

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Мичуринский государственный аграрный университет»

На правах рукописи



КОЛЬЦОВ СЕМЕН МИХАЙЛОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ САХАРНОЙ
СВЕКЛЫ С РАЗРАБОТКОЙ РЕЖИМОВ ВЕНТИЛИРОВАНИЯ КАГАТА**

Специальность 05.20.01 – «Технологии и средства механизации сельского
хозяйства»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

академик РАН Завражнов А.И.

Мичуринск-наукоград РФ, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ХРАНЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ	15
1.1 Комплексный анализ сахарной свеклы как объекта исследования	15
1.2 Анализ теоретических исследований тепловлажностных процессов хранения насыпи растительной продукции	21
1.3 Анализ технических средств хранения корнеплодов сахарной свеклы в кагатах, оборудованных системой активной вентиляции	30
1.4 Анализ систем управления и режимов работы системы активной вентиляции кагатов	37
1.5 Выводы по главе	42
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ КАГАТОВ	44
2.1. Тепломассообмен при хранении сахарной свеклы в кагатах	44
2.2. Обоснование конструктивных параметров системы активной вентиляции с учетом характеристик технологических машин	54
2.3. Алгоритмы управления системой активной вентиляции кагата	61
2.4. Выводы по главе	68
3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	70
3.1. Программа и задачи экспериментальных исследований	70
3.2. Условия проведения экспериментальных исследований по изучению тепломассообменных процессов при хранении сахарной свеклы	71
3.3. Методика исследований тепломассообменных процессов в массиве корнеплодов сахарной свеклы	71
3.3.1. Методика проведения исследований на фрагменте кагата, оснащенного системой активной вентиляции	72
3.3.2. Методика проведения исследований на экспериментальной установке	75
3.4. Методика исследования работы системы активной вентиляции в процессе хранения кагата сахарной свеклы	78
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	82

4.1. Результаты анализа погодных-климатических условий в период хранения сахарной свеклы.....	82
4.2. Определение значения уставок для обеспечения режимов работы системы активной вентиляции	94
4.2.1. Определение поправочных коэффициентов для математической модели процесса охлаждения кагата сахарной свеклы	97
4.3. Результаты применения алгоритма для определения очередности разгрузки кагатов в переработку в зависимости от продолжительности вентилирования и потери массы кагата в период хранения	100
4.4. Выводы по главе	101
5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ КАГАТОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ	104
5.1. Методика оценки эффективности возделывания сахарной свеклы	104
5.2. Методика определения прямых эксплуатационных затрат при применении оборудования системы вентиляции кагатов.....	106
5.3. Результаты определения технико-экономических показателей эффективности применения системы вентиляции кагатов корнеплодов	107
5.3.1. Экономическая эффективность возделывания сахарной свеклы.....	107
5.3.2. Инвестиции в вентилируемое хранение корнеплодов и прямые эксплуатационные затраты при применении оборудования системы вентиляции кагатов	109
5.4. Выводы по главе	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	114
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	117
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	132
ПРИЛОЖЕНИЕ А	133
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	134
ПРИЛОЖЕНИЕ В	135
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	137
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	138
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	139
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	140
ПРИЛОЖЕНИЕ З.....	141

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Технология длительного вентилируемого хранения (ДВХ) – это совокупность технологических приемов и технических средств для обеспечения сохранности при длительном хранении сахарной свеклы с применением системы активной вентиляции.

Система активной вентиляции (САВ) – является техническим средством для обеспечения режима хранения корнеплодов в кагатах посредством вентилирования. Рассматривается децентрализованный тип САВ с поперечной схемой расстановки вентиляционных ветвей.

Вентиляционная ветвь – является устройством для подачи воздуха из окружающей среды в фрагмент кагата через воздухораспределитель посредством нагнетания вентилятором, встроенным в вентиляционный агрегат.

Вентиляционный агрегат – вентилятор с электродвигателем, оснащенный спрямляющим аппаратом, установленный на раме с отводом, гибкой вставкой и обратным клапаном.

Воздухораспределитель – часть вентиляционной ветви, оснащенная воздуховыпускными отверстиями.

Вентиляционный канал – часть вентиляционной ветви без выпускных отверстий, расположенная между воздухораспределителем и вентиляционным агрегатом.

Уставка – это пороговые значения параметров, по достижении которых происходит срабатывание оборудования на включение и выключение системы активной вентиляции. В работе под уставками подразумеваются следующие параметры: разница температур между кагатом сахарной свеклы и воздухом из окружающей среды, при которой включается система активной вентиляции; максимальная продолжительность работы системы активной вентиляции; допустимая разность влагосодержания между воздухом из окружающей среды и воздухом в межкорневом пространстве кагата на момент включения системы активной вентиляции.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. После кризиса перепроизводства сахара в России в 2019 году в течение последних лет происходило снижение объемов посевных площадей под сахарную свеклу. В начале 2022 года произошло повышение спроса на сахар, что привело к росту оптовых цен на 80%. Увеличение объемов производства сахара возможно за счет повышения производственных мощностей сахарных заводов или увеличения периода их работы. На сегодняшний день более 70% сахарных заводов прошли глубокую модернизацию, поэтому возможности по дальнейшему повышению их производительности ограничены [49]. По этой причине на первый план выходит увеличение продолжительности работы сахарных заводов за счет обеспечения сохранности урожая сахарной свеклы.

Продолжительность работы сахарных заводов в России составляет 110-130 суток. В ЦФО сезон работы сахарных заводов начинается во второй половине августа – начале сентября. Средняя масса корнеплода в середине августа составляет 310-370 грамм, а в конце сентября она достигает 470-530 грамм [4, 6, 123]. Потери свеклосеющих хозяйств от ранней уборки сахарной свеклы достигают 40% [25, 26, 37, 67, 69]. Ранний пуск сахарных заводов связан с низкой эффективностью существующих способов хранения сахарной свеклы, поэтому сезон переработки заканчивается в конце декабря – начале января [64, 73].

Массовая уборка сахарной свеклы заканчивается в ноябре до наступления заморозков и распутицы [51]. Ограничение производственных мощностей сахарных заводов не позволяет переработать весь объем урожая сахарной свеклы до окончания периода массовой уборки, из-за чего возникает необходимость в длительном хранении корнеплодов сроком более двух месяцев [63, 76, 89].

В настоящее время распространен способ длительного хранения свеклы в полевых кагатах на полях возделывания, который сопряжен с повышенными потерями свекломассы до 11-16%. Свеклоуборочные комбайны во время уборки урожая сахарной свеклы формируют полевые кагаты высотой 2,5-3 м на

периферии поля. Хранение корнеплодов в полевых кагатах имеет ряд существенных недостатков. При низкой обеспеченности сельскохозяйственных территорий дорогами с твёрдым покрытием повышаются риски снижения темпов перевозки корнеплодов с полей возделывания на сахарный завод в распутицу, что приводит к снижению производительности в сезон переработки из-за дефицита сырья – сахарной свеклы.

Сохранность кагатов сахарной свеклы зависит от соотношения массы хранимого сырья к площади поверхности кагата, соприкасающейся с окружающей средой. У полевых кагатов с высотой 2,5-3 м соотношение находится в диапазоне 0,35...0,42. Данное соотношение характеризует степень влияния факторов окружающей среды на массив корнеплодов, иными словами – инерционные свойства насыпи. Окружающая среда оказывает влияние на насыпь за счет солнечной радиации, температурных колебаний воздуха, атмосферных осадков и ветра. Наиболее агрессивному воздействию окружающей среды подвергается внешний слой насыпи толщиной 0,5-1 м. В полевых кагатах воздействию окружающей среды подвергается до 77% объема насыпи, и при наступлении заморозков они могут подмораживаться целиком [58, 71, 107]. Подмороженные корнеплоды сахарной свеклы теряют технологическую ценность, так как в них интенсифицируются процессы гниения и заражения болезнетворными грибами и бактериями, которые приводят к потере свекломассы.

Одним из способов обеспечения сохранности корнеплодов является увеличение размеров кагатов сахарной свеклы для повышения соотношения массы хранимого сырья к площади поверхности кагата, соприкасающейся с окружающей средой. В кагатах с высотой 5-6,5 м, шириной основания 28-30 м и шириной верхней площадки 8-10 м данное соотношение равняется 1,05...1,35. В таких кагатах от 13 до 31 % насыпи корнеплодов подвержено влиянию окружающей среды [10, 31, 43, 47]. В кагатах с высокой инерционностью хуже отводится часть избыточной теплоты из-за слабой конвекции воздушных масс, поэтому хранение в них подразумевает применение систем активной вентиляции.

Наличие системы активного вентилирования позволяет регулировать и поддерживать оптимальную температуру внутри больших кагатов сахарной свеклы, в отличие от полевых кагатов, хранящихся на полях возделывания [68, 72, 81, 91].

Длительное хранение в кагатах сахарной свеклы, оснащенных системой активной вентиляции, позволяет снизить потери свекломассы до 3-5% [48, 93]. Применение системы активной вентиляции в кагатах возможно на организованных площадках – свеклопунктах [54, 94, 96]. Централизованное хранение на свеклопунктах позволяет решить проблему транспортировки корнеплодов на завод для переработки во время распутицы.

Хранение в кагатах, оснащенных системой активной вентиляции, протекает при изменяющихся погодно-климатических условиях. Обеспечение сохранности корнеплодов в кагате при длительном хранении во многом зависит от совершенства алгоритмов управления и режимов работы системы активной вентиляции. Существующие алгоритмы управления не обеспечивают корректную работу вентиляции в течение всего периода хранения, так как требуют участия высококвалифицированного персонала. Повсеместное внедрение технологии хранения кагатов сахарной свеклы с активной вентиляцией возможно при переходе от автоматизированного к автоматическому типу управления.

При централизованном хранении сахарной свеклы в кагатах на свеклопункте актуальной является задача, заключающаяся в определении очередности разгрузки кагатов длительного вентилируемого хранения для последующей переработки. В настоящий момент кагаты сахарной свеклы отгружаются по очередности формирования, то есть первый сформированный кагат направляется первым в переработку. Данный способ не учитывает интенсивность процессов, протекающих внутри кагата при хранении, которые во многом зависят от неоднородности качества хранящихся корнеплодов сахарной свеклы.

Поэтому практически важным и актуальным являются совершенствование технологии хранения сахарной свеклы с разработкой режимов вентилирования

кагата. Внедряя современную технологию хранения, заводы смогут уйти от переработки не набравших массу корнеплодов в августе-сентябре, увеличат длительность сезона переработки с одновременным сокращением потерь свекломассы в кагатах при хранении [5, 102, 108, 120]. Применение технологии активного вентилирования кагатов сахарной свеклы на свеклопунктах позволяет увеличить продолжительность работы завода на 9-22% и снизить себестоимость сахара на 2-4,5%.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в исследование вопроса хранения сахарной свеклы, а также в совершенствование технологии и технических средств внесли многочисленные работы ученых Б.А. Рубина, А.И. Завражнова, М.З. Хелемского, Н.М. Сапронова, В.В. Спичака, В.И. Бодрова, Е.В. Кузнецова, Л.Н. Путилиной, Н.А. Бородянского, М.А. Волкова, С.В. Соловьева, В.А. Князева, Н.Н. Дидыка, А.А. Громковского, В.З. Жадана, В.А. Бойко, Д. Шпаара, А.Н. Морозова и других исследователей.

Большое значение для развития теории, расчета и конструирования систем активной вентиляции внесли такие ученые, как Н.Г. Кульнева, И.В. Апасов, М.К. Пружин, Е.В. Широких, Г.С. Косулин и другие.

Существует немало разнообразных конструкций и типов систем активной вентиляции. Известно, что в большинстве случаев системы активной вентиляции используют для охлаждения растительной продукции в закрытом овощехранилище с ограждающими конструкциями.

В данной работе решаются задачи совершенствования технологии хранения сахарной свеклы сроком более двух месяцев в кагатах, поверхность которых подвержена воздействию окружающей среды, путем разработки режимов работы системы вентиляции с автоматизированным типом управления режимами, а также на основе разработанной математической модели тепломассообменных процессов.

В известных трудах М.З. Хелемского, В.А. Князева, Н.А. Бородянского, В.А. Бойко и др. теоретически исследованы и практически проверены параметры системы активной вентиляции, принципиальные схемы устройств

вентиляционных систем, тепломассообменные процессы, протекающие при охлаждении растительной продукции [12, 13, 44, 118]. Но теоретически и экспериментально не обоснованы режимы работы системы активной вентиляции при изменяющихся погодных-климатических условиях во время хранения. В связи с этим необходимо проведение дополнительных исследований по совершенствованию технологии и разработке режимов хранения сахарной свеклы в кагатах.

Данная работа соответствует паспорту специальности 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства по пункту 2 – «Разработка теории и методов технологического воздействия на среду и объекты сельскохозяйственного производства» и пункту 4 – «Разработка операционных технологий и процессов в растениеводстве, животноводстве и гидромелиорации».

Цель исследований – повышение эффективности хранения сахарной свеклы в кагатах путем совершенствования технологии и разработки режимов работы системы активной вентиляции.

Задачи исследований:

- провести анализ технологий и технических средств, систем управления работой активной вентиляцией для кагата сахарной свеклы;
- теоретически обосновать режимы работы системы активной вентиляции в кагатах сахарной свеклы при изменяющихся погодных-климатических условиях во время хранения;
- экспериментально исследовать тепломассообменные процессы, протекающие в кагатах, и определить влияние режимов работы системы активной вентиляции на процесс хранения сахарной свеклы;
- обосновать параметры, характеризующие режимы работы при управлении системой активной вентиляции;
- разработать алгоритм очередности разгрузки кагатов в переработку в зависимости от потери массы кагата в период хранения и продолжительности вентилирования;

– обосновать экономическую эффективность применения системы активной вентиляции в кагатах сахарной свеклы.

Объект исследования – технологический процесс хранения в кагатах сахарной свеклы с применением системы активной вентиляции.

Предмет исследования – закономерности процессов в свекловичной массе при хранении в кагатах с применением системы активной вентиляции.

Научная новизна результатов исследований:

– разработана математическая модель изменения температуры и образующихся потерь свекломассы во время работы активной вентиляции в кагате сахарной свеклы;

– обоснованы величины параметров, характеризующих работу системы активной вентиляции в режиме поддержания, охлаждения и в циклическом;

– обоснованы режимы работы системы активной вентиляции при хранении сахарной свеклы в кагатах;

– разработан алгоритм очередности разгрузки кагатов в переработку в зависимости от продолжительности вентилирования и потери массы кагата в период хранения.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований:

– результаты теоретических исследований являются базой для совершенствования процесса хранения сахарной свеклы в кагатах оборудованных системой активной вентиляцией;

– обоснованные выводы и рекомендации по выбору режимов работы и управления системой активной вентиляции позволяют оптимизировать процесс длительного хранения сахарной свеклы;

– разработанная математическая модель процесса охлаждения при вентилировании в кагатах сахарной свеклы позволяет усовершенствовать управление системой вентиляции, как с новым предложенным программным обеспечением, так и при модернизации существующих систем.

– по материалам исследований разработаны рекомендации по использованию разработчиками при проектировании системы вентиляции кагатов

и модернизации существующих систем, разработке программного обеспечения управления работой системы активной вентиляции на площадках хранения, а также для студентов высших и средних учебных заведений, слушателей институтов и факультетов повышения квалификации кадров агропромышленного комплекса и сахарных заводов.

Методология и методы исследования. При проведении теоретических исследований использовались основные положения теории тепломассообмена и методов математической статистики. Лабораторные исследования физико-механических свойств корнеплодов сахарной свеклы проводились на кафедре «Технологические процессы и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ. Лабораторные и полевые исследования работы системы активной вентиляции проведены по методикам в соответствии с действующим ГОСТ, а также с разработанными частными методиками с использованием сертифицированных приборов и оборудования. Создана экспериментальная установка, на которой проведены исследования по изучению тепломассообменных процессов в насыпи при хранении сахарной свеклы с системой активной вентиляции.

Обработка полученных результатов исследований осуществлялась на ЭВМ с помощью прикладных программ: MathCAD 14, Statistica 12.0, Microsoft Excel 2007.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты исследований изменения температуры и массы насыпи кагата сахарной свеклы при работе активной вентиляции;
- результаты исследований по обоснованию режимов работы системы активной вентиляции при хранении сахарной свеклы в кагатах;
- алгоритм работы системы управления системой активной вентиляции при хранении сахарной свеклы в кагатах;
- алгоритм очередности разгрузки кагатов в переработку в зависимости от продолжительности вентилирования и потери массы кагата в период хранения;

– технико-экономическое обоснование применения технологии длительного вентилируемого хранения сахарной свеклы в вентилируемых кагатах с предлагаемой системой управления.

Личный вклад автора. Автором проведен анализ состояния вопроса, результатом которого стала постановка цели и задач исследований. Теоретически и экспериментально обоснованы режимы работы системы активной вентиляции кагата сахарной свеклы. Представленные в работе научные данные получены при непосредственном личном участии автора в период с 2018 по 2021 гг. в результате исследований на базе ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ на кафедре «Технологические процессы и техносферная безопасность» и на базе хозяйства ООО «Промсахар» в Курской области.

Степень достоверности и апробация работы подтверждается достаточным количеством выполненных экспериментов, использованием современных общепринятых методик, ГОСТов, приборов и оборудования, сопоставимостью результатов, полученных теоретическими и экспериментальными исследованиями, с результатами, полученными другими авторами, внедрением полученных результатов в производство, выступлениями с результатами исследований на международных конференциях, одобрением и публикацией материалов в ведущих журналах.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на ряде международных и всероссийских научно-технических конференциях и выставках: Выставка-конкурс научно-технических достижений студентов, аспирантов и молодых ученых Воронежского государственного технического университета (г. Воронеж, 2018 г.); Всероссийской конкурс научных проектов студентов, аспирантов, молодых ученых и сотрудников предприятий и организаций малого и среднего бизнеса «Инновационные проекты для малого и среднего бизнеса» (г. Мичуринск, 2018 г.); Всероссийский конкурс на лучшую работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации в номинации «Технические науки» (г. Москва, 2020 г.); Национальная научно-

практическая конференция «Творческое развитие идей В.А. Потапова в условиях интенсификации садоводства» (г. Мичуринск, 2020 г.); Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий» (г. Мичуринск, 2020 г.); Международная научно-практическая конференция «Аграрная наука и инновационные сельскохозяйственные технологии» (г. Мичуринск, 2020 г.).

Исследования проводились при поддержке стипендиальной программы благотворительного фонда В. Потанина, а также гранта фонда содействия инновациям по программе «УМНИК». Проведены консультации специалистов свеклосахарной отрасли по вопросам длительного вентилируемого хранения в качестве эксперта секции «Сырье» на технологическом семинаре производителей сахара стран ЕАЭС «Клуб технологов 2021». Передано экономическое обоснование внедрения технологии длительного сырьевого хранения сахарной свеклы в ассоциацию крестьянских (фермерских) хозяйств и сельскохозяйственных кооперативов России (АККОР) по Тамбовской области и в Управление сельского хозяйства по Тамбовской области.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований внедрены на сахарном заводе ООО «Промсахар» пос. им. Куйбышева Курской области.

Материалы исследований используются в ООО «Агрохолд» г. Котовск (Тамбовская область) для совершенствования программного обеспечения по управлению системой активной вентиляции кагатов сахарной свеклы.

Разработаны и переданы руководству ассоциации АККОР Тамбовской области рекомендации по организации вентилируемого хранения кагатов корнеплодов с использованием нового и модернизированного оборудования и программного обеспечения управления работой системы вентиляции.

Публикации. По материалам исследований опубликовано 19 научных работ, в которых отражено основное содержание диссертационной работы, в том числе из них 7 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получен патент РФ

на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 7,33 п.л., из них лично соискателю принадлежит 2,86 п.л.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы и приложений. Работа изложена на 140 страницах машинописного текста, содержит 53 иллюстрации, 7 таблиц. Список используемой литературы включает 141 источников отечественных и зарубежных авторов.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ХРАНЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

1.1 Комплексный анализ сахарной свеклы как объекта исследования

Сахарная свекла является техническим сырьем для производства сахара. Мировое потребление сахара в 2020 году составило 163,7 млн. т [123]. В период с 2001 по 2018 год данный показатель сахара вырос с 123,5 млн. т до 172,4 млн. т, что эквивалентно среднегодовому росту на 2,01%. В последние годы рост потребления был ниже среднегодовых значений по причине введения ограничительных мер, повлиявших на питание населения вне дома [106].

В Российской Федерации потребление сахара составляет порядка 6,1 млн. т. Россия занимает 7-ое место среди ведущих стран-производителей сахара и 1-ое место среди производителей сахара из свеклы. Валовой сбор сахарной свеклы в России за последние 5 лет в среднем составил 45,7 млн. т (таблица 1.1). Больше половины сахара России (55,4%) производится в Центральном Федеральном округе, преимущественно в Центрально-Черноземном районе (ЦЧР) [92].

Таблица 1.1 – Валовой сбор сахарной свеклы в Российской Федерации, МЛН. ТОНН

Субъект	2016г.	2017г.	2018г.	2019г.	2020г.
Российская Федерация	51,4	51,9	42,1	50,8	32,4
в т.ч. Тамбовская область	4,5	5,1	4,0	5,1	4,1
– Курская	5,6	5,5	5,1	4,7	3,7
– Воронежская	5,8	6,2	5,1	6,4	3,6
– Липецкая	5,2	5,4	4,4	5,6	3,5
– Белгородская	3,5	3,6	2,7	2,3	2,8

В структуре потребления сахара основная доля приходится на прямые покупки населением 46,1%, на применение в качестве одного из ингредиентов в пищевой промышленности – 34,3%. Но-Re-Ca (Hotel, Restaurant, Cafe) формирует 6% потребления сахара. Оставшаяся доля относится к недовольственному потреблению и другие направления [41].

В процессе производства сахара из свеклы образуются два побочных продукта: жом и меласса. Жом используют в животноводстве как корм для скота. Наиболее востребованным является гранулированный сухой жом [106]. Меласса применяется в животноводстве в составе комбикормов и премиксов. Кроме того, меласса используется в производстве спирта, слабоалкогольных напитков, хлебопекарных дрожжей, молочной, лимонной, глутаминовой кислоты, лизина [118].

Среди стран-производителей сахара из корнеплодов сахарной свеклы в Российской Федерации самая короткая продолжительность сезона переработки всего 110-130 дней в году, в то время как во Франции – 140-180 дней, в США – 220-250 дней в году [53, 126, 133]. Одной из основных причин непродолжительной работы сахарных заводов в ЦЧР является проблема обеспечения длительного хранения сахарной свеклы сроком более двух месяцев.

Корнеплоды сахарной свеклы как сырье для производства сахара оценивают количественно и качественно, а также по степени пригодности к длительному вентилируемому хранению. От правильного распределения по категориям поступающих корнеплодов во многом зависит результат хранения. При распределении сахарной свеклы на категории учитываются критерии, приведенные в таблице 1.2 [19, 42, 44].

Таблица 1.2 – Требования к корнеплодам сахарной свеклы перед укладкой на хранение

Параметр	Категория		
	I	II	III
Зеленая масса	не более 3%		
Загрязненность	не более 1%		
Механически сильно поврежденные корнеплоды	не более 5%	не более 12%	
Подвяленные	–	не более 5%	
Подмороженные	–	–	допускается, но без почерневшей ткани корнеплодов
Загнившие	отсутствует		

К I категории относят свежие технически спелые здоровые корнеплоды, убранные после 25 сентября. Сахарная свекла I категории предназначена для длительного хранения сроком более двух месяцев и перерабатывается в конце производственного сезона работы сахарного завода. Ко II категории относят здоровые неподмороженные корнеплоды, убранные после 25 сентября. Сахарную свеклу II категории, как правило, закладывают в кагаты для хранения сроком до двух месяцев. К III категории относят корнеплоды, убранные до 25 сентября, или в более поздние сроки уборки, но которые по качественным показателям не отвечают требованиям действующего ГОСТ 33884–2016. Сахарная свекла этой категории является некондиционной, и её направляют сразу в переработку, либо укладывают в кагаты для краткосрочного хранения.

При возделывании сахарной свеклы предъявляются требования к севообороту, нарушение которого приводит к накоплению болезнетворных агентов в почве и заражению корнеплодов гнилями в период вегетации, что негативно отражается на последующем хранении [21, 30, 37, 45].

В свеклосеющих хозяйствах и сахарных заводах ЦЧР применяются способы хранения сахарной свеклы, которые различаются по технологической сложности [56, 86, 97, 99]. Для получения максимальной сохранности сырья при производстве сахара и снижения влияния погодно-климатических факторов применяют три способа хранения в кагатах: полевой, оперативный и длительного хранения.

Полевые кагаты предназначены для хранения корнеплодов сроком не более 30 дней после копки на полях возделывания [7, 20, 34]. Хранение свеклы в полевых кагатах является краткосрочным из-за повышенных потерь свекломассы и сахарозы. После загрузки бункера-накопителя корнеплодами свеклоуборочный комбайн разгружает его на краю поля или же перегружает корнеплоды в прицеп-перегрузчик, который присоединен к трактору. По окончании загрузки трактор с прицепом перемещается на край поля, который находится вблизи дороги и разгружается, формируя полевой кагат [44, 82, 137]. Способы хранения первой группы с одной стороны наиболее доступны для сельхозтоваропроизводителей, с

другой стороны сохранность сахарной свеклы во многом зависит от погодноклиматических условий. К факторам окружающей среды, оказывающим влияние на хранение корнеплодов, относятся: конвективное движение воздушных масс, амплитудные колебания температуры окружающего воздуха в течение суток, солнечная радиация, осадки [3, 8, 23]. В нарушение регламентов способ хранения корнеплодов в полевых кагатах используется при длительном хранении сроком более 60 дней, что приводит к повышенным потерям свекломассы [1, 11, 24].

На рисунке 1.1 представлена упрощенная схема, которую проходит сахарная свекла с момента возделывания до переработки в сахар.

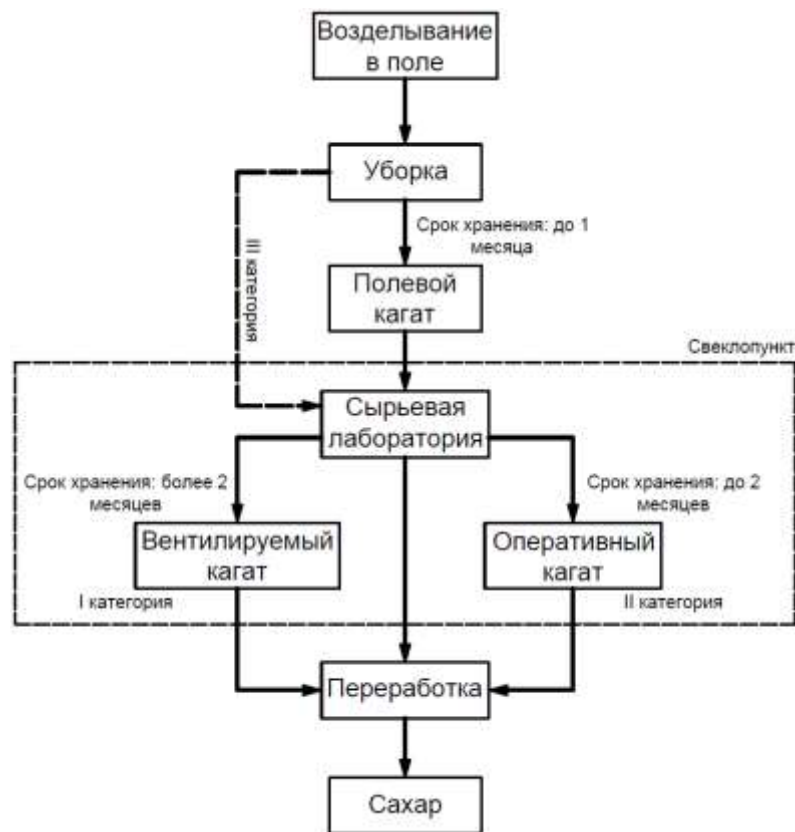


Рисунок 1.1 – Упрощенная схема производства, хранения и переработки сахарной свеклы

При хранении от 30 до 60 дней применяется способ хранения корнеплодов на свеклопунктах сахарных заводов в кагатах без применения систем активной вентиляции [22, 66, 88]. Такие кагаты называются оперативными, так как они позволяют сформировать оперативный запас сырья на площадках хранения –

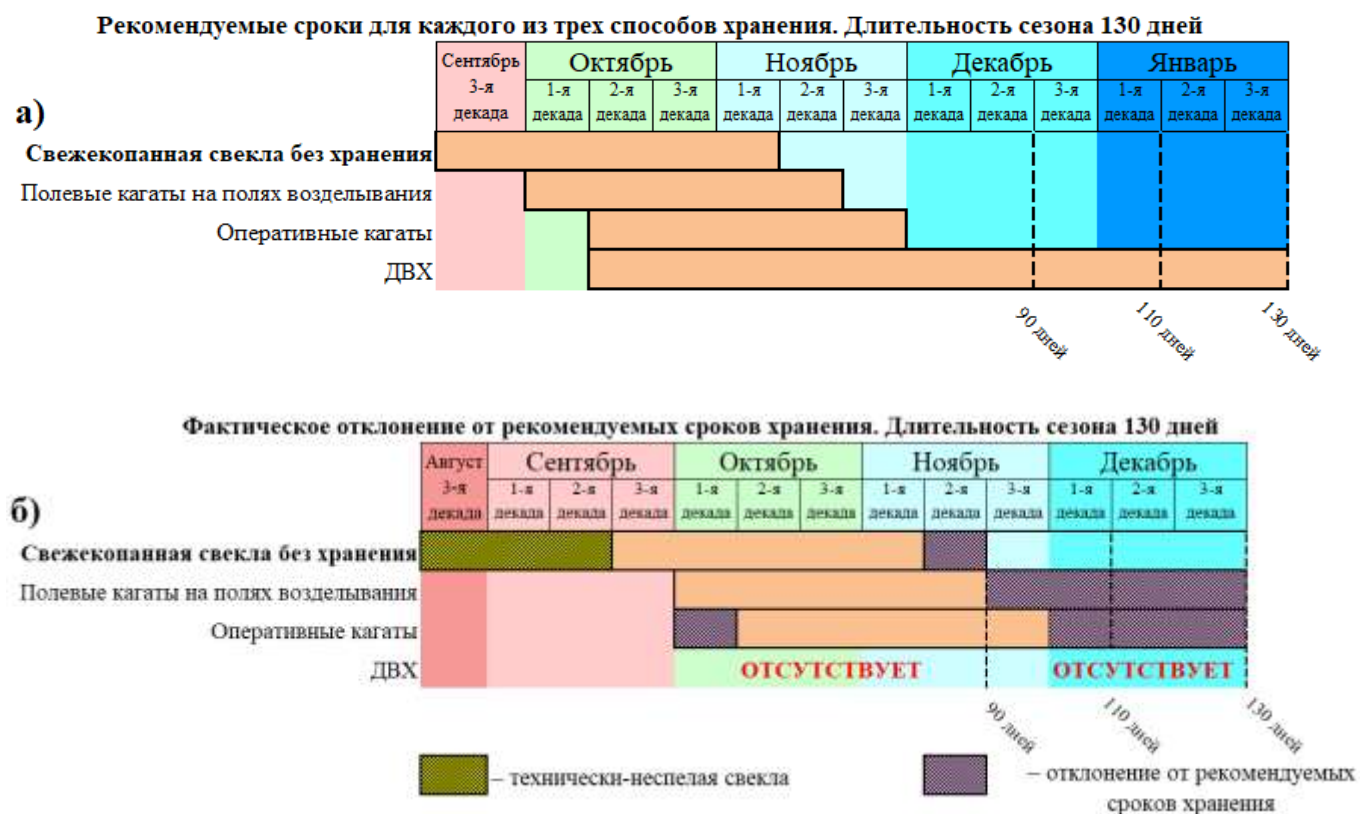
свеклопунктах для сахарного завода при наступлении распутицы. В отличие от полевых оперативные кагаты формируются высотой 6 м и шириной основания 15 м за счет применения буртоукладочных машин (БУМ). Увеличение ширины и высоты кагата приводит к увеличению соотношения массы кагата к площади его поверхности, за счет чего уменьшается влияние окружающей среды на кагат.

Хранение в оперативных кагатах на свеклопунктах более затратное, чем в полевых кагатах, так как в технологической цепочке появляются звенья, связанные с применением БУМа. Тем не менее, благодаря оперативным кагатам достигается непрерывность работы сахарного завода в условиях интенсивных осадков, когда подвоз корнеплодов с полей возделывания из-за распутицы уменьшается или невозможен.

Длительное хранение сахарной свеклы сроком от 60 дней обеспечивается за счет применения системы активной вентиляции в кагатах на свеклопунктах. В отличие от остальных способов при длительном хранении имеются затраты, связанные с эксплуатацией систем активной вентиляции кагатов. С полей возделывания на свеклопункт поступают корнеплоды сахарной свеклы с температурой $+10...+14^{\circ}\text{C}$, однако с помощью системы активной вентиляции температура в кагате снижается до $-1...+5^{\circ}\text{C}$ [60]. При длительном хранении формируют кагаты с поперечным сечением в виде трапеции, высотой до 7 м, шириной нижнего до 90 м и шириной верхнего основания до 70 м [15, 17]. В процессе хранения внутри кагата образуется теплота, часть которой отводится в окружающую среду с помощью естественной конвекции воздушных масс в межкорневом пространстве. Оставшаяся часть отводится за счет принудительной конвекции, возникающей при работе системы активной вентиляции [9, 29, 40]. Технология длительного вентилируемого хранения (ДВХ) позволяет принимать корнеплоды сахарной свеклы в период массовой уборки, которая продолжается в течение 40-50 дней, и хранить с минимальными потерями свекломассы и сахарозы до завершения сезона переработки [14, 82, 112, 119].

На рисунке 1.2 схематично представлены рекомендуемые технологическими регламентами и фактические сроки применения каждого из

трех рассмотренных способов хранения сахарной свеклы в кагатах с учетом погодно-климатических условий для областей ЦЧР [93]. В период массовой уборки используются параллельно все три способа хранения в кагатах (рис. 1.2-а). С наступлением заморозков, как правило, чередующихся с оттепелями, хранение в полевых кагатах сопряжено с высокими рисками потерь свекломассы и сахарозы.



а – рекомендуемое, б – фактическое

Рисунок 1.2 – Применение способов хранения корнеплодов сахарной свеклы в зависимости от начала переработки

Штриховкой с наклоном вправо показано фактическое начало периода работы завода на технически-неспелой свекле (рис. 1.2-б). Уборка свеклы осуществляется для обеспечения работы сахарного завода «с колес» без формирования запасов в полевых кагатах и свеклопунктах. Период вегетации сахарной свеклы в ЦЧР составляет 150 дней в году, из-за чего техническая спелость свеклы наступает во второй половине сентября, однако пуско-

наладочные работы оборудования линии переработки на сахарном заводе начинаются на месяц раньше [5].

Штриховкой с наклоном влево показано отклонение от рекомендуемых сроков хранения. Погодно-климатические условия в октябре позволяют осуществить уборку в сжатые сроки с большей части полей возделывания сахарной свеклы. При этом узким местом остается вывоз корнеплодов с полей возделывания, так как на большинстве сахарных заводах отсутствует технология ДВХ, а переработка всего объема выкопанной свеклы за один-два месяца не возможна. В возникшей ситуации решением стало увеличение сроков хранения корнеплодов в полевых кагатах на полях возделывания до 2-2,5 месяцев, но с повышенными потерями свекломассы и сахарозы. Для растягивания периода хранения в полях применяется график приема сырья от свеклосдатчиков на сахарный завод. В этом случае убытки, связанные со сверхнормативными сроками хранения корнеплодов сахарной свеклы, перекладываются на свеклосдатчиков.

При валовом сборе 45,7 млн. т сахарной свеклы в кагатах с применением активной вентиляции хранится порядка 1,5 млн. т. Общая потребность в длительном хранении кагатов с активной вентиляцией составляет от 5 до 12,8 млн. т сахарной свеклы в зависимости от продолжительности сезона переработки [90, 92]. Низкая востребованность в технологии ДВХ во многом обусловлена сложностью управления процессами хранения, в частности, из-за нехватки высококвалифицированного персонала, а также несовершенством применяемых режимов для управления системой активной вентиляции.

1.2 Анализ теоретических исследований тепловлажностных процессов хранения насыпи растительной продукции

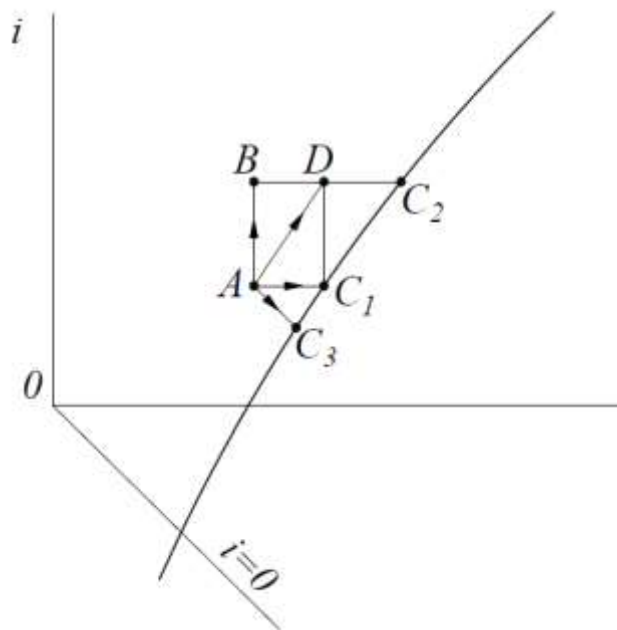
При разработке режимов работы системы управления активной вентиляции кагата сахарной свеклы главным аспектом является обеспечение сохранности корнеплодов, одним из критериев которого является минимальные потери массы

насыпи. Увеличение потерь свекломассы происходит из-за нарушения температурного диапазона хранения корнеплодов и некорректной работы системы активной вентиляции. Нарушение температурного диапазона хранения при высоких температурах приводит к развитию болезнетворных грибков и бактерий, а при низких к подмораживанию корнеплодов с последующим некрозом тканей, интенсификацией процесса дыхания [9, 101]. Некорректная работа системы вентиляции при низкой интенсивности приводит к образованию локальных очагов самосогревания, а при высокой – к выносу влаги из кагата.

Рассмотрим условия, при которых протекает тепломассообмен для распространенных типов растительной продукции, хранящейся навалом, такой как картофель, свекла столовая, лук [28]. Хранение организуется с применением закрытых хранилищ, оснащенных ограждающими конструкциями, а также средств создания и поддержания микроклимата. Наличие ограждающих конструкций в хранилище частично защищает насыпь продукции от воздействия факторов окружающей среды, а применение установок для регулирования тепловлажностного и газового режимов позволяет поддерживать вокруг и внутри насыпи оптимальный для обеспечения сохранности продукции микроклимат [39, 46]. В большинстве закрытых хранилищ растительной продукции организована рециркуляционная схема вентилирования, когда к воздуху из хранилища подмешивается воздух из окружающей среды, нагревается или охлаждается до необходимой температуры, а затем подается в хранилище или в насыпь через систему активной вентиляции [77, 83, 124, 130].

Кагат сахарной свеклы хранится без ограждающих конструкций, и схема с рециркуляцией воздуха не может быть реализована. Под ограждающими конструкциями понимаются строительные конструкции здания, отделяющие внутреннее пространство для хранения растительной продукции от внешней окружающей среды. Воздух поступает в кагат без предварительной воздухоподготовки из окружающей среды. Чтобы термически не травмировать корнеплоды в процессе длительного вентилирования температура приточного воздуха не должна быть ниже температуры замерзания свекловичного сока,

которая в зависимости от сахаросодержания варьируется в диапазоне $-4 \dots -2^\circ\text{C}$. При температуре наружного воздуха ниже -2°C охлаждение следует проводить путем увеличения количества циклов включения системы вентиляции при уменьшении продолжительности её работы, а также путем снижения скорости воздушного потока. Эффективное охлаждение возможно при разнице температур между корнеплодами и приточным воздухом $\Delta T \geq 2^\circ\text{C}$ [57, 59]. При большей разнице температур между насыпью и приточным воздухом охлаждение будет происходить быстрее, однако возможно возрастание разницы парциальных давлений между насыпью и приточным воздухом, которая приводит к увеличению выноса влаги из насыпи при вентилировании. По этой причине при возрастании разности температур необходимо учитывать разность влагосодержания между насыпью и приточным воздухом.



AB – нагревание воздуха; AC_1 – изотермическое увлажнение воздуха; BC_2 – дефицит влагосодержания, т.е. потенциал воздуха при данной температуре до полного влагонасыщения; AC_3 – адиабатическое увлажнение воздуха; AD – процесс в охлаждаемой насыпи

Рисунок 1.3 – Изменение состояния воздуха при охлаждении насыпи растительной продукции

Осушающая способность приточного воздуха при охлаждении насыпи растительной продукции зависит от двух факторов: ассимиляции влаги и ассимиляции тепла [52, 70]. Увеличение влагосодержания при прохождении воздушного потока через насыпь приводит к снижению его осушающей способности, а повышение температуры, наоборот, способствует повышению. На рисунке 1.3 представлена схема изменения состояния воздуха при охлаждении насыпи растительной продукции. Для построения процессов в насыпи использовалась $i-d$ диаграмма (Рамзина-Молье) влажного воздуха, которая графически связывает параметры, определяющие тепловлажное состояние воздуха: энтальпию, влагосодержание, температуру, относительную влажность, парциальное давление водяных паров [38].

При охлаждении воздух поглощает скрытое и явное тепло из насыпи [95, 132]. Механизм поглощения явного тепла связан с разностью температур между холодным приточным воздухом и теплой насыпью. В процессе охлаждения приточный воздух нагревается от насыпи, температура которой снижается (отрезок AB). Процесс нагревания воздуха при постоянном влагосодержании сопровождается подводом к воздуху явного тепла. Механизм поглощения скрытого тепла основан на разности парциальных давлений между приточным воздухом, поступившим из окружающей среды, и воздухом в межкорневом пространстве насыпи (отрезок AC_1). Указанный процесс протекает при непрерывном увеличении осушающей способности воздуха, которая достигает своего максимального значения в конце нагревания воздуха (отрезок BC_2).

В реальном процессе охлаждения в приточный воздух одновременно поступает скрытое и явное тепло, а направление результативного процесса будет зависеть от соотношения количества скрытого и явного тепла (отрезок AD) [28].

Поглощение скрытого тепла за счет ассимиляции влаги из межкорневого пространства кагата позволяет сократить продолжительность работы системы активной вентиляции, что в условиях дефицита электроэнергии и ограничивающих факторов окружающей среды оказывает положительное влияние на хранение сахарной свеклы в кагатах. В процессе хранения

относительная влажность внутри межкорневого пространства кагата составляет 95-98% [44]. В осенний период среднемесячное значение относительной влажности воздуха окружающей среды варьируется от 60 до 70% [55, 74]. Охлаждение кагата осуществляется при разности температур $\Delta T \geq 2^\circ\text{C}$, в условиях когда абсолютная влажность приточного воздуха $\rho_{н.в.}$ меньше влажности воздуха в межкорневом пространстве $\rho_{м.к.}$.

$$\rho_{н.в.} > \rho_{м.к.} \quad (1.1)$$

Образование влаги в межкорневом пространстве осуществляется за счет её выделения из корнеплода [36]. При низкой интенсивности охлаждения кагата становится неконтролируемым процесс самосогревания корнеплодов, который приводит к развитию болезнетворных грибков и бактерий, снижению технологического качества свеклы и росту потерь свекломассы. Вынос влаги при охлаждении кагата сахарной свеклы посредством активной вентиляции является контролируемым процессом, в отличие от естественного вентилирования полевых кагатов. При охлаждении с активной вентиляцией совокупные потери свекломассы могут достигать 1,95-2,7%, в то время как в полевых кагатах за аналогичный период 11-16,3% [50, 91].

Для математического описания процесса испарения (потери) влаги в процессе охлаждения насыпи применяется уравнение Дальтона [118]:

$$W = \beta F (P_n'' - P_{н.о}'') \varphi \tau \quad (1.2)$$

где β – коэффициент влагообмена; F – площадь поверхности продукции, м^2 ; P_n'' – насыщенная упругость пара над влажной поверхностью продукции, Па; $P_{н.о}''$ – насыщенная упругость пара в окружающем воздухе, Па; φ – относительная влажность воздуха, %; τ – время, сек.

В расчетах применена модифицированная запись уравнения Дальтона (1.3), [44]:

$$W = \delta F \varepsilon_u (d'' - d) \tau \quad (1.3)$$

где δ – коэффициент влагообмена, $\text{кг}_{с.в.}/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$; ε_u – коэффициент испарительной способности продукции; d'' – насыщенное влагосодержание

воздуха в пограничном слое над влажными участками продукции, кг/ кг_{с.в.}; d – влагосодержание воздуха, омывающего поверхность продукции, кг/ кг_{с.в.}.

Из формулы (1.4) следует:

$$W = B(d'' - d) \quad (1.4)$$

где B – коэффициент пропорциональности.

В.З. Жадан выявил обобщенную зависимость, при которой осушающая способность охлаждающего воздуха, выраженная дефицитом влагосодержания его в направлении движения воздуха в насыпи, – величина постоянная.

$$d'' - d = const \quad (1.5)$$

Данное утверждение верно при хранении в закрытом овощехранилище, в котором возможно создание и поддержание устойчивого микроклимата вокруг насыпи с возможностью продолжительной работы системы активной вентиляции по схеме рециркуляции: когда воздух из хранилища подается в насыпь, а из насыпи поступает в хранилище. Применение схемы с рециркуляцией воздуха и возможность обеспечения длительной работы активной вентиляции в закрытом овощехранилище приводит к выравниванию температуры по всей высоте насыпи. Однако данные условия не достижимы при хранении корнеплодов сахарной свеклы в кагатах: система активной вентиляции работает по приточной схеме, когда воздух из окружающей среды поступает непосредственно в кагат, а продолжительность работы вентиляции ограничена и зависит от изменения погодных-климатических условий. Также на поверхность кагата оказывают воздействие факторы окружающей среды, преимущественно температура воздуха, из-за чего наблюдается различие температур на поверхности и внутри кагата. В этом случае представленная зависимость (1.5) не является корректной для кагатов сахарной свеклы.

Графически обобщенная закономерность процесса в охлаждаемой насыпи выражается тем, что линия его проходит практически параллельно участку пограничной кривой $i-d$ диаграммы, относящемуся к температуре в хранилище. В узком интервале температур кривизной пограничной кривой можно пренебречь.

Поскольку гравитационные силы развиваются в вертикальной плоскости, в этом направлении движется вентилирующий воздух. Подогрев его в насыпи не превышает, как правило, 2°C. Он всегда меньше наибольшей разности температур по высоте хранилища.

При рассмотрении закономерности формирования температурного поля в насыпи продукции, подвергающейся активному вентилированию В.З. Жаданом, Н.Н. Дидыком было установлено, что при активном вентилировании отсутствует зависимость подогрева охлаждающего воздуха от высоты насыпи [39, 62]. Данное утверждение верно при хранении насыпи растительной продукции в закрытом овощехранилище, однако некорректно его применять к кагатам сахарной свеклы, которые не оснащены ограждающими конструкциями и непосредственно контактируют с окружающей средой.

Уравнение теплового баланса для 1 м² насыпи корнеплодов в месте подачи воздуха на охлаждение можно выразить в виде:

$$Q_{np} = h\rho_n F_n \alpha \xi (t_{np} - t) \tau \quad (1.6)$$

где Q_{np} – отводимое охлаждающим воздухом от продукции, кДж; h – высота насыпи, м; ρ_n – насыпная плотность продукции, м³/т; F_n – площадь поверхности продукции, т/м²; α – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); ξ – коэффициент, учитывающий влияние влагообмена на теплообмен; t_{np} – температура продукции, °С; t – температура приточного воздуха, °С; τ – время, с.

Тепло Q_6 , воспринимаемое охлаждающим воздухом:

$$Q_6 = h\rho_n V \rho C_p \xi \Delta t \quad (1.7)$$

где V – удельный расход воздуха, м³/(ч·т); ρ – плотность приточного воздуха, кг/м³; Δt – подогрев вентилирующего воздуха, °С.

Приняв $Q_{np} = Q_6$ и решив совместно уравнения (1.6) и (1.7) находим:

$$\Delta t = \frac{\alpha F_{np} (t_{np} - t) \tau}{V \rho C_p} \quad (1.8)$$

Коэффициент теплоотдачи вычисляется по приближенной формуле [87]:

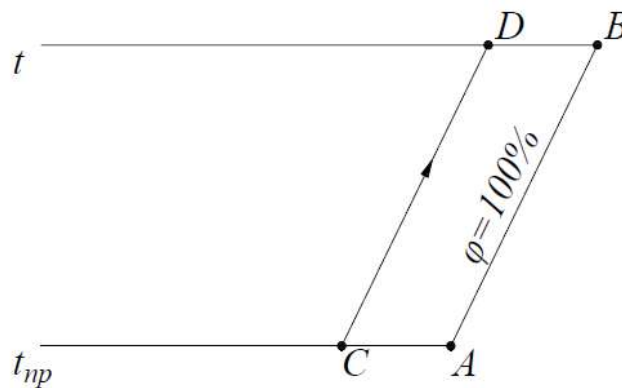
$$\alpha = 1,5 + 0,03VhC_p \quad (1.9)$$

Разность температур на границе «продукция-воздух» находится из уравнения теплообмена:

$$Q_{np} = \alpha \xi F_{np} (t_{np} - t) \quad (1.10)$$

Из формулы (1.10) следует, что подогрев вентилирующего воздуха в насыпи при активном вентилировании, определяемый максимальной разностью температур по высоте насыпи продукции, не зависит от высоты насыпи. Подогрев вентилирующего воздуха зависит от теплопритоков удельной площади поверхности продукции, удельного расхода воздуха и частоты включения вентиляторов.

На рисунке 1.4 показана схема изменения состояния вентилирующего воздуха в охлаждаемой насыпи. AB – участок пограничной кривой $i-d$ диаграммы; CD – процесс в охлаждаемой насыпи; t_n – температура приточного воздуха для насыпи, °С; t – температура воздуха на выходе из насыпи, °С.



AB – участок пограничной кривой $i-d$ диаграммы; CD – процесс в охлаждаемой насыпи

Рисунок 1.4 – Изменение состояния вентилирующего воздуха в охлаждаемой насыпи

Градиент температур по высоте насыпи растительной продукции колеблется в пределах $0,10 \dots 0,36^\circ\text{C}$ на 1 м, что соответствует максимальной разности температур $1,8^\circ\text{C}$ [40]. В интервале температур менее 2°C участки пограничной кривой $i-d$ диаграммы представляют собой практически прямые линии.

На основании исследований тепловлажностных режимов в насыпи картофеля при активном вентилировании и естественной конвекции М.А. Волков пришел к заключению, что относительная влажность вентилирующего воздуха стремится к своему равновесному состоянию и при дальнейшем движении его в насыпи продукции остается постоянной [84, 103]. Отмечалось, что при вентилировании насыпи воздухом с низкой относительной влажностью происходит насыщение приточного воздуха влагой в результате его прохождения через нижние слои насыпи. В дальнейшем (не выше 1,5 м) относительная влажность воздуха стабилизируется и остается приблизительно постоянной по всей высоте насыпи [116, 129, 140].

Отмеченное В.И. Бодровым и В.Г. Трошиным изменение относительной влажности воздуха в нижнем слое насыпи продукции в тех случаях, когда она отличается от своего равновесного значения, определяемого теплопритоками и испарительной способностью продукции является корректирующим слоем продукции [88, 109].

При дальнейшем движении сквозь толщу насыпи воздух насыщается влагой, тепловое возмущение распространяется вдоль потока со скоростью, зависящей от интенсивности теплообмена и скорости фильтрации воздуха. Температура последнего возрастает в такой же мере, в какой увеличивается его влагосодержание, поэтому относительная влажность вентилирующего воздуха практически не изменяется.

Равновесная относительная влажность вентилирующего воздуха φ_p (%) зависит от удельной теплоты дыхания, внешних теплопритоков, удельного расхода вентилирующего воздуха, высоты насыпи, плотности насыпи продукции, удельной площади поверхности и коэффициента испарительной способности. Формула для расчета равновесной относительной влажности [104, 115, 136].

$$\varphi_p = 100 - \frac{3,9(q + q_{вн})}{(1,5 + 0,05Vh\rho_n)F_{пр}\varepsilon_n} \quad (1.11)$$

где q – удельная теплота дыхания продукции, Вт/т; $q_{вн}$ – внешние

теплопритоки, Вт/т; V – удельный расход вентилирующего воздуха, м³/(т·ч); h – высота насыпи продукции, м; ρ_n – плотность насыпи продукции, т/м³; F_{np} – удельная площадь поверхности продукции, м²/т.

Однако данный подход справедлив в условиях хранения растительной продукции в хранилищах с применением ограждающих конструкций и систем регулирования микроклимата. Также необходимо отметить, что большинство исследований проведены для насыпи растительной продукции высотой 2,5...4 м. Однако условия хранения сахарной свеклы в кагате отличаются коренным образом:

- насыпь сахарной свеклы не имеет ограждающих конструкций;
- из средств регулирования микроклимата применяется только система активной вентиляции, при работе которой используется воздух из окружающей среды;
- условия для включения вентилятора ограничены погодно-климатическими условиями, в первую очередь температурой окружающего воздуха;
- условия для включения вентилятора ограничены лимитами энергопотребления.

Таким образом, математическая модель описания процесса при охлаждении насыпи растительной продукции в закрытых овощехранилищах не учитывает различие температур на поверхности и внутри кагата, изменяющейся разности температур и влагосодержания между приточным воздухом и кагатом сахарной свеклы, ограниченную продолжительность работы системы активной вентиляции.

1.3 Анализ технических средств хранения корнеплодов сахарной свеклы в кагатах, оборудованных системой активной вентиляции

Под системой активной вентиляции кагата подразумевается комплекс инженерных систем, обеспечивающий поддержку и регулирование микроклимата посредством нагнетания воздуха в кагат через вентиляционные ветви. Под вентиляционной ветвью подразумевается инженерная система для подачи воздуха

из окружающей среды в фрагмент кагата через воздухораспределитель посредством нагнетания вентилятором, встроенным в вентиляционный агрегат. Вентиляционная ветвь включает в себя вентилятор, воздуховод, отвод, воздухораспределитель а также другие элементы, предназначенные для подачи воздуха в фрагмент кагата.

Для технологии длительного хранения корнеплодов сахарной свеклы были разработаны системы активной вентиляции кагатов, которые применяются на площадках без стационарных ограждающих конструкций. Основные требования к системам активной вентиляции кагатов сахарной свеклы сформулировал Бородянский Н.А. [13]. Система вентиляции должна обеспечивать равномерную подачу и распределение воздуха во всем объеме кагата. Конструкция системы вентиляции должна иметь гибкую регулировку подачи воздуха в отдельные фрагменты кагата. Система активной вентиляции должна быть надежной и удобной в эксплуатации, а затраты с учетом подготовки оборудования на площадке длительного хранения корнеплодов должны быть минимальны.

Учеными научно-исследовательского института по строительству трубопроводов НИИСТ и Государственного института по проектированию предприятий сахарной промышленности (Гипросахар) были разработаны проекты компоновочных схем кагатов сахарной свеклы, оснащенных системой активной вентиляции [61, 118, 134]. На рисунке 1.5 представлена поперечная схема вентиляции.

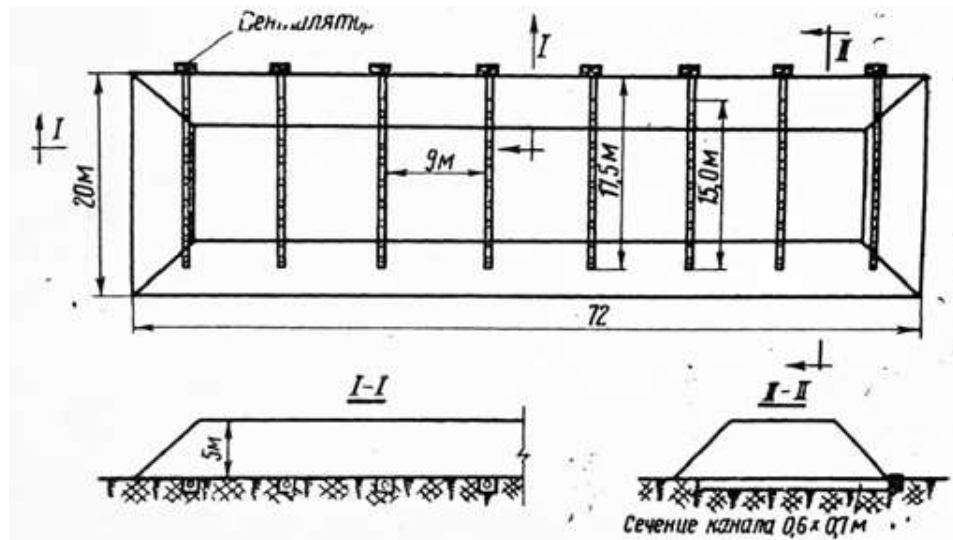


Рисунок 1.5 – Поперечная схема расположения вентиляционных ветвей

Преимуществом данной схемы является возможность децентрализованной подачи воздуха в фрагменты кагата, так как вентиляционным агрегатом оснащается каждая ветвь.

На рисунке 1.6 представлена продольная схема расположения вентиляционных ветвей с централизованной подачей воздуха.

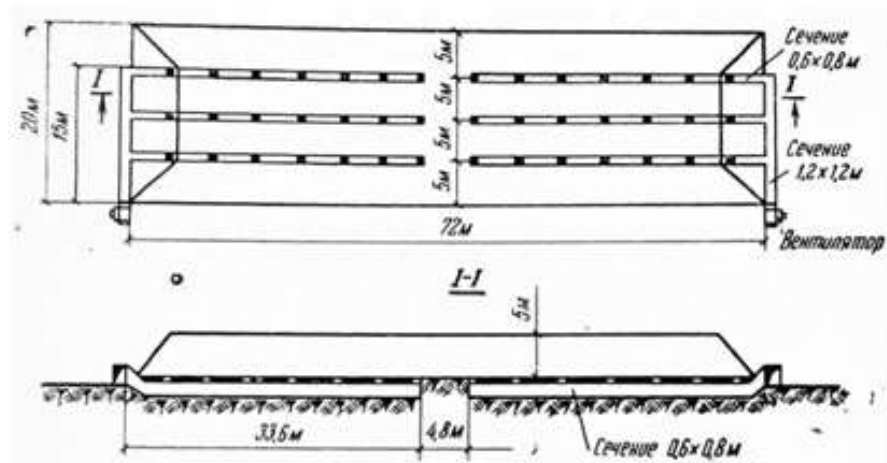


Рисунок 1.6 – Продольная схема вентиляции расположения вентиляционных ветвей

Рассматривалась схема с вертикальными вентиляционными колоннами (рисунок 1.7).

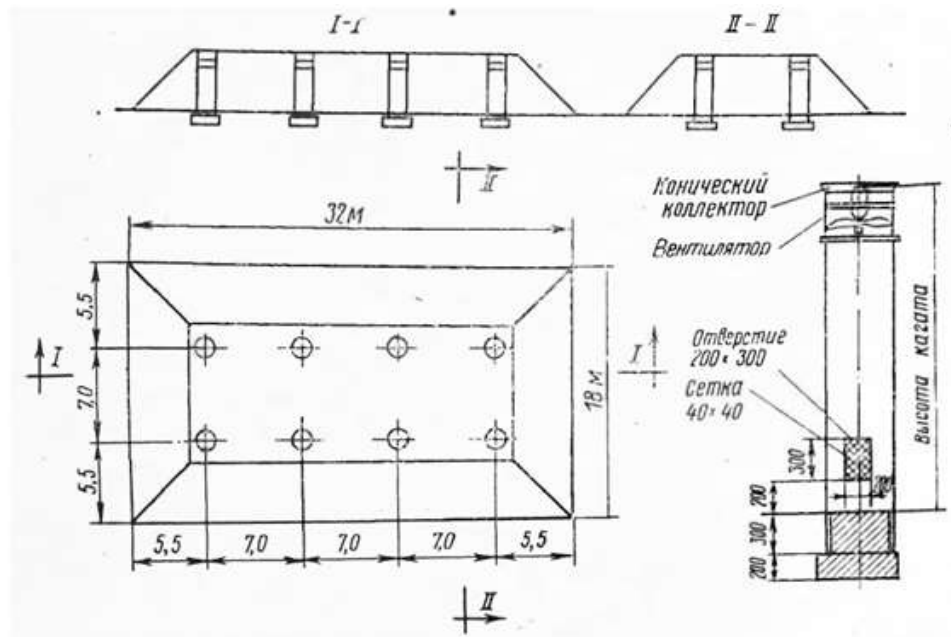
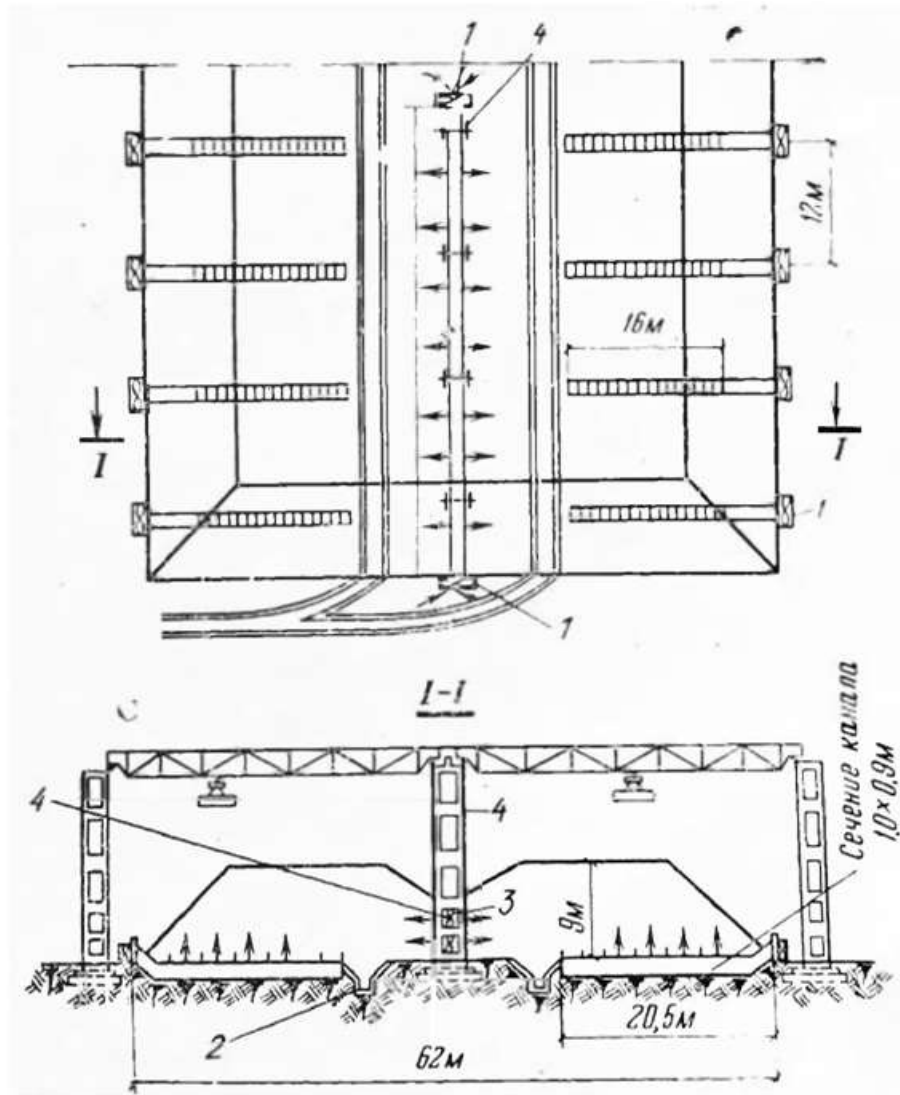


Рисунок 1.7 – Система активной вентиляции кагата с вертикальными вентиляционными колоннами

Также были предложены схемы кагатов длительного хранения, в которых загрузка кагатов осуществлялась с помощью мостового крана, а разгрузка при помощи гидротранспортера (рисунок 1.8).



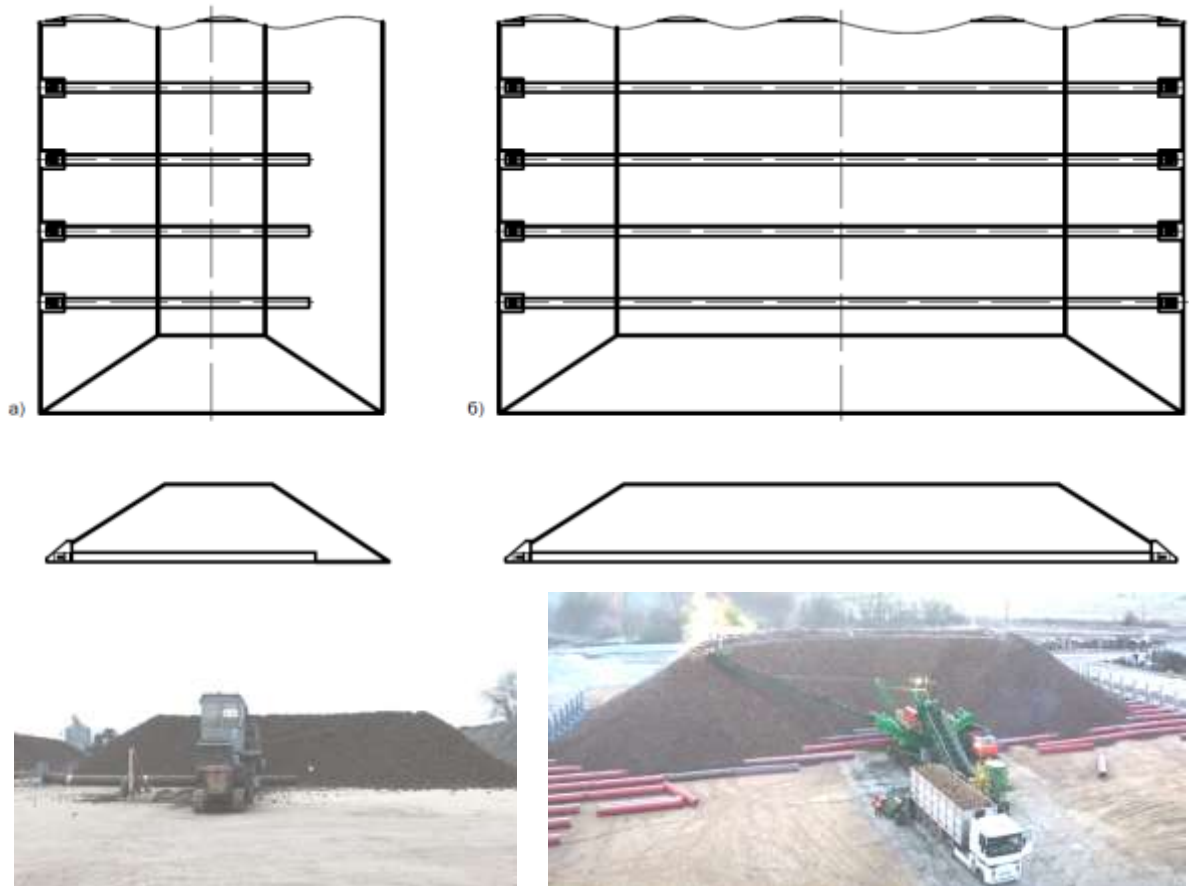
1 – вентилятор; 2 – гидротранспортер; 3 – двухсторонний воздухораспределитель;
4 – колонна

Рисунок 1.8 – Поперечная схема кагата с гидротранспортером

Классификация технических средств активной вентиляции кагатов сахарной свеклы приведена в приложении А.

В настоящее время применяются два типа децентрализованных систем активной вентиляции с вентиляционными ветвями, расположенные поперек относительно центральной оси кагата. В этих системах используют напольные металлические воздуховоды с круглым сечением. Отличие в схемах заключается в способе нагнетания воздуха в воздуховод: с одной или с двух сторон кагата. В зависимости от способа нагнетания воздуха в воздуховод кагаты разделяют на

одинарный и спаренный (рисунок 1.9). Выбор вентилятора обусловлен интенсивностью подачи воздуха на одну тонну корнеплодов сахарной свеклы, которая составляет от 30 до 70 м³/ч в зависимости от климатической зоны [38, 44]. Распространение получили осевые вентиляторы низкого и среднего давления, мощность электродвигателей которых составляет от 5,5 до 11 кВт [2, 85]. Подача воздуха в кагат осуществляется через воздуховыпускные отверстия, расположенные на поверхности воздуховода.



а – подача воздуха с одной стороны для одинарного кагата, б – подача воздуха с двух сторон спаренного кагата

Рисунок 1.9 – Применяемые системы активной вентиляции

Вентиляционные каналы устанавливают на площадке хранения по ходу формирования кагата и засыпаются корнеплодами с помощью буртоукладочной машины. Межосевое расстояние между вентиляционными ветвями одинарного кагата составляет 6 м, в спаренном – от 4 до 5 м [87].

Преимуществом спаренных кагатов является наилучшее соотношение массы к площади поверхности кагата, соприкасающейся с окружающей средой. Ширина нижнего основания спаренного кагата варьируется от 70 до 90 м, высота от 6 до 7 м, длина от 160 м [16, 17]. Формирование кагатов производится последовательно с помощью одной буртоукладочной машины повышенной производительности от 500 до 750 т/ч (суперБУМ), которая оснащена двумя площадками опрокидывания большегрузных автомашин с прицепами [18, 78-80]. Перемещение суперБУМа в процессе укладки кагата производится с помощью железобетонных колес, либо гусеничного хода, а также с помощью рельсового хода. СуперБУМы лишены маневренности и могут двигаться вперед и назад. В случае технического отказа он не может быть заменен на другой суперБУМ, поэтому укладка корнеплодов в кагаты останавливается.

После формирования спаренного кагата в процессе охлаждения необходимо обеспечить синхронную работу двух вентиляторов, подключенных к одному вентиляционному каналу. При отсутствии синхронизации воздушный поток от одного вентилятора может раскрутить крыльчатку второго в противоположном направлении. В системах активной вентиляции применяются вентиляторы с трехфазными электродвигателями мощностью 5,5–11 кВт с массивными крыльчатками [95]. В этом случае запуск второго вентилятора с раскрученной в противоположном направлении крыльчаткой приводит к резкому увеличению пускового момента сопротивления вентилятора. Повышаются риски преждевременного выхода из строя электродвигателя вентилятора. Для устранения этого положения необходимо создать разрыв между секциями вентиляционного канала по центру спаренного кагата. В процессе формирования кагата разрыв заполняется корнеплодами, которые выполняют функцию заслонки для воздушного потока, однако в этом случае может нарушаться балансировка воздуховода. Балансировка – это методическое регулирование потоков воздуха из воздуховыпускных отверстий для достижения равномерного охлаждения вентилируемого фрагмента кагата. Регулирование осуществляется на промышленных образцах путем изменения расположения, количества и

проходного сечения отверстий. Под фрагментом кагата подразумевается его часть, в которой расположена вентиляционная ветвь. Участки, расположенные ближе к вентилятору, должны охлаждаться с такой же скоростью, как и на удалении от него. В спаренном кагате вентиляционная ветвь длиннее (35–45 м), чем в одинарном кагате (22–25 м).

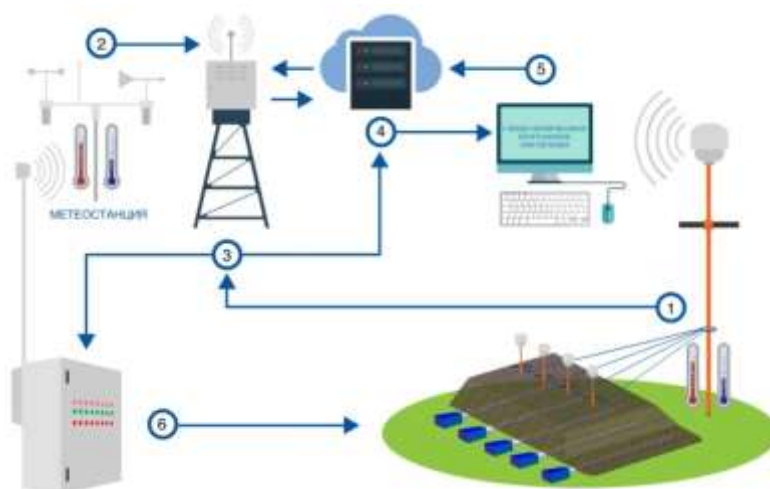
Таким образом, на сегодняшний день получили промышленное применение системы активной вентиляции с поперечным расположением напольных вентиляционных ветвей. В зависимости от типа БУМов реализованы схемы с односторонней или с двухсторонней подачей воздуха в кагат.

1.4 Анализ систем управления и режимов работы системы активной вентиляции кагатов

В настоящий момент применяется несколько программных обеспечений для управления системой активной вентиляции, которые были разработаны по заказу сахарных заводов со схожей принципиальной схемой взаимодействия элементов системы для управления [59].

На рисунке 1.10 показана схема организации аппаратной части системы вентиляции для кагата сахарной свеклы.

В кагат устанавливались беспроводные термоштанги по определенной схеме привязки к номерам вентиляторов. На базовую станцию 3 поступали сигналы температуры с различных частей кагата от термоштанг 1, а также значения температуры и влажности окружающей среды с метеостанции 2. Со станции по сети Ethernet полученные сигналы передавались на сервер 4, где они обрабатывались. При выполнении условий алгоритма с сервера на базовую станцию поступает сигнал включения вентилятора, откуда направлялся к шкафу управления вентиляцией (ШУВ) 6, где производился пуск вентиляционной системы. Параметры, необходимые для комплексной оценки работы системы отображались на автоматизированном рабочем месте (АРМ) оператора 5.



1 – беспроводная термоштанга, 2 – локальная метеостанция, 3 – базовая станция,
4 – сервер, 5 – автоматизированное рабочее место оператора, 6 – шкаф
управления вентиляцией

Рисунок 1.10 – Принципиальная схема взаимодействия элементов системы
длительного хранения сахарной свеклы

Несмотря на схожесть организации системы управления вентиляцией, наблюдались существенные различия в программном обеспечении для задач управления аппаратным комплексом, отчего напрямую зависит эффективность работы системы активной вентиляции. Недостаточный уровень компетенций в вопросе длительного вентилируемого хранения в кагатах привел к некорректному техническому заданию для разработчиков программного обеспечения.

В настоящий момент для работы системы управления активной вентиляцией используются как программные алгоритмы, так и работа оператора, который изменяет уставки в системе. Алгоритмы, позволяющие работать системе управления без участия оператора в автоматическом режиме, имеют ограниченную область применения.

Алгоритм автоматического управления работой вентилятора можно представить в виде блок-схемы, изображенной на рисунке 1.11.

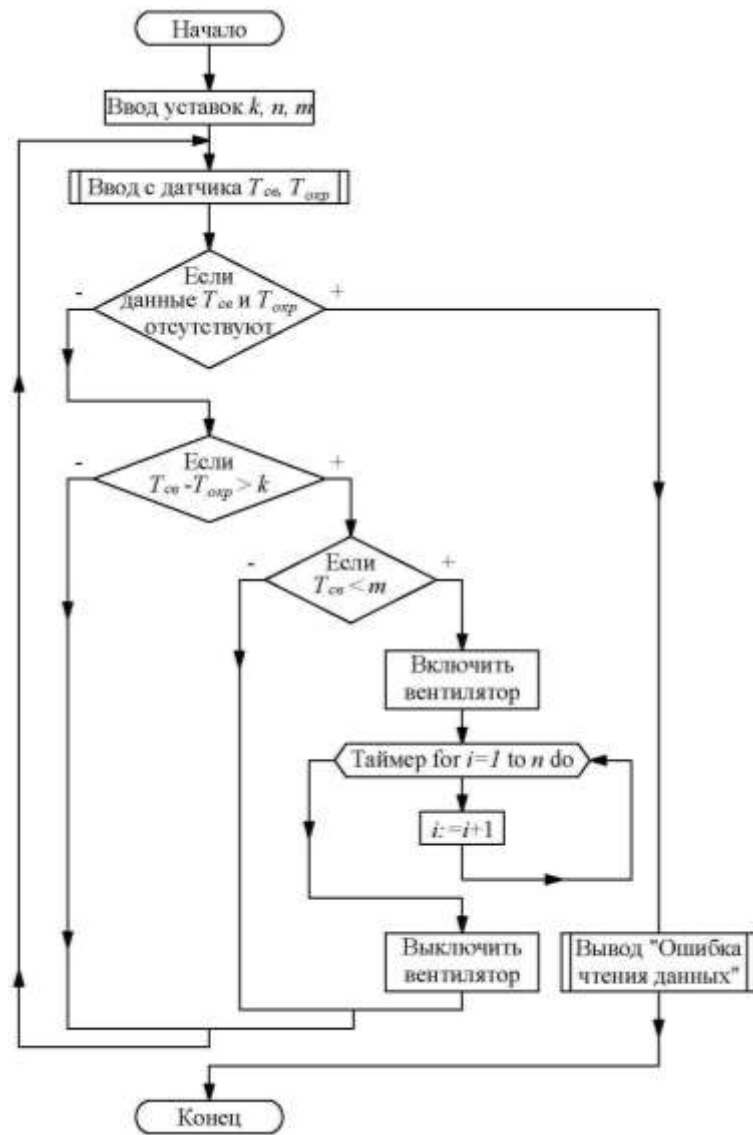


Рисунок 1.11 – Блок-схема алгоритма включения и выключения вентилятора

Под уставкой подразумевается значение некоторой величины или параметра, по достижении которого происходит изменение состояния системы активной вентиляции. Уставка k определяет разницу температур между воздухом из окружающей среды и свеклой, при которой возможно охлаждение. Уставка m определяет минимально допустимую температуру свеклы, при которой возможно включение вентилятора. Уставка n определяет продолжительность работы вентилятора в секундах.

Алгоритм позволяет реализовывать режим работы системы вентиляции без учета вариативности температурных диапазонов окружающего воздуха.

Применение данного алгоритма эффективно на начальном этапе хранения кагатов в период высоких температур окружающего воздуха в октябре. Однако начиная с ноября, наблюдается его некорректная работа, которая приводит к необходимости вовлечения оператора в работу алгоритма, путем корректировки значения уставок. Работа оператора требует высокого уровня квалификации персонала, что мешает масштабированию технологии на сахарных заводах.

Снижение зависимости работы алгоритмов управления системой активной вентиляции от операторов возможно за счет усовершенствования программного обеспечения путем уточнения режимов работы системы активной вентиляции при изменяющихся погодных-климатических условиях в период хранения.

На текущий момент наиболее совершенной является программное обеспечение АГХ/САВК-ЕСМАС-1.0, разработанное компанией ООО «Агрохолд» (г. Котовск, Тамбовская область). На рисунке 1.12 представлен интерфейс программы управления системой активной вентиляцией кагатов.

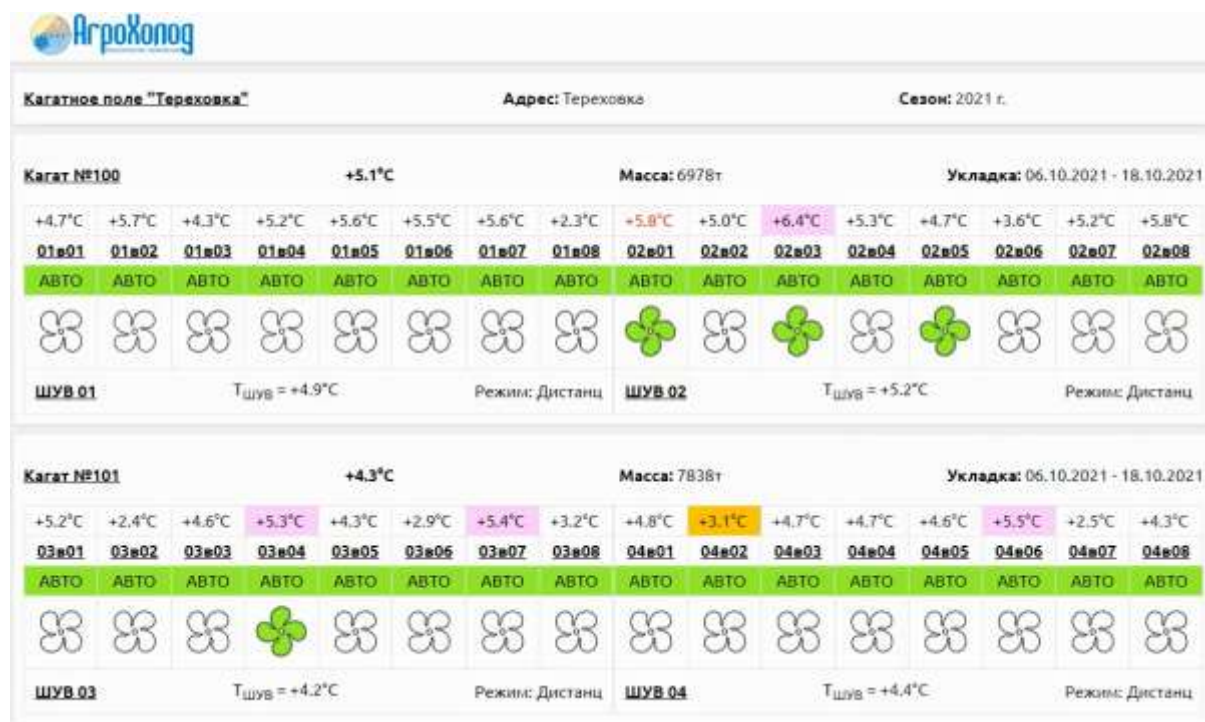


Рисунок 1.12 – Интерфейс программы АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0

Программа АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0 имеет широкий функционал по настройке управления работой системы активной вентиляции кагатов сахарной

свеклы путем корректировки уставок. В отличие от остальных программных обеспечений работа над совершенствованием АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0 осуществлялась с 2017 года, что позволило качественно повысить функционал для управления оператором.

Однако, как и у других программных обеспечений, не решен вопрос обеспечения работы системы активной вентиляции при изменяющихся погодноклиматических условиях в период хранения кагатов.

Помимо совершенствования режима работы системы активной вентиляции актуальным является разработка алгоритма определяющего очередность разгрузки кагатов ДВХ в переработку. В настоящий момент кагаты сахарной свеклы отгружаются в переработку по мере потребности сахарного завода, начиная с середины декабря. Наиболее распространенным методом определения очередности разбора кагата является метод, основанный на очередности формирования, то есть первый сформированный кагат является первым на разгрузку.

Однако в этом случае не учитывается совокупная продолжительность вентиляционных ветвей, задействованных при хранении кагата, а также совокупные потери свекломассы в процессе охлаждения. На хранение поступают корнеплоды с разных полей, а соответственно, начальные параметры у свеклы отличаются, такие как: средний размер корнеплода, сахаросодержание, начальная температура корнеплодов, наличие подгнивших и подмороженных корнеплодов, степень засоренности и загрязнения свекольной насыпи, наличие или отсутствие болезнетворных бактерий и грибков. Из-за многообразия вышеперечисленных факторов сортировка корнеплодов сахарной свеклы, поступающей с полей возделывания, затруднительна. Влияние совокупности вышеперечисленных факторов отражается в процессе хранения на увеличении продолжительности вентилирования и росте потерь свекломассы.

Особенно актуальна проблема для сахарных заводов большой производительности 10-20 тыс. тонн сахарной свеклы в сутки. Для заводов большой производительности необходимо длительное вентилируемое хранение

не менее 250 тысяч тонн сахарной свеклы. Емкость одного кагата ДВХ составляет порядка 8 тысяч тонн, то есть на единовременном хранении будет находиться не менее 31 кагата. Учитывая разнородность качества поступающих на хранение корнеплодов, их лёжкость в кагатах ДВХ отличается. Определение кагатов для первоочередной переработки позволит избежать повышенных потерь свекломассы в поздние сроки работы сахарных заводов.

1.5 Выводы по главе

1. По результатам проведенного анализа выявлено, что длительное хранение сахарной свеклы, сроком более двух месяцев, осуществляется двумя способами: в полевых кагатах на полях возделывания и в вентилируемых кагатах на оборудованных площадках – свеклопунктах. Хранение в полевых кагатах приводит к повышенным потерям свекломассы до 11-16%, так как они могут полностью промораживаться. Транспортировка корнеплодов с полей возделывая сахарный завод в переработку при наступлении распутицы сопряжено с рисками из-за низкой насыщенности сельскохозяйственных территорий дорогами с твердым покрытием.

2. Установлено, что компенсация рисков из-за распутицы и заморозков в поздние сроки работы сахарных заводов осуществляется за счет смещения начала сезона переработки на более ранние сроки. В начале сезона работы перерабатывается свекла, не набравшая массу и сахаросодержание, из-за чего сельхозтоваропроизводители несут дополнительные издержки. Решением данной проблемы является совершенствование технологии длительного хранения сахарной свеклы в вентилируемых кагатах для обеспечения сохранности корнеплодов в поздние сроки работы завода в период распутицы и заморозков. При длительном хранении в вентилируемых кагатах достигается снижение потерь свекломассы до 1,95-2,7% при соблюдении технологии хранения.

3. В результате анализа литературных источников и изучения действующих производственных пунктов длительного вентилируемого хранения

сахарной свеклы установлено, что на сегодняшний день используются децентрализованные системы активной вентиляции напольного типа. Распространение получили две схемы организации хранения: с односторонней и двухсторонней подачей воздуха в кагат. Обеспечение сохранности сахарной свеклы в кагатах требует наличия высококвалифицированного персонала для управления системой активной вентиляции. Отсутствие кадров, обеспечивающих соблюдение технологии хранения сахарной свеклы в кагатах, привело к повышенным потерям свекломассы в период хранения и сокращение области применения технологии ДВХ.

4. Установлено, что для широкого использования технологии длительного хранения с применением системы активной вентиляции необходимо усовершенствование системы управления с целью перехода от автоматизированного на автоматический тип управления. Необходим контроль процессов, происходящих в кагате, и разработка режимов управления системой активной вентиляции с учетом изменяющихся погодных-климатических условий в период хранения.

5. При централизованном хранении кагатов на свеклопункте необходимо разработать алгоритм по определению очередности разгрузки кагатов длительного вентилируемого хранения для последующей переработки.

Анализ современных систем активной вентиляции кагатов показал высокую зависимость технологии ДВХ от высококвалифицированного персонала в условиях несовершенства алгоритмов управления. Исходя из этого, целью исследования является совершенствование технологии и разработка режимов хранения сахарной свеклы в кагатах. В соответствии с целью сформулированы задачи исследования, представленные в разделе «Введение».

2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ КАГАТОВ

2.1. Тепломассообмен при хранении сахарной свеклы в кагатах

При хранении сахарной свеклы с применением активной вентиляции ограждающие конструкции, как правило, не применяются, и кагат взаимодействует с воздухом из окружающей среды. Тепловой баланс кагата сахарной свеклы при хранении определяется уравнением [35]:

$$Q = Q_{\text{дых}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}} - Q_{\text{и}} - Q_{\text{в}} \quad (2.1)$$

где $Q_{\text{дых}}$ – тепло, выделяемое при дыхании корнеплодов, Дж; $Q_{\text{л}}$ – тепло, поступающее за счет солнечной радиации, Дж; $Q_{\text{к}}$ – тепло, полученное в результате конвективного теплообмена, Дж; $Q_{\text{и}}$ – тепло, затраченное на испарение влаги, Дж; $Q_{\text{в}}$ – тепло, отведенное системой активной вентиляции Дж.

Изменение количества тепла свеклы, находящейся в кагате, выражено через её теплоемкость C и массу кагата $M_{\text{к}}$:

$$Q = M_{\text{к}} C \Delta T \quad (2.2)$$

Теплота $Q_{\text{дых}}$ выделяемая при дыхании всей массы свеклы, хранящейся в кагате $M_{\text{к}}$, определяется по уравнению:

$$Q_{\text{дых}} = M_{\text{к}} q_{\text{дых}} \quad (2.3)$$

где $q_{\text{дых}}$ – количество теплоты, выделяемое 1 т корнеплодов сахарной свеклы за единицу времени, Дж/(т·сут).

Количество тепла, поглощаемое кагатом сахарной свеклы в дневное время за счет солнечной радиации, определяется уравнением:

$$Q_{\text{л}} = \frac{100 - \gamma}{100} q_{\text{р}} S \tau K_{\text{и}} \quad (2.4)$$

γ – отражательная способность поверхности кагата, %;

$q_{\text{р}}$ – удельный тепловой поток солнечной радиации, (Вт·ч)/м²;

S – площадь поверхности кагата, м²;

τ – длительность воздействия солнечной радиации, ч;

K_u – коэффициент инсоляции.

Конвективная составляющая теплового баланса определяется уравнением теплоотдачи:

$$Q_k = \alpha S \tau (T_{cв} - T_{в}) \quad (2.5)$$

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

Количество тепла, расходуемое на испарение влаги из корнеплодов Q_u определяется уравнением:

$$Q_u = j S r \tau \quad (2.6)$$

j – интенсивность испарения, кг/(м²·ч);

r – удельная теплота испарения, Дж/кг.

Количество тепла, уносимое системой активной вентиляции из кагата, определяется уравнением:

$$Q_{в} = G_{в} C_{в} (T_{вк} - T_{вн}) \tau \quad (2.7)$$

$G_{в}$ – расход воздуха, м³/ч;

$C_{в}$ – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С);

$T_{вк}, T_{вн}$ – температура воздуха до и после прохождения кагата, °С.

В силу размеров вентилируемого кагата длительного хранения сахарной свеклы вышеперечисленные факторы окружающей среды могут оказывать воздействие только на его часть, расположенную у его поверхности. На основании анализа литературного обзора и собственных исследований можно утверждать, что в кагате сахарной свеклы в процессе хранения можно выделить следующие слои [51, 65, 93]:

– **поверхностный** слой 0,2-0,3 м (IV рисунок 2.1) – слой безусловных повреждений корнеплодов, которые утрачивают свои технологические свойства. Поверхностный слой непосредственно взаимодействует с окружающим воздухом и в нем не формируется собственный тепловлажностной режим хранения. Толщина слоя в процессе хранения изменяется под воздействием окружающего воздуха и в среднем составляет 5% от общей массы кагата.

– **промежуточный** 0,5-0,7 м (III) – слой условных повреждений корнеплодов, который расположен под поверхностным слоем. На

тепловлажностной режим в промежуточном слое оказывает воздействие, как окружающий воздух, так и основной массив корнеплодов, расположенный в зоне сохранности. Сахарная свекла теряет влагу и массу из-за низкой относительной влажности межкорневого пространства, но сохраняет свои технологические свойства. Межкорневое пространство лучше защищено, менее интенсивно взаимодействует с атмосферным воздухом, чем поверхностный слой. Толщина слоя составляет около 10% от общей массы кагата.

– **зона сохранности** корнеплодов (*II*), расположена глубже указанных слоев. Характеризуется устойчивостью сформированного тепловлажностного режима. В данном слое обеспечивается сохранность корнеплодов сахарной свеклы. На зону сохранности приходится 75% массы кагата, поэтому при определении режима вентилирования следует ориентироваться на него.

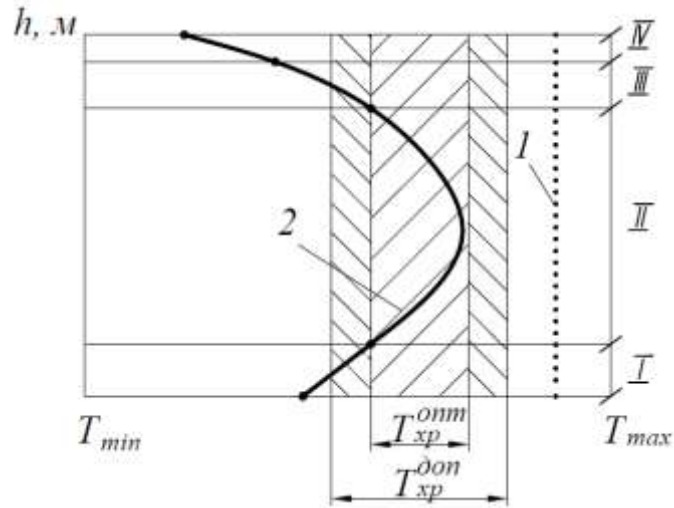
– **корректирующий** слой (*I*), в котором происходит насыщение влагой приточного воздуха. Корректирующий слой является нижней частью насыпи, граничащей с площадкой хранения. Толщина слоя постоянна и составляет 1-1,5 м или 10% от общей массы кагата.

В кагате сахарной свеклы поверхностный и промежуточный слои выступают в роли ограждающей конструкции, защищая от внешнего воздействия зону сохранности корнеплодов. Период хранения сахарной свеклы характеризуется понижением температуры окружающего воздуха, что приводит к изменению соотношения размеров слоев в кагате. При понижении температуры окружающего воздуха в кагате сахарной свеклы нарастает разность температур между наиболее холодными и теплыми слоями насыпи, что приводит к изменению влагонасыщения приточного воздуха в процессе вентилирования.

В зависимости от погодно-климатических условий хранения кагатов на свеклопункте толщина слоев будет отличаться. Следует предположить, что при хранении в Курской области толщина поверхностного и промежуточного слоев кагата сахарной свеклы будет меньше, чем при хранении в республике Башкортостан.

Учитывая сравнительно короткую продолжительность работы системы

активной вентиляции из-за ограничений лимитов энергопотребления и условий для включения вентиляторов, предполагается, что каждый слой будет иметь свою температуру (рисунок 2.1).



1 – в момент укладки корнеплодов в кагат; 2 – в процессе хранения; T_{xp}^{opt} – оптимальный температурный диапазон хранения; $T_{xp}^{доп}$ – допустимый температурный диапазон хранения

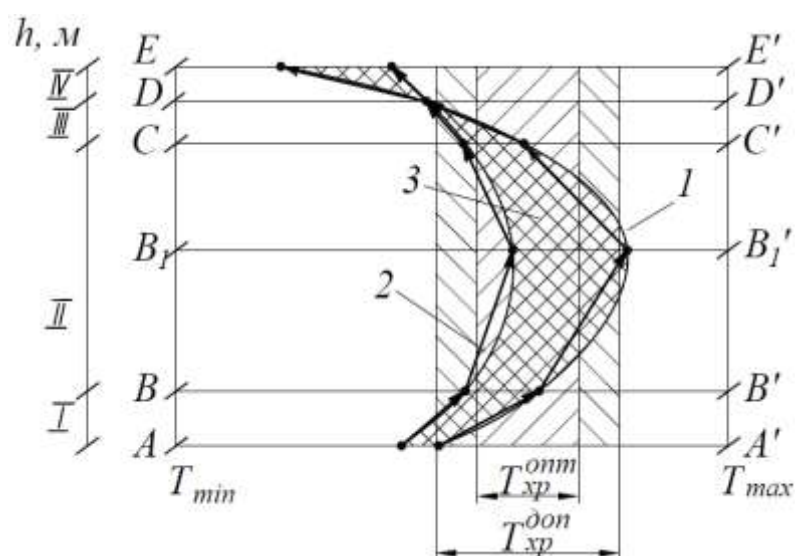
Рисунок 2.1 – Распределение температур внутри кагата сахарной свеклы по высоте

Профиль распределения температур в кагате по высоте в процессе хранения изменяется. В начале хранения (линия 1 рисунок 2.1) близка к прямой, так как корнеплоды поступают с полей возделывания с одинаковой температурой. В процессе хранения (линия 2) кривизна линии увеличивается в зависимости от продолжительности работы системы активной вентиляции и факторов окружающей среды.

Температурный диапазон хранения корнеплодов сахарной свеклы составляет $+1...+3^{\circ}\text{C}$ [121, 138]. При данных температурах развитие большинства грибков и бактерий, поражающих корнеплоды сахарной свеклы, понижается, а интенсивность процесса дыхания минимальна [117, 122, 141]. Однако необходимо учитывать, что кагат сахарной свеклы хранится без ограждающих конструкций, а его охлаждение возможно только посредством нагнетания воздуха из

окружающей среды. Обеспечение хранения основного массива корнеплодов в столь узком температурном диапазоне не представляется возможным, поэтому предлагается ввести разделение температурного диапазона хранения на оптимальный и допустимый. Оптимальный температурный диапазон хранения составляет $+1...+3^{\circ}\text{C}$.

Верхнюю границу допустимого диапазона предлагается расширить до $+5^{\circ}\text{C}$. При данной температуре жизнедеятельность грибков и бактерий минимальна, а интенсивность процесса дыхания невелика [119, 131]. Увеличение допустимой верхней границы температурного диапазона хранения обусловлено коротким периодом хранения сахарной свеклы по сравнению с другими культурами. Нижнюю границу температурного диапазона предлагается ограничить температурой -1°C , так как температура замерзания свекловичного сока составляет $-2...-4^{\circ}\text{C}$.



1 – до включения вентиляции (точки A, B, B_1, C, D, E); 2 – после включения вентиляции (точки A', B', B_1', C', D', E'); 3 – разность в температурном распределении внутри кагата до и после охлаждения

Рисунок 2.2 – Распределение температур внутри кагата сахарной свеклы при охлаждении:

Общий характер изменения температурного распределения внутри кагата сахарной свеклы до и после охлаждения представлен на рисунке 2.2. Из формулы

(1.3) следует, что определение равновесной относительной влажности зависит, в том числе от высоты насыпи. В качестве допущения указано, что процесс изменения можно представить в виде одного отрезка на $i-d$ диаграмме [23, 29].

$I-d$ диаграмма влажного воздуха графически связывает все параметры, определяющие тепловлажностное состояние воздуха: энтальпию, влагосодержание, температуру, относительную влажность, парциальное давление водяных паров [27, 98]. Диаграмма построена в косоугольной системе координат, что позволяет расширить область ненасыщенного влажного воздуха и делает диаграмму удобной для графических построений. По оси ординат диаграммы отложены значения энтальпии I , Дж/кг сухой части воздуха, по оси абсцисс, направленной под углом 135° к оси I , отложены значения влагосодержания d , гр/кг сухой части воздуха. Поле диаграммы разбито линиями постоянных значений энтальпии $I = const$ и влагосодержания $d = const$. На него нанесены также линии постоянных значений температуры $t = const$, которые не параллельны между собой — чем выше температура влажного воздуха, тем больше отклоняются вверх его изотермы. Кроме линий постоянных значений I , d , t на поле диаграммы нанесены линии постоянных значений относительной влажности воздуха $\varphi = const$.

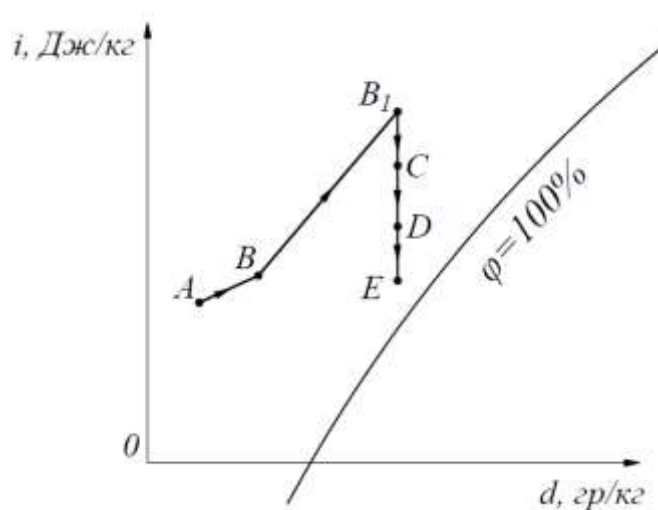


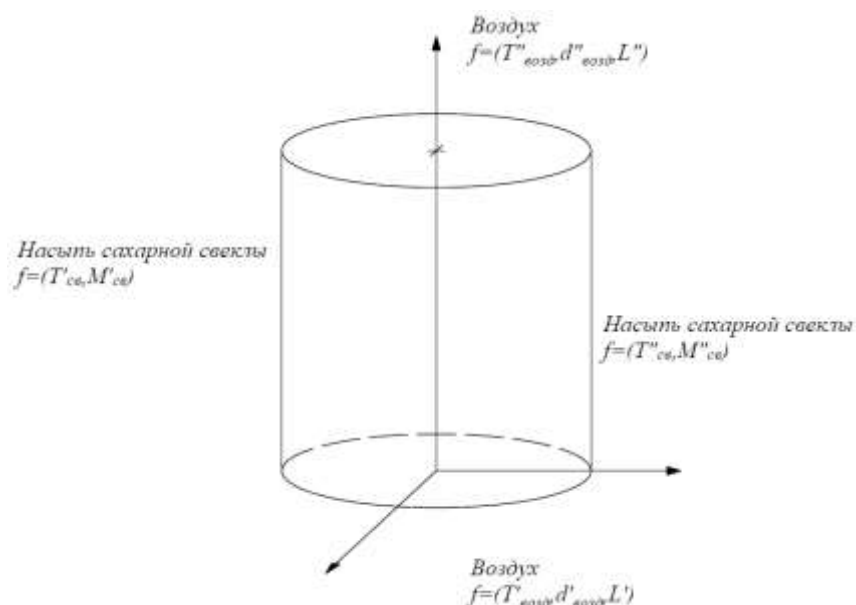
Рисунок 2.3 – Изменение состояния воздуха при охлаждении кагата сахарной свеклы

Вынос влаги из кагата при вентилировании в зависимости от начального состояния приточного воздуха и температурного распределения внутри кагата будет изменяться. На рисунке 2.3 представлен график общего изменения состояния приточного воздуха при прохождении через кагат в процессе вентилирования. На представленном графике расположение точек $A...E$ имеет общий характер, и в зависимости от температурного распределения внутри каждого слоя могут быть смещены.

Как видно из графика, увеличение влагонасыщения приточного воздуха, а соответственно поглощение скрытого тепла, происходит на отрезках AB и BB_1 , которые соответствуют корректирующему слою и зоне сохранности. Соответственно при определении продолжительности работы системы активной вентиляции необходимо ориентироваться на температуру кагата в данных слоях.

Температура корнеплодов внизу корректирующего слоя в период положительного диапазона температур окружающего воздуха ниже температуры корнеплодов в зоне сохранности на $1...3^{\circ}\text{C}$. Однако при наступлении отрицательных температур окружающего воздуха промораживания корректирующего слоя кагата не происходит, так как температура площадки хранения под кагатом близка к 0°C [13].

Рассмотрим элементарный объем насыпи корнеплодов сахарной свеклы в процессе охлаждения (рисунок 2.4).



$T_{возд}$, $d_{возд}$, L – температура, влагосодержание и расход воздуха до и после прохождения насыпи корнеплодов сахарной свеклы; $T_{св}$, $M_{св}$ – температура и масса насыпи сахарной свеклы до и после охлаждения

Рисунок 2.4 – Элементарный объем насыпи сахарной свеклы в процессе охлаждения

Холодный приточный воздух проходит через насыпь корнеплодов сахарной свеклы снизу-вверх, охлаждая её. Проходя через насыпь, воздух нагревается и ассимилирует водяной пар, образованный за счет разности влагосодержания между приточным воздухом и воздухом над поверхностью корнеплодов.

Уравнение теплового баланса в процессе вентилирования кагата представлено формулой (2.8):

$$C_{св} m_{св} \cdot \frac{\partial T_{св}}{\partial \tau} = M_{в} C_{в} (T_{в}^к - T_{в}^о) + \alpha F_{св} (T_{св}^к - T_{в}^о) + j F_{св} \varepsilon_u S r \quad (2.8)$$

где $C_{св}$, $C_{в}$ – теплоемкость свеклы и воздуха, Дж/(кг·°C); $m_{св}$, $M_{в}$ – масса насыпи корнеплодов сахарной свеклы и воздуха, кг; $T_{св}$ – температура свеклы, °C; τ – время, с; $T_{в}^о, T_{в}^к$ – температура воздуха до и после прохождения насыпи, °C; α – коэффициент теплопередачи между воздухом и свеклой, Вт/(м²·°C); $F_{св}$ – площадь поверхности корнеплодов, м²; $T_{св}^к$ – конечная температура свеклы, °C; j – интенсивность испарения, кг/(м²·сек); ε_u – коэффициент испарительной

способности продукции; r – теплота парообразования, Дж/кг.

Теплообмен при охлаждении корнеплодов насыпи сахарной свеклы зависит от трех составляющих: отведенной явной теплоты, конвективной составляющей и тепла, затраченного на испарения влаги с поверхности корнеплодов. Начальным условием является $T_{\theta}(0) = T_{\theta}^0$.

Корнеплод свеклы состоит из воды и сухих веществ, под которыми понимаются все вещества, остающиеся после удаления воды высушиванием. Сахарная свекла среднего качества имеет следующий состав [100, 128]:

- сухие вещества 21,7%;
- вода 78,3%.

Приведенные данные являются близкими к среднему составу свеклы и могут меняться в зависимости от условий возделывания свеклы.

Насыпь состоит из корнеплодов сахарной свеклы и примесей. Во время хранения масса примесей постоянна, в то время как масса корнеплодов изменяется. Тогда массу корнеплодов можно представить в виде:

$$M_{св} = M_{сух.в-ва} + M_{воды}$$

где $M_{сух. в-ва}$ – масса сухого вещества, кг, $M_{воды}$ – масса воды в корнеплодах.

При хранении в насыпи корнеплодов относительная влажность составляет 95-98% при любой температуре сырья. Достигается это за счет того, что из клеток тканей корнеплодов в межкорневое пространство насыпи выделяется и испаряется вода, меняя свое агрегатное состояние.

Тогда массу воды можно представить в следующем виде:

$$M_{воды} = M'_{воды} + M_{в.п.}$$

$M'_{воды}$ – масса воды в насыпи корнеплодов сахарной свеклы, которая не перешла в агрегатное состояние водяного пара, кг; $M_{в.п.}$ – масса испарившейся воды из корнеплодов сахарной свеклы, кг.

Материальный баланс представлен системой уравнений (2.9):

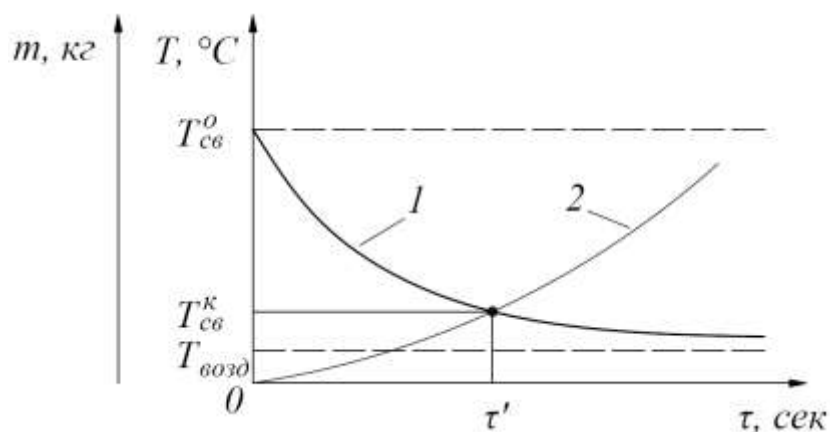
$$\begin{cases} \frac{dM_{св}}{d\tau} = M_{сух.в-ва} + (M_{св}^к - M_{сух.в-ва}) + \delta jF_{св} (d_{в}^к - d_{в}^о)(M_{в}^о - M_{в.п.}^о) \\ \frac{dM_{в}}{d\tau} = M_{в}^о + \delta jF_{св} (d_{в}^к - d_{в}^о)(M_{в}^о - M_{в.п.}^о) \end{cases} \quad (2.9)$$

где $M_{св}$ – масса насыпи корнеплодов сахарной свеклы, кг; $M_{сух.в-ва}$ – составляющая часть сухих веществ в общей массе насыпи корнеплодов, кг; $M_{св}^к$ – масса свеклы в конце периода охлаждения, кг; $d_{в}^о, d_{в}^к$ – начальное и конечное влагосодержание воздуха, гр/кг; $M_{в}^о$ – масса воздуха на входе в насыпь корнеплодов сахарной свеклы, кг.

Начальными условиями является $M_{св}(0) = M_{св}^о$; $M_{в}(0) = M_{в}^о$.

В течение одного цикла охлаждения интенсивность отвода теплоты из корректирующего слоя и зоны сохранности будет снижаться по мере увеличения продолжительности вентилирования. Это связано с тем, что со временем разница температур между приточным воздухом и кагатом уменьшается.

Из уравнения 2.9 следует, что испарение влаги характеризуется разностью влагосодержания, то есть через определенный временной период вентилирования снижение температуры свеклы будет незначительным, в то время как процесс испарения влаги продолжится, что показано на рисунке 2.5.



1 – температура свеклы; 2 – вынос влаги из насыпи сахарной свеклы

Рисунок 2.5 – Изменение температуры свеклы и массы насыпи в процессе охлаждения

Оптимальная продолжительность работы системы активной вентиляции характеризуется интервалом от начала включения вентилятора до точки пересечения графиков τ' и определяется системой уравнений, представленной в общем виде (2.10):

$$\begin{cases} T_{св}^к(\tau') = A \cdot e^{-aT_s^о} + B \\ M_{с.н.}(\tau') = C \cdot e^{сM_s^о} + D \end{cases} \quad (2.10)$$

где A, a, B, C, c, D – коэффициенты, определяющие изменение температуры насыпи и массы водяного пара в процессе охлаждения приточным воздухом, которые рассчитываются в ходе проведения исследований. Данная зависимость определяет общий характер изменения показателей в кагате, однако не учитывается инерционность процессов при работе системы активной вентиляции (рисунок 2.6).

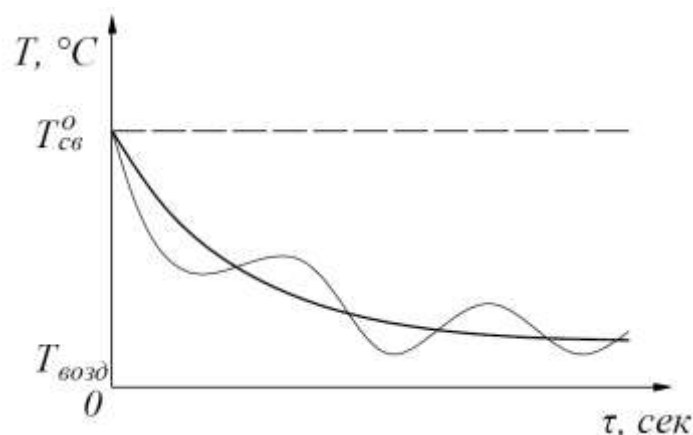


Рисунок 2.6 – Инерционные процессы при охлаждении насыпи сахарной свеклы

В первом приближении инерционность в процессе охлаждения кагата предлагается определить как функцию $y=kx^2+b$. Коэффициенты k, b определяют амплитуду колебания температуры в насыпи при охлаждении. Инерционность процесса планируется учитывать при проведении дальнейших исследований.

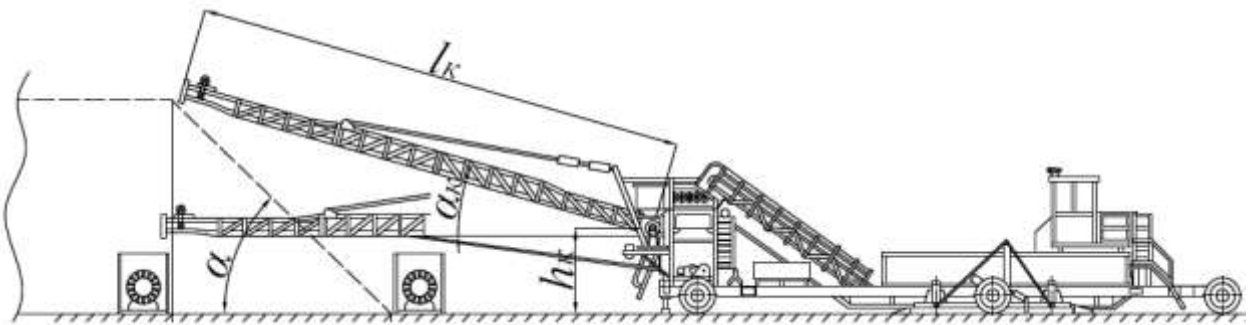
2.2. Обоснование конструктивных параметров системы активной вентиляции с учетом характеристик технологических машин

Формирование кагатов на свеклопунктах сахарных заводов осуществляется

с помощью буртоукладочных машин (БУМ). Производительность БУМов варьируется от 100 до 720 тонн перевалки сахарной свеклы в час [16]. На большинстве сахарных заводов эксплуатируются БУМ Комплекс 65М2БЗК производительностью 130 т/ч и его аналоги [18].

В ЦФО РФ наибольшее распространение получила разгрузка большегрузных автомашин через боковую площадку опрокидывателя. Это связано с преобладающей долей в парке большегрузных автомашин моделей КАМАЗ 45143-50, укомплектованных прицепом НЕФАЗ-8560-02, а также их аналогов, в то время как седельные тягачи при перевозке сахарной свеклы используют реже [15]. Укладка кагатов, как правило, производится на площадках с железобетонным покрытием или на укрепленном грунте.

Загрузка бункера БУМа корнеплодами осуществляется при поочередной выгрузке большегрузной автомашины и прицепа посредством боковой площадки опрокидывателя. Движение автомашин при разгрузке организовано в направлении от площадки опрокидывателя в сторону поворотного укладочного конвейера. В процессе формирования кагата без вентиляции, ширина основания которых составляет 12-15 м, движение автомашин после разгрузки организовано вдоль кагата.



l_k – длина поворотного укладочного конвейера буртоукладочной машины; h_k – высота подвеса укладочного конвейера; α_k – угол подъема укладочного конвейера;

r_n – радиус конуса насыпи, образуемый при формировании кагата

Рисунок 2.7 – Укладка кагата с активной вентиляцией буртоукладочной машиной

Однако наличие системы активной вентиляции приводит к увеличению

ширины кагата и к уменьшению пространства для маневра при съезде с площадки опрокидывателя большегрузных автомашин. После разгрузки в бункер БУМа комплекса 65М2Б3К большегрузным автомашинам необходимо пространство для разворота. При формировании кагата с активной вентиляцией необходимо учитывать ряд параметров (рисунок 2.7).

Комплекс 65М2Б3К оснащается в основном поворотными укладочными конвейерами длиной 12-16 м. При формировании кагата с активной вентиляцией необходимо выдерживать заданные габаритные размеры (высоту и ширину), а также интервал между перемещениями БУМа вдоль продольной оси кагата. Верхняя площадка кагата имеет волнообразную форму, которая образуется вследствие перемещения БУМа по ходу формирования кагата. При интервале между перемещениями БУМа 1 м перепад уровней на верхней площадке кагата не превышает 0,5 м, что не оказывает существенного влияния на равномерность аэродинамического сопротивления кагата.

Высота кагата с активной вентиляцией зависит от угла подъема, высоты подвеса и длины укладочного конвейера, ограничивается проскальзыванием корнеплодов на конвейере при выпадении осадков.

Высота кагата с учетом характеристик БУМа по формуле:

$$h = h_k + \sin \alpha_k \quad (2.11)$$

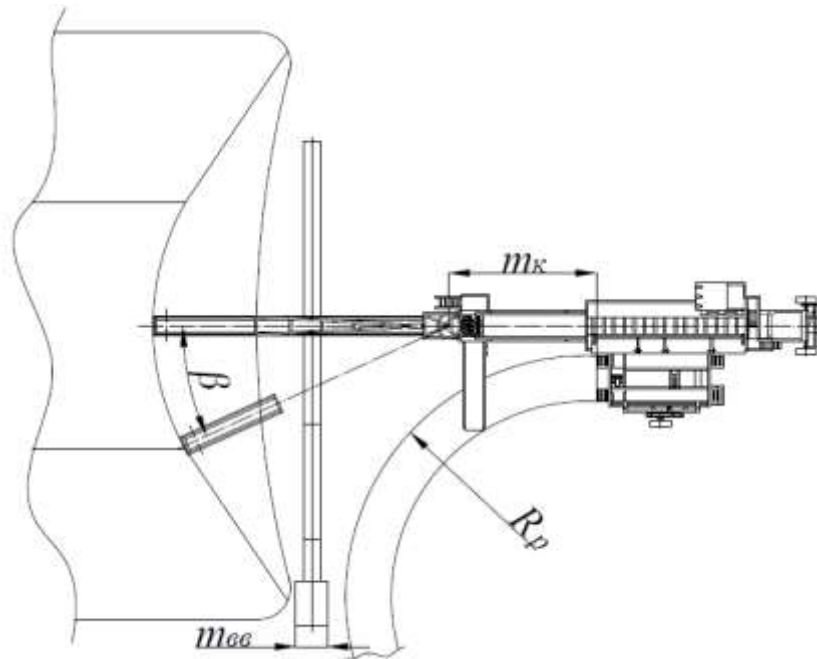
где α_k – угол наклона укладочного конвейера;

h_k – высота от площадки до нижней точки крепления укладочного конвейера, м.

В случае выпадения осадков превышение угла наклона конвейера $\alpha_k > 16^\circ$ приводит к проскальзыванию корнеплодов на ленте и забиванию приемного бункера перед укладочным конвейером.

Ширина кагата ограничивается пространством для разворота большегрузной автомашины. Минимальный радиус разворота КАМАЗ 45143-50 с прицепом при съезде с боковой платформы опрокидывателя составляет 11,5 м [32]. При формировании кагата его поперечное сечение имеет закругленную

форму с радиусом нижнего основания 48 м (рисунок 2.8). Кроме того, часть пространства площадки для маневрирования большегрузных автомашин занимает установленная вентиляционная ветвь.



R_p – радиус траектории разворота большегрузной автомашины; β – угол поворота укладочного конвейера; m_k – расстояние от площадки опрокидывателя до поворотного бункера укладочного конвейера; $m_{вв}$ – ширина вентиляционной ветви

Рисунок 2.8 – Схема съезда большегрузной автомашины при формировании кагата с системой активной вентиляции

Ширина кагата с активной вентиляцией определяется с учетом технических характеристик БУМа, места для постановки системы активной вентиляции, а также пространства для разворота большегрузного автотранспорта с прицепом по следующему соотношению:

$$l_k \cos(\alpha_k) \cos(\beta) + m_k \geq h \cdot \operatorname{ctg}(\alpha) + m_{вв} + R_p \quad (2.12)$$

где l_k – длина укладочного конвейера, м;

β – угол поворота укладочного конвейера;

m_k – расстояние от площадки опрокидывателя до поворотного бункера укладочного конвейера;

R_p – радиус траектории разворота большегрузной автомашины;

$m_{\text{вв}}$ – ширина вентиляционной ветви.

В соответствии с методикой проектирования систем вентиляции хранилищ растительной продукции расстояние между вентиляционными ветвями m при поперечной схеме вентилирования может быть определено из соотношения $m \approx 0,9h$ [87]. Крайние вентиляционные ветви расположены на расстоянии $(1,5-2)h$ от торцов кагата.

Количество вентиляционных ветвей, располагаемых по длине кагата:

$$n = \frac{l - 2 \cdot 2C}{C} \quad (2.13)$$

Требуемое количество воздуха для охлаждения кагата определяется исходя из периода, когда его расход максимален. Количество тепла, которое передается от корнеплодов поступающему приточному воздуху, зависит от следующих факторов: разности температур между ними; тепловыделениями корнеплодов; равномерности и интенсивности подаваемого воздушного потока; степени засорения насыпи; равномерности размеров корнеплодов и других факторов.

Каждый из факторов меняется в процессе укладки и хранения, поэтому точно учесть дифференцированное влияние каждого из факторов и их взаимного влияния затруднительно. Ориентировочно можно использовать рекомендации ВНИИСП (г. Киев), в соответствии с которыми для центральных районов РСФСР интенсивность вентилирования должна составлять в сентябре $35 \text{ м}^3/\text{час}$ на 1 тонну свеклы; в октябре – $30 \text{ м}^3/\text{час}$ на 1 тонну свеклы; в ноябре – $25 \text{ м}^3/\text{час}$ на 1 тонну свеклы [13, 75].

Однако необходимо учитывать изменение сортового состава заготавливаемого сырья, в составе которого более 95% составляют гибриды зарубежной селекции, которые имеют более крупноклеточную структуру тканей и, соответственно, более высокую интенсивность дыхания [82, 105].

Кроме того, вся заготавливаемая свекла убирается механизированным способом и характеризуется более сильной обрезкой головок, что ведет к росту интенсивности дыхательных процессов и выделению большего количества тепла. Как правило, гибриды зарубежной селекции в большей степени подвержены

поражению болезнями в период вегетации, что также способствует повышению интенсивности дыхательных процессов в послеуборочный период.

Исходя из вышеизложенного, для предварительного расчета интенсивность вентилирования примем в размере 40 м³/час на 1 тонну корнеплодов сахарной свеклы [2]. Расход воздуха для одной вентиляционной ветви определен по следующей формуле:

$$G = q \cdot h \cdot m \cdot \left(\frac{a+b}{2} \right) \rho_c \quad (2.14)$$

где q – интенсивность вентилирования, м³/час на 1 т свеклы;

h – высота кагата, м;

m – расстояние между вентиляционными ветвями, м;

a, b – ширина нижнего основания и верхней площадки, м;

ρ_c – насыпная плотность корнеплодов сахарной свеклы, т/м³.

Скорость воздуха в поперечном сечении в начале воздуховода определяется по формуле:

$$w = \frac{G}{S \cdot 3600} \quad (2.15)$$

где S – площадь поперечного сечения воздуховода, м².

Максимально допустимая скорость воздуха в магистральных воздуховодах производственного назначения составляет 11 м/с [83, 84]. Превышение допустимой скорости воздуха приводит к возрастанию аэродинамического сопротивления в системе вентиляции. В системах активной вентиляции кагатов сахарной свеклы применяются толстостенные воздуховоды с толщиной стенки 8...12 мм. Увеличенная толщина стенки воздуховодов позволяет при демонтаже системы минимизировать риски повреждения и выбытия элементов системы при взаимодействии с фронтальным погрузчиком [44].

Установка вентиляционных ветвей осуществляется непосредственно при формировании кагата и ограничено временем на выполнение монтажных работ, так как за одну смену необходимо установить от 6 до 12 ветвей. Унификация размера проходного сечения вентиляционной ветви позволяет повысить

производительность монтажных работ и предотвратить остановки работы буртоукладочных машин при формировании кагатов.

Длина воздухораспределителя определяется расстоянием до первого и последнего воздуховыпускного отверстия, которые расположены на расстоянии $C=(0,8-1,1)h$ от края кагата [42]:

$$a_{вп}=a-2C \quad (2.16)$$

Площадь одного воздуховыпускного отверстия определена из соотношения суммарной площади воздуховыпускных отверстий к площади поперечного сечения воздухораспределителя (с постоянной площадью сечения) принимается по следующей зависимости [13]:

$$\bar{f} = \frac{\Sigma f_{во}}{S} = 1,4 \dots 1,8 \quad (2.17)$$

где $\Sigma f_{во}$ – суммарная площадь воздуховыпускных отверстий, м².

Форма воздуховыпускных отверстий определялась в ходе исследований из условий наименьшей вероятности их перекрытия корнеплодами сахарной свеклы, которые размещаются при формировании кагата.

Необходимое количество воздуховыпускных отверстий определяется по формуле:

$$n_{во} = \frac{\Sigma f_{во}}{f_{во}} \quad (2.18)$$

Конфигурация воздуховыпускных отверстий определялась в ходе проведения натурных исследований из-за близкого расположения отверстий друг другу, которое приводит к взаимозависимости аэродинамических характеристик воздуховыпускных отверстий на воздухораспределителе.

Потерю давления в системе активной вентиляции следует определять по формуле:

$$H = \Delta H_{к} + \Delta H_{вп} + \Delta H_{ва} \quad (2.19)$$

$\Delta H_{к}$ – гидравлическое сопротивление кагата, Па;

$\Delta H_{вп}$ – гидравлическое сопротивление участка системы активной вентиляции с воздухораспределительными отверстиями, Па;

$\Delta H_{\text{ва}}$ – гидравлическое сопротивление системы активной вентиляции до воздухораспределителя, Па.

Гидравлическое сопротивление кагата высотой 5-7 м при повышенной загрязненности корнеплодов сахарной свеклы почвой и зеленой массы следует принимать равным [12]:

$$\Delta H_{\text{к}} \approx 59-78, \text{ Па} \quad (2.20)$$

Гидравлическое сопротивление системы активной вентиляции до воздухораспределителя определяется совокупными потерями при движении воздуха через обратный клапан, отвод и участок воздуховода без отверстий:

$$\Delta H_{\text{ва}} = \Delta H_{\text{кл}} + \Delta H_{\text{отв}} + \Delta H_{\text{в}} \quad (2.21)$$

$\Delta H_{\text{кл}}$ – гидравлическое сопротивление на обратном клапане, Па;

$\Delta H_{\text{отв}}$ – гидравлическое сопротивление на отводе, Па;

$\Delta H_{\text{в}}$ – гидравлическое сопротивление на участке воздуховода без воздуховыпускных отверстий, Па.

2.3. Алгоритмы управления системой активной вентиляции кагата

Хранение сахарной свеклы продолжается с начала октября по январь. Средняя продолжительность хранения составляет 110 суток и характеризуется изменением параметров окружающей среды, а также изменением состояния кагата сахарной свеклы. Во время хранения сахарной свеклы в кагатах можно выделить периоды, характеризующие климатические параметры окружающей среды [38]. Стандартизированных данных, которые используются в строительной климатологии, не достаточно для применения в хранении сахарной свеклы в кагатах. Необходимо более подробное деление периода хранения на температурные диапазоны, полученные на основе данных с локальных метеостанций:

– Первый температурный диапазон $+10...+20^{\circ}\text{C}$ характерен в период формирования кагатов преимущественно в начале октября, когда сахарная свекла поступает с полей возделывания с температурой $+12...+14^{\circ}\text{C}$. Температура

окружающего воздуха регулярно выше или равна температуре кагата, поэтому в это период необходимо не допустить роста температур в насыпи и обеспечить сохранность. В данном температурном диапазоне режим хранения является экстремальным. На фоне высоких температур в кагате могут начаться образовываться очаги самосогревания и возрастет скорость старения тканей корнеплодов, интенсифицироваться грибковые и бактериальные поражения, которые могут привести к повышенным потерям свекломассы и снижению технических свойств.

– Второй диапазон $0...+10^{\circ}\text{C}$ окружающего воздуха наступает в первой половине ноября и характеризуется нормальным режимом хранения. В данный период протекает охлаждение кагатов до температурного диапазона хранения корнеплодов. Ограничение по лимитам потребления электроэнергии приходится на данный период, так как к концу октября кагаты сформированы.

– Третий диапазон $-10...0^{\circ}\text{C}$ наступает во второй половине декабря, режим хранения является оптимальным, так как кагаты охлаждены, факторы окружающей среды в меньшей степени оказывают влияние на рост температуры в кагате. Система активной вентиляции включается преимущественно для поддержания температурного диапазона хранения сахарной свеклы;

– Четвертый диапазон $-20...-10^{\circ}\text{C}$ окружающего воздуха наступает во второй половине января в период разбора кагатов. Включение вентиляторов ограничено низкими температурами окружающей среды.

Общий вид распределения температуры окружающей среды представлен на рисунке 2.9.

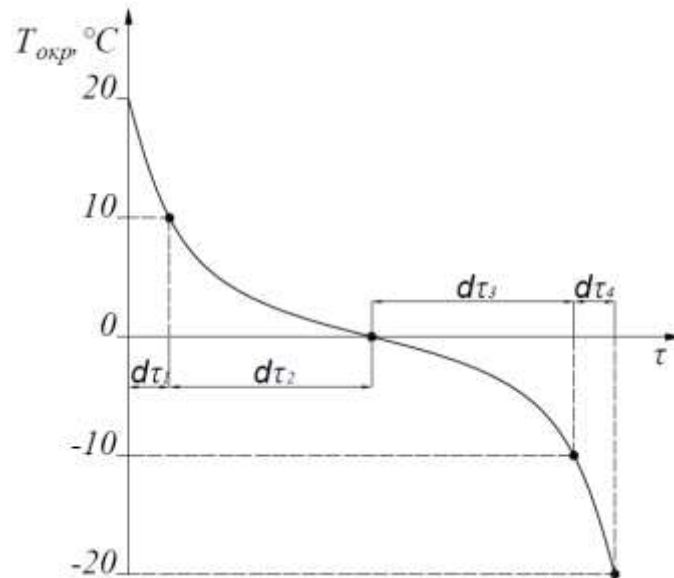


Рисунок 2.9 – Распределение температуры окружающей среды по диапазонам при хранении сахарной свеклы в ЦФО, где dt_n – продолжительность температурного диапазона

В зависимости от погодных-климатических условий месторасположения площадки хранения кагатов сахарной свеклы, распределение температуры окружающей среды при хранении будет отличаться, как и продолжительность каждого диапазона. На основании параметров, характеризующие температурные периоды окружающей среды, определяются параметры, характеризующие режимы работы системы активной вентиляции.

По результатам проведенных исследований при хранении кагата сахарной свеклы можно выделить три стадии, которые характеризуются отдельными режимами работы системы активной вентиляции (рисунок 2.10):

1. Формирование кагата происходит в октябре, когда преобладает первый температурный диапазон $+10...+20^{\circ}\text{C}$. В этот период снижение температуры в кагате до $-1...+5^{\circ}\text{C}$ не представляется возможным, поэтому система вентиляции работает в режиме **поддержания** текущей температуры кагата (1 рисунок 2.10). Особенностью работы системы вентиляции в режиме поддержания является ограниченные возможности для включения из-за высокой температуры окружающего воздуха. Задачей данного режима работы системы активной вентиляции является недопущение роста температуры в кагате до периода, когда

начинает преобладать второй температурный диапазон $0...+10^{\circ}\text{C}$.

2. Преобладание второго температурного диапазона окружающего воздуха происходит в ноябре, когда система активной вентиляции начинает работать в режиме **охлаждения** для снижения температуры в кагате до $-1...+5^{\circ}\text{C}$ (2 рисунок 2.10). В режиме охлаждения наибольшая продолжительность работы системы активной вентиляции. Наличие благоприятных погодных-климатических условий для снижения температуры в кагате позволяет выбирать наиболее благоприятные периоды для включения системы с целью минимизации выноса влаги при вентилировании кагата.

3. После охлаждения кагата до температурного диапазона $-1...+5^{\circ}\text{C}$ наблюдается постепенный рост температуры внутри него, который обусловлен, в первую очередь дыханием корнеплодов. Для недопущения образования и распространения локальных очагов самосогревания система активной вентиляции начинает работать в **циклическом** режиме (3 рисунок 2.10).

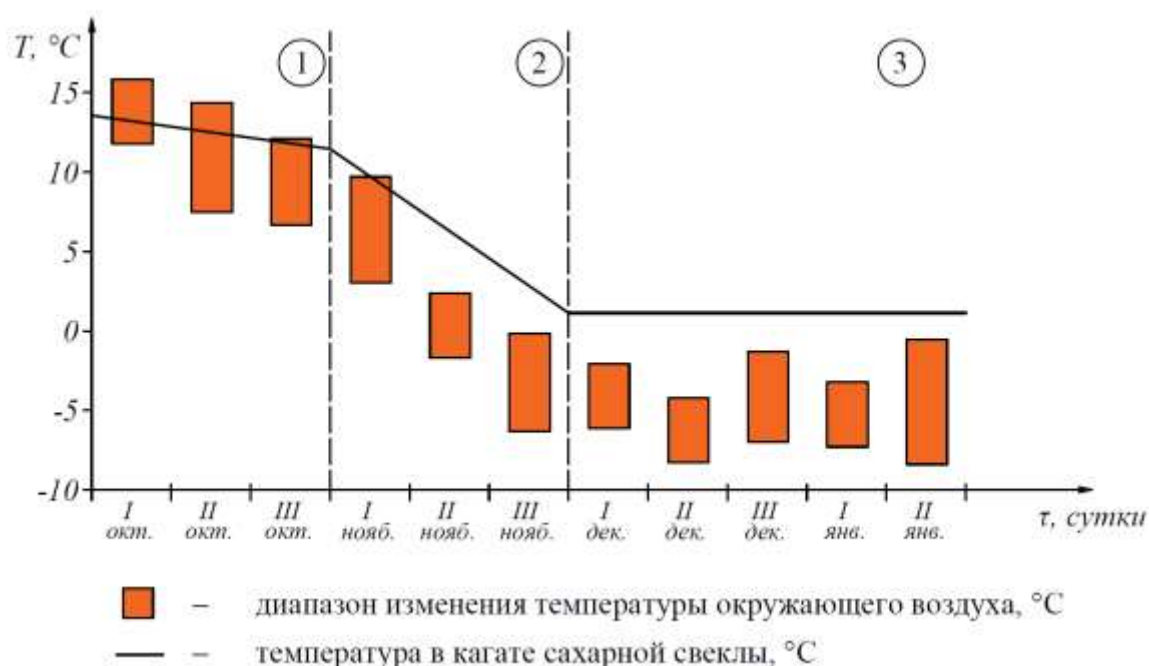


Рисунок 2.10 – Изменение температуры хранения в кагате сахарной свеклы в условиях изменяющейся температуры окружающего воздуха

В циклическом режиме необходимо учитывать продолжительность периода, за который происходит повышение температуры в кагате, а также минимально

необходимое количество часов работы вентиляции для стабилизации температуры в нем.

На рисунке 2.11 представлен разработанный алгоритм управления включением и выключением системы активной вентиляции в зависимости от режима работы.

Определение уставок проводится для трех режимов работы системы активной вентиляции: поддержание, охлаждение, циклический. Значения уставок устанавливаются по результатам сопоставления производственных и лабораторных исследований для уточнения математической модели.

Определяются значения следующих уставок:

- разница температур между кагатом сахарной свеклы и воздухом из окружающей среды, при которой включается система активной вентиляции;
- максимальная продолжительность работы системы активной вентиляции;
- допустимая разность влагосодержания между воздухом из окружающей среды и воздухом в межкорневом пространстве кагата на момент включения системы активной вентиляции.

Разница температур между кагатом сахарной свеклы и воздухом из окружающей среды, при которой включается система активной вентиляции зависит от двух параметров:

- минимально допустимое значение уставки определяется отношением количества отведенной теплоты в кВт к количеству затраченной при работе системы активной вентиляции;

- выполнимости условия достижения заданной уставки.

Снижение температуры кагата осуществляется за счет нагнетания приточного воздуха из окружающей среды вентилятором в кагат с производительностью 11 кВт. Оценка эффективности системы активной вентиляции необходимо осуществлять по методике оценки эффективности холодильных машин с помощью холодильного коэффициента [55]:

$$\eta = Q_{св} / N_{вент} \quad (2.22)$$

где $Q_{св}$ – количество отведенного тепла из кагата, кВт;

$N_{вент}$ – количество затраченной электроэнергии, кВт.

Холодильный коэффициент, безразмерная величина, характеризующая энергетическую эффективность работы системы; равна отношению количества отведенной теплоты, к количеству затраченной в единицу времени на осуществление одного цикла работы [53].

При централизованном хранении кагатов на свеклопункте необходим алгоритм по определению очередности разгрузки кагатов длительного вентилируемого хранения для последующей переработки. В настоящий момент кагаты сахарной свеклы отгружаются по очередности формирования, то есