*-подібної форми. При каркасній конструкції, покрівля може являти собою листи оцинкованого, пофарбованого або оцинкованого гофрованого заліза, азбестоцементного шиферу, ризові, глиняні або пластикові складальні елементи та ін. Дах у таких будівель плоский з нахилом в одну або дві сторони, ламаний симетричний або зі зміщенням в сторону коньком (табл. 1.2). У Німеччині, Фінляндії, Данії, Японії та інших країнах в прямокутні металеві

складські системи встановлюють квадратні або круглого перетину ємності невеликої місткістю (від 5 до 50 т), в яких, як правило, зберігають насіннєвий матеріал. У циліндричних силосів з металу покрівля в основному конусна або плоска. При зведенні сховищ для зерна застосовуються різні прийоми з'єднання його елементів (табл. 1.2), котрі повинні забезпечувати герметизацію швів, водонепроникність силосів, добру захищеність внутрішніх поверхонь і доступність до дезинфекції.

Аеродинамічна система розподільників. За принципом використання вони поділяються на індивідуальні, суміщені і комбіновані (рис. 1.9). Такий розподіл відноситься як до циліндричних, так і до прямокутним зерносховищ. Індивідуальні аеродинамічні розподільні системи показані на рисунку 1.9, а, суміщені на рисунку 1.9, б і комбінована на рисунку 1.9, в. У перших двох варіантах головний розподільний канал може бути заглиблений, напівзаглиблений або поверхнево встановлений відносно опорної поверхні сховища, в третьому – встановлений на горизонтальній поверхні. З усіх класифікаційних, технологічних і конструктивних ознак аеродинамічна розподільна система зерносховищ найбільш різноманітна і складна. Це, перш за все, пов'язано з конструктивним її виконанням, яке включає в себе в основному дві складові: вентиляційну і розподільну (робочу) системи. Слід зазначити, що вентиляційна система, як правило, складається з вентилятора, що працює в режимі на нагнітання або розрідження, трубопроводів і роздавальної коробки. У цій системі можуть бути встановлені електрокалорифери, топкові установки або охолоджувальні машини [45]. У першому і в другому випадках повітря осушують і нагрівають перед надходженням в зернову масу на $+5 \dots + 9 \text{ }^\circ\text{C}$, в третьому – охолоджується до температури $+5 \dots + 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Розподільна (робоча) система направляє повітря від роздавальної коробки (розподільника повітря) безпосередньо в зернову масу, що знаходиться в зерносховищі.

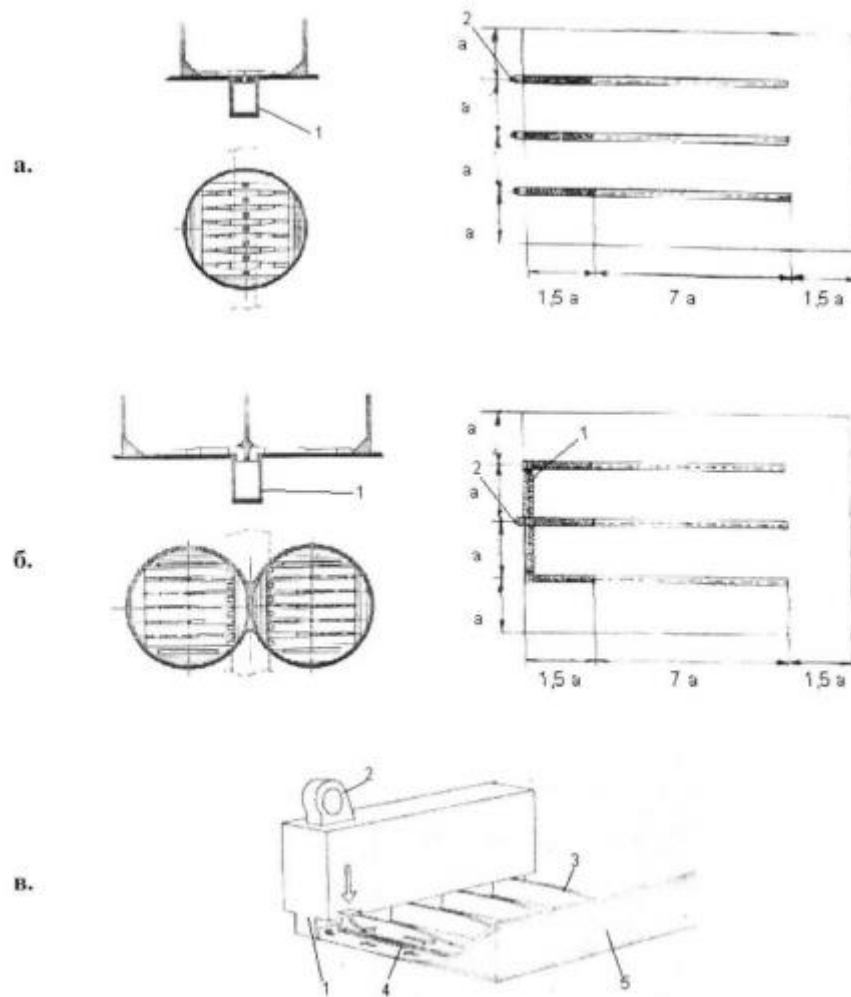


Рисунок 1.8 – Принципові схеми розташування аеродинамічних розподільних систем в зерносховищах

а – індивідуальне: циліндричне та прямокутне; б – сумісне: циліндричні та прямокутні; комбіноване поєднання аерожолобів і вертикальних коробів з щілинами біля прямокутної зернової поверхні

1 – головний розподільник повітря; 2 – вентилятор; 3 – коробка; 4 – аерожолоб;
5 – зернова маса.

Іншою особливістю аеродинамічної розподільчої системи зерносховищ є конструктивне виконання, агрегатуватися її з зерносховищем, розташування розподільника відносно опорної зернової поверхні, конструктивна форма розподільника, його робоча поверхня, через яку повітря надходить в зернову масу, і їх розстановка (компонування). Так, за типом конструктивного виконання

аеродинамічні розподільні системи можна розділити на ручні-переносні, підлогово-ручні-переносні, підлогово-механічні-переносні і стаціонарні. Ручні-переносні системи ефективні при локальному нагріванні зерна в насипу, коли в цьому місці необхідно знизити його температуру [44, 45]. Всі підлогово-переносні системи зазвичай укладають на опорну зернову поверхню, і після розвантаження зерна зі сховищ їх прибирають або розбирають [44]. Вони, як правило, використовуються багаторазово. Стаціонарні системи зазвичай є невід'ємною частиною конструкції зерносховища.

На рисунку 1.10 показані основні принципові схеми розташування аеродинамічних розподільних систем в сховищах з конусною опорною поверхнею. Ці системи працюють в основному в режимі нагнітання при вертикальній або горизонтальній продувці зернової маси. Такі зерносховища використовуються при складському ємнісно-вертикальному способі зберігання зерна.

На рисунку 1.11 показані основні принципові схеми агрегування аеродинамічних розподільних систем з циліндричними силосами і плоскою опорною поверхнею для зерна. Такі зерносховища призначені для складського ємнісно-вертикального способу зберігання. Подача повітря безпосередньо під сушильну решітчасту підлогу застосовується порівняно в невеликих ємностях (рис. 1.11, а). В цьому випадку решітчасту підлогу встановлюють на спеціальних металевих опорах з листової або круглої сталі. Для великих ємностей та значних подач повітря використовується так званий підземний підвід (рис. 1.11, б). У сховищах з плоскою збірною поверхнею можуть бути застосовані, в разі зберігання вологого зерна, коробка для розподілу повітря (рис. 1.11, в) або центральна труба з перфорацією на кінці або по всій висоті (рис. 1.11, г, д). Для зниження повітряного опору в аеродинамічній системі, площа «живого» перетину перфорованої підлоги повинна бути не менше 25 %. З усіх наведених схем (рис. 1.11) відзначимо, що дві розподільні системи (рис. 1.11, б і 1.11, в) мають різноманітні розстановки (компонування) розподільників які безпосередньо

контактують із зерною масою. Різниця в цих схемах полягає в тому, що у першій такі розподільники заглиблені в ґрунт,

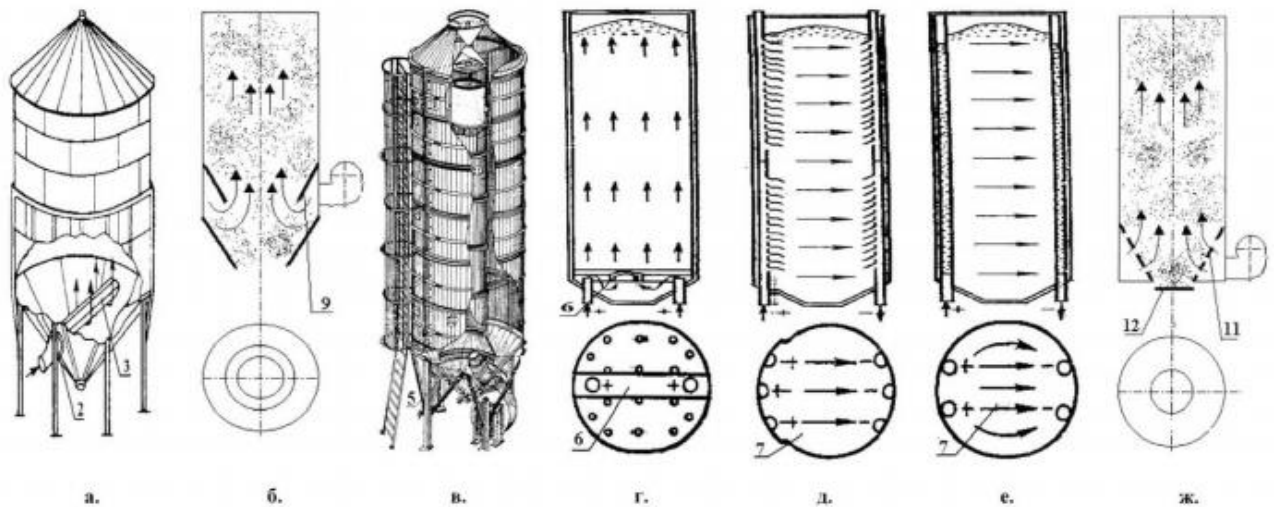


Рисунок 1.10 – Схеми розташування аеродинамічних розподільних систем в зерносховищах з конусною опорною поверхнею для зерна.

Подача повітря через: а – розподільний горизонтальний короб; б – усічений конус; в – центральну перфоровану вертикальну трубу; г – комбіновану систему розподільних коробів горизонтальних та вертикальних; д – систему перфорованих вертикальних труб з перегородками посередині; е – систему перфорованих вертикальних труб; ж – конусну перфоровану решітчасту підлогу.

1 – корпус; 2 – конус; 3 – розподільний короб; 4 – розподільна труба; 5 – підпирний конус; 6 – розподільна система; 7 – підвідні колонки; 8 – відвідні колонки; 9 – конусний розподільник; 10 – вентилятор; 11 – решітчаста підлога.

а у другій – розташовані на плоскій опорній поверхні для зерна. Приклади розміщення розподільників, в залежності від діаметра силосу (від 1,8 до 8,9 м), показані на рисунку 1.11, а для силосів діаметром більше 10 м – на рисунку. 1.12, а, б. Причому у силосів менших діаметрів, як правило, розподільники встановлені на опорній поверхні зерна, а у великих діаметрів, крім такої установки вони можуть бути заглиблені або частково заглиблені в опорну поверхню. Всі три форми розміщення розподільників мають місце і в прямокутних зерносховищах (рис. 1.13). У деяких випадках в прямокутних зерносховищах, наприклад (рис.

1.13, в), як пропонує фірма «Palle Westerly» (Данія), використовується розподільна система горизонтально-вертикальна внутрішньозернова. Опорною поверхнею цієї системи є аерожолоби, які вертикально по довжині сховища обмежуються розподільниками у вигляді коробів, в нижній частині яких розташовані жалюзійні щілини висотою 160...200 мм. Висота засипки зерна до 3 метрів. Поєднання аерожолобів і бічного розподілу повітря через щілини в коробах, на думку фахівців фірми, дозволяє ефективно зберігати зерно без зниження його якості.

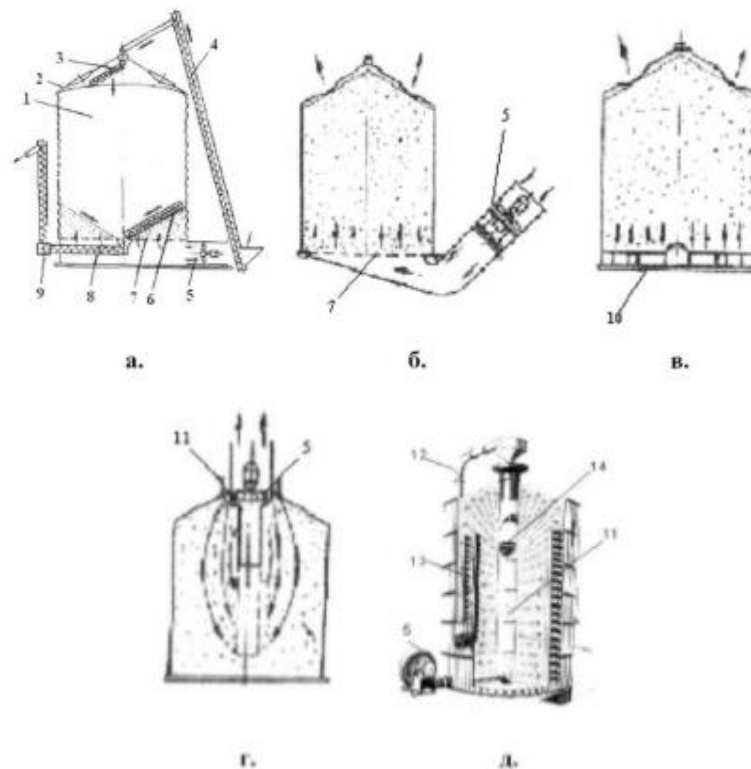


Рисунок 1.11 – Схема розташування аеродинамічних розподільних систем в циліндричному сховищі з плоскою опорною поверхнею

Подача повітря: а – заглиблена; б – підземна; в – через розподільні короба; г, д – через вертикальну розподільну трубу.

1 – корпус; 2 – кришка; 3 – розподільний шнек; 4 – розвантажувальний шнек; 5 – вентилятор; 6, 8 і 9 – похилий, горизонтальний та вертикальний розвантажувальні шнеки; 7 – решітчаста підлога; 10 – система розподільних коробів; 11 – розподільна перфорована труба; 12 – пневматичний завантажувач; 13 – гравітаційний розвантажувач; 14 – поршень.

Діаметри, мм

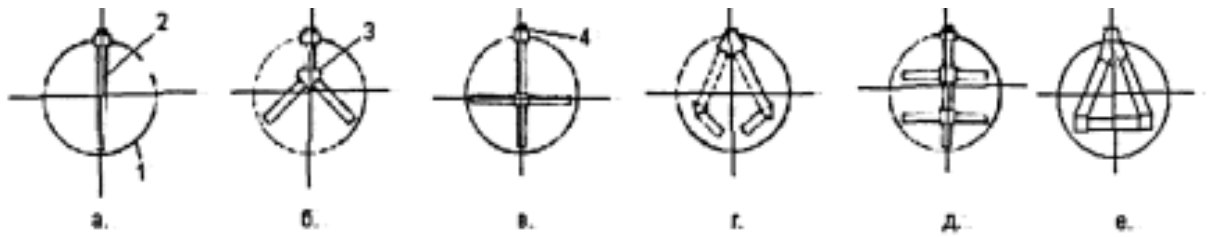


Рисунок 1.12 – Схема розстановки розподільних систем в залежності від діаметра зерносховища з плоскою опорною поверхнею для зерна

а – одинична; б – зірчаста; в – хрестова; г – трикутно-розімкнена; д – хрестово-багатоканальна; е – трикутно-замкнута.

1 – опорна поверхня для зерна; 2 – робочий розподільник; 3 – роздаточна коробка; 4 – вентилятор.

