

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ФЕНЮК ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ

633.63; 631.243.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ЦУКРОВИХ
БУРЯКІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Фенюк В.І.

Керівник роботи

Дерев'янку Д.А.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2022

АНОТАЦІЯ

Фенюк Володимир Іванович. Удосконалення технології зберігання цукрових буряків. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

В магістерській роботі на підставі виконаного аналізу існуючих способів та технічних засобів тривалого зберігання коренеплодів цукрових буряків визначено напрямки вдосконалення роботи системи активної вентиляції кагатів. На підставі проведених експериментальних досліджень: визначено способи та фактичні терміни зберігання коренеплодів у кагатах залежно від погодно-кліматичних умов; визначено профілі розподілу температур та їх діапазони по висоті кагату у процесі зберігання коренеплодів: оптимальний встановлений у межах $+1...+3^{\circ}\text{C}$, запропоновано розширити верхню межу температурного діапазону до $+5^{\circ}\text{C}$, а нижню межу до -1°C ; обґрунтовано набір уставок, що характеризує режими роботи системи активної вентиляції (підтримка, охолодження та циклічний) та визначено їх значення: різниця температур між кагатом коренеплодів та повітрям з навколишнього середовища становить 2°C ; максимально допустима різниця вмісту вологи між повітрям з навколишнього середовища і повітрям в міжкореновому просторі кагату на момент включення системи активної вентиляції становить 3 г/кг; тривалість періоду зростання температури в локальному осередку самозігрівання 72 години.

Ключові слова: система активної вентиляції, зберігання, цукровий буряк, температура, кагат.

ANNOTATION

Fenyuk Volodymyr Ivanovich. Improvement of sugar beet storage technology. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2022.

In the master's thesis, on the basis of the analysis of existing methods and technical means of long-term storage of sugar beet root crops, directions for improving the system of active ventilation of the kagatas are determined. On the basis of the conducted experimental studies: the methods and actual terms of storage of root crops in kagatas depending on the weather and climatic conditions are determined; profiles of temperature distribution and their ranges in the height of the kagat during the storage of root crops are determined: the optimal one is set within $+1...+3^{\circ}\text{C}$, it is proposed to expand the upper limit of the temperature range to $+5^{\circ}\text{C}$, and the lower limit to -1°C ; a set of settings characterizing the modes of operation of the active ventilation system (support, cooling, and cyclic) is substantiated and their values are determined: the temperature difference between root vegetables and air from the environment is 2°C ; the maximum permissible difference in moisture content between the air from the environment and the air in the interroot space of the kagat at the time of switching on the active ventilation system is 3 g/kg; the duration of the temperature rise period in the local self-heating cell is 72 hours.

Key words: active ventilation system, storage, sugar beet, temperature, kagat.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗБЕРІГАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ КАГАТАХ, ОБЛАДНАНИХ СИСТЕМОЮ АКТИВНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ.....	10
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	31
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В даний час поширений спосіб тривалого зберігання буряків у польових кагатах на полях обробітку, який пов'язаний з підвищеними втратами буряків до 11-16%. Бурякозбиральні комбайни під час збирання врожаю цукрових буряків формують польові кагати заввишки 2,5-3 м на периферії поля. Зберігання коренеплодів у польових кагатах має низку істотних недоліків. При низькій забезпеченості сільськогосподарських територій дорогами з твердим покриттям підвищуються ризики зниження темпів перевезення коренеплодів з полів вирощування на цукроварню в бездоріжжя, що призводить до зниження продуктивності в сезон переробки через дефіцит сировини - цукрових буряків.

Збереження кагатів цукрових буряків залежить від співвідношення маси сировини, що зберігається, до площі поверхні кагату, що стикається з навколишнім середовищем. У польових кагатів з висотою 2,5-3 м співвідношення знаходиться в діапазоні 0,35...0,42. Це співвідношення характеризує ступінь впливу факторів навколишнього середовища на масив коренеплодів, іншими словами - інерційні властивості насипу. Навколишнє середовище впливає на насип за рахунок сонячної радіації, температурних коливань повітря, атмосферних опадів та вітру. Найбільш агресивному впливу навколишнього середовища піддається зовнішній шар насипу товщиною 0,5-1 м. У польових кагатах впливу навколишнього середовища піддається до 77% обсягу насипу, і при настанні заморозків вони можуть підморожуватись повністю [8,10].

Підморожені коренеплоди цукрових буряків втрачають технологічну цінність, тому що в них інтенсифікуються процеси гниття та зараження хвороботворними грибами та бактеріями, що призводять до зростання втрат бурякомаси.

Одним із способів забезпечення збереження коренеплодів є збільшення розмірів кагатів цукрових буряків для підвищення співвідношення маси сировини, що зберігається, до площі поверхні кагату, що стикається з навколишнім середовищем. У кагатах з висотою 5-6,5 м, шириною основи 28-30 м і шириною верхнього майданчика 8-10 м це співвідношення дорівнює 1,05 ... 1,35. У таких кагатах від 13 до 31% насипу коренеплодів схильне до впливу навколишнього середовища [10, 31, 43, 47]. У кагатах з високою інерційністю гірше відводиться частина надлишкової теплоти через слабку конвекцію повітряних мас, тому зберігання в них передбачає застосування систем активної вентиляції.

Наявність системи активного вентилявання дозволяє регулювати та підтримувати оптимальну температуру всередині великих кагатів цукрових буряків, на відміну від польових кагатів, що зберігаються на полях вирощування [6, 7, 8, 9].

Тривале зберігання в кагатах цукрових буряків, оснащених системою активної вентиляції, дозволяє знизити втрати бурякомаси до 3-5% [8, 9].

Застосування системи активної вентиляції в кагатах можливе на організованих майданчиках – бурякопунктах [5, 9]. Централізоване зберігання на бурякопунктах дозволяє вирішити проблему транспортування коренеплодів на завод для переробки під час бездоріжжя.

Зберігання в кагатах, оснащених системою активної вентиляції, протікає за погодно-кліматичних умов, що змінюються. Забезпечення безпеки коренеплодів у кагаті при тривалому зберіганні багато в чому залежить від досконалості алгоритмів керування та режимів роботи системи активної вентиляції. Існуючі алгоритми управління не забезпечують коректну роботу вентиляції протягом усього періоду зберігання, оскільки вимагають участі висококваліфікованого персоналу. Повсюдне впровадження технології зберігання кагатів цукрових буряків з активною вентиляцією можливе при переході від автоматизованого до автоматичного типу керування.

При централізованому зберіганні цукрових буряків у кагатах на бурякопункті актуальною є завдання, що полягає у визначенні черговості розвантаження кагатів тривалого вентилязованого зберігання для подальшої переробки. Зараз кагати цукрових буряків відвантажуються по черговості формування, тобто перший сформований кагат прямує першим у переробку. Даний спосіб не враховує інтенсивність процесів, що протікають усередині кагату при зберіганні, які багато в чому залежать від неоднорідності якості коренеплодів цукрових буряків, що зберігаються.

Тому практично важливим та актуальним є вдосконалення технології зберігання цукрових буряків із розробкою режимів вентилявання кагату. Впроваджуючи сучасну технологію зберігання, заводи зможуть уникнути переробки коренеплодів, що не набрали масу, у серпні-вересні, збільшать тривалість сезону переробки з одночасним скороченням втрат бурякомаси в кагатах при зберіганні [5, 10, 12]. Застосування технології активного вентилявання кагатів цукрових буряків на бурякопунктах дозволяє збільшити тривалість роботи заводу на 9-22% та знизити собівартість цукру на 2-4,5%.

Велике значення у розвиток теорії, розрахунку і конструювання систем активної вентиляції внесли такі вчені, як Н.Г. Кульнєва, І.В. Апас, М.К. Пружін, Є.В. Широких, Г.С. Косулін та інші.

Існує чимало різноманітних конструкцій та типів систем активної вентиляції. Відомо, що в більшості випадків системи активної вентиляції використовують для охолодження рослинної продукції в закритому сховищі з огороджувальними конструкціями.

У цій роботі вирішуються завдання вдосконалення технології зберігання цукрових буряків терміном більше двох місяців у кагатах, поверхня яких схильна до впливу навколишнього середовища, шляхом розробки режимів роботи системи вентиляції з автоматизованим типом управління режимами, а також на основі розробленої математичної моделі тепломасообмінних процесів.

У відомих працях М.З. Хелемського, В.А. Князева, Н.А. Бородянського, В.А. Бойко та ін. теоретично досліджено та практично перевірено параметри системи активної вентиляції, принципові схеми пристроїв вентиляційних систем; тепломасообмінні процеси, що протікають при охолодженні рослинної продукції [12, 13, 14]. Але теоретично й експериментально не обґрунтовано режими роботи системи активної вентиляції за погодно-кліматичних умов, що змінюються, під час зберігання. У зв'язку з цим необхідне проведення додаткових досліджень щодо вдосконалення технології та розробки режимів зберігання цукрових буряків у кагатах.

Мета досліджень – підвищення ефективності зберігання цукрових буряків у кагатах шляхом удосконалення технології та розробки режимів роботи системи активної вентиляції.

Завдання досліджень:

- провести аналіз технологій та технічних засобів, систем управління роботою активною вентиляцією для кагату цукрових буряків;
- обґрунтувати параметри, що характеризують режими роботи під час керування системою активної вентиляції;
- розробити алгоритм черговості розвантаження кагатів у переробку залежно від втрати маси кагату під час зберігання та тривалості вентилявання;

Об'єкт дослідження – технологічний процес зберігання у кагатах цукрових буряків із застосуванням системи активної вентиляції.

Предмет дослідження – закономірності процесів у буряковій масі при зберіганні у кагатах із застосуванням системи активної вентиляції.

Методологія та методи дослідження. Лабораторні та польові дослідження роботи системи активної вентиляції проведені за методиками відповідно до чинного ДСТУ, а також з розробленими приватними методиками з використанням сертифікованих приладів та обладнання. Створено експериментальну установку, на якій проведено дослідження з вивчення тепломасообмінних процесів у насипі при зберіганні цукрових буряків із

системою активної вентиляції. Обробка одержаних результатів досліджень здійснювалася на ЕОМ за допомогою прикладних програм: MathCAD 14, Statistica 12.0, Microsoft Excel 2007.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Дерев'янку Д. А., **Фенюк В. І.** Визначення значення параметрів для забезпечення режимів роботи системи активної вентиляції. Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2022» 20 травня 2022 року Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 39-42.

2. Дерев'янку Д. А., **Фенюк В. І.** Аналіз технічних засобів зберігання коренеплодів цукрових буряків кагатах, обладнаних системою активної вентиляції. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022.С. 285-289.

3. **Фенюк В. І.** Методика досліджень тепломасообмінних процесів у масиві коренеплодів цукрових буряків. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 264-266.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для виробництва представляє вдосконалена технологія зберігання цукрових буряків терміном більше двох місяців.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 42 сторінки комп'ютерного тексту, містить 22 рисунки і 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗБЕРІГАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ КАГАТАХ, ОБЛАДНАНИХ СИСТЕМОЮ АКТИВНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Під системою активної вентиляції кагату мається на увазі комплекс інженерних систем, що забезпечує підтримку та регулювання мікроклімату за допомогою нагнітання повітря у кагат через вентиляційні гілки. Під вентиляційною гілкою мається на увазі інженерна система для подачі повітря з навколишнього середовища у фрагмент кагату через розподільник повітря за допомогою нагнітання вентилятором, вбудованим у вентиляційний агрегат. Вентиляційна гілка включає вентилятор, повітропровід, відвід, повітророзподільник та інші елементи, призначені для подачі повітря у фрагмент кагату.

Для технології тривалого зберігання коренеплодів цукрових буряків була розроблена системи активної вентиляції кагатів, які застосовуються на майданчиках без стаціонарних захисних конструкцій. Система вентиляції має забезпечувати рівномірну подачу та розподіл повітря у всьому об'ємі кагату. Конструкція системи вентиляції повинна мати гнучке регулювання подачі повітря в окремі фрагменти кагату. Система активної вентиляції повинна бути надійною та зручною в експлуатації, а витрати з урахуванням підготовки обладнання на площадці тривалого зберігання коренеплодів мають бути мінімальними.

Вченими ННЦ «ІМЕСГ» були розроблені проекти компоновальних схем кагатів цукрових буряків, оснащених активною системою вентиляції. На рис. 1 представлена поперечна схема вентиляції.

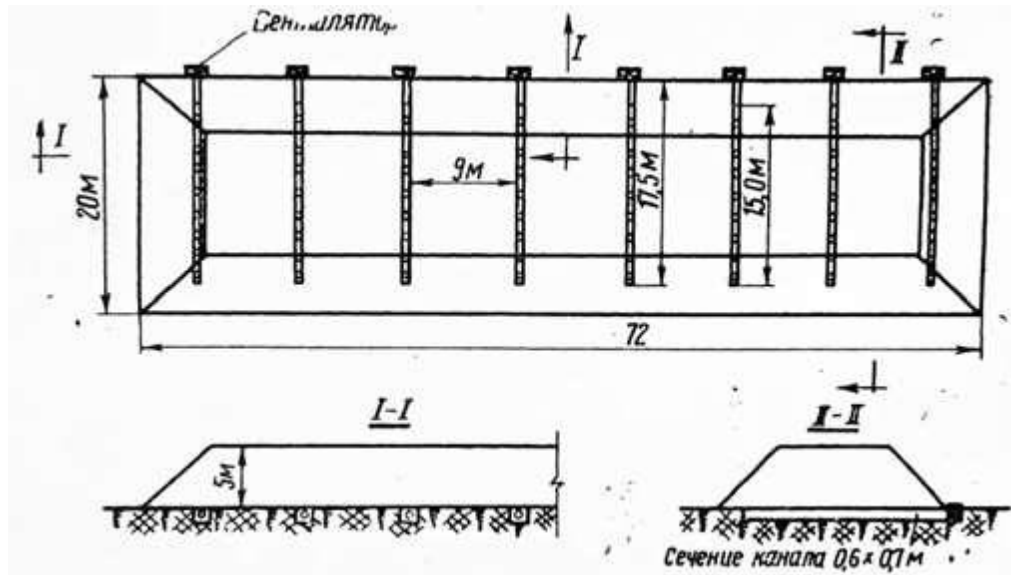


Рис. 1.1. Поперечна схема розташування вентиляційних гілок

Перевагою даної схеми є можливість децентралізованої подачі повітря у фрагменти кагату, так як вентиляційним агрегатом оснащується кожна гілка.

На рис. 1.2 представлена поздовжня схема розташування вентиляційних гілок із централізованою подачею повітря.

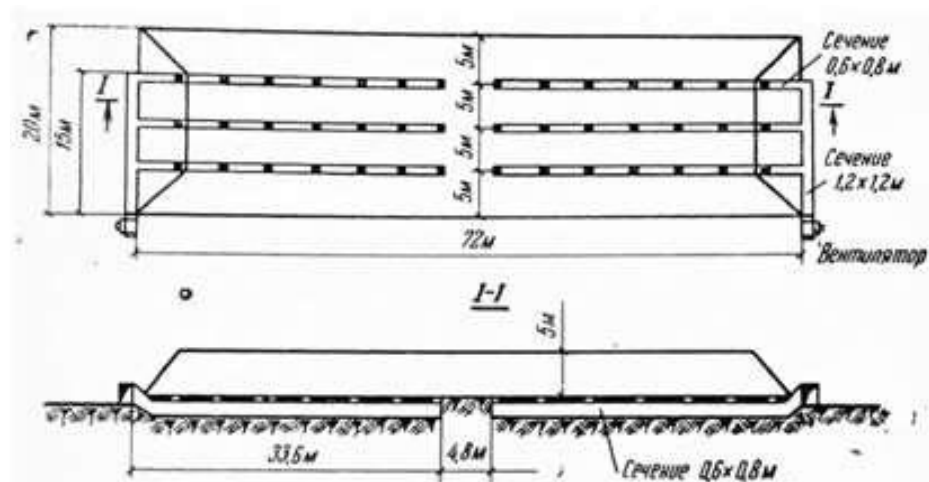


Рис. 1.2. Поздовжня схема вентиляції розташування вентиляційних гілок

Розглядалася схема з вертикальними вентиляційними колонами (рис. 1.3).

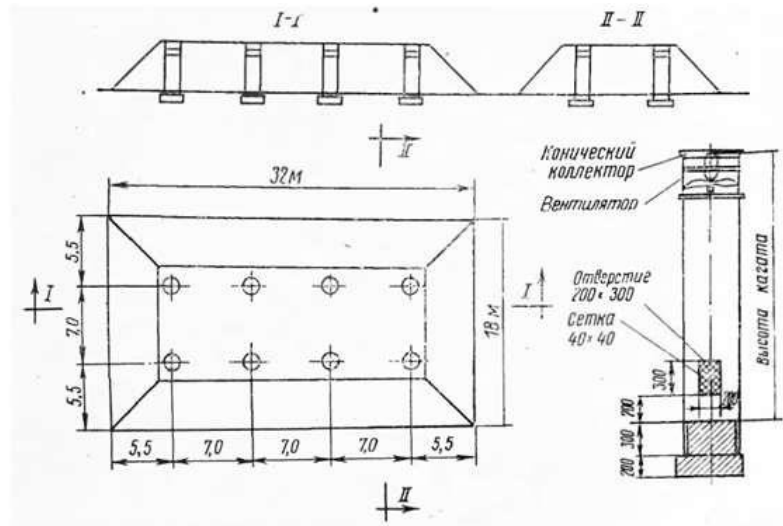


Рис. 1.3. Система активної вентиляції кагату з вертикальними вентиляційними колонами

Також були запропоновані схеми кагатів тривалого зберігання, у яких завантаження кагатів здійснювалося за допомогою мостового крана, а розвантаження за допомогою гідротранспортера (рис. 4).

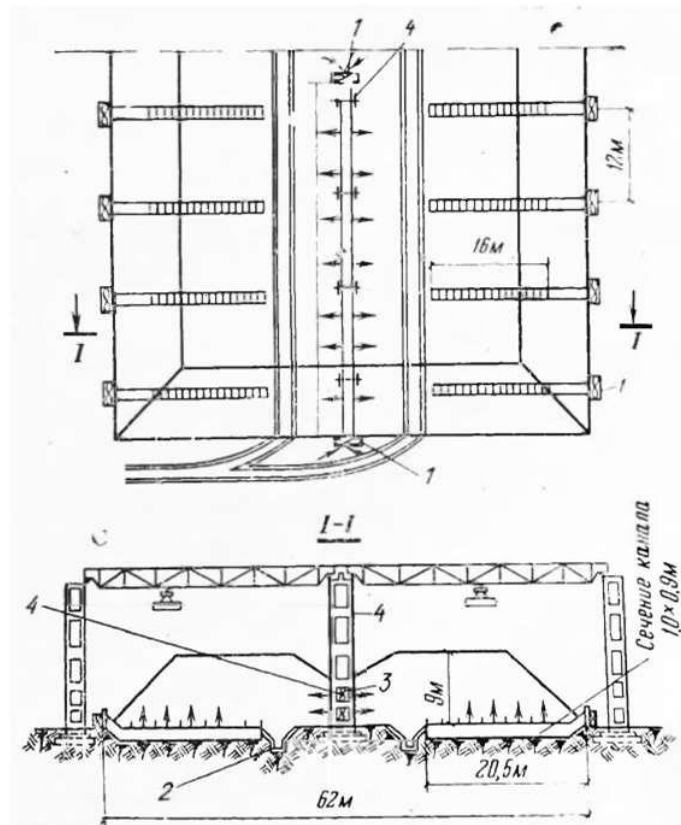


Рис. 1.4. Поперечна схема кагату з гідротранспортером: 1 – вентилятор; 2 – гідротранспортер; 3 – двосторонній розподільник повітря; 4 – колона.

В даний час застосовуються два типи децентралізованих систем активної вентиляції з вентиляційними гілками, розташовані впоперек щодо центральної осі кагату. У цих системах використовують підлогові металеві повітроводи з круглим перерізом. Відмінність у схемах полягає в способі нагнітання повітря в повітропровід: з одного або з двох сторін кагату. Валежно від способу нагнітання повітря в повітропровід кагати поділяють на одинарний та спарений (рис. 6). Вибір вентилятора обумовлений інтенсивністю подачі повітря на одну тонну коренеплодів цукрових буряків, яка становить від 30 до 70 м³/год. залежно від кліматичної зони. Поширення отримали осьові вентилятори низького та середнього тиску, потужність електродвигунів яких становить від 5,5 до 11 кВт. Подання повітря в кагат здійснюється через повітровипускні отвори, розташовані на поверхні повітроводу.

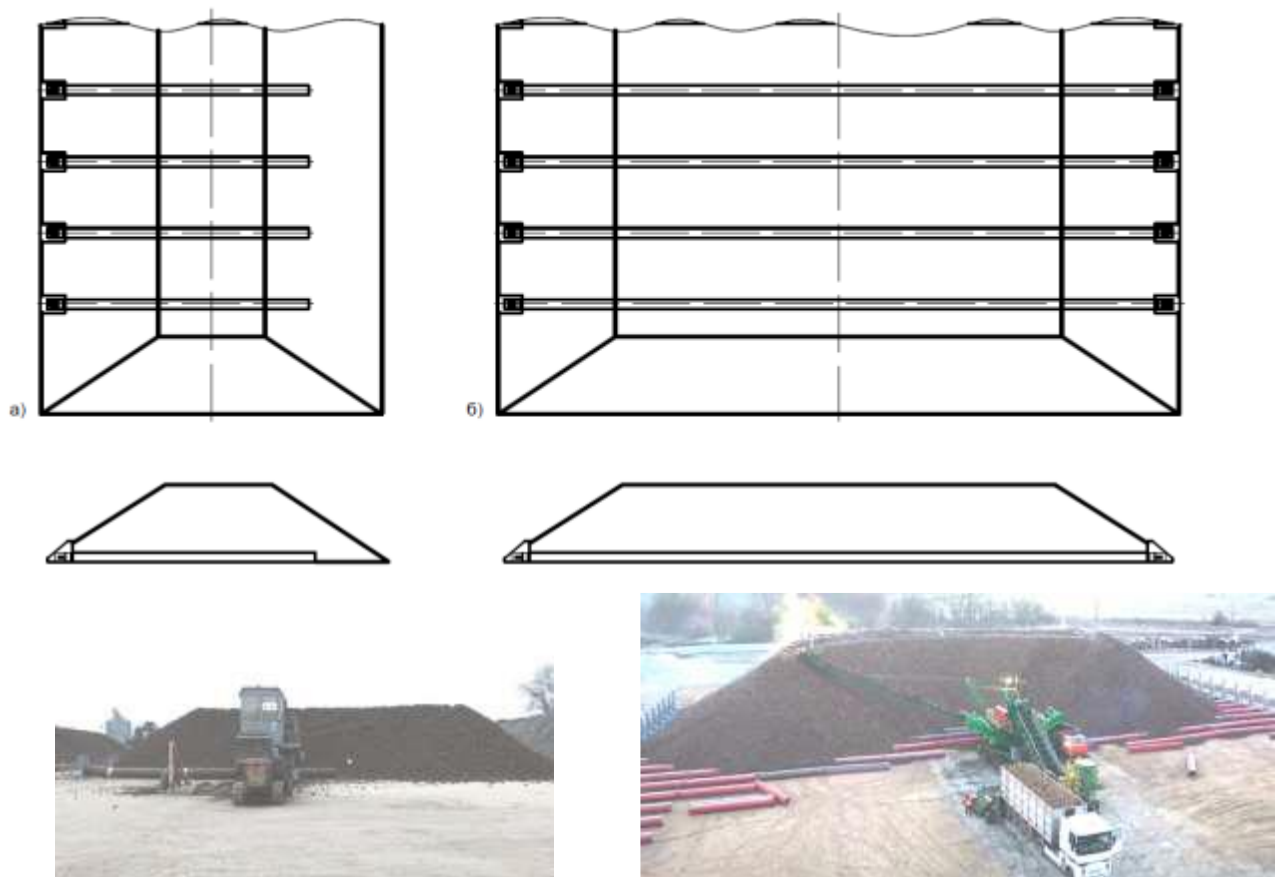


Рис. 1.5. Системи активної вентиляції: а – подача повітря з одного боку для одинарного кагату; б – подача повітря з двох сторін спареного кагату

Вентиляційні канали встановлюють на майданчику зберігання по ходу формування кагату і засипаються коренеплодами за допомогою буртоукладальної машини. Міжосьова відстань між вентиляційними гілками одинарного кагату становить 6 м, у спареному – від 4 до 5 м.

Перевагою спарених кагатів є найкраще співвідношення маси до площі поверхні кагату, що стикається з навколишнім середовищем. Ширина нижньої основи спареного кагату варіюється від 70 до 90 м, висота від 6 до 7 м, довжина від 160 м. Формування кагатів проводиться послідовно за допомогою однієї буртоукладальної машини підвищеної продуктивності від 500 до 750 т/год (суперБУМ), яка оснащена двома майданчиками перекидання великовантажних автомобілів з причепами. Переміщення суперБУМу в процесі укладання кагату здійснюється за допомогою залізобетонних коліс, або гусеничного ходу, а також за допомогою рейкового ходу. СуперБУМи позбавлені маневреності та можуть рухатися вперед і назад. У разі технічної відмови він не може бути замінений на інший суперБУМ, тому укладання коренеплодів у кагати зупиняється.

Після формування спареного кагату у процесі охолодження необхідно забезпечити синхронну роботу двох вентиляторів, підключених до одного вентиляційного каналу. За відсутності синхронізації повітряний потік від одного вентилятора може розкрутити крильчатку другого в протилежному напрямі. У системах активної вентиляції застосовуються вентилятори з трифазними електродвигунами потужністю 5,5–11 кВт із масивними крильчатками. У цьому випадку запуск другого вентилятора з розкрученою в протилежному напрямку крильчаткою призводить до різкого збільшення пускового моменту опору вентилятора. Підвищуються ризики передчасного виходу з експлуатації електродвигуна вентилятора. Для усунення цього положення необхідно створити розрив між секціями вентиляційного каналу центром спареного кагату. У процесі формування кагата розрив заповнюється коренеплодами, які виконують функцію заслінки для повітряного потоку, однак у цьому випадку може порушуватися балансування повітроводу. Балансування – це методичне

регулювання потоків повітря з повітровипускних отворів для досягнення рівномірного охолодження вентиляваного фрагмента кагату. Регулювання здійснюється на промислових зразках шляхом зміни розташування, кількості та прохідного перерізу отворів. Під фрагментом кагату мається на увазі його частина, у якій розташована вентиляційна гілка. Ділянки, розташовані ближче до вентилятора, повинні охолоджуватися з такою ж швидкістю, як і на віддалення від нього. У спареному кагаті вентиляційна гілка довша (35–45 м), ніж у одинарному кагаті (22-25 м).

Таким чином, на сьогоднішній день отримали промислове застосування системи активної вентиляції з поперечним розташуванням підлогових вентиляційних гілок. Залежно від типу БУМів реалізовані схеми з односторонньою або з двосторонньою подачею повітря в кагат.

На даний момент застосовується кілька програмних забезпечень для управління системою активної вентиляції, які були розроблені на замовлення цукрових заводів зі схожою принциповою схемою взаємодії елементів системи управління.

На рис. 1.6 показано схему організації апаратної частини системи вентиляції для кагату цукрових буряків.

У кагат встановлювалися бездротові термоштанги за певною схемою прив'язки до номерів вентиляторів. На базову станцію 3 надходили сигнали температури з різних частин кагату від термоштанг 1, а також значення температури та вологості навколишнього середовища з метеостанції 2. Зі станції по мережі Ethernet отримані сигнали передавалися на сервер 4 де вони оброблялися. У разі виконання умов алгоритму з сервера на базову станцію надходить сигнал включення вентилятора, звідки прямував до шафи управління вентиляцією (ШУВ) 6, де проводився пуск вентиляційної системи. Параметри, необхідні для комплексної оцінки роботи системи відображалися на автоматизованому робочому місці (АРМ) оператора 5.

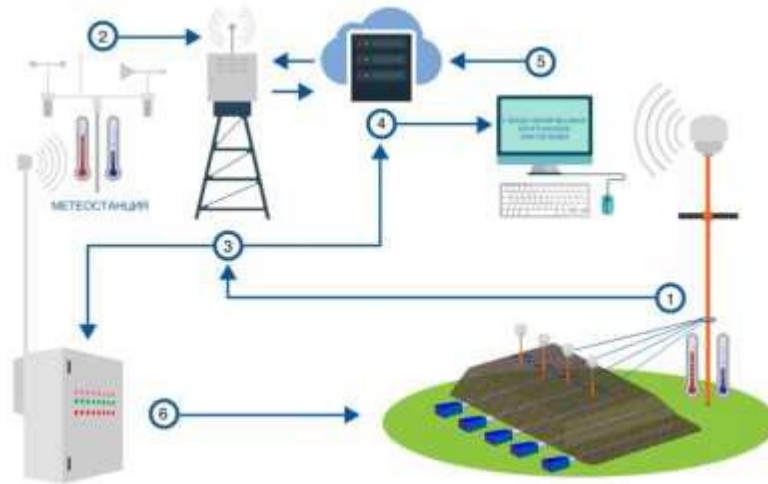


Рис. 1.6. Принципова схема взаємодії елементів системи тривалого зберігання цукрових буряків: 1 – бездротова термощтанга, 2 – локальна метеостанція, 3 – базова станція, 4 – сервер, 5 – автоматизоване робоче місце оператора, 6 – шафа управління вентиляцією

Незважаючи на схожість організації системи управління вентиляцією, спостерігалися суттєві відмінності у програмному забезпеченні для завдань управління апаратним комплексом, від чого безпосередньо залежить ефективність роботи системи активної вентиляції. Недостатній рівень компетенцій у питанні тривалого вентилязованого зберігання в кагатах призвело до некоректного технічного завдання для розробників програмного забезпечення.

На даний момент для роботи системи управління активною вентиляцією використовуються як програмні алгоритми, так і робота оператора, який змінює уставки у системі. Алгоритми, які дозволяють працювати системі управління без участі оператора в автоматичному режимі, мають обмежену сферу застосування.

Алгоритм дозволяє реалізовувати режим роботи системи вентиляції без урахування варіативності температурних діапазонів навколишнього повітря. Застосування алгоритму ефективно на початковому етапі зберігання кагатів у період високих температур навколишнього повітря у жовтні. Однак починаючи з листопада, спостерігається його некоректна робота, що призводить до необхідності залучення оператора до роботи алгоритму, шляхом коригування

значення уставок. Робота оператора вимагає високого рівня кваліфікації персоналу, що заважає масштабу технології на цукрових заводах.

Зниження залежності роботи алгоритмів керування системою активною вентиляції від операторів можливе за рахунок удосконалення програмного забезпечення шляхом уточнення режимів роботи системи активної вентиляції при погоднo-кліматичних умовах, що змінюються в період зберігання.

На даний момент найбільш досконалою є програмне забезпечення АГХ/САВК-ЕСМАС-1.0. На рис. 1.7 представлено інтерфейс програми управління системою активною вентиляцією кагатів.

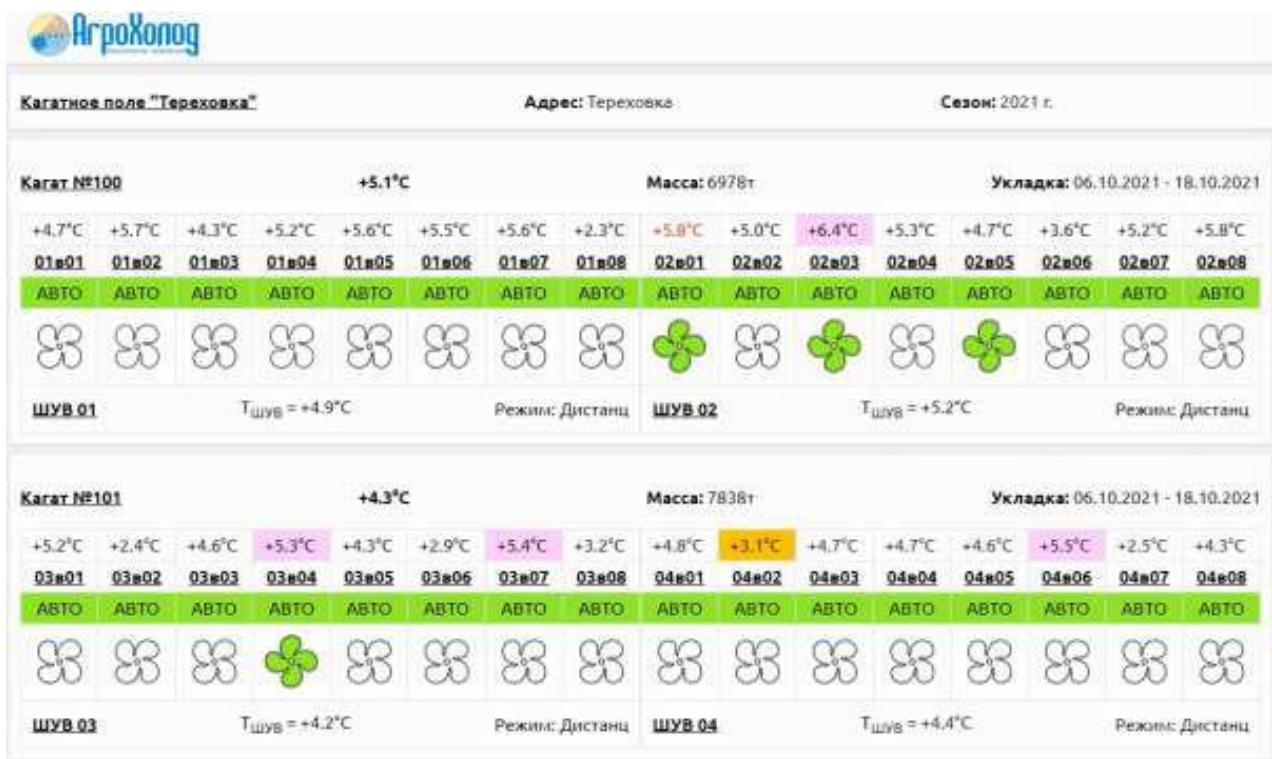


Рис. 1.7. Інтерфейс програми АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0

Програма АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0 має широкий функціонал налаштування управління роботою системи активної вентиляції кагатів цукрової буряків шляхом коригування параметрів. На відміну від інших програмних забезпечення робота над удосконаленням АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0 здійснювалася з 2017 року, що дозволило якісно підвищити функціонал для керування оператором.

Однак, як і в інших програмних забезпечень, не вирішено питання забезпечення роботи системи активної вентиляції при погодно-кліматичних умовах у період зберігання кагатів.

Крім удосконалення режиму роботи системи активної вентиляції актуальним є розробка алгоритму визначального черговості розвантаження кагатів ДВХ у переробку. На даний момент цукрові кагати буряків відвантажуються в переробку в міру потреби цукрового заводу, починаючи із середини грудня. Найбільш поширеним методом визначення черговості розбору кагату є метод, заснований на черговості формування, тобто перший сформований кагат є першим на розвантаження.

Однак у цьому випадку не враховується сукупна тривалість вентиляційних гілок, задіяних при зберіганні кагату, а також сукупні втрати бурякомаси у процесі охолодження. На зберігання надходять коренеплоди з різних полів, а відповідно початкові параметри у буряків відрізняються, такі як: середній розмір коренеплоду, вміст цукру, початкова температура коренеплодів, наявність підгнилих та підморожених коренеплодів, ступінь засміченості та забруднення бурякового насипу, наявність чи відсутність хвороботворних бактерій та грибків. Через різноманіття перерахованих вище факторів сортування коренеплодів цукрових буряків, що надходять з полів вирощування, ускладнене. Вплив сукупності перелічених вище факторів відбивається у процесі зберігання на збільшенні тривалості вентиляції та зростання втрат бурякомаси.

Особливо актуальною є проблема для цукрових заводів великої продуктивності 10-20 тис. тонн цукрових буряків на добу. Для заводів великої продуктивності необхідне тривале вентиляційне зберігання не менше 250 тисяч тонн цукрових буряків. Ємність одного кагату ДВХ становить близько 8 тисяч тонн, тобто на одноразовому зберіганні буде не менше 31 кагату. Враховуючи різноманітність якості коренеплодів, їхня лежкість у кагатах ДВХ відрізняється. Визначення кагатів для першочергової переробки дозволить уникнути підвищених втрат буряків у пізні терміни роботи цукрових заводів.

Висновки по розділу

В результаті аналізу літературних джерел та вивчення діючих виробничих пунктів тривалого вентилязованого зберігання цукрових буряків встановлено, що сьогодні використовуються децентралізовані системи активної вентиляції підлогового типу. Поширення отримали дві схеми організації зберігання: з односторонньою та двосторонньою подачею повітря в кагат. Забезпечення збереження цукрових буряків у кагатах вимагає наявності висококваліфікованого персоналу для керування системою активної вентиляції. Відсутність кадрів, що забезпечують дотримання технології зберігання цукрових буряків у кагатах, призвела до підвищених втрат бурякомаси в період зберігання та скорочення області застосування технології ДВХ.

Встановлено, що для широкого використання технології тривалого зберігання із застосуванням системи активної вентиляції необхідно удосконалення системи керування з метою переходу від автоматизованого на автоматичний тип керування. Необхідний контроль процесів, що відбуваються в кагаті, та розробка режимів управління системою активної вентиляції з урахуванням погодно-кліматичних умов, що змінюються в період зберігання.

При централізованому зберіганні кагатів на бурякопункті необхідно розробити алгоритм визначення черговості розвантаження кагатів тривалого вентилязованого зберігання для подальшої переробки.

Аналіз сучасних систем активної вентиляції кагатів показав високу залежність технології ДВХ від висококваліфікованого персоналу за умов недосконалості алгоритмів управління. Виходячи з цього, метою дослідження є вдосконалення технології та розробка режимів зберігання цукрових буряків у кагатах. Відповідно до мети сформульовані завдання дослідження.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма та завдання експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень було вивчення закономірностей процесів, що протікають у кагаті цукрових буряків без вентиляції та при роботі системи активної вентиляції для обґрунтування режимів роботи системи керування.

Програма експериментальних досліджень включала:

- розробку приватних методик;
- розробку конструкції експериментальної установки;
- визначення залежності зниження температури від втрати бурякомаси в кагаті цукрових буряків та на експериментальній установці при роботі активної вентиляції;
- визначення уставок для режимів роботи системи активної вентиляції при зміні погодно-кліматичних умов.

Методологія експериментів розроблялася з урахуванням керівних технічних матеріалів загальних та розроблених приватних методик, аналізу раніше виконаних теоретичних, а також експериментальних досліджень.

Збір та запис даних проводилися сертифікованими вимірювальні прилади, а також дані про роботу системи активної вентиляції кагату надходили з алгоритмів спеціалізованого програмного забезпечення АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0 [7]. Обробка даних та подальші розрахунки проводились на ЕОМ за допомогою пакету комп'ютерних програм: MathCAD 14, Statistica 12.0, Microsoft Excel 2007.

2.2. Умови проведення експериментальних досліджень щодо вивчення тепломасообмінних процесів при зберіганні цукрових буряків

Експериментальні дослідження проводили згідно з ДСТУ Р 50525-93 та ДСТУ 33884-2016 у кілька етапів:

- на експериментальній установці з об'ємом масиву коренеплодів цукрових буряків 1 м³ з обмеженим впливом факторів довкілля;
- у виробничих умовах на фрагменті кагату, оснащеного системою активної вентиляції, схильного до впливу навколишнього середовища.

Лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей коренеплодів цукрових буряків виконувались на кафедрі.

Дослідження впливу роботи системи активної вентиляції на втрати бурякомаси, а також дослідження процесів у кагатах із вентиляцією проводили на території бурякопункту цукрового заводу.

Щільність, вміст цукру, забрудненість, наявність зеленої маси, наявність коренеплодів з сильними механічними пошкодженнями визначали за існуючими методиками вимірювань у лабораторії.

2.3. Методика досліджень тепломасообмінних процесів у масиві коренеплодів цукрових буряків

Дослідження проводили щороку з 2021 до 2022 року у період масового укладання коренеплодів цукрових буряків на зберігання. Паралельно виконували дослідження:

- з використанням експериментальної установки;
- на кагаті, оснащеному системою активної вентиляції.

У процесі формування кагату визначено досліджуваний переріз, в якому відбиралися проби для визначення фізико-хімічних показників коренеплодів згідно ДСТУ 53036-2008.

2.3.1. Методика проведення досліджень на фрагменті кагату, оснащеного системою активної вентиляції

Дослідження тепломасообмінних процесів з урахуванням впливу активної вентиляції проводилися на вентилязованому кагаті. Ширина нижньої основи кагату з активною вентиляцією складає 30 м, ширина верхнього майданчика – 12 м, висота – 6,5 м, довжина – 120 м, маса – 7 838 т. один від одного.



Рис. 2.1. Кагат, оснащений системою активної вентиляції: а – формування кагату за допомогою буртоукладальної машини; б - вентиляційна гілка

У раніше проведених дослідженнях було встановлено, що при міжосьовій відстані 6 м в одинарному кагаті не спостерігалася істотної різниці температур коренеплодів над вентиляційною гілкою та у проміжку між гілками [5]. На одну вентиляційну гілку припадало 490 т коренеплодів цукрових буряків (рис. 2.1). При аналізі результатів розглядався фрагмент вентилязованого кагату: одна вентиляційна гілка та масив коренеплодів цукрових буряків, що охолоджувався цією гілкою.

Довжина кожної вентиляційної гілки становила 22 м, що менше ширини нижньої основи кагату на 8 м згідно з нормами проектування систем активної вентиляції кагатів цукрових буряків [4]. За результатами проведених досліджень було підтверджено, що довжина вентиляційної гілки є оптимальною, так як локальні зони самозігрівання в процесі зберігання дільниць без вентиляційної

гілки не утворюються. Багато в чому це обґрунтовується з одного боку менш інтенсивним надходженням повітря при вентиляванні, а з іншого підвищеним впливом навколишнього середовища на коренеплоди під схилами кагату, ніж під його верхнім майданчиком.

Подача повітря з навколишнього середовища у фрагмент кагату забезпечувалася вентилятором ВО-30-160 потужністю 11 кВт. Об'єм повітря, що нагнітається в кагат, становив 22 400 м³/год [9]. Довжина ділянки повітропроводу з повітророзподільними отворами становила 17 м. 5 м, що залишилися, вентиляційної гілки не мали отворів, так як до їх складу входили вентиляційний агрегат і відвід. Діаметр повітропроводу постійний і становив 0,8 м. Розподіл повітряного потоку здійснювався через щілинні отвори, розташовані на повітропроводі. На ньому розташовано 146 повітровипускних щілинних отворів з прохідним перетином 0,006 м². Довжина щілинного отвору складала 0,016 м, ширина – 0,005 м [5].

Датчики температури у фрагменті кагату цукрових буряків були розташовані у кількості 16 штук над вентиляційною гілкою, згідно зі схемою, наведеною на рис. 2.2. На малюнку вказано відстань від верхньої основи кагату до розташування датчика: $L_1 = 1,2$ м; $L_2 = 2,4$ м; $L_3 = 3,6$ м; $L_4 = 4,8$ м; $L_5 = 6,0$ м [4]. Розташування датчиків обумовлено симетричною формою поперечного перерізу кагату.

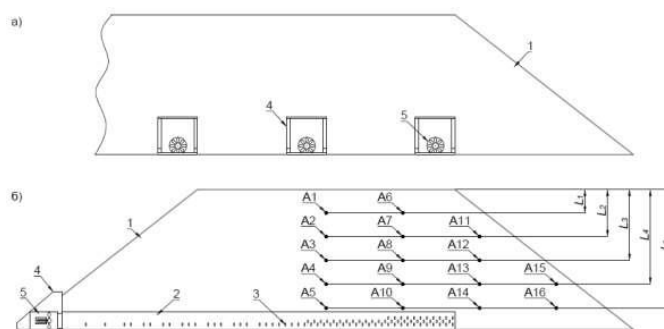


Рис. 2.2. Вентильований кагат цукрових буряків: а – вид збоку; б – досліджуваний переріз: 1 – кагат; 2 – вентиляційна гілка; 3 – опуски повітря; 4 – рама вентиляційного агрегату; 5 – вентилятор; А1...А16 – розташування датчиків вимірювання температури

Вимір температури виконувався за допомогою провідних датчиків ОВЕН ДТС 014-50М.В3.25/1,5, які призначені для температурних вимірювань газоподібних неагресивних середовищ. Зчитування показань здійснювалося вимірювачем-регулятором ОВЕН ТРМ-138-Р для запису даних використовувався архіватор ОВЕН МСД-200 (рис. 2.3) [5].



Рис. 2.3. Вимірювання температури усередині фрагмента кагату: а – пристрій шафи вимірювання та запису даних; б – встановлення шафи та датчиків температури в кагаті

При формуванні досліджуваного фрагмента було відібрано загальну пробу з коренеплодів на різній висоті кагату. З цієї проби складено 8 однорідних проб: шість з них були укладені в сітчасті мішки та укладені у фрагмент кагату згідно зі схемою, наведеною на рис. 2.4 [3].

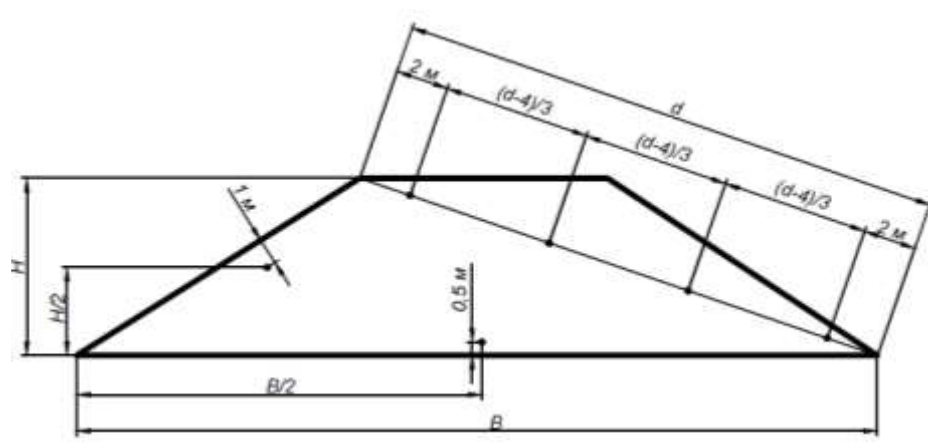


Рис. 2.4. Схема укладання в кагати сіткових проб у вентилязованому кагаті: Н – висота кагату; В – ширина нижньої основи; d – діагональ

Дві проби, що залишилися, були спрямовані на аналіз у сировинну лабораторію. Всі 6 проб були покладені в досліджуваному фрагменті кагату в міру формування. Вага однієї проби варіювалася від 15 до 18 кг.

2.3.2. Методика проведення досліджень на експериментальній установці

Для вивчення тепломасообмінних процесів у масиві цукрових буряків використовувалася експериментальна установка, що складається з ємності, каркасу, підйомного механізму та траверси. Під експериментальною установкою мав на увазі лабораторний стенд, розміщений поза приміщенням. Досліджуваний масив коренеплодів у встановленні ізольований від впливу ряду факторів навколишнього середовища, таких як вітер, сонячна радіація, опади. Місткість для зберігання коренеплодів 1 має внутрішній обсяг зберігання буряка 1 м³.

Вимірювання температури в обсязі коренеплодів здійснювалося датчиками температури 2 у семи точках насипу, згідно зі схемою, наведеною на рис. 2.5.

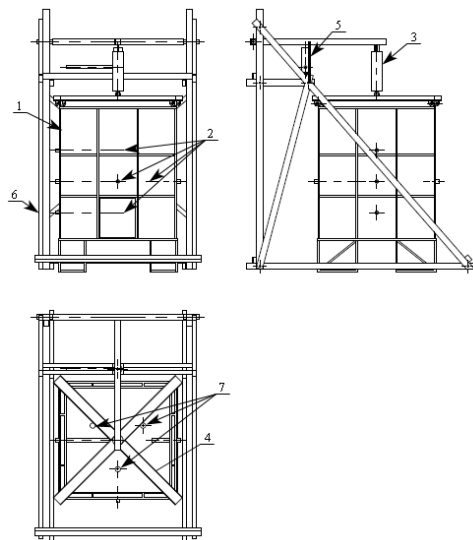


Рис. 2.5. Схема експериментальної установки для дослідження тепломасообмінних процесів : 1 – ємність для зберігання коренеплодів; 2 – труби розміщення датчиків; 3 – ваги підвісні; 4 – траверса; 5 – підйомний механізм; 6 – каркас; 7 – отвори для подачі повітря в масив коренеплодів.

Вимірювання маси коренеплодів виконувалося зважуванням ємності на підвісних вагах 3. Підйом ємності здійснювався за траверсу 4 за допомогою підйомного механізму 5, закріпленого на каркасі 6. В основі ємності були отвори повітря розподільні 7, через які повітря подавалося в масив коренеплодів знизу. Вага порожньої ємності становила 128,4 кг, з буряком на початку досліджень – 796,8 кг.

Експериментальна установка була оснащена для вимірювання температури датчиками ДТС014-50М.В3.25/1,5, зчитування показань здійснювалося вимірювачем ТРМ-138-Р, для запису даних використовувався архіватор МСД-200 виробництва ОВЕН. У процесі проведення досліджень ємність для зберігання зважувалася кожні 4 доби за допомогою підвісних кранових ваг СС-97ЕС. За різниці у вазі визначалися втрати бурякомаси. У центрі ємності закладено 3 сітчасті проби вагою від 15 до 18 кг, які у процесі зберігання витягувалися визначення фізико-хімічних показників цукрових буряків. Вилучення проб здійснювалося через бічні стулки (рисунок 2.6). Завдяки цьому верхній шар масиву коренеплодів не переміщувався з нижніми шарами.



Рис. 2.6. Експериментальна установка для проведення досліджень тепломасообмінних процесів у масиві коренеплодів : а – установка у процесі завантаження; б – при зважуванні 1 – ємність для зберігання коренеплодів; 2 – труби розміщення датчиків; 3 – ваги підвісні; 4 – траверса; 5 – підйомний механізм; 6 – каркас

Експериментальна установка давала можливість вивчати інерційність процесів при охолодженні та нагріванні бурякового насипу.

2.4. Методика дослідження системи активної вентиляції у процесі зберігання кагату цукрових буряків

При керуванні системою активної вентиляції для контролю за зміною температури у вентилярованому кагаті використовувалися датчики ВЕГА ДТ-11, які були оснащені акумуляторними елементами живлення та радіомодулем для бездротової передачі сигналу вимірювання (Рисунок 2.7)

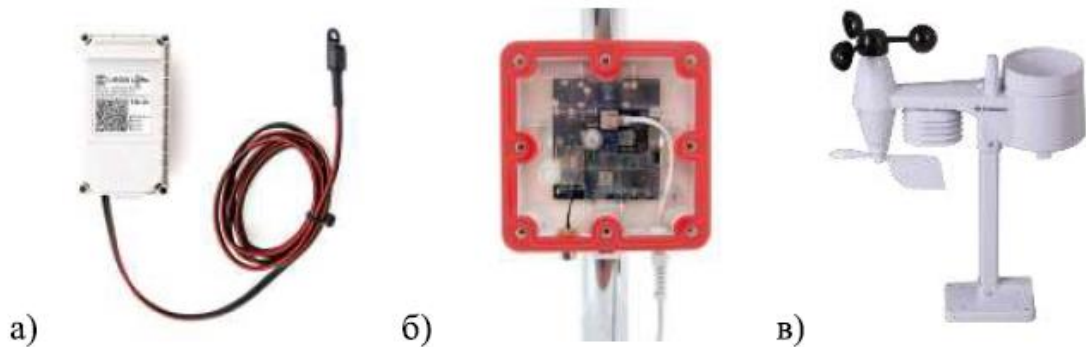


Рис. 2.7. Обладнання для вимірювання та бездротової передачі даних: а - датчик температури ВЕГА ДТ-11; б – базова станція ВЕГА БС-1,2; в - локальна метеостанція Bresser 5-in -1

Зміна параметрів навколишнього середовища (температура, вологість, швидкість та напрям вітру, атмосферний тиск) реєструвалося за допомогою локальної метеостанції Bresser 5-in-1.

Крім даних про температуру при зберіганні цукрових буряків у кагатах, програма АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0 здійснювала обробку даних та надавала її у вигляді щоденних звітів протягом усього періоду зберігання малюнок 2.8. Автор брав безпосередню участь у розробці технічного завдання створення даного програмного забезпечення (ПЗ).

Результати подальших досліджень автора спрямовані на вдосконалення цього програмного забезпечення.

Щоденний звіт системи активної вентиляції кагатів цукрових буряків

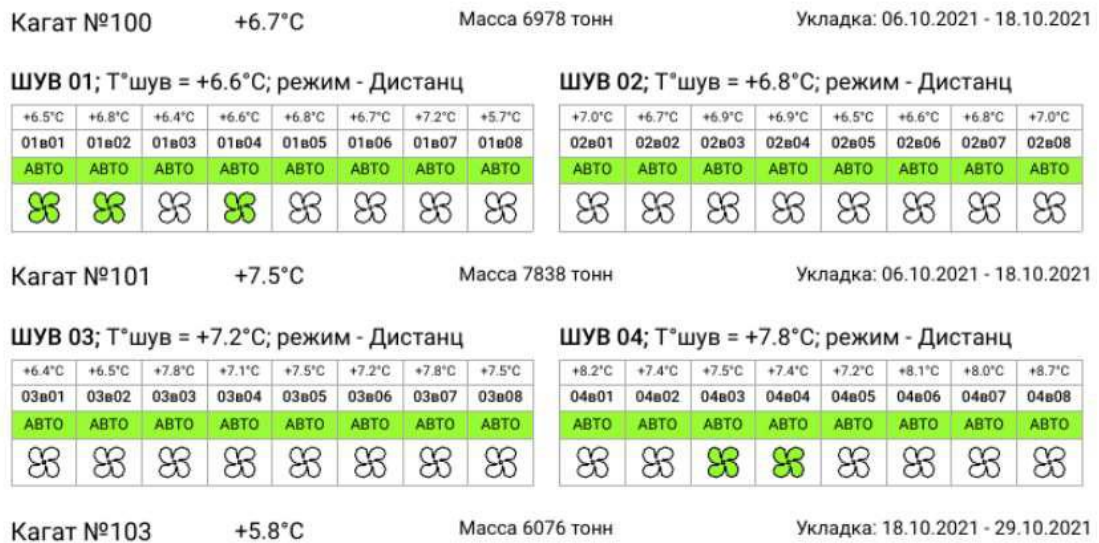


Рис. 2.8. Добовий звіт про роботу системи активної вентиляції

У добовому звіті про роботу системи активної вентиляції подавалися дані про стан кагату цукрових буряків на момент формування звіту. При проведенні досліджень на один кагат припадало 2 шафи управління вентиляцією та 16 вентиляційних гілок. Також програмними засобами було проведено налаштування щодо формування звітності з інтервалом у кожні 3 години для даних про зміну температури всередині кагату, а також температури та вологості навколишнього середовища.

Програма АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0 здійснювала формування щомісячних звітів щодо тривалості роботи системи активної вентиляції окремо по кожному кагату цукрових буряків, у якому були представлені дані про температуру на початку та наприкінці звітної періоду (Рису. 2.9).

Журнал обліку пробігу вентиляторів (електропотужності)

Метеорологические данные утро, день, вечер, ночь	0ч.	6ч.	12ч.	18ч.
Температура, Т°С	9.3	3	2.3	1.7
Относительная влажность, φ %				

Отработано часов	ШУВ 01	ШУВ 02	ШУВ 03	ШУВ 04	ШУВ 07	ШУВ 06	ШУВ 05	ШУВ 08	ШУВ 09	ШУВ 11	Итого
За сутки	29.4	32.8	25.3	30.3	40	40.8	20.9	33.1	35.1	30.1	317.8
С начала сезона	471.5	478.1	452.7	559	527.3	508.8	456.2	544.1	544.6	483.9	5026.2

Т°С на 00-00	5.8	6.3	4.3	5.1	6.5	6.7	6.1	4.5	5.7	6.2	
Т°С на 24-00	4.5	4.2	3.5	4	4.6	4.5	5.2	3.4	4.1	3.7	
Т°С средняя	5.2	5.3	3.9	4.5	5.5	5.6	5.7	4	4.9	5	
Т°С Снижение за сутки	-1.3	-2.1	-0.8	-1.1	-1.9	-2.2	-0.9	-1.1	-1.6	-2.5	



Рис. 2.9. Місячний звіт про роботу системи активної вентиляції кагатів цукрових буряків

У місячному звіті наведено дані про середньодобове охолодження ділянки кагату, що знаходилася під керуванням ШУВ, а також сукупна тривалість роботи вентиляторів, керована ШУВ.

При аналізі роботи системи активної вентиляції використано дані, отримані в результаті експериментів з 2019 до 2021 року. На першому етапі були розглянуті дані про зміну погодно-кліматичних умов, а саме температури та вмісту вологи навколишнього повітря, протягом усього періоду зберігання цукрових буряків – 112 діб з 1 жовтня по 20 січня.

На підставі отриманих даних про зміну погодно-кліматичних умов сформовано діапазони за температурою навколишнього повітря $T_1=+20\dots+10^\circ\text{C}$, $T_2=+10\dots 0^\circ\text{C}$, $T_3=0\dots-10^\circ\text{C}$, $T_4=-10\dots-20^\circ\text{C}$, для яких наведені параметри, що характеризують їх параметри. Ці діапазони були використані для обґрунтування режимів роботи системи активної вентиляції.

На другому етапі було розглянуто періоди зберігання кагатів цукрових буряків за місяцями. При аналізі даних з місяців враховувалася тривалість періодів температурних діапазонів $T_1\dots T_4$; тривалість роботи системи активної

вентиляції; тривалість періодів, коли були умови включення системи активної вентиляції.

Після зіставлення даних для досліджуваного часового періоду зроблено висновок про режим роботи системи активної вентиляції, а також про необхідний набір уставок для керування в процесі вентилявання.

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи представлено методику проведення експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Визначення значення установок для забезпечення режимів роботи системи активної вентиляції

Різниця між температурою повітря у міжкореновому просторі кагату цукрових буряків та температурою повітря навколишнього середовища, при якій включається система активної вентиляції, залежить від двох параметрів:

- мінімально допустиме значення уставки, що визначається ставленням кількості відведеної теплоти в кВт до кількості витраченої під час роботи системи активної вентиляції;
- виконання умови досягнення заданої уставки.

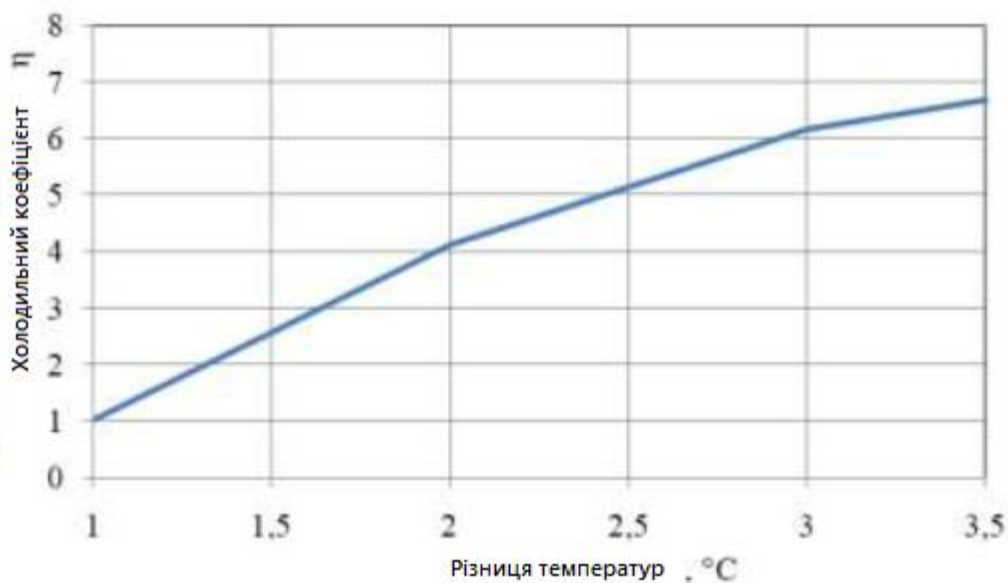


Рис. 3.1. Залежність холодильного коефіцієнта від різниці між температурами повітря у міжкореновому просторі кагату цукрових буряків та припливного повітря з навколишнього середовища

На рис. 3.1 представлений графік, що характеризує залежність холодильного коефіцієнта від різниці між температурами повітря в міжкореновому просторі кагату цукрових буряків та повітря з навколишнього середовища.

При визначенні величини уставки мінімальної різниці між температурами повітря в кагаті цукрових буряків та повітря з навколишнього середовища необхідно враховувати найменш сприятливий період для вентилявання – жовтень.

Під час зберігання різниця температур між кагатом цукрових буряків та повітрям із навколишнього середовища постійно змінювалася. Параметр (уставки), що характеризує роботу системи вентиляції по різниці температур між кагатом та повітрям з навколишнього середовища, визначено за результатами аналізу даних, представлених на рисунку 3.1. Встановлено, що у жовтні протягом 138 годин спостерігається різниця температур між кагатом цукрових буряків та повітрям із навколишнього середовища більше 2°C, що дозволяє забезпечити роботу системи активної вентиляції протягом 112 годин.

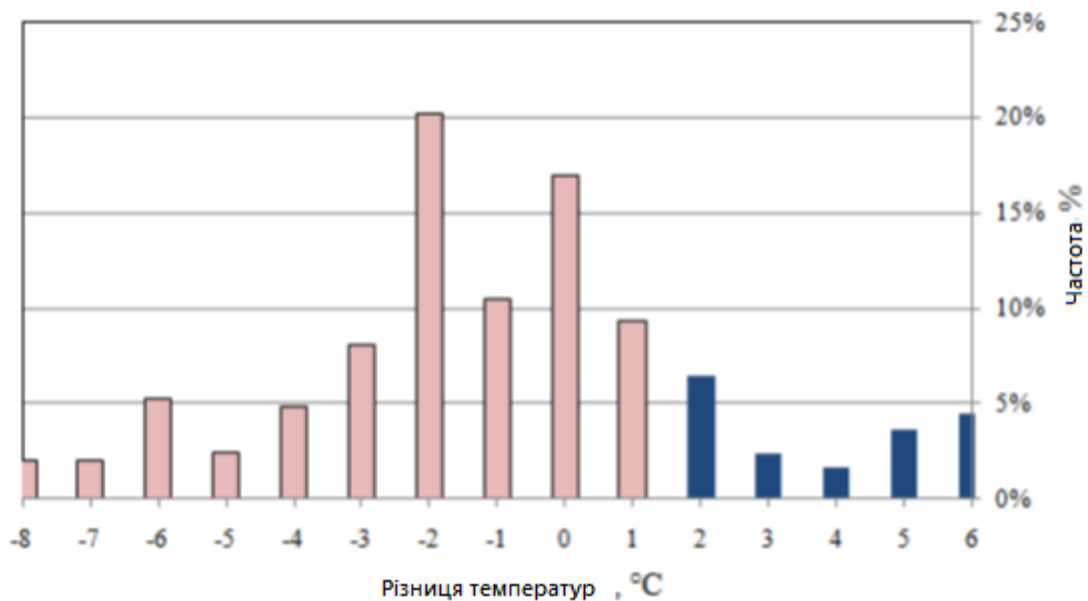


Рис. 3.2. Розподіл різниці між температурами повітря у кагаті цукрових буряків та припливним повітрям за жовтень

Таким чином, уставка різниці температур між кагатом цукрових буряків та повітрям з навколишнього середовища, при якій включається система активної вентиляції, дорівнює 2°C.

На рис. 3.3 представлений графік зниження температури цукрових буряків у процесі вентилявання. При уставці 2°C найбільш інтенсивне зниження

температури спостерігалось протягом 45 хвилин роботи системи активної вентиляції.

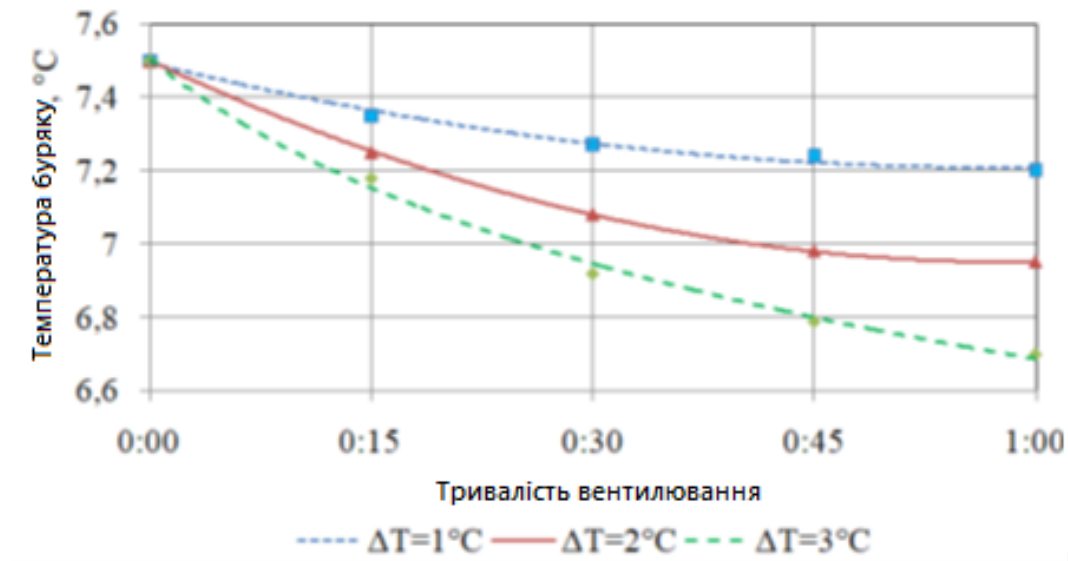


Рис. 3.3. Зниження температури цукрових буряків у процесі вентилявання

Виходячи з даних, наведених на малюнку 4.15, допустима різниця вмісту вологи між повітрям з навколишнього середовища і повітрям у міжкореновому просторі кагату на момент включення системи активної вентиляції дорівнювала 3 гр/кг.

Визначення значення уставок часу для циклічного режиму наведено вище. Уставки для системи управління роботою активною вентиляцією кагату цукрових буряків представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення уставок режимів роботи системи активної вентиляції

Режим роботи	Інтервал періоду зберігання	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$T_{min}, ^\circ\text{C}$	$\Delta d, \text{гр/кг}$	$\tau_{np}, \text{час}$	$\tau_{rab}, \text{час}$
Підтримання	1...31	2	-3	3	72	5
Охолодження	32...72					
Циклічний	73...110					

Тривалість роботи кожного з режимів визначено на підставі аналізу статистичних даних щодо зміни температури навколишнього повітря у період зберігання цукрових буряків за декадами. За результатами аналізу температур навколишнього повітря з 2019-2021 рр., що для роботи САВ у режимі підтримки

оптимальним є період з 1 по 31 жовтня, у режимі охолодження – з 1 жовтня до 10 грудня, у циклічному – з 11 грудня до кінця зберігання.

3.2. Визначення поправочних коефіцієнтів для математичної моделі процесу охолодження кагату цукрових буряків

На рис. 3.4 представлені графіки з накладеними розрахунковими траєкторіями, отриманими за результатами проведеного обчислювального експерименту, з урахуванням тривалості роботи системи активної вентиляції 900–3600 сек., та експериментальними значеннями зміни температури коренеплодів у насипі цукрових буряків.

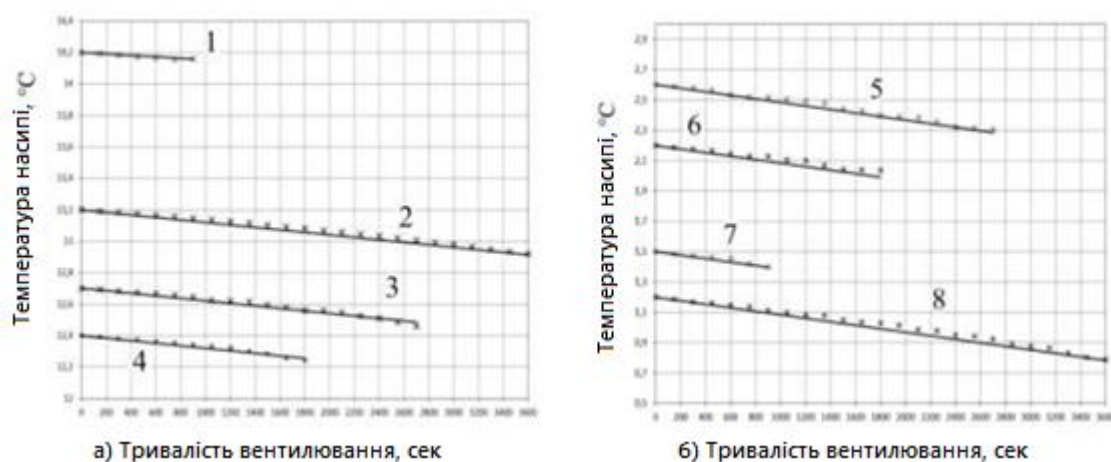


Рис. 3.4. Зміна температури буряків залежно від тривалості роботи системи активної вентиляції: а – у діапазоні температур 12...14°C; б – у діапазоні температур 0...3°C

На рис. 3.5 представлений графік втрати бурякомаси у процесі вентилявання.

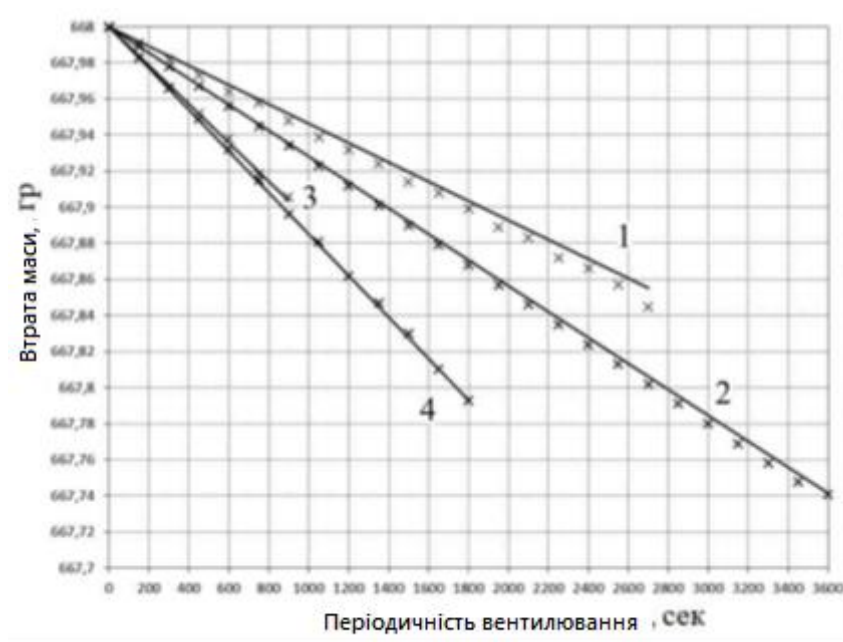


Рис. 3.5. Втрати бурякомаси залежно від тривалості роботи системи активної вентиляції

Збіжність розрахункових та експериментальних даних слід розцінювати як цілком задовільну; розбіжність становить трохи більше 6-8%, що у межах похибки експерименту.

При застосуванні даної моделі визначення втрат маси у процесі вентилявання кагату цукрових буряків було встановлено, що похибка становить 16%. Пов'язано це з тим, що модель не враховує зміни параметрів припливного повітря під час проходження через нижні шари в кагаті.

При введенні поправочного коефіцієнта $k=4,86$ рівняння набуває вигляду:

$$M_{\text{св}} = (M_{\text{сух.в-ва}} + (M_{\text{св}}^k - M_{\text{сух.в-ва}})) + 4,86 \cdot \delta j F_{\text{св}} (d_{\text{в}}^k - d_{\text{в}}^0) (M_{\text{в}}^0 - M_{\text{в.п.}}^0) / \tau \quad (3.1)$$

Після введення поправочного коефіцієнта розбіжність між експериментальними даними та математичною моделлю склала 9%. На малюнку 3.8 представлений графік зміни втрат бурякомаси у вентиляваному кагаті цукрових буряків.

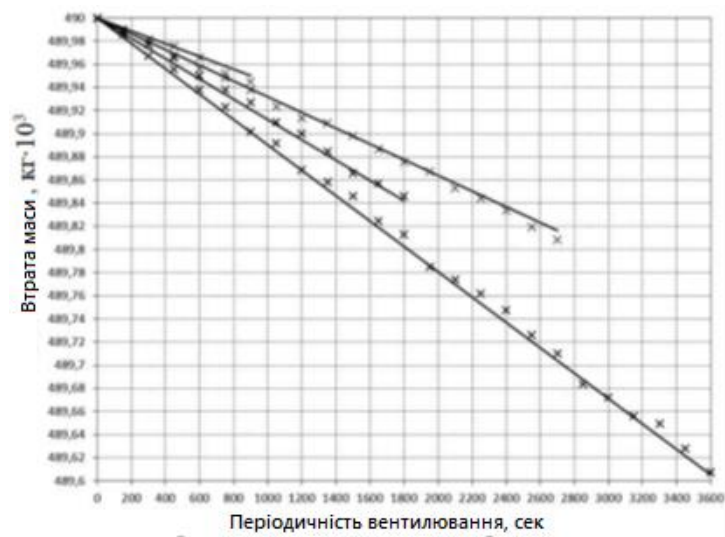


Рис. 3.6. Зміна маси в кагаті цукрових буряків під час роботи системи активної вентиляції: точки – експериментальні дані; лінії – розрахункові

Застосування поправного коефіцієнта дозволило знизити похибку математичної моделі до 9-10%.

3.3. Результати застосування алгоритму для визначення черговості розвантаження кагатів у переробку залежно від тривалості вентиляювання та втрати маси кагату в період зберігання

Порівняння алгоритмів черговості розвантаження у переробку відбувалося на 6 кагатах цукрових буряків, оснащених системою активної вентиляції, результати представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Порівняння алгоритмів відвантаження кагатів у переробку

	Кагат №1	Кагат №2	Кагат №3	Кагат №4	Кагат №5	Кагат №6
Час вентиляювання, год	122	113	126	117	124	106
Втрата буряком аси від вентиляювання, т	7,8	8,6	7,7	8,1	8,1	7,4
Сума	942,8	953,0	951,0	952,2	985,0	767,5
Періодичність відвантаження по даті формування	1	2	3	4	5	6
Періодичність відвантаження взаємності від періоду роботи і втрати бурякомаси	5	2	3	4	1	6

Тривалість роботи системи активної вентиляції було отримано за результатами аналізу журналу подій у програмному забезпеченні АГХ/САВК-ЕСМАС-1.0, а розрахунок втрат бурякомаси у процесі вентиляювання розраховували за результатами розробленої математичної моделі.

При відвантаженні за датою формування не враховувалися тривалість вентиляювання та втрати бурякомаси, які є непрямими ознаками, що характеризують лежкість коренеплодів.

Висновки по розділу

З проведених експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

Визначено значення уставок, що характеризують три режими роботи системи активної вентиляції (підтримання, охолодження та циклічний):

- різниця температур між кагатом цукрових буряків і повітрям з навколишнього середовища становить 2°C ; – максимально допустима різниця вологовмісту між повітрям з навколишнього середовища та повітрям у міжкореновому просторі кагату на момент включення системи активної вентиляції склала 3 гр/кг;

- тривалість періоду зростання температури в локальному осередку самозігрівання 72 години;

- тривалість роботи вентилятора протягом одного періоду 5 годин.

За результатами експериментальних даних проведено зіставлення методу черговості розвантаження кагатів у переробку за фактом формування з алгоритмом, що враховує залежність від тривалості вентиляювання та втрати маси кагату в період зберігання. У розробленому алгоритмі черговості розвантаження кагатів втрата маси визначалася за результатами розрахунків за допомогою розробленої математичної моделі. Встановлено, що розроблений алгоритм дає змогу визначити найбільші втрати.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Через низьку ефективність зберігання в польових кагатах, а також сполученими ризиками у вигляді бездоріжжя та заморозків відбувається зміщення термінів початку пуску заводу з рекомендованого галузевими нормами 25 вересня на кінець серпня, через що товаровиробники зазнають збитків.

На підставі виконаного аналізу існуючих способів та технічних засобів тривалого зберігання коренеплодів цукрових буряків визначено напрямки вдосконалення роботи системи активної вентиляції кагатів. З метою зниження втрат бурякомаси до 1,95-2,7% необхідно організувати тривале зберігання коренеплодів у великих кагатах із системою активної вентиляції, оснащених високоефективним обладнанням, керованим сучасними програмно-апаратними комплексами. Виявлено відмінності теоретичного обґрунтування тепловологих процесів що відбуваються в кагатах при відкритому зберіганні на майданчиках цукрового заводу від зберігання продукції в закритих сховищах із захисними конструкціями.

На підставі проведених експериментальних досліджень:

- визначено способи та фактичні терміни зберігання коренеплодів у кагатах залежно від погодно-кліматичних умов;

- визначено профілі розподілу температур та їх діапазони по висоті кагату у процесі зберігання коренеплодів: оптимальний встановлений у межах $+1...+3^{\circ}\text{C}$, запропоновано розширити верхню межу температурного діапазону до $+5^{\circ}\text{C}$, а нижню межу до -1°C ;

- обґрунтовано набір уставок, що характеризує режими роботи системи активної вентиляції (підтримка, охолодження та циклічний) та визначено їх значення: різниця температур між кагатом коренеплодів та повітрям з навколишнього середовища становить 2°C ; максимально допустима різниця вмісту вологи між повітрям з навколишнього середовища і повітрям в міжкореновому просторі кагату на момент включення системи активної

вентиляції становить 3 г/кг; тривалість періоду зростання температури в локальному осередку самозігрівання 72 години.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богомоллов О. В., Верешко Н. В., Сафронова О. С. та ін. Зберігання та переробка сільськогосподарської продукції. Харків : Еспада, 2008. 544 с.
2. Дерев'янку Д. А., **Фенюк В. І.** Визначення значення параметрів для забезпечення режимів роботи системи активної вентиляції. Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2022» 20 травня 2022 року Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 39-42.
3. Дерев'янку Д. А., **Фенюк В. І.** Аналіз технічних засобів зберігання коренеплодів цукрових буряків кагатах, обладнаних системою активної вентиляції. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022.С. 285-289.
4. **Фенюк В. І.** Методика досліджень тепломасообмінних процесів у масиві коренеплодів цукрових буряків. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських ма*
5. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції / А. Я. Маньковський, Л. Ф. Скалецька, Г. І. Подпрятков та ін. Київ : ВКП “Аспект”, 1999. 286 с.
6. Трисвятский Л. А., Лесик Б. В., Курдина В. А. Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов. Москва : Колос, 1991. 414 с
7. Жемела Г. П. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : підручник. Полтава : TERRA, 2003. 420 с.

8. Маньківський А. Я. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. Чернігів : ВКП "Аспект", 1999. 387 с.
9. Зберігання і переробка продукції рослинництва : навч. посібник / Г.І. Подпряттов, Л. Ф. Скалецька, А. М. Сеньков, В. С. Хилевич. Київ : Мета, 2002. 495 с.
10. Подпряттов Г.І., Скалецька Л.Ф., Сеньков А.М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : практикум. Київ : Вища освіта, 2004. 271 с.
11. Аксенов, Д. М. Изучение температурного режима в кагате сахарной свёклы под полимерным укрытием с антимикробными свойствами. *Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов «Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции»*. 2014. С. 35–38.
12. Активное вентилирование сахарной свеклы при хранении: Москва : ЦИНТИ пищепром, 1969. 65 с.
13. Жадан, В. З. Теоретические основы кондиционирования воздуха при хранении сочного растительного сырья. Москва : Пищевая промышленность, 1972. 238 с.
14. Кольцов С. М. Методика исследований хранения сахарной свеклы в кагатах. *Наука в центральной России*. 2020. № 6 (48). С. 30–36.
15. Буртоукладочные машины и тракторные погрузчики для сахарной свеклы / В. А. Новиков, Е. С. Соколов, Н. З. Гуппер, В. А. Григоренко. Москва, 1977. 75 с.
16. Вовк Я. Ю., Сало Я. М., Думич В. В., Курило В. Л., Волоха М. П. Впровадження нової бурякозбиральної техніки – шлях підвищення рентабельності виробництва. *Цукрові буряки*. 2005. № 6 (48). С. 17–19.

17. Жадан В. З. Теоретические основы кондиционирования воздуха при хранении сочного растительного сырья. Москва : Пищевая промышленность, 1972. 238 с.

18. Волоха М. П. Осійчук В. С. Експериментальні дослідження якості роботи нової поверхні шнека копача коренеплодів цукрових буряків. Вісник Інженерної академії України. 2014. № 2. С. 149–152.