З наведених матеріалів видно, що конструктивна форма робочих розподільників, в залежності від способу зберігання зерна і конструкції сховища, може бути виконана у вигляді заглибленого в опорну поверхню каналу, перфорованих труб, коробів різного перетину і виготовлення (телескопічні, жалюзійні, щілиноподібні, перфоровані та ін.). Робочі поверхні таких розподільників також різноманітні. Вона може мати вигляд круглих і щілинних отворів, жалюзей, решітки та ін. При цьому розміщення (компоновка) робочих розподільників залежить від місця розташування головного розподільного каналу або роздаточної коробки. У деяких зерносховищах вони винесені назовні за вертикальні стінки, а в інших – розташовуються усередині або засипаються зерновою масою. Робочі розподільники, в залежності від конструкції зерносховища, можуть виготовлятися каркасними і безкаркасними, тобто складними і простими, з металу, пластику, дерева, залізобетону, комбінованими з декількох матеріалів та ін.

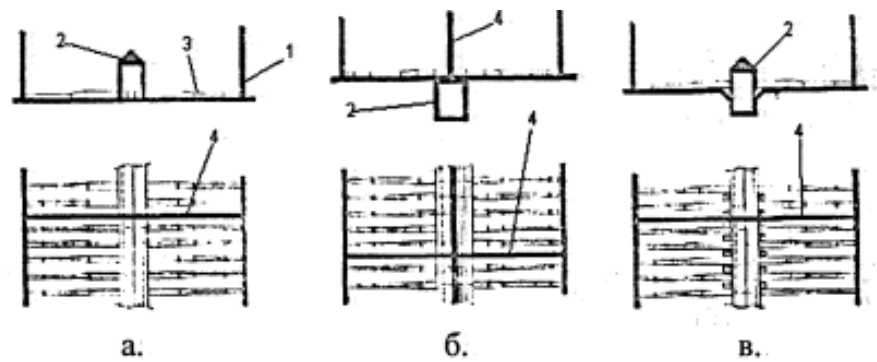


Рисунок 1.13 – Схема розташування розподільних систем в прямокутних зерносховищах з плоскою опорною поверхнею

Установка головного розподільного каналу 2: а – поверхнева; б – заглиблена; в – частково заглиблена.

1 – стінка; 2 – розподільники; 3 – перегородки секції.

Компонування зерносховищ. Компонувальні рішення зерносховищ в нашій країні розвивалися самостійно один від одного в двох напрямках. Перше – для елеваторно-складської галузі, а друге – для сільського господарства. Причому перший напрям значно випереджав і перевершував другий як за рівнем об'ємно-планувальних і конструктивних рішень, так і за рівнем капіталовкладень при промисловому їх освоєнні. За кордоном вся інфраструктура, що відноситься до зберігання зерна, розвивалася і розвивається одночасно і взаємопов'язано. Слід зауважити, що вітчизняна елеваторно-складська галузь в минулому за технічним рівнем незначно поступалася аналогічним спорудам розвинених зерновиробних країн.

1.2 Аналіз результатів досліджень і вибір напрямів експериментальних робіт

Узагальнюючи матеріали досліджень, викладені в попередньому пункті, можна зробити висновок, що збереження прибраного врожаю, особливо насіння, є головною і невід'ємною частиною технологічного процесу у виробництві зерна. Компонування сховищ і їх індивідуальні конструкції мають безліч як

технологічних, так і інженерних рішень. Однак, враховуючи накоплений досвід як у нас в країні, так і за кордоном, можна запропонувати наступні технологічні та технічні рішення для забезпечення збереження і зниження втрат врожаю у виробників зерна:

- в комплексах з післязбиральної обробки зерна обов'язковими елементами технології повинні бути силоса для тимчасової консервації або зберігання вологого і висушеного зерна, а для тривалого зберігання зерносховища промислового виготовлення;

- для тимчасового зберігання вологого і висушеного зерна необхідно використовувати ємкості з радіальною продувкою зернової маси і конусним розвантажувальним дном;

- для тривалого зберігання кондиційного зерна, залежно від його обсягу, доцільно використовувати силоси або металеві споруди для підлогового зберігання з вертикальною продувкою зернової маси через повітророзподільні аеродинамічні системи різного конструктивного виконання.

Ці положення, як основоположні і будуть використані в програмі наших подальших досліджень. Крім цього, необхідно взяти до уваги, що металеві зерносховища мають наступні переваги:

- промислові методи виготовлення і монтажу забезпечують зниження капітальних витрат у 2 – 3 рази, трудомісткість в 4 – 5 разів і скорочення термінів монтажу до декількох днів;

- можливість використання таких сховищ на всіх чотирьох видах об'єктів зберігання зерна [6], особливо у його виробників, з ув'язкою в один збирально-післязбиральний технологічний комплекс;

- широке використання методів активного вентилявання та інших технологічних прийомів в період тимчасового зберігання зерна, а після сушки, тривале його складування з мінімальними втратами;

- здійснення повної механізації вантажно-розвантажувальних робіт і забезпечення найменших (технічних) втрат прибраного врожаю.

Однак, зберігання зерна в металевих (в основному циліндричних) зерносховищах значною місткістю має певні специфічні ознаки або особливості. По-перше, такі силоси непридатні для зберігання зерна вологістю вище 20 %, тому що в цьому випадку виникає небезпека його швидкого псування і труднощі, особливо екстреного вивантаження вологого зерна. По-друге, при зберіганні зерна має місце виникнення різниці температур у стінок і в центрі ємності. Причому взимку і влітку градієнт температури змінюється. Протягом терміну зберігання, в залежності від кліматичних особливостей регіону, він коливається за обсягом зерна. По-третє, температурний градієнт обумовлює і переміщення вологи в насипі зерна в напрямку його руху, яке може привести до утворення місць підвищеного зволоження, особливо якщо на зберігання закладалось зерно неоднорідне по вологості, до його псування. По-четверте, сама оболонка металевих силосів піддається атмосферному температурному впливу, від якого вона скорочується або розширюється, а знаходиться в силосі зернова маса в першому випадку ущільнюється і стискається, а в другому – розрихляється, що сприяє переміщенню і внутрішньої міграції зерна за масою. При цьому в металі відбувається постійна зміна напружень. По-п'яте, в силосах великих діаметрів (15 метрів і більше) важко забезпечити рівномірне завантаження зерном, що викликає нерівномірні напруження в оболонці силосу.

За таких умов необхідно мати чіткі рекомендації з використання металевих зерносховищ (особливо великої місткості) в залежності від регіонів їх використання та кратності розвантаження-вивантаження. Друга проблема, пов'язана з нарощуванням обсягів виробництва і зниження втрат прибраного врожаю, полягає у впровадженні аграрно-промислового виробництва зерна. При вирішенні її необхідно розглянути специфіку та обґрунтувати зміст базових принципів зберігання зерна по об'єктах їх призначення, розмірами, територіальним розташуванням та складом устаткування. При цьому слід враховувати економічні та ринкові відносини, які мають місце, і будуть утворюватися в перспективі. У цьому зв'язку, на першому етапі реалізації перерахованого, і необхідно впровадити систему зберігання для виробників зерна,

яка до теперішнього часу в нашій країні не розроблена, а техніка та обладнання практично не випускається. При вирішенні цього завдання, особливу увагу слід звернути промислового виробництва технічних засобів для системи зберігання насіння, з урахуванням регіонів їх районування та розповсюдження. Так як рішення даної проблеми є обґрунтування і постановка до реалізації багатофункціональної технологічної, проектної та конструкторської задачі, то в нашій роботі, як один з етапів перерахованого, обрані у вигляді об'єктів досліджень, системи зберігання зерна при вертикальній і радіальній продувці зернових мас.

Висновки за розділом

На основі аналізу всіх об'єктів зберігання зерна, а також нових конструктивних рішень циліндричних металевих сховищ, можна зробити наступний висновок

Розроблено узагальнену схему класифікаційних ознак безпечних прийомів зберігання зерна. Номенклатура технічних засобів для зберігання зерна за функціональним призначенням може бути представлена для: тимчасового зберігання попередньо очищеного зерна вологість більше 20 %; тимчасового зберігання висушеного зерна вологістю 14...16 %; тривалого зберігання кондиційного за вологістю зерна 13...15 %. Для забезпечення зберігання зерна з мінімальними втратами, об'єкти зберігання повинні характеризуватися наступними ознаками: технологією зберігання зерна; конструктивними рисами одиничного сховища; аеродинамічною розподільною системою і варіантами компоновок сховищ.

Мета роботи – дослідження та обґрунтування режимів і циклів зберігання зерна в охолодженому стані шляхом вентилявання в металевих сховищах циліндричного типу.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі досліджень:

- розробка узагальненої схеми класифікаційних ознак, технологічних особливостей і основних прийомів зберігання зерна;
- обґрунтування методики розрахунку процесу зберігання зерна в холоді за умови його вентиляції;
- розробка методичної структури експериментально-теоретичних досліджень шару зерна, що продувається холодом;
- дослідження експлуатаційних можливостей і оцінка умов зберігання зернової маси при радіальній і вертикальній продувці її холодним та атмосферним повітрям;
- провести розрахунок витрат на проведення досліджень.

Об'єктами досліджень є технологічні процеси зберігання зерна в охолодженому стані, що продувається.

Предметом дослідження є режими роботи сховищ зерна при продувці їх охолодженим повітрям і процеси, що відбуваються в зерном шарі на різній висоті від місця подачі повітря.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДПОСИЛАННЯ ПРОЦЕСУ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА В ХОЛОДІ ПРИ ЙОГО ВЕНТИЛЮВАННІ

2.1 Вихідні передумови для обґрунтування режимів зберігання зерна при вентилюванні зернової маси холодим повітрям

Дослідження процесів зберігання зерна в нерухомому шарі вивчали багато спеціалістів [5, 15, 35], що внесли значний вклад в теорію зберігання продукції рослинництва. Тим не менше так, як удосконалюються технології та технічні засоби для цих цілей, потрібно у відповідність з цим і подальше уточнення теплообмінних умов зберігання зерна в товстому нерухомому шарі. Нами проведено аналіз процесу зберігання зерна в шарі стосовно до конструкцій зерносховищ з радіальним і вертикальним вентилюванням зернової маси. При цьому прийнято, з аналізу наявних робіт в даному напрямку, що для ефективного зберігання зернової маси в таких конструкціях в основному, необхідно знати вихідну і рівноважну вологість зерна і необхідну подачу атмосферного повітря.

Рівноважна вологість зерна. Це питання досить детально було вивчене, як в нашій країні та і за кордоном. Але можна відмітити, що вентилювання зернової маси атмосферним повітрям за умови, що фактична вологість зерна більше рівноважної. В цьому випадку вологість зерна знижується, тобто воно висушується. Зазвичай на практиці рівноважну вологість зерна визначають за самим низьким показником його температури в насипу. Найбільше розповсюдження в нашій країні для розрахунку рівноважної вологості зернових матеріалів отримали залежності приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахункові залежності для визначення рівноважної вологості зерна ω_p [29]

№ п/п	Культура	Залежність
1	Пшениця	$\omega_p = 4 - 0,035t + (19,7 - 0,075t) \cdot P$
2	Кукурудза	$\omega_p = 1,8 - 0,1t + (22,5 - 0,03t) \cdot P$

Де t – температура зерна, $P = \lg \cdot \left(\frac{1}{1-\varphi} \right)^{\frac{1}{2}}$ – рівень насичення атмосферного повітря водяними парами, φ – відносна вологість атмосферного повітря, m, n, m' і n' – коефіцієнти, що залежать від відносної вологості повітря (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів m, n, m' і n'

Коефіцієнти	Відносна вологість повітря		
	$0 < \varphi \leq 0,4$	$0,4 < \varphi \leq 0,65$	$0,65 < \varphi \leq 1,0$
m	4,9	0,7	0,8
n	10	20	20
Коефіцієнти	Відносна вологість повітря		
	$0 < \varphi \leq 0,16$	$0,16 < \varphi \leq 0,51$	$0,51 < \varphi \leq 1,0$
m'	0	3,0	-1,7
n'	25,3	14,6	22,8

Подача повітря в зернову масу. Як вже зазначалося раніше, вентилярована повітрям зернова маса висушується або охолоджується зонами, починаючи з того боку, звідки подається в неї холодне повітря. Зазвичай потрібну для зберігання зерна подачу повітря визначають з урахуванням теплоємності зерна і повітря, так як вони відображають кількість потрібного тепла для охолодження або нагрівання одиниці маси зерна на один градус. Питома теплоємність абсолютно сухого зерна $C_{c,z} = 0,3$ ккал/кг·град або 1,282 кДж/кг·К. По мірі збільшення вологості зерна його питома теплоємність підвищується. У межах від 10 до 35 % вологості зерна, теплоємність його для різних культур, автор [29] рекомендує визначати з залежностей приведених в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Залежності для визначення питомої теплоємності зерна при зберіганні його в холоді [29]

№	Культура	Рівняння регресії	Границя вологості, %
1.	Пшениця	$C_3 = 1,000 + 0,046\omega_p$	10...35
2.	Кукурудза	$C_3 = 1,000 + 0,046\omega_p$	10...35
3.	Рис-зерно	$C_3 = 1,000 + 0,046\omega_p$	9,2...27,2

де ω_p – рівноважна вологість зерна, %;

C_3 – теплоємність зерна, ккал/кг·град.

Питома теплоємність зерна залежить також і від його температури:

$$C_3 = C_{20} + 0,004t ,$$

де C_{20} – питома теплоємність зерна при його вологості 20 % і температурі 20 ° С;

t – температура повітря, ° С.

Наведені залежності є розрахунковими і використовуються для орієнтовного підбору вентилятора до аеродинамічних систем, що застосовуються для продувки зернової маси атмосферним повітрям. У разі, коли при зберіганні зерна необхідно здійснити охолодження або підігрів атмосферного повітря, ці залежності для розрахунків використовувати не можна, тому що за даних умов в зернової масі відбуватимуться тепломасообмінні процеси. У цьому випадку завдання зберігання зерна при тепломасообмінних процесах вимагає розробки інженерної методики розрахунків як теплотехнічних параметрів, що виникають в зернової масі, так і конструктивних елементів сховищ, які забезпечують гарантоване її зберігання.

2.2 Методика інженерного розрахунку основних параметрів, що сприяють видаленню вологи з зернової маси, що зберігається в охолодженому стані

Стосовно до умов зберігання зерна в охолодженому стані з радіальним вентиляванням зернової маси повітрям, для визначення основних параметрів процесу видалення вологи, зроблено припущення, що процес видалення вологи із зернової маси протікає в першому періоді сушіння зерна, тобто з постійною швидкістю. При цьому враховуються дослідження ряду авторів [12. 14], які довели, що висушування насіння колосових культур до кінцевої кондиційної вологості при температурі агенту сушіння не перевищує 45 °С, не знижує їх схожість. Крім цього вважаємо, що економічно доцільно із зерна видалення вологи здійснювати при вентиляванні повітрям, нагрітим на 10 ... 12 °С. Також припускаємо, що зерно, при радіальній продувці зернової маси, біля центрального розподільника повітря, буде декілька пересушуватися, а в периферійних шарах у зовнішнього циліндра не досушуватися або зволожуватися. При цьому зроблено припущення, що в процесі всього періоду видалення вологи (продувки), без перемішування зернової маси, вологість прилеглих до центральної повітророзподільної трубі шарів, очевидно, досягне рівноважної вологості агенту сушіння (повітря).

Відповідно до зробленими припущеннями приймаємо, що відносна вологість повітря (φ_l) нагрітого в калорифері до $t_l = 20$ °С, при середньо-сезонних параметрах осіннього повітря для середньої смуги України $t_l = 10$ °С, $\varphi_0 = 80\%$ [15], становить відповідно $I - d$ діаграмі $-\varphi_l \approx 14\%$, а його вміст вологи $d_0 = d_l = 6,3$ г/кг сухого повітря. Нижня межа вологості зернового шару, відповідний відносній вологості агенту $\varphi_l = 14\%$ і його температурі $t_l = 20$ °С, складе $\omega_c^p \approx 7\%$. Він розраховується за формулою [42]

$$I - \varphi_l = e^{-K_2 t_1 (\omega)^n}, \quad (2.1)$$

де n, K_2 – постійні коефіцієнти, що залежать від матеріалу, для пшениці

$$n = 2,225; K_2 = 5,47 \cdot 10^6;$$

t_1 – температура повітря, °С.

Максимальна вологість зерна в периферійних шарах, при відповідних поєднаннях загальної товщини шару, питомої подачі повітря і його температури, може дорівнювати вихідній вологості висушеного або охолодженого матеріалу, при якій найбільша нерівномірність шару буде рівна

$$\Delta \omega_{\max} = \omega_1 - \omega_p$$

Температуру нагрівання або охолодження зерна в вентиляльованих аеродинамічних системах, згідно численних досліджень, з достатнім ступенем точності, можна визначити за формулою [15]

$$t_3 = \frac{2340}{37 + 0,63 \cdot \omega} + 20 - 10 \lg \tau, \quad (2.2)$$

де t_3 – температура зерна, °С;

ω – середня вологість зерна за період зберігання, %;

τ – період продувки зерна, год.

Слід зазначити, що при температурі повітря $t_1 = 20$ °С, температура зерна t_3 з вологістю не нижче гігроскопічної в період зберігання залишається рівною температурі мокрого термометра $t_3 = t_m$.

При досягненні зерном критичної гігроскопічної вологості ($\omega_{кр}^2$), температура зерна може збільшитися ($t_3 > t_m$). В цьому випадку збільшиться також і термостійкість зерна у міру зниження його вмісту води. З причини того, що при зберіганні зерно біля центральної труби або на плоскій перфорованій поверхні основну частину часу вентилявання знаходиться при кондиційній

вологості, температура повітря ($t_1 = 20$ °C) буде для нього безпечною на протязі тривалого періоду вентилявання-зберігання зернової маси. Це підтверджено дослідями [28] при зберіганні насіння зернових культур в насипу охолодженим повітрям.

Інші параметри процесу зберігання визначаємо також з умови, що при зберіганні зерна період впливу повітря на нього триває до тих пір, поки середня вологість всієї зернової маси в вентиляваному силосі не знизиться до кондиційної 13 – 14 %, а температура її не буде рівною температурі повітря. При цьому, беремо до уваги, що зовнішній шар зерна буде мати вологість близьку до початкової, а в якості першого наближення, вважаємо, що швидкість видалення вологи з усього зернового об'єму постійна. Тоді тривалість зберігання при видаленні вологи (з підігрівом повітря) може бути визначена з наступних умов. Кількість вологи, що випаровується за період сушіння в установці циклічної дії

$$W = G \cdot \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} = \frac{L_n \cdot (d_2 - d_1)}{1000}, \text{ кг} \quad (2.3)$$

де G – маса зерна, що зберігається, кг;

ω_1, ω_2 – вихідна і кінцева середня вологість зерна, %;

L_n – загальна витрата повітря за період вентилявання, котра визначається із залежності

$$L_n = q_m \cdot G\tau, \text{ кг} \quad (2.4)$$

де q_m – питома витрата повітря, кг/год на 1 кг зерна.

У рівнянні (2.3) вологовміст повітря на вході в шар (d_1) і виходу з нього (d_2) визначають $I - d$ діаграми по температурі і відносній вологості повітря, що подається (t_1, φ_1) і відпрацьованого (t_2, φ_2). Тривалість періоду видалення вологи

(подачі нагрітого повітря) із зернової маси з урахуванням рівнянь (2.3) і (2.4), може бути представлена у вигляді

$$\tau = \frac{1000 \cdot (\omega_1 - \omega_2)}{(100 - \omega_2) \cdot (d_2 - d_1) \cdot q_m}. \quad (2.5)$$

З залежності (2.5) видно, що зі збільшенням питомої подачі (q_m) і ступеня вологонасичення ($d_2 - d_1$) повітря, тривалість видалення вологи зменшується.

Так, середню температуру зернової маси в процесі зберігання можна визначити з рівняння теплового балансу при її вентиляванні. В цьому випадку втратами тепла в навколишнє середовище можна знехтувати. Тоді маємо

$$t_{m2} = \frac{Ca_1 L_n t_1 + C_{m1} G_1 t_{m1} - Ca_2 L_n t_2}{C_{m2} G_2 t_{m2}}, \quad (2.6)$$

де $Ca_1 L_n t_1$ – тепло, внесене повітрям за період вентилявання;

$C_{m1} G_1 t_{m1}$ – тепло, внесене зерном;

$Ca_2 L_n t_2$ – тепло, що вийшло з відпрацьованим повітрям за період вентилявання;

$C_{m2} G_2 t_{m2}$ – тепло, витрачене на нагрівання (охолодження) зерна за період вентилявання;

Ca_1, Ca_2 – вагові теплоємності повітря на вході в зернову масу і на виході з неї;

C_{m1}, C_{m2} – середні теплоємності зернової маси до і після вентилявання;

G_1, G_2 – маса зерна до і після зберігання;

t_{m1} – температура зерна до зберігання.

Оскільки в кінці періоду вентилявання підігрітим повітрям, наприклад, при середній вологості зернової маси 13 – 14 %, маємо в напрямку потоку повітря значну нерівномірність шару, як по вологості, так і по температурі, то після періоду теплової продувки зернової маси, її необхідно провентилувати

атмосферним повітрям. Подачу його в шар слід здійснювати в тому ж напрямку, що і при тепловому вентиляванні, не тільки для охолодження зернової маси, а й для вирівнювання її вологості за обсягом. Вплив атмосферного повітря на перерозподіл температури за обсягом зернової маси при такому режимі вентилявання вивчений недостатньо. Крім цього, можна припустити, що в процесі охолодження зерна, накопичене за час його вентилявання тепло впливає на загальну усушку зернової маси, особливо в периферійних до входу повітря шарах, що може відобразитися на натурі зерна. Витрати тепла на нагрівання повітря в період зберігання зернової маси визначаються з рівняння

$$Q = L_n \cdot (I_1 - I_0), \quad (2.7)$$

де I_1, I_0 – вміст тепла в навколишньому і підігрітому повітрі, визначаються по $I - d$ діаграмі.

З урахуванням (2.5) і (2.7) маємо вираз для визначення питомих витрат тепла на охолодження зернової маси

$$q_m = \frac{1000 \cdot (I_1 - I_0)}{d_2 - d_1}. \quad (2.8)$$

Середня питома витрата охолодження повітря за повний цикл вентилявання визначаємо за формулою

$$q_{г.ср} = \frac{Q}{W_{заг}}, \quad (2.9)$$

де $W_{заг}$ – загальна кількість випареної вологи за період вентилявання, котра визначається сумою

$$W_{заг} = W + W_{охолод} = \frac{L_n \cdot (d_2 - d_1)}{1000} + \frac{L_{охолод} \cdot (d_3 - d_0)}{1000}. \quad (2.10)$$

де $W_{\text{охолод}}$ – кількість вологи, що випаровується з зерна в період його охолодження повітрям;

$L_{\text{охолод}}$ – витрата охолоджуючого повітря;

d_3, d_0 – вміст вологи охолоджуючого повітря на вході в шар і виході з нього.

При калориферному підігріві повітря $d_0 = d_1$ і єдиній аеродинамічній системі

$$L_n = L_{\text{охолод}}.$$

Підставляючи в (2.10) значення Q і $W_{\text{заг}}$ та враховуючи, що $L_n = L_{\text{охолод}}$ маємо

$$q_{T_{cp}} = \frac{L_n(I_1 - I_0)1000}{L_n(d_2 - d_1) + L_{\text{охолод}}(d_3 - d_0)} = \frac{1000(I_1 - I_0)}{[(d_2 - d_1) + (d_3 - d_0)]}. \quad (2.11)$$

З залежності (2.10) видно, що при $d_0 > d_3$, другий доданок знаменника стає від'ємним і середня питома витрата тепла ($q_{T_{cp}}$) буде збільшуватися. Отже, процес охолодження необхідно вести при параметрах охолоджуючого повітря, що забезпечують деякий спад вологи із зернової маси або при сталості вологості останньої, тобто за умови $d_3 \geq d_0$. Питомі витрати електроенергії на вентилявання, при повному циклі задіяння сховища можна визначити за

$$E = \frac{N_{\epsilon^r}}{W_{\text{заг}}}. \quad (2.12)$$

де N_{ϵ} – потужність, споживана вентилятором, яка розраховується за формулою буде

$$N_{\epsilon} = \frac{L_n \cdot P}{3600 \cdot 102 \eta_{\epsilon}}, \quad (2.13)$$

де P – загальний аеродинамічний опір вентиляційної системи;

η_e – ККД вентилятора.

Рівняння (2.12), набуде вигляду

$$E = \frac{P}{367,2(d_2 - d_1)\eta_e}, \quad (2.14)$$

Середні питомі витрати електроенергії за повний цикл зберігання подібно питомим витратам тепла, визначаються з залежності

$$E = \frac{N_e \cdot \tau}{W_{заг}} = \frac{L \cdot P}{(W + W_{охолод}) \cdot n} = \frac{P}{367,2 \cdot (d_2 + d_3 - 2 \cdot d_1) \cdot \eta_e}, \text{ кВт} \quad (2.15)$$

де $W_{охолод}$ – кількість вологи, що випарувалася з зерна в період його охолодження, кг/год;

η_e – ККД вентилятора;

P – загальний аеродинамічний опір вентиляційної системи, Н/м;

N_e – споживана потужність вентилятора, кВт.

Звідси випливає, що витрати електроенергії на вентилявання зернової маси при циклі нагрів-охолодження, віднесені до одиниці випареної вологи, прямо пропорційні загальному гідравлічному опору аеродинамічної системи, в тому числі і зернового шару, і обернено пропорційні вмісту вологи повітря. У свою чергу вологовміст повітря пропорційний його початковій температурі. Тому одним із шляхів підвищення швидкості та ефективності зберігання зернової маси при вентиляванні є підвищення температури нагрівання повітря до допустимої величини і охолодження її при низьких температурах атмосферного повітря. Для підтвердження викладеного необхідним було проведення експериментальних досліджень, особливо для зернового шару зерна, що радіально продувається.

Висновки за розділом

Дослідження тепломасообмінних процесів при вентиляванні нерухомого шару зернової маси дозволили розробити інженерну методику розрахунку основних параметрів, що сприяють видаленню вологи при зберіганні зерна в охолодженому стані. В основі цієї методики прийнято, що при сталій швидкості видалення вологи з усього зернового об'єму, тривалість видалення вологи обернено пропорційна питомій подачі повітря і ступеня вологонасичення повітря. При цьому враховується, що витрати електроенергії на вентилявання зернової маси, віднесені до одиниці випареної вологи, прямо пропорційні загальному гідравлічному опору аеродинамічної системи, в тому числі зернового шару, і обернено пропорційні до його початкової температури.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБЕРІГАННЯ ШАРУ ЗЕРНА В ОХОЛОДЖЕНОМУ СТАНІ, ЩО РАДІАЛЬНО ПРОДУВАЄТЬСЯ

3.1 Програма та методика експериментальних досліджень

Відповідно до вище викладеного, основні положення програми та методика включають в себе лабораторні дослідження. Для цієї мети були задіяні розроблена установка, технологічні лінії і вентильовані металеві зерносховища в натуральну величину. Обробка і оцінка результатів досліджень з визначення якісних показників зерна здійснено за відомими методиками. Крім того, при проведенні досліджень використовувалися ряд методик, розроблених різними установами і авторами [16,17].

В основу лабораторної програми досліджень були включені:

- визначення впливу параметрів повітря на видалення вологи з радіального шару зерна;
- визначення нерівномірності видалення вологи з радіального шару зерна;
- вивчення аеродинамічних пристінних опорів, від перфорованих поверхонь і прилеглого до них зерна.

При проведенні дослідів були задіяні: ваги лабораторні з попохибкою зважування не більше 0,1 г, ваги лабораторні з похибкою зважування не більше 0,01 г, лабораторні дошки, скальпель, набір щупів, совочки, чашки для наважок, комплект лабораторних сит з решітних полотен отворами діаметром 0,5; 1,0; 1,5; 3,0 і 6,0 мм, зерновий влагомір Wile-55 (Фінляндія) – діапазон вимірювання вологості 8...35 %, сушильну електричну шафу марки СЕШ-3М, бюкси металеві, чашки фарфорові, шпателі, пінцети, тигельні щипці, термометри технічні зі шкалою до 150 °С, пробовідбірники, ящички дерев'яні для вимірювання температури нагрівання насіння і інше лабораторне обладнання. Обробка результатів досліджень проводилася з використанням методів математичної статистики і комп'ютера.

Лабораторна установка (рис. 3.1) включала в себе аеродинамічну камеру зі стінками з решіт, між якими завантажувався зерновий матеріал. Динамічний і повний напір замірялися мікроманометром з пневмометричною мікротрубкою ПШО. Результати дослідів оброблялися в функції $P_{np} = f(v)$. Швидкість повітря (v) з урахуванням його істинної щільності, що залежить від температури барометричного тиску і вмісту вологи, розраховувалась по динамічному напору і ставилася до всієї площі решітки, що продувається. Температура і відносна вологість навколишнього і відпрацьованого повітря замірялися за допомогою психрометра Асмана. Задана температура повітря на вході в шар в процесі досвіду підтримувалася автоматично і контролювалася по перетину розподільної коробки трьома ртутними термометрами з ціною поділки $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

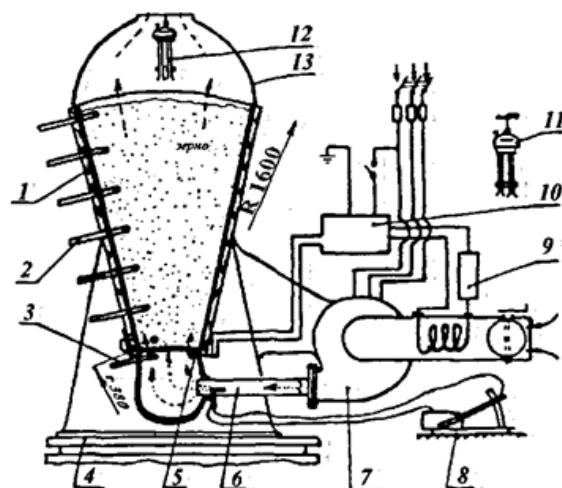


Рисунок 3.1 – Схема лабораторної установки для вивчення процесу вентиляції зерна в радіальному шарі

- 1 – аеродинамічно-сушильна камера; 2 – термометри для виміру температури зерна; 3 – термометри для контролю температури теплоносія; 4 – платформенні ваги; 5 – ртутний електроконтактний термометр; 6 – витратомірна труба; 7 – вентилятор з електрокалорифером та дроселем; 8 – мікроманометр; 9 – реостат; 10 – блок автоматичної підтримки температури теплоносія; 11, 12 – психрометри; 13 – дифузор.

3.2 Результати вивчення процесу зберігання зерна в холоді і нерівномірності розподілу температур в шарі зерна, що радіально продувається

Аналіз конструкцій зерносквоищ показує, що аеродинамічні системи і технологічні схеми ємностей з горизонтальною продувкою зернової маси більш складні, ніж з вертикальною. Для визначення, відповідно до вище викладеної методики, видалення вологи і нерівномірності розподілу повітря в шарі були проведені лабораторні дослідження з нагрітим повітрям і вологим матеріалом. Вимірювальна система установки дозволяла фіксувати по точках в шарі, перепади температур і вологості зерна. Ці перепади приймалися як базові характеристики для зберігання зерна в силосі з радіальною продувкою зернової маси. Крім цього, підігрів повітря дозволяв підтримувати постійну відносну його вологість, що сприяло більш чіткому виявленню характеру видалення вологи із зернової маси.

На рисунку 3.2 показані графічні залежності видалення вологи і нагрівання в поперечному перерізі радіального шару завтовшки $h = 1,1$ м і вологістю $\omega^c = 25\%$, отримані при температурі і відносній вологості повітря відповідно $t_1 = 40$ °С і $\varphi_1 = 12\%$ з питомою подачею його, віднесеної до ваги сухої речовини, $q_c = 0,63$ м³/год·кг.

З цих залежностей (рис. 3.2) видно, що при постійних параметрах повітря найбільш інтенсивне зневоднення зерна спостерігається з боку його ходу в шар. При цьому криві видалення вологи мають крутий спадний, а криві нагріву, навпаки, крутий висхідний вигляд. У міру просування нагрітого повітря в шарі зерна, він насичується парами вологи, віддаленої з шарів ближче розташованих до входу повітря. Знімання вологи в цілому із зернової маси по товщині шару сповільнюється. Тут необхідно зазначити, що якщо в зонах ближче до входу повітря має місце активне знімання вологи з зерна, то в більш далеких точках шару спостерігається деяке підвищення вологості матеріалу. На нашу думку, це пов'язано в основному з явищем виділення конденсату парів на поверхні зерна при взаємодії його з насиченим відпрацьованим повітрям. Можна припустити, що при вентиляванні зерна атмосферним повітрям, в залежності від відносної його

вологості і температури, може бути таке ж явище і під час зберігання зернової маси. При цьому відзначимо, що при заданих параметрах процесу (рис. 3.4), до середньої кінцевої вологості зернової маси $\omega_1^c = 16,8\%$, і температурі повітря $t_1^c = 34,1^\circ\text{C}$, знімання вологи по шарах протікає в цілому при постійній інтенсивності, але зона стабілізації процесу не досягає верхньої граничної частини зернового шару. Послідовність знімання вологи по товщині шару характеризує нерівномірності видалення вологи і нагрівання, що в сукупності може мати місце і при зберіганні зернових мас в промислових вентиляваних ємностях.

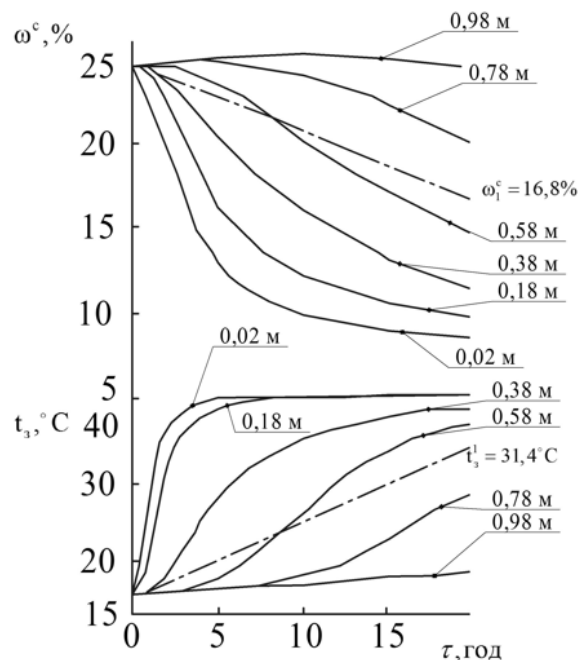


Рисунок 3.2 – Характери видалення вологи ω^c і нагріву t_3 шару зерна, що продувається радіально на різній глибині від входу повітря в зернову масу

Сорт пшениці «Українська 39» $\omega_n = 25\%$, $t_1 = 40^\circ\text{C}$, $\varphi = 15\%$,

$$q_c = 0,63 \text{ м}^3/\text{год}\cdot\text{кг}, h = 1,1 \text{ м}.$$

Для виявлення необхідної питомої подачі повітря, при якій зона видалення вологи досягне верхньої граничної частини шару і настає період падіння швидкості знімання вологи, була проведена серія дослідів при різних подачах повітря (рис. 3.3).

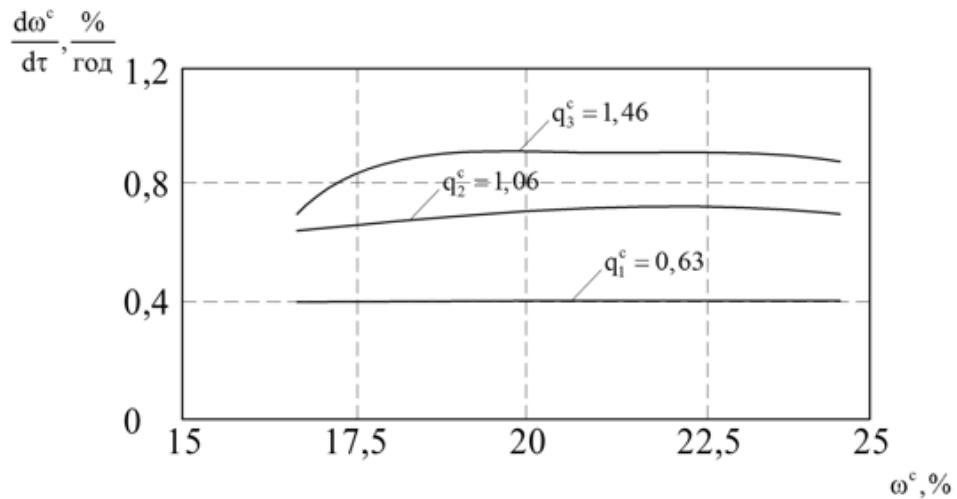


Рисунок 3.3 – Швидкість видалення вологи з шару зерна, що продувається радіально при різних питомих подачах повітря ($t_1 = 40^\circ\text{C}$)

Сорт пшениці «Українська 39» $\omega_n = 25\%$, $\varphi = 15\%$, $h = 1,1\text{ м}$.

Аналіз результатів цих дослідів показує, що період постійної швидкості видалення вологи по всій товщині шару закінчується при значенні $q_c = 1,06\text{ м}^3/\text{год}\cdot\text{кг}$. Таким чином, це значення питомої подачі повітря при вентиляванні зернової маси в радіальному шарі товщиною 1,1 м можна прийняти оптимальним. Надалі всі досліді проводилися при цій питомої подачі повітря. Однак, в реальних умовах зберігання зерна, особливо тривалого, необхідно здійснювати постійний контроль за відносною вологістю і температурою повітря.

Вплив підігрітого повітря на тривалість і нерівномірність видалення вологи по шарам зернової маси графічно показано на рисунку 3.4. Статистична обробка результатів дослідних даних дозволила отримати в загальному вигляді наступні залежності

$$\tau = \frac{D}{(t_1 - t_0)}, \text{ год} \quad (3.1)$$

$$\Delta\omega^c = \frac{M}{(t_1 - t_0)}, \% \quad (3.2)$$

де D, M – коефіцієнти, що залежать від питомої подачі повітря, його результатного вмісту вологи, початкової вологості матеріалу і виду культури; t_1, t_0 – відповідно температура атмосферного і підігрітого повітря.

Для зерна пшениці, при $q_c = 1,28 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{кг}$, $\omega_1^c = 24,7\%$ і $d_0 = 6,3 \text{ г/кг}$ сухого повітря значення коефіцієнтів D, M відповідно рівні 260 і 0,46.

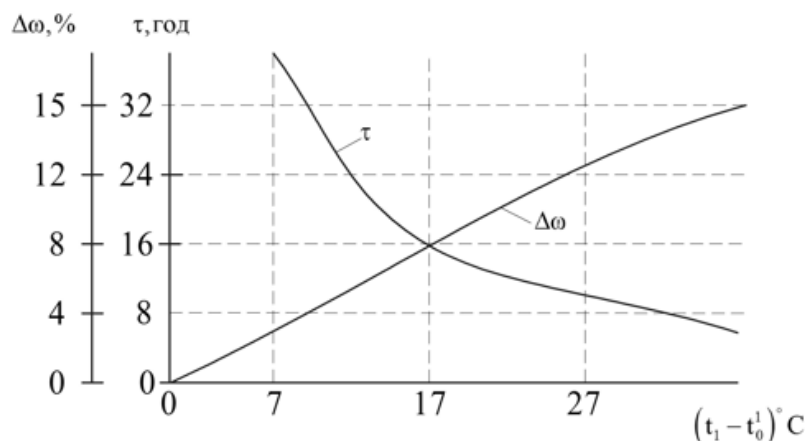


Рисунок 3.4 – Вплив підігріву повітря на тривалість та нерівномірність видалення вологи із шару зерна

Сорт пшениці «Українська 39» $h = 1,1 \text{ м}$, $\omega_1^c = 24,7\%$, $t_0^1 = 13 \text{ }^\circ\text{C}$, $q_c = 1,28 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{кг}$.

Проведені дослідження показали, що зі збільшенням питомої подачі повітря тривалість і нерівномірність видалення вологи з шару зерна зменшуються (рис. 3.5). При цьому графічні залежності $\tau = f(q_c)$ і $\Delta\omega = f(q_c)$ носять гіперболічний вид. В цьому випадку, в загальному вигляді, вони можуть бути представлені рівняннями $\tau = A \cdot q_c^{-a}$ і $\Delta\omega^c = B \cdot q_c^{-b}$. Після статистичної обробки результатів дослідів значення коефіцієнтів A, B, a, b для насіння колосових при $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $\omega_1^c = 24,7\%$ і в інтервалі $q_c = 0,4 + 2,0 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{кг}$ були отримані відповідно 13,0; 13,8; 0,96; 0,32, тобто маємо

$$\tau = 13,0 \cdot q_c^{-0,96}, \text{ год} \quad (3.3)$$

$$\Delta\omega^c = 13,8 \cdot q_c^{-0,32}, \% . \quad (3.4)$$

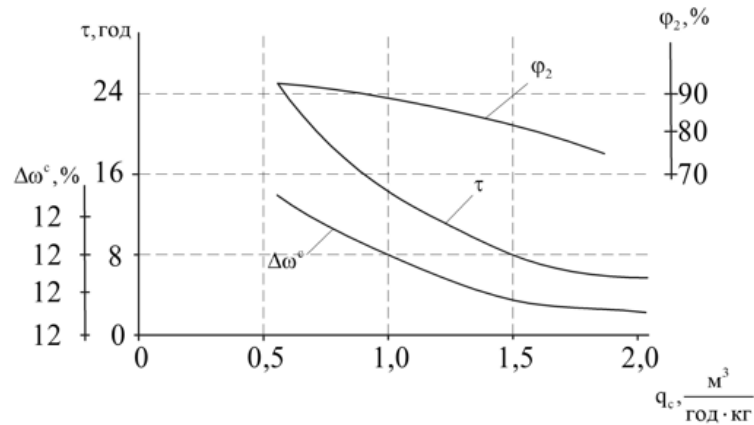


Рисунок 3.5 – Залежність тривалості τ та нерівномірності $\Delta\omega$ видалення вологи з шару зерна від питомої подачі повітря q_c

Сорт пшениці «Українська 39» $\omega_1^c = 24,7\%$, $t_1 = 40^\circ\text{C}$, $h = 1,1\text{ м}$.

Цією ж серією дослідів було визначено, що нерівномірність видалення вологи з шару знаходиться в лінійній залежності від початкової вологості зерна (рис. 3.6). В інтервалі $\omega_1^c = 20 + 41,8\%$ її можна представити у вигляді рівняння

$$\Delta\omega = A_1\omega_1^c - B_1, \quad (3.5)$$

де A_1, B_1 – коефіцієнти, що залежать від питомої подачі q і ступеня підігріву повітря $(t_1 - t_0)$.

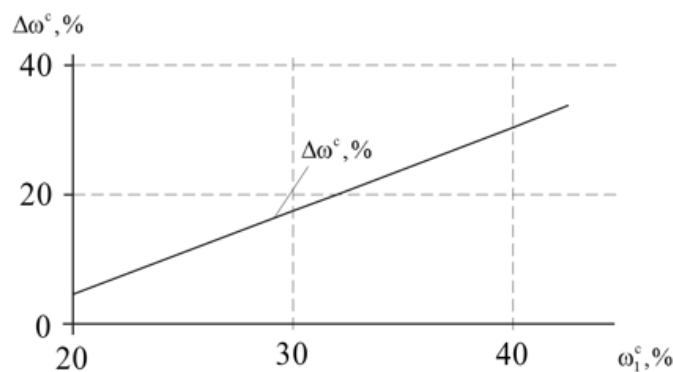


Рисунок 3.6 – Вплив початкової вологості ω_1^c зерна на нерівномірність знімання вологи видалення вологи

Сорт пшениці «Українська 39» $h = 1,1\text{ м}$, $q_c = 1,06\text{ м}^3/\text{Год}\cdot\text{кг}$, $t_1 = 40^\circ\text{C}$.

Для визначення впливу геометричного симплекса $\frac{R_k - r_u}{r_u}$ радіального шару на нерівномірність видалення вологи із зернової маси при $q_c = const$, були проведені ряд дослідів, результати яких показані графічно на рисунку 3.7. На цьому ж рисунку показано вплив на середню, по кожному досліді, відносну вологість відпрацьованого повітря. Аналіз графіків показує, що відношення товщини радіального шару $R_k - r_u$ до внутрішнього радіусу r_u в інтервалі зміни симплекса $\frac{R_k - r_u}{r_u}$ від 0 до 3 $q_c = const$, не впливає на видалення вологи із зернової маси і середню відносну вологість $\varphi_{зсер}$ відпрацьованого повітря.

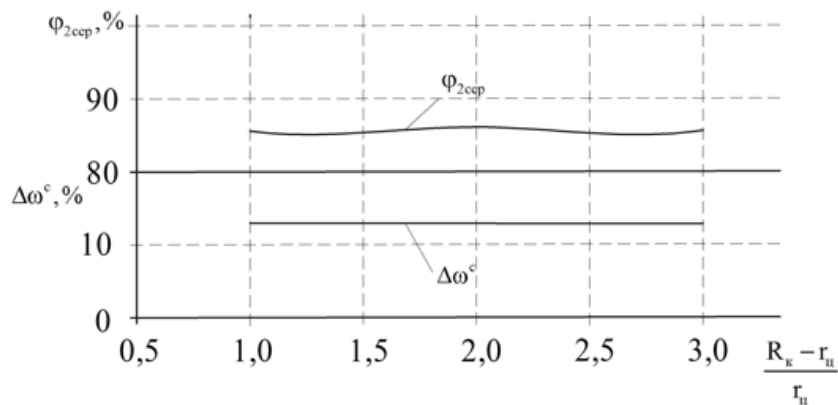


Рисунок 3.7 – Залежність нерівномірності видалення вологи $\Delta\omega^с$ з зерна і середньої відносної вологості відпрацьованого повітря $\varphi_{зсер}$ від геометричного

симплекса шару $\frac{R_k - r_u}{r_u}$. Сорт пшениці «Українська 39» $h = 1,1$ м,

$$\omega_1^с = 24,7\% \quad q_c = 1,33 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{кг}, \quad t_1 = 40^\circ\text{С}.$$

У більшості відомих досліджень, присвячених вивченню опору різних аеродинамічних систем, відзначається, що витрати енергії на вентилявання зерна пропорційні опору всієї аеродинамічної системи. Тому, при використанні вентиляваних металічних ємкостей для зберігання зерна, необхідно зробити

правильний підбір вентилятора. У цьому випадку в розрахунках повинні бути враховані всі складові опору аеродинамічної системи при заданій питомій подачі повітря в зернову масу.

Висновки за розділом

В даному розділі дипломної роботи за результатами досліджень було розроблено інженерну методика розрахунку аеродинамічного опору вентиляційної системи силосу з кільцевим зерновим шаром, виведено рівняння регресії для визначення тривалості вентилявання зерна і швидкості видалення вологи в інтервалі питомої подачі повітря $0,4...2,0 \text{ м}^3/\text{год}\cdot\text{кг}$, початковій вологості зерна $24,7 \%$ і температурі підігрітого повітря $40 \text{ }^\circ\text{C}$, а також номограма для визначення параметрів повітря і режимів вентилявання радіального шару завтовшки $1,1 \text{ м}$ при початковій вологості зерна 25% і питомій витраті повітря $0,7 \text{ м}^3/\text{год}\cdot\text{кг}$.

4 ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1 Результати вивчення процесу зберігання зерна в охолодженому стані з вентилявання атмосферним повітрям

В даному розділі роботи наведені результати вивчення охолодження зерна атмосферним повітрям в насипу при формуванні двох буртів зерновими щитами. Досліди з кільцевим шаром зерна, який радіально продувається були проведені в чотирьох ємностях з товщиною шару 550 мм і по одній ємності з товщиною 1160 і 1190 мм. Умови охолодження зерна атмосферним повітрям при вертикальній продувці зернової маси вивчалоя в металічній циліндричній ємності при висоті шару 7,5 метрів.

4.1.1 Результати вентилявання зерна атмосферним повітрям в насипу (буртах)

Перший дослід був проведений з метою визначення динаміки зміни температури зерна в насипу (рис. 4.1) протягом 36 годин після 10 годин продувки її атмосферним повітрям при швидкості фільтрації 0,32 м/с (рис. 4.2). другий дослід відносили до вивчення впливу температури атмосферного повітря в період його продувки з 0 до 8 години ранку (рис. 4.3). Цей експеримент проводився в тому ж насипу, який вивчався в першому досліді, через дві доби, тобто 22.09. за цей період на досліджуваний насип було досипано додатково попередньо очищене і щойно зібране зерно товщиною шару близько 300 мм.

Аналіз динаміки температур (рис. 4.2 і 4.3) показує, що в період вентилявання зерна атмосферним повітрям відбувається зниження температури зерна, але не на всіх рівнях насипу з однаковою інтенсивністю. Так, в першому досліді (рис. 4.2) термодатчик незалежно від температури атмосферного повітря фіксував практично постійну температуру зерна (крива 3). В цьому випадку можна констатувати, що аеродинамічна система зерноховища не забезпечує ефективно вентилявання зерна на поверхні насипу.

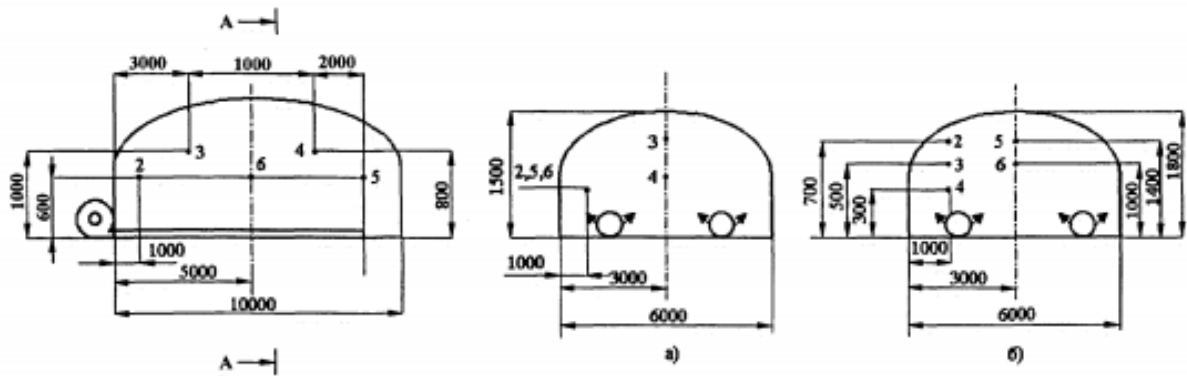


Рисунок 4.1 – Габаритні розміри бунтів і схеми розташування термодатчиків в насипу зерна

а) бунт висотою 1500 мм; б) бунт висотою 1800 мм; 2, 3, 4, 5, 6 – номери термодатчиків.

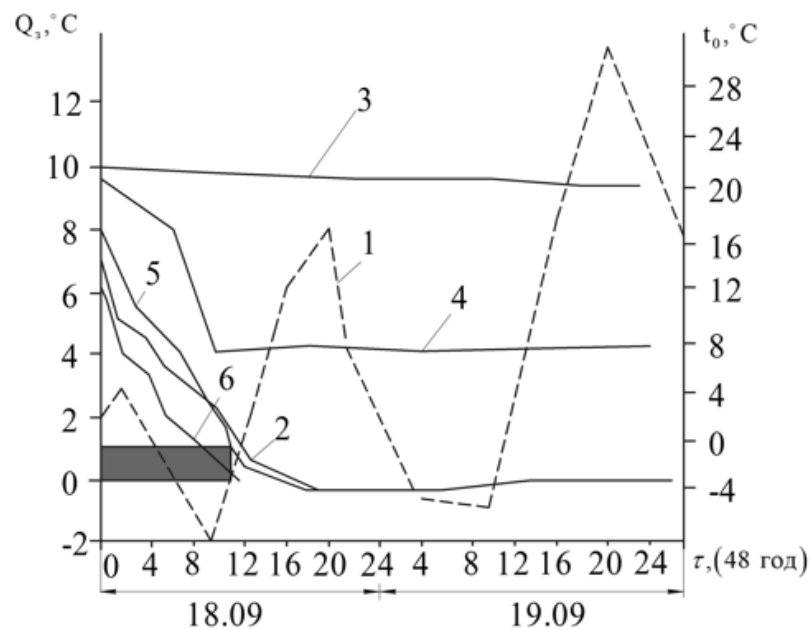


Рисунок 4.2 – Зміна температур атмосферного повітря (1) і зерна (2...6) в насипу зерна на протязі доби



– період вентиляції зерна (10 годин);

2 – 6 – термодатчики (див. рис. 4.1, а); відносна вологість атмосферного повітря 42 – 58 %, вологість зерна $\omega_{cp} = 17,2\%$; середня початкова температура зерна в насипу $\theta_{zn} = 10$ °С.

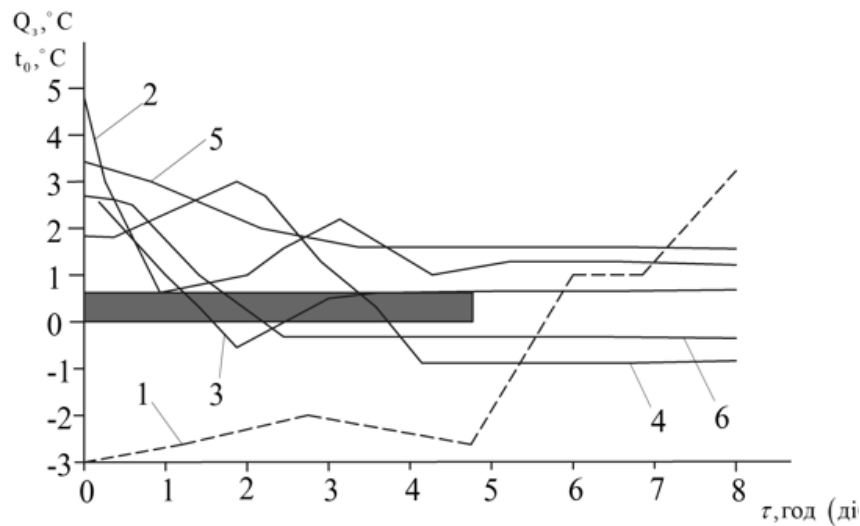


Рисунок 4.3 – Зміна температур атмосферного повітря (1) і зерна (2...6) в насипу з 0 до 8 годин ранку 22.09



– період вентилявання зерна (5 годин);

2 – 6 – термодатчики (див. рис. 4.1, а); відносна вологість атмосферного повітря 50 – 54 %, вологість зерна $\omega_{cp} = 17,8\%$; середня початкова температура зерна в насипу $\theta_{zn} = 4$ °С.

Цей висновок підтверджує і крива 5 другого дослідження (рис. 4.3). В цьому випадку, навіть при вентиляванні насипу (6 крива) з від'ємною температурою атмосферного повітря, мало місце підвищення температури зерна в середині насипу. Таке явище можна пояснити тим, що на насип було досипане зерно з температурою 20,5 °С і вентилявання насипу дві доби не здійснювалось. Мабуть, за цей час відбувся перерозподіл температур зерна в насипу, що і відбилося в момент початку його вентилявання на підвищенні температури зерна всередині насипу. Крім цього необхідно відмітити, що нічний час вентилявання зерна ефективно впливає на зниження його температури і сприяє для тривалого збереження цієї температури в насипу. Однак, підлогове зберігання зерна на повітророзподільних коробах вимагає обґрунтування їх розстановки і гранично допустимої висоти вентиляваного насипу. Оптимізації витрат і тривалості вентилявання в залежності від температури атмосферного повітря.

Згідно з нашими дослідженнями і проведеними дослідями (питома витрата повітря $250 \text{ м}^3/\text{т}\cdot\text{год}$), для вивчених аеродинамічних систем для зберігання зерна можна рекомендувати в період збирання зернових (серпень, вересень, жовтень, після формування зерна в бунти вентиляція його здійснювати циклічно з 23 години ночі до 8 годин ранку. У разі температури атмосферного повітря менш $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ і від'ємних, цей період за часом можна скоротити в два рази.

4.1.2 Результати вивчення вентиляції зерна в кільцевому шарі

Дана серія дослідів дозволила простежити вплив температури атмосферного повітря на зміну температури зерна в вентиляційному радіальному шарі в залежності від його початкової вологості і температури, товщини шару, питомої витрати повітря, тривалості і циклічності вентиляції.

На рисунку 4.4 показані результати вивчення умов зберігання зерна в чотирьох ємностях СЗЦ-1,5. Вихідна температура зерна при засипці в ємності знаходилася в межах від 7 до $11,5 \text{ }^\circ\text{C}$ і вологості від $17,5$ до $21,6 \%$. За дві доби (44 години) перебування зерна в ємностях температура атмосферного повітря сягала, вночі до $-1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ і вдень до $+13 \text{ }^\circ\text{C}$ при відносній вологості $53 - 64 \%$. Аналіз графічних залежностей показує, що зберігання зерна в кільцевому шарі товщиною 550 мм має тенденцію до прямої залежності від температури атмосферного повітря. З підвищенням або пониженням останньої, аналогічно змінюється і температура зерна. Годинне вентиляція зернової маси в нічний час (о 23 годині), сприяло незначному зниженню температури зерна і, в основному, стабілізувало її до 10 години ранку. Після цього часу, зі збільшенням температури атмосферного повітря, піднімалася і температура зернової маси. Подальші спостереження (27.08) за зміною температур атмосферного повітря та зерна показали практичну відповідність результатам спостережень попереднього дня (26.08).

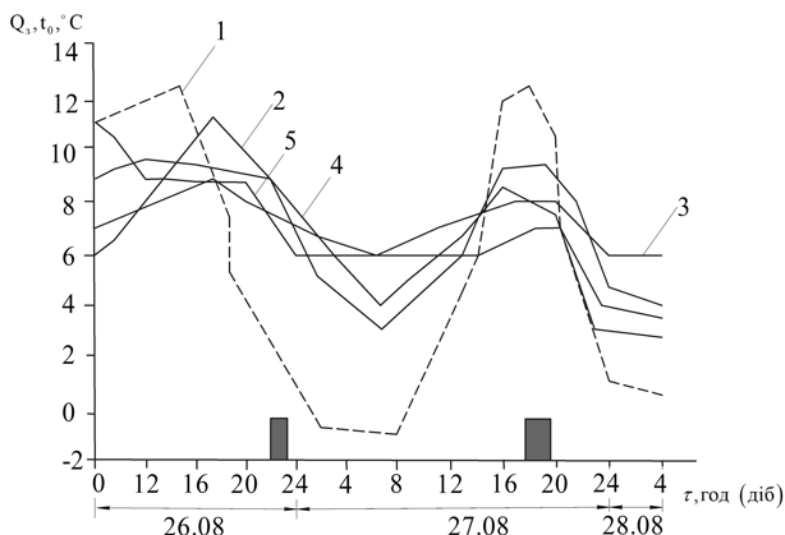


Рисунок 4.4 – Зміна на протязі двох діб температур атмосферного повітря (1) і зерна (2...5) в ємкості СЗЦ-1,5 при двох одноденних циклах вентиляювання



– період вентиляювання зерна (1 година);

5 – термодатчики; відносна вологість атмосферного повітря 53 – 64 %; 2 – 21,3 % і 7,0 °С; 3 – 17,5 % і 7,5 °С; 4 – 19,1 % і 9,5 °С; 5 – 21,6 % і 11,5 °С.

Результати даних досліджень дозволяють зробити висновок у тому, що на зберігання зерна в ємностях з кільцевим шаром 550 мм, незалежно від його вихідної вологості і температури, істотно впливає температура атмосферного повітря. Підвищення або зниження його відповідає аналогічному коливанню температури зернового шару.

Вивчення умов зберігання зернової маси протягом 96 годин в кільцевому шарі товщиною 1160 мм (рис. 4.5) показало, що зміна позитивної температури атмосферного повітря від 3 до 15 °С, практично не впливає на вихідну температуру зерна, якщо вона була близько 11 °С. Попереднє неперервне вентиляювання, близько 18 годин, а потім з циклічністю щодоби з 6 до 7 години ранку дозволяють гарантовано підтримувати температуру зерна практично на одному рівні. Слід зауважити, що вентиляційні системи ємностей СЗЦ-1,5 і К-878 аналогічні, але товщина вентиляюваного шару в другій ємності майже в 2,3 рази більше. Порівняльний аналіз графічних залежностей (рис. 4.9 і рис. 4.10) показує, що рівень зміни температур зерна при його зберіганні в цих ємностях різний. У

другому досліді температура зернової маси відхилялася від звичної після безперервного вентиляювання в основному в бік зниження в діапазоні 0,5 – 1,0 °С, що можна порівняти з оцінкою меж помилки вимірювань (10 %). У першому досліді таке відхилення максимально склало близько 6 °С.

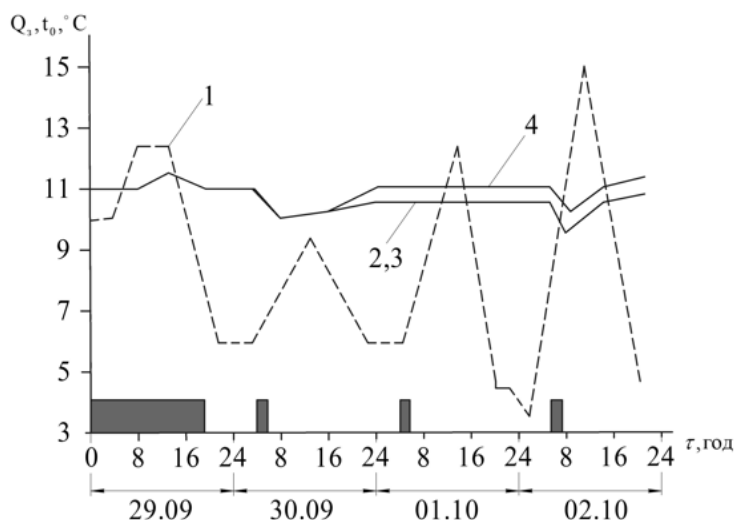


Рисунок 4.5 – Зміна температур атмосферного повітря (1) і зерна (2, 3, 4) в вентиляюваному бункері К-878 (Германія)



– період вентиляювання зерна;

2, 3, 4 – термодатчики (див. рис. 4.1, б); відносна вологість атмосферного повітря 53 – 64 %, вихідна вологість зерна $\omega_{cp} = 19,5\%$; початкова температура зерна в насипу $\theta_{zn} = 13$ °С.

Отримані результати свідчать про те, що після надходження зерна на зберігання, безперервне його вентиляювання в кільцевому шарі товщиною 1160 мм протягом 15 – 20 годин при температурі атмосферного повітря в межах 6 – 12 °С, сприяє стабілізації температури зернової маси. Подальше циклічне щодобове одногодинне продування останньої з 6 до 7 години ранку підтримує стабільність отриманої зерном температури. Даною серією дослідів, в т. ч. з ємностями СЗЦ-1,5, визначено і підтверджено, що циклічність коливань температур аналогічна результатам аналізу. Таким чином, в металевих ємностях з кільцевим шаром зерна товщиною 1160 мм можна зберігати щойно зібране зерно. При цьому, дана

товщина шару не сприяє природній аерації зернової маси. В таких ємностях можна здійснювати гарантоване тимчасове зберігання вологого (19,5 %) зерна при температурі атмосферного повітря не менше 15 °С, протягом декількох діб.

Наступною серією дослідів були визначені умови охолодження зерна після сушіння в металевій ємності БВ-40А. Протягом доби експерименту температура атмосферного повітря знаходилась в межах +3 - +6 °С. Щоб виключити вплив коливань її на процес охолодження зерна вона підтримувалася шляхом підігріву в електрокалорифері на рівні 13 °С. Результати досліджень показані на рисунку 4.6. Аналіз графічних залежностей дозволяє відзначити, що за час спостережень, в початковий період (20 годин) інтенсивність охолодження зерна біля центрального повітророзподільника (крива 1) відбувається значно інтенсивніше, ніж у зовнішнього корпусу силосу (крива 2). Через 45 годин продувки зернової маси атмосферним повітрям, температури зерна близько цих циліндрів стають практично рівними. При цьому зернова маса знизила температуру на $40 - 15,3 = 24,7$ °С, тобто інтенсивність її охолодження $24,7 \div 49 \approx 0,55$ °С/год.

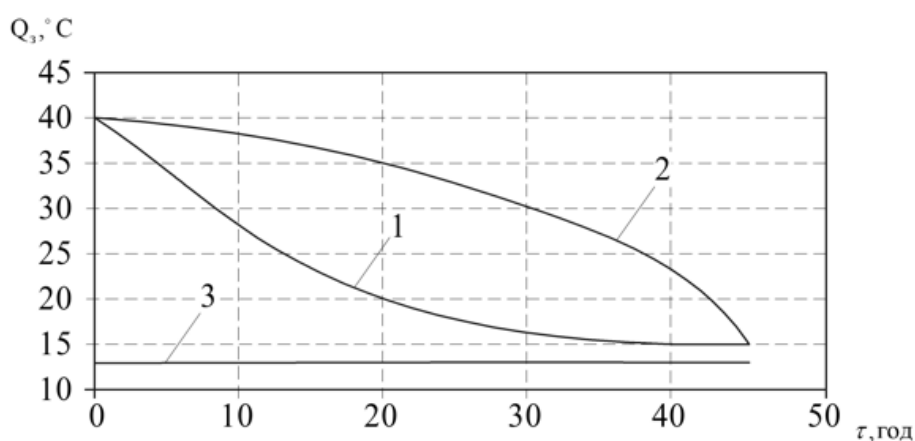


Рисунок 4.6 – Зміна температури зернової маси θ_3 з часом τ в вентилюваному бункері БВ-40А

- 1 – біля повітророзподільного циліндра; 2 – біля зовнішнього корпусу;
3 – середня температура атмосферного повітря.

Таким чином, проведені дослідження з вентиляванням зернової маси атмосферним повітрям в кільцевому шарі при її зберіганні і після сушки, дозволяють зробити наступні висновки. У досліджуваному діапазоні стану зернової маси і атмосферного повітря вологість вихідного зерна не впливає на динаміку його охолодження. Інтенсивність охолодження залежить від товщини шару, що продувається і режиму вентилявання (часу і циклічності) зерна. Кільцевий шар зерна завтовшки до 550 мм схильний до природньої аерації, чого не було помічено при шарі більш 1160 мм. Інтенсивність охолодження шару зерна товщиною 550 мм, за рахунок природньої аерації при температурі атмосферного повітря в межах $+13 - -10$ °C, може скласти $0,21$ °C/год. При вентиляванні в кільцевому зерновому шарі товщиною 1160 мм можна підтримувати тривалий період стабільну температуру зерна. У цьому випадку, коли температура атмосферного повітря нижче 15 °C, циклічне одночасне продування зернової маси доцільно здійснювати в період з 4 до 7 години ранку. Інтенсивність охолодження нагрітого до 40 °C зерна (після сушки) в кільцевому шарі товщиною 1190 мм становить $0,55$ °C/год при температурі атмосферного повітря в діапазоні $3 - 6$ °C. За 45 годин вентилявання зернової маси атмосферним повітрям (13 °C), температура її може бути досягнута на 2 °C вище температури повітря. Визначено, що зберігання зерна, навіть тимчасове, в кільцевому шарі близько 550 мм вельми проблематично, тому що воно має пряму залежність від параметрів атмосферного повітря і при певному стані його (температури і відносної вологості), за рахунок природньої аерації в ємності, може спричинити насичення зерна вологою [7]. Тимчасове і тривале зберігання зерна можливе в кільцевому шарі товщиною більше одного метра. Крім цього, підтримування відповідних режимів вентилявання зернової маси, може бути використано не тільки для її зберігання, а й бути використано для охолодження зерна після сушіння.

4.1.3 Результати вивчення вентиляювання зерна в вертикально продувається атмосферним повітрям шарі

У таблиці 4.1 наведені результати досліджень силосу з вертикальною продувкою зернової маси (ячменю) атмосферним повітрям. Фіксація параметрів атмосферного повітря, зерна і зовнішньої температури стінки циліндра силосу, здійснювалася протягом чотирьох діб продувки зернової маси з питомою витратою повітря. Значення параметрів фіксувалися за часом – о третій годині ночі.

Таблиця 4.1 – Результати вентиляювання атмосферним повітрям зернової маси ячменю в металічному циліндричному силосі

Параметри	Позначення		Число, місяць, 2023 рік				
			20.08	21.08	22.08	23.08	24.08
1	2	3	4	5	6	7	8
Температура t_0 (°C) і відносна вологість (4 %) атмосферного повітря	В ДЕНЬ	$t_{z\min}$	17,24	18,64	17,5	15,56	13,97
		$t_{z\max}$	29,75	24,8	29,7	27,20	20,38
		t_{zcp}	21,87	20,93	21,56	20,26	17,49
		$\varphi_{z\min}$	42	68	32	39	63
		$\varphi_{z\max}$	98	100	96	96	88
		φ_{zcp}	75	90	76	69	74,5
	В НОЧІ	$t_{z\min}$	13,5	17,0	15,0	14,0	11,5
		$t_{z\max}$	27,0	23,0	26,5	22,0	18,0
		t_{zcp}	19,6	18,8	20,4	17,3	15,3
		$\varphi_{z\min}$	47	82	57	60	74
		$\varphi_{z\max}$	98	93	86	97	84
		φ_{zcp}	80	89	74	81	78
Температура зовнішньої сторони стінки силоса t_c , °C	$t_{c\min}$		19,38	20,64	19,38	16,75	15,39
	$t_{c\max}$		29,49	26,30	29,0	25,55	20,89
	t_{ccp}		23,31	22,63	23,11	20,76	18,52

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	
Температура t_3 (°C) і вологість зерна в середині силосу на рівні установки термодатчика 3 м	0,05	$t_{3\min}$	21,19	21,45	21,02	20,25	18,52	
		$t_{3\max}$	24,17	22,90	23,84	22,30	19,90	
		$t_{3\text{ср}}$	22,56	22,17	22,33	21,30	19,39	
		ω_3			11,6			
	0,15	$t_{3\min}$	22,81	22,73	22,38	22,21	21,35	
		$t_{3\max}$	23,41	23,16	22,81	22,81	22,38	
		$t_{3\text{ср}}$	23,08	22,87	22,65	22,47	21,69	
	0,25	$t_{3\min}$	23,16	23,07	23,07	22,90	22,38	
		$t_{3\max}$	23,42	23,34	23,25	23,16	22,90	
		$t_{3\text{ср}}$	23,28	23,22	23,12	23,07	22,65	
	0,50	$t_{3\min}$	24,56	24,64	24,64	24,56	24,64	
		$t_{3\max}$	24,81	24,73	24,81	24,81	24,64	
		$t_{3\text{ср}}$	24,65	24,69	24,68	24,67	24,64	
		ω_3			11,5			
	0,75	$t_{3\min}$	29,37	29,70	29,95	30,29	30,79	
		$t_{3\max}$	29,70	29,95	30,29	30,71	31,12	
		$t_{3\text{ср}}$	29,58	29,86	30,18	30,56	30,92	
		ω_3			11,4			
	Температура t_3 (°C) і вологість зерна в середині силосу на рівні установки термодатчика 3 м	1,5	$t_{3\min}$	28,43	28,34	27,41	26,73	25,72
			$t_{3\max}$	29,10	28,85	28,26	27,41	26,65
$t_{3\text{ср}}$			28,83	28,59	27,89	27,06	26,22	
3,0		$t_{3\min}$	28,93	29,02	28,93	28,93	28,76	
		$t_{3\max}$	29,19	29,19	29,19	29,19	28,93	
		$t_{3\text{ср}}$	29,06	29,10	29,03	28,98	28,84	
		ω_3			11,4			
4,5		$t_{3\min}$	27,63	27,38	26,89	26,39	25,56	
		$t_{3\max}$	28,70	28,04	27,71	27,38	26,31	
	$t_{3\text{ср}}$	28,18	27,69	27,25	26,76	26,00		
Температура t_3 (°C) і вологість зерна в середині силосу на рівні установки термодатчика 7,25 м		$t_{3\min}$	17,46	78,85	17,64	15,39	14,17	
	$t_{3\max}$	35,48	28,31	31,73	32,24	25,74		
	$t_{3\text{ср}}$	24,16	21,82	22,44	20,85	18,73		

Аналіз отриманих результатів показує, що температура атмосферного повітря за час проведення спостережень, за середньою величиною, в день була зафіксована на рівні 20,42 °С при середній відносній вологості 76,9 % і відповідно вночі 18,28 °С і 80,4 %. Відхилення в параметрах атмосферного повітря за середніми температурами протягом доби становило близько 5 % і відносній вологості – близько 2 %, що свідчить про практично стабільні зовнішні умови зберігання ячменю в силосі в період спостереження.

Результати дослідів (табл. 4.1) показують, що вентилявання зернової маси після сушіння в вертикальному шарі висотою понад 7 метрів, протягом 96 годин при середній добовій температурі атмосферного повітря 19,35 °С і питомій витраті 0,06 м/год·кг, неефективно для охолодження зерна. Такий висновок підтверджує і те, що навіть на відстані 50 мм від стінки корпусу ємкості, температура зерна в масі практично не була нижче середньої добової температури 21,67 °С цієї стінки. Найменша середня температура зерна в масі була досягнута на висоті 7,25 метра від повітророзподільного короба 18,73 °С, але вище середньої температури атмосферного повітря 17,49 °С (24.08). Можна припустити, що в цій точці зниження температури зерна відбулося не за рахунок вентилявання зернової маси, а через те, що в цей день була низька температура атмосферного повітря. При цьому термодатчик, розташований в зерні на глибині всього 50 мм від поверхні зернового шару, практично фіксував температуру повітря біля цієї поверхні, а не зерна. Вентилювання зернової маси в основному забезпечило деяке зниження її температури, в середньому за весь період продувки на 5,5 °С, і стабілізувало температуру зерна всередині силосу.

Іншою серією дослідів з вертикальною продувкою зернової маси, була проведена фіксація температур в трьох точках установки (рис. 4.2) термодатчиків. Термодатчики розташовувалися в центрі силосу на відстані від горизонтального повітророзподільного каналу відповідно на 900 мм (t_1), 3800 мм (t_2) і 5400 мм (t_3). На зберігання було закладено зерно вихідної вологості 17,8 % після сушіння і охолодження в зерносушарці атмосферним повітрям. Досліди проводилися в

одному силосі в два етапи. Перший етап полягав в продувці зернової маси атмосферним повітрям, охолодженим за допомогою установки фірми «Sulzer» (Хорватія) до $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, протягом чотирьох днів, тобто 96 годин (рис. 4.7). Другий етап починався, після завершення першого етапу, через дві доби і тривав протягом 40 днів (рис. 4.8).

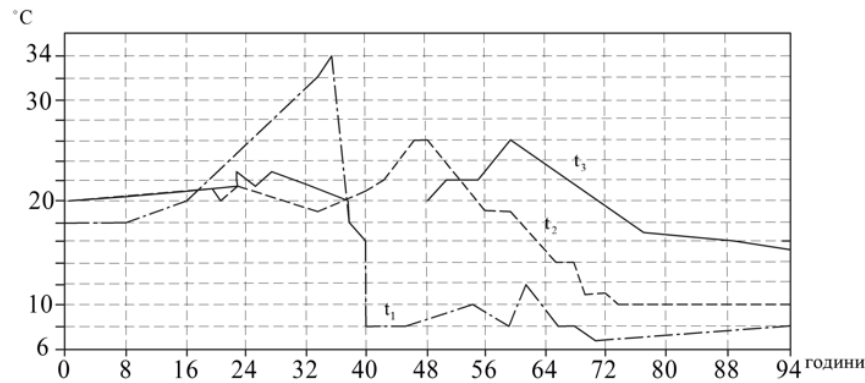


Рисунок 4.7 – Зміна температур зернової маси в центрі силоса при вертикальній продувці її атмосферним повітрям, охолодженим до $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ячмінь $\gamma_3 = 0,81\text{ т/м}^3$, $t_{\text{зн}} = 19 - 21\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\omega_3 = 17,8\%$, $q = 0,06\text{ м}^3/\text{год}\cdot\text{кг}$; відстань від горизонтального повітродозподільного каналу: $t_1 = 0,9\text{ м}$; $t_2 = 3,8\text{ м}$; $t_3 = 5,4\text{ м}$.

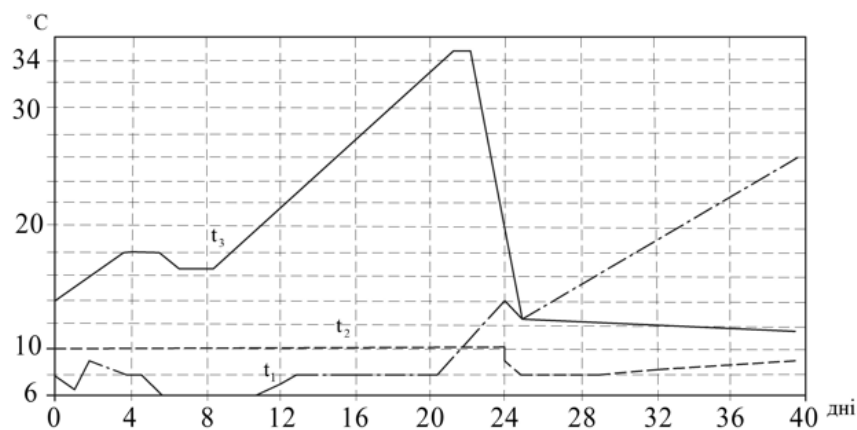


Рисунок 4.8 – Зміна температур зернової маси в центрі силоса при вертикальній комбінованій продувці атмосферним повітрям, охолодженим до $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (21 день) і при температурі $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (15 днів) ячмінь $\gamma_3 = 0,81\text{ т/м}^3$, $\omega_3 = 17,8\%$, $q = 0,06\text{ м}^3/\text{год}\cdot\text{кг}$.

Аналіз залежностей на рисунку 4.8 показує, що в центрі зернової маси, що знаходиться в силосі, через 28 годин її вентилявання охолодженим до $6\text{ }^{\circ}\text{C}$

повітрям, спостерігається перерозподіл температур нагрівання зерна. Так, температура його в нижній зоні силосу за цей період вентилявання, збільшується з 19 до 35 °С (= 16 °С), у середній – через 43 години – з 19 до 26 °С (= 7 °С) і в верхній, майже через 60 годин – з 21 до 25,5 °С (= 4,5 °С). Після цього подальше охолодження зернової маси призводить до істотного зниження і стабілізації температури зерна в нижній і середній її зонах відповідно до 8 °С і 10 °С, а у верхній зоні до 16 °С. Після продувки зернової маси протягом 96 годин, значення температур зерна в цих зонах стає значно нижче вихідної температури, особливо по термодатчиках t_0 і t_1 .

Обробка результатів дослідів дозволила визначити інтенсивність охолодження зернової маси в центрі силосу по нижній, середній і верхній його зонам. У нижній зоні ця інтенсивність склала $(19 - 9):96=0,1$ °С/год, середній $(19 - 10): 96=0,1$ °С/год і в верхній $(21 - 16):96 = 0,05$ °С/год. В середньому по силосу, при середній температурі охолодженого зерна 11,7 °С, інтенсивність охолодження складає 0,083 °С/год. Згідно діаграми рисунка 3.2, такі умови вентилявання зернової маси з вихідною вологістю 17,8 % забезпечують безпечне зберігання її в металевому циліндричному силосі, але не гарантує тривале збереження його якості, тому що даний режим знаходиться в перехідній зоні, тобто на межі безпечного зберігання і зниження посівних якостей зерна.

Аналіз залежностей на рисунку 4.8 показує, що через два дні, коли приступили до спостережень за зерновою масою в силосі за методикою другого етапу, температура її в нижній і середній зонах дещо знизилася, а у верхній збільшилася. Подальше продування зерна, протягом 21 доби (до інтервалу А), супроводжувалася зниженням температури зернової маси в нижній зоні практично до температури охолодженого на першому етапі повітря 6 °С і перед інтервалом а вона дорівнювала 7 °С. У середній зоні силосу температура зернової маси практично не змінювалася за весь період спостережень (40 днів). У верхній зоні силосу, з самого початку другого етапу спостережень, проходило до інтервалу А (відключення вентилятора), збільшення температури зернової маси з 15 до 32 °С. Після періоду відлежування зернової маси (4 доби), в ній відбувся

перерозподіл температур в нижній (t_1) і верхньої (t_3) зонах. У нижній зоні вона почала збільшуватися, а у верхній різко знижуватися. У середній зоні (t_2), в інтервалі А, відбулося деяке зниження температури зернової маси, а потім, під час продування її атмосферним повітрям із середньою температурою 18 °С, температура зерна в ній відновилася майже до 9 °С.

Період відлежування зернової маси (інтервал А) сприяв збільшенню температури зернової маси в нижній зоні силосу (t_1), з моменту відключення вентилятора (в інтервалі А), практично вертикально з 7 до 13 °С. При включенні вентилятора знову (після інтервалу А), коли зернова маса почала продуватися атмосферним повітрям при температурі 18 °С, за одну добу відбулося деяке зниження температури зерна в цій зоні, а потім відбулося її збільшення до 24 °С.

Скориставшись раніше викладеними міркуваннями відзначимо, що при комбінованій вертикальній продувці зернової маси в середній і верхній зонах силосу забезпечується безпечне збереження зерна. Однак в нижньому перетині t_1 при температурі 24 °С і вологості 17,8 % зернова маса знаходиться в зоні самозігрівання, яка зовсім не гарантує її збереження за якісними показниками. Температурна нестабільність зернової маси при такому прийомі зберігання зерна дозволяє зробити висновок про те, що застосовувати його при високих температурах зерна і атмосферного повітря (понад 20 °С) небезпечно. Цілодобове вентиляювання зерна в цьому випадку може привести до витрат, що можна порівняти з його сушінням.

Таким чином, проведені дослідження з виявлення особливостей охолодження і зберігання зерна в металевих силосах при вертикальній продувці зернової маси дозволяють відзначити, що при проектуванні або виборі для експлуатації таких силосів необхідно визначити їх технологічне призначення (підсушування, сушка, вентиляювання, зберігання зерна тривале або тимчасове), регіон використання (середні статистичні значення температур і відносній вологості атмосферного повітря), агрегування в складі технологічної лінії або індивідуальне застосування, а також розрахувати можливі умови, які можуть виникнути при тимчасовому або тривалому зберіганні зерна. Однак, крім

зазначеного, необхідно провести техніко-економічні дослідження по оптимізації ефективності використання металевих силосів з урахуванням системної номенклатури зберігання в них зерна [7].

4.2 Практична реалізація та вивчення експлуатаційних можливостей зберігання зерна в вентиляльованих ємностях

Згідно з програмою виробничих випробувань в ТОВ «Павлоградзернопродукт» була змонтована і запущена в експлуатацію технологічна лінія з виробництва насіння зернових культур (рис. 4.9).

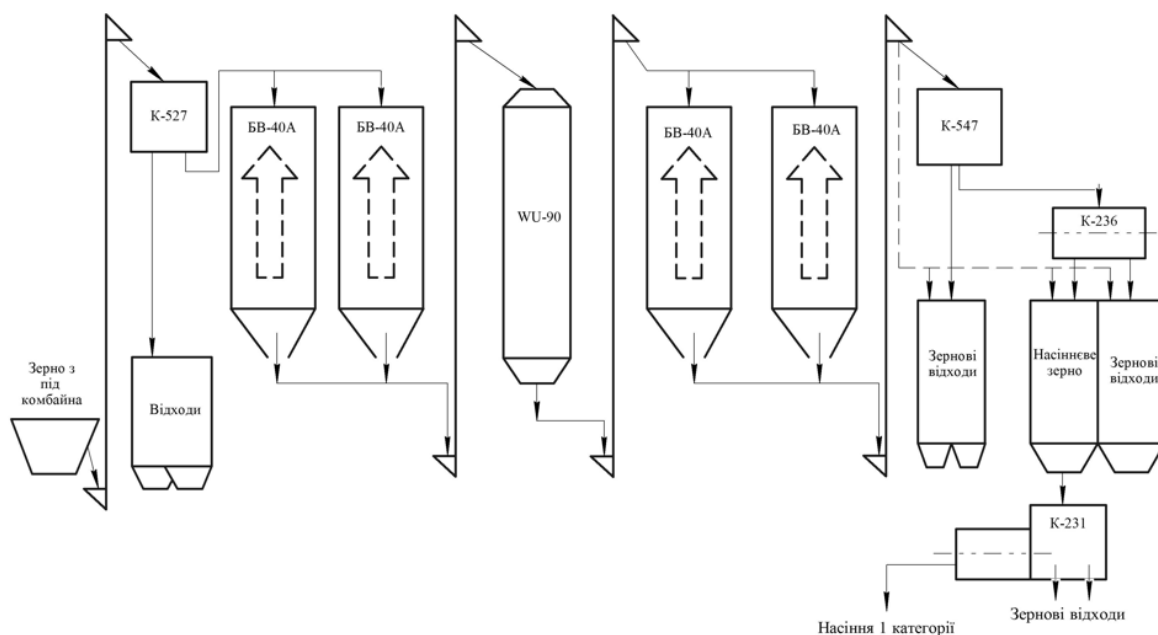


Рисунок 4.9 – Технологічна схема лінії з підготовки насіннєвого зерна ТОВ «Павлоградзернопродукт» з бункерами активного вентиляювання БВ-40А для тимчасового зберігання з повним виконанням технологічних процесів 1 – накопичення та дозрівання зерна, вирівнювання та стабілізація зернової маси за температурою та вологістю; 2 – накопичення та відлежування сухого зерна, вирівнювання та стабілізація за температурою і вологістю, а також охолодження зернової маси.

У складі цієї лінії встановлені чотири бункера БВ-40А, два з яких призначені для тимчасового зберігання попередньо очищеного зерна перед сушінням і два для такого ж зберігання після сушки. Перші два бункера технологічно виконують накопичення і дозрівання зерна, а за рахунок його вентиляювання атмосферним повітрям забезпечують вирівнювання і стабілізацію зернової маси по температурі і вологості. Два інших бункера, після сушки, також накопичують висушене зерно перед первинної і вторинної очищенням, стабілізують його по температурі і вологості, забезпечують вилежування і при вентиляванні, охолодження зернової маси (рис. 4.10).

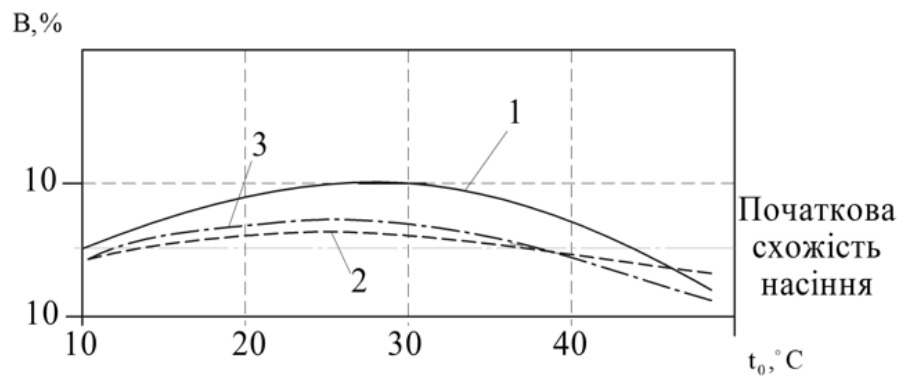


Рисунок 4.10 – Вплив температури повітря (t_0) на схожість (B) насіннєвого зерна при вентиляванні його в бункері БВ-40А після сушки

1 – середня схожість після відлежування (3 години) і охолодження (4 години); 2 – схожість біля розподільника повітря; 3 – схожість біля корпусу бункера.

Сорт пшениці «Українська 39» $\omega_k = 14,2\%$, $t_n = 42$ °C, атмосферного повітря

$$t_0 = 45$$
 °C, $\varphi_{0cp} = 68$ %, $q = 1,2$ м³/год·кг.

Висновки за розділом

В даному розділі дипломної роботи було зроблено виробничу перевірку трьох варіантів вентиляювання зернової маси, яка показала, що зберігання зерна в буртах (насіпом) неефективно через нерівномірне зниження температури. Однак вентиляюванням насипу атмосферним повітрям в нічний час, в період з 23 до 8 год

ранку, можна добитися позитивних результатів при питомій витраті повітря 0,25 м³/год·кг.

Металеві силоси з радіальним шаром більш 1160 мм забезпечують тимчасове і тривале безпечне зберігання зерна нагрітого до 40 °С, якщо вентилявання його атмосферним повітрям починати після сушки з витратою 0,3...0,4 м³/год·кг. При цьому інтенсивність охолодження, при температурі атмосферного повітря 3...6 °С і його питому витрату до 0,4 м³/год·кг, складає 0,55 °С/год. Зберігання зернової маси в металевому силосі при вертикальній продувці в шарі висотою більше 7 м протягом 96 годин при середній добовій температурі атмосферного повітря 19,5 °С і питомій витраті 0,06 м³/год·кг не ефективно для процесу охолодження зерна при початковій його температурі 36 °С.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Розробка організаційно-технологічної карти

Організаційно-технологічна карта з охорони праці для оператора лінії з первинної обробки зерна приведена на рис. 5.1.

1. Характеристика процесу та умови праці	<ol style="list-style-type: none"> 1. Місце роботи – дільниця приймання та обробки зерна на елеваторі ТОВ «Павлоградзернопродукт». 2. Вид робіт – очищення зерна від сторонніх домішок за аеродинамічними властивостями повітряним потоком. 3. Кваліфікація – оператор сепаратора для очистки зерна в повітряному потоці. 4. Умови праці – нормальні.
2. Технічні умови забезпечення безпеки праці	<ol style="list-style-type: none"> 1. Застосувати засоби індивідуального захисту: костюм бавовняний пилозахисний; черевики шкіряні; рукавиці комбіновані; шолом захисний; при роботі взимку – куртка та брюки утеплені. 2. Освітленість робочого місця – не менше 150 лк. 3. Повітряний обмін – не менше 1000 м³/год.
3. Показники технологічного режиму і заходи безпеки	<ol style="list-style-type: none"> 1. Захисні загородження повинні бути надійно закріплені та пофарбовані в яскравий колір. 2. Електрозахисні і блокувальні пристрої повинні бути справними і відповідати нормативним параметрам. Рама сепаратора повинна бути заземлена. 3. На пульту керування сепаратора повинна бути попереджувальна табличка, що буде попереджувати про можливість враження струмом.
4. Шкідливі небезпечні і виробничі фактори на робочому місці	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зерновий пил (аерозолі), частинки мінеральних домішок та соломи. 2. Обертальні частини обладнання; 3. Підвищене значення електричної напруги. 5. Підвищений рівень шуму та вібрації.
5. Основні вимоги безпеки при роботі оператора сепаратора очистки зерна	<ol style="list-style-type: none"> 1. Роботи повинні виконуватись згідно заходів безпеки встановлених ДНАОП та існуючої на підприємстві документації. 2. До роботи на сепараторі допускаються, що досягли 18 років, пройшли навчання та всі види інструктажу з охорони праці, стажування і мають досвід роботи на даному обладнанні. 3. Забороняється проводити ремонтні роботи і очистку сепаратора не вимкнувши його від мережі і без повної зупинки робочих органів. 4. Постійно здійснювати контроль стану опор ситового робочого органу, аспіраційного каналу та регульовальних і натяжних пристроїв. 5. Дотримуватися правил електробезпеки, здійснювати контроль допоміжних захисних пристроїв та захисних огорожень. 6. Підтримувати чистоту і порядок на робочому місці.

Рисунок 5.1 – Операційно-технологічна карта оператора лінії з первинної обробки зерна

Під час розробки організаційно-технологічної карти нами було враховано всі особливості та умови роботи оператора лінії з первинної обробки зерна.

5.2 Утилізація відходів на елеваторі ТОВ «Павлоградзернопродукт»

Елеватор ТОВ «Павлоградзернопродукт» – це сучасний елеватор з повністю механізованими зерносховищами, які забезпечують безпечне та зручне транспортування продукції. На виробничому об'єкті здійснюється кілька процесів з утилізації відходів виробництва.

Виробничі відходи з елеваторів накопичуються на складі після очищення будівлі зерносховища. Спеціальне обладнання запобігає потраплянню опадів, високих температур ззовні будівлі, конденсації водяної пари та зараженню шкідниками. Однак тривале зберігання відходів у ліфтах не рекомендується. Їх необхідно вчасно утилізувати.

Видалення залишків зерна в силосах після сортування зерна може покращити санітарний стан зерносховищ. Своєчасне видалення відходів також може запобігти самозайманню, розмноженню гризунів і патогенних мікроорганізмів.

Відходи з елеваторів передаються на сміттєзбірники. Змішування різних категорій відходів заборонено. Це пов'язано з тим, що передача на подальшу переробку та обробку для виробництва кормів значно ускладнюється.

Екологічна безпека залежить від дотримання вимог щодо зберігання, транспортування та утилізації відходів зернових культур. Невиконання цих вимог може призвести до небезпечних екологічних проблем. Утилізація зерновідходів відбувається поетапно. Це включає в себе наступні процеси:

- завантаження в спеціальні герметичні контейнери і доставка на переробний завод;
- розкладання відходів для отримання субстрату та біогумусу;
- відділення їстівних відходів на корм тваринам;
- термічна обробка з мінімальним викидом шкідливих продуктів згоряння;

- біологічне знешкодження;
- розкладання під впливом хімічних речовин та активних бактерій;
- можливість утилізації на звалищах та компостних майданчиках;
- тривале зберігання в закритих контейнерах з подальшим зануренням у бункери.

Висновки за розділом

У цій частині кваліфікаційного дослідження була розроблена операційно-технологічна для операторів лінії з первинної обробки зерна елеватора ТОВ «Павлоградзернопродукт». Також розглянуто особливості утилізації відходів елеватора та їх вплив на екологічну безпеку на місцевому рівні.

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Організація проведення дослідження

Організація дослідження включала складання переліку завдань, визначення їх взаємозв'язку та тривалості, створення мережевого графіка, визначення критичного шляху та розрахунок орієнтовної вартості експерименту.

Перелік завдань, передбачених під час проведення дослідження з визначення впливу техніко-технологічних параметрів обладнання для зберігання зерна в охолодженому стані з його продування наведено в табл. 6.1.

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

Перелік робіт, передбачений ходом дослідження з встановлення впливу техніко-технологічних параметрів бункерів активного вентилявання на тривалість зберігання зерна в холоді, наведений у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – План проведення дослідження

Шифр робіт $i-j$	Найменування робіт	Тривалість робіт t_{ij} , днів
1	2	3
1-2	Вибір теми науково-дослідної роботи	1
2-3	Літературний пошук та написання огляду	18
3-4	Складання плану науково-дослідної роботи	2
4-5	Розробка методики проведення досліджень	3
5-6	Підготовка дослідних зразків зерна пшениці	3
6-7	Підготовка макетного зразка дослідної установки	20
7-8	Визначення впливу основних геометричних параметрів зернового шару на параметри процесу зберігання його в охолодженому стані	4

Продовження таблиці 6.1

1	2	3
7-9	Визначення впливу початкової вологості зерна пшениці на параметри процесу зберігання його в охолодженому стані	3
7-10	Визначення впливу початкової температури на параметри процесу зберігання його в охолодженому стані	5
7-11	Визначення впливу часу доби та тривалості зберігання на параметри процесу зберігання його в охолодженому стані	6
8-12	Аналіз та обробка результатів дослідження	1
9-12		1
10-12		1
11-12		1
12-13	Обробка результатів експериментальних даних	4
13-14	Підготовка матеріалу до публікації	5
14-15	Формування демонстраційного матеріалу	4

Згідно з планом робіт буде створено мережевий графік. Це графічна модель, яка показує майбутні роботи і процеси у вигляді окремих етапів і дозволяє шляхом розрахунків визначити оптимальний варіант їх виконання. На етапі реалізації мережевий графік дає можливість оперативно управляти ходом виконання робіт (рис. 6.1).

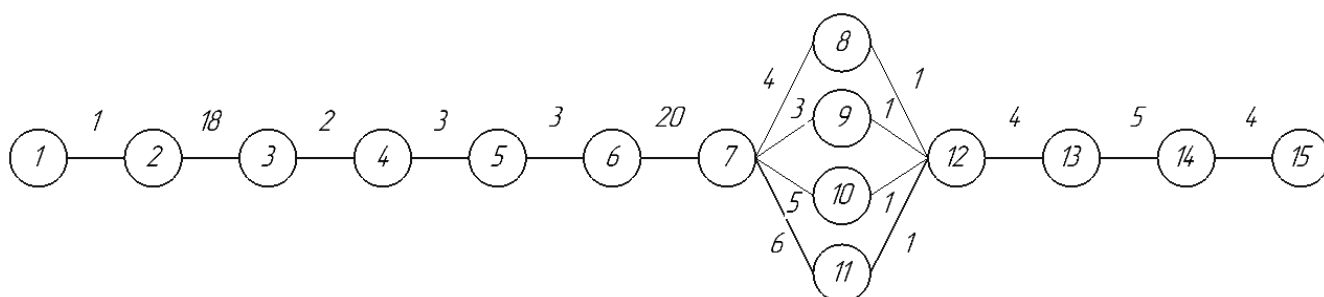


Рисунок 6.1 – Мережевий графік проведення науково-дослідної роботи

Знаходимо повний шлях – тривалість послідовних робіт від початкової події до кінцевої.

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-8-12-13-14-15}^1 = 1 + 18 + 2 + 3 + 3 + 20 + 4 + 1 + 4 + 5 + 4 = 65;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-9-12-13-14-15}^2 = 1 + 18 + 2 + 3 + 3 + 20 + 3 + 1 + 4 + 5 + 4 = 62;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-10-12-13-14-15}^3 = 1 + 18 + 2 + 3 + 3 + 20 + 5 + 1 + 4 + 5 + 4 = 66;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-11-12-13-14-15}^4 = 1 + 18 + 2 + 3 + 3 + 20 + 6 + 1 + 4 + 5 + 4 = 67.$$

Максимальна тривалість робіт спостерігається у 4 шляху, його тривалістю 67 днів.

6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження

Витрати на основні та побічні матеріали розраховують за формулою:

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

де m_i – кількість витраченого i -го матеріалу;

C_i – ціна одиниці i -го матеріалу, грн.

Результати розрахунку витрат на матеріали наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Необхідна кількість основних матеріалів та їх вартість

Найменування, одиниці	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Зерно пшениці, кг	80	7,2	576,0
Всього			576,0

Результати розрахунку заробітна плата людей, що приймали участь у дослідженнях, наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Розрахунок витрат на заробітну плату

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

Нарахування на заробітну складають:

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

Затрати на витрачену електроенергію визначають за формулою:

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

де M – потужність встановленого електрообладнання, кВт;

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

T – час роботи на установці, год;

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

Затрати енергії на сушильну шафу складають:

$$E_1 = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 1,68 = 43,54 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на електронні ваги складають:

$$E_2 = 0,006 \cdot 0,9 \cdot 18 \cdot 1,68 = 0,16 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на роботу дослідної установки:

$$E_3 = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 12 \cdot 1,68 = 16,32 \text{ грн.}$$

Загальні затрати електроенергії складають:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = 43,54 + 0,16 + 16,32 = 60,02 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію розраховуємо за формулою:

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

де A – амортизаційні відрахування, грн;

Φ – вартість устаткування, грн;

H – річна норма амортизації, %;

t – тривалість проведення дослідження на устаткуванні, днів;

12 – кількість місяців у році.

Результати розрахунків витрат на амортизацію наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Тривалість роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Сушильна шафа	6850,0	24	3	13,51
Електронні ваги	2090,0	24	3	4,12
Дослідна модель установки	15000,0	24	2	19,73
Всього				37,36

Накладні витрати становлять:

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

Кошторис витрат на проведення дослідження наведений в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн.
Основні матеріали	576,00
Заробітна плата	952,40
Нарахування на заробітну плату	209,53
Електроенергія	60,02
Амортизація	37,36
Накладні витрати	761,92
Всього	2597,23

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

6.3 Розрахунок ціни дослідження

Ціну досліджень визначаємо:

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

де $Ц$ – вартість дослідження, грн;

C – витрати на дослідження, грн;

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

$$Ц = 2597,23 + \frac{30 \cdot 2597,23}{100} = 3376,40 \text{ грн.}$$

Витрати на проведені дослідження становлять 3376,40 грн.

Висновки за розділом

Найбільшими є витрати на заробітну плату та накладні витрати, які складають 952,40 грн та 761,92 грн. Загалом ціна досліджень складає 3376,40 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено узагальнену схему класифікаційних ознак безпечних прийомів зберігання зерна. Номенклатура технічних засобів для зберігання зерна за функціональним призначенням може бути представлена для: тимчасового зберігання попередньо очищеного зерна вологість більше 20 %; тимчасового зберігання висушеного зерна вологістю 14...16 %; тривалого зберігання кондиційного за вологістю зерна 13...15 %. Для забезпечення зберігання зерна з мінімальними втратами об'єкти зберігання повинні характеризуватися наступними ознаками: технологією зберігання зерна; конструктивними рисами одиничного сховища; аеродинамічною розподільною системою і варіантами компоновок сховищ.

2. Експлуатаційними дослідженнями визначено, що стабілізація знімання вологи за радіальної продувки зернової маси до середньої кінцевої вологості 16,8 % при температурі нагрітого повітря 38 °С досягається тільки після 20 годин вентиляювання і при питомій подачі повітря рівній 1,06 м³/год·кг.

3. За результатами досліджень розроблена інженерна методика розрахунку аеродинамічного опору вентиляційної системи силосу з кільцевим зерновим шаром, виведено рівняння регресії для визначення тривалості вентиляювання зерна і швидкості видалення вологи в інтервалі питомої подачі повітря 0,4...2,0 м³/год·кг, початковій вологості зерна 24,7 % і температурі підігрітого повітря 40 °С, а також номограма для визначення параметрів повітря і режимів вентиляювання радіального шару завтовшки 1,1 м при початковій вологості зерна 25 % і питомій витраті повітря 0,7 м³/год·кг.

4. Перевірка трьох варіантів вентиляювання зернової маси показала, що зберігання зерна в буртах (насіпом) неефективно через нерівномірне зниження температури. Однак вентиляюванням насипу атмосферним повітрям в нічний час, в період з 23 до 8 год ранку, можна добитися позитивних результатів при питомій витраті повітря 0,25 м³/год·кг.

5. Металеві силоси з радіальним шаром більш 1160 мм забезпечують тимчасове і тривалий безпечне зберігання зерна нагрітого до 40 °С, якщо вентилявання його атмосферним повітрям починати після сушки з витратою 0,3...0,4 м³/год·кг. При цьому інтенсивність охолодження, при температурі атмосферного повітря 3...6 °С і його питому витрату до 0,4 м³/год·кг, складає 0,55 °С/год. Зберігання зернової маси в металевому силосі при вертикальній продувці в шарі висотою більше 7 м протягом 96 годин при середній добовій температурі атмосферного повітря 19,5 °С і питомій витраті 0,06 м³/год·кг неефективне для процесу охолодження зерна при початковій його температурі 36 °С.

6. Найбільшими є витрати на заробітну плату та накладні витрати, які складають 952,40 грн та 761,92 грн. Загалом ціна досліджень складає 3376,40 грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Василенко П. М. Основи аналітичних методів землеробської механіки / П. М. Василенко // – К.: Видавництво НАУ, 1998. – 29 с.
2. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 2 (ч. 2, кн. 2) Зернозбиральні машини / П. М. Заїка // – Х.: Око, 2004. – 404с.
3. Котов Б. І. Перспективи розвитку конструкцій зернонасінеочисної техніки / Б. І. Котов, М. І. Волошин // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – Вип. 31. – С. 110 – 112.
4. Котов Б. І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, М. Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – Вип. 33. – С. 53 – 59.
5. Лузан П. Г. Обґрунтування параметрів та режимів роботи інерційно-гравітаційного решітчастого сепаратора зерна: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / Кіровогр. держ. техн. ун-т. – Кіровоград, 2001. – 19 с: укр.
6. Манчинський Ю. О. Математична модель руху компонентів насінневих сумішей по робочій площині / Ю. О. Манчинський, М. В. Бакум, О. М. Горбатовський, М. М. Кравцов // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2008. Вип. 92. – С. 156 – 162.
7. Нагірний Ю. П. Обґрунтування інженерних рішень / Ю. П. Нагірний // – К.: Урожай, 1994. – 216с.
8. Пустовойтов П. Є. Математичне та інформаційне забезпечення системами підтримки прийняття рішень при управлінні багатоміноміклатурним запасом в умовах невизначеності (05.13.06.) / Нац. техн. ун-т «Харківський політехнічний інститут». – Х., 2004. – 20с.
9. Shevchenko, I., Aliiev, E. (2018). Study of the process of calibration of confectionery sunflower seeds. Food Science and Technology. Volume 12, Issue 4. P. 135-142.

10. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с.

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

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

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

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

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

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

17. Pivovarov O.A., Kovaleva O.S., Chursinov J.O. Prevention of biofouling of industrial reverse water supply systems by plasma water treatment // 3rd International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources”. Book of Abstracts. - Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2020. P. 50-52.

18. Півоваров О.А., Ковальова О.С. Сучасні методи інтенсифікації солододорощення: монографія. Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2020. 242 с.

19. Півоваров О.А., Ковальова О.С. Розщеплення білків в солодовому зерні при використанні водних розчинів, оброблених контактною плазмою. Вопросы химии и химической технологии. 2010. № 6. С. 110-114.

20. Ковальова О.С. Особливості дезінфекції тари та пакувань харчових виробництв. The 8th International scientific and practical conference “Trends, theories and ways of improving science” (February 28 – March 03, 2023) Madrid, Spain. International Science Group. 2023. С. 532-535. <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.8>

21. Ковальова О.С., Перкова А.О., Савітченко К.В. Особливості озонування технологічних розчинів при виробництві солоду. Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХПІ». 2018. № 45 (1321). С. 166-172. DOI: 1 <https://doi.org/0.20998/2413-4295.2018.45.23>

22. Aliiev E. 2019. Justification of constructive-mode parameters of a photo-electron separator of sunflower seeds. [Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів фотоелектронного сепаратора насіння соняшника]. Scientific Horizons, 5 (78): 23-30. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-78-5-23-30.

23. Aliiev E. 2019. Production testing of tape device for automatic phenotyping of sunflower seeds. [Виробнича перевірка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику]. Scientific Horizons, 12 (85): 75-83. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-85-12-75-83.

24. Aliiev E.B. Automatic Phenotyping Test of Sunflower Seeds. Helia. 2020. Volume 43. Issue 72. Pages 51-66. DOI: 10.1515/helia-2019-0019.

25. Bai C., Gosman A. D. Development of methodology for spray impingement simulation. SAE Technical Paper Series. 1995. 21 p.

26. Khalid M. Saqr, Hossam S. Aly, Mazlan A. Wahid, Mohsin M. Sies. Numerical Simulation of Confined Vortex Flow Using a Modified k-e Turbulence Model. *CFD Letters*. 2009. Vol. 1(2). P. 87–94.
27. Wallin S. Engineering turbulence modeling for CFD with a focus on explicit algebraic Reynolds stress models. Doctoral thesis. Norstedts truckeri, Stockholm, Sweden. 2000. 124 p.
28. Mohsenin N.N. Physical properties of plant and animal materials / N.N. Mohsenin // New York: Gordon and Breach Science Publishers Inc. – 1980 – P. 51-87.
29. Aydin C. Physical properties of almond nut and kernel / C. Aydin // *New Food Eng.* – Vol. 60 – P. 315-320.
30. Gupta R.K. Physical properties of sunflower seeds / R.K. Gupta, S.K. Das // *Food Eng.* – 1997 – Vol. 66 – P. 1-8.
31. McCabe W.L. Unit operations of chemical engineering / W.L. McCabe, J.C. Smith, P. Harriott // McGraw-Hill Book Co, New York. – 1986.
32. Jain R.K. Properties of pearl millet / R.K. Jain, S. Bal // *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 1997 – P. 85-91.
33. Sahay K.M. Unit operations in agricultural processing / K.M. Sahay, K.K. Singh // Vikas Publishing House Pvt Ltd, New Delhi. – 1994.
34. Singh K.K. Physical properties of sunflower seeds / K.K. Singh, T.K. Goswami // *Physical properties of cumin seed. J. Agric. Eng.* – 1996 – Vol. 64 – P. 93-98.
35. Nimkar M.P. Some Physical properties of green gram / M.P. Nimkar, K.P. Chattopadhyay // *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 2001– Vol. 80(2) – P. 183-189.
36. Aliiev E., Aliieva O., Maliehin R. Technical and technological provision of complex waste processing of plant raw oil cultures in food for organic animals. *Scientific Horizons*. 2020. № 07 (92). P. 112-19. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-92-7-112-119.

37. Shevchenko I. Aliiev E. Improving the efficiency of the process of continuous flow mixing of bulk components. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. 6/1 (108). P. 6-13. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216409

38. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Shkromada, O., Musiienko, Y., Plyuta, L., Chekan, O., Dubin, R., Mohutova, V. (2021). Development of a device for cleansing cow udder teats and testing it under industrial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(1 (109)), 43–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224927>

39. Shevchenko, I., Aliiev, E., Viselga, G., Kaminski, J. R. (2021). Modeling Separation Process for Sunflower Seed Mixture on Vibro-Pneumatic Separators, *27(4)*, 311–320. <https://doi.org/10.5755/j02.mech.27647>

40. Paliy A., Aliiev E., Nanka A., Bogomolov O., Bredixin V., Paliy A., Shkromada O., Musiienko Y., Stockiy A., Grebenik N.. Identifying changes in the technical parameters of milking rubber under industrial conditions to elucidate their effect on the milking process. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, Issue 1 (111), 2021. 21–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231917>

41. Gunko I., Babyn I., Aliiev E., Yaropud V., Hrytsun A. Research into operating modes of the air injector of the milking parlor flushing system. *U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 83, Issue 2, 2021. 297–310.* https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rez4fb_469127.pdf

42. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Nechyporenko, O., Baidevliatova, Y., Baydevliatov, Y., Lazorenko, A., Ukhovskiy, V., Korniienko, L., Sharandak, P. (2021). Determining the efficiency of cleaning a milk line made from different materials from contaminants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (112)), 76–85. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237070>

43. Aliiev E., Maliehin R., Ivliev V., Aliieva O. Simulation of the process of cavitation treatment of liquid feed [Техніко-технологічне забезпечення комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва]. *Scientific Horizons*, 24(2), 2021. P. 16-26. DOI: 10.48077/scihor.24(2).2021.16-26.

44. Aliiev E., Lupko K. Prerequisites for the Creation of a Mechatronic System of Indented Cylinders for the Separation of Fine Seeds. *Scientific Horizons*, 24(3), 2021. P. 75-86. DOI: 10.48077/scihor.24(3).2021.75-86.

45. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Lukyanov, I., Dobrovolsky, V., Yurchenko, O., Chekan, O., Dedilova, T., & Musiienko, Y. (2021). Revealing changes in the technical parameters of the teat cup liners of milking machines during testing and production conditions. *EUREKA: Physics and Engineering*, (6), 102-111. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.002056>

46. Kozachenko O., Aliiev E., Sedykh K. Results of investigation of the spring shank disc harrow performance. *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, Vol. 83, Issue 4, 2021. 123–140. https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rezabf_492985.pdf

47. Yaropud V., Hunko I., Aliiev E., Kupchuk I. Justification of the mechatronic system for pigsty microclimate maintenance. *Agraarteadus, Journal of Agricultural Science*, 2021, XXXII (2): 341–351. DOI: 10.15159/jas.21.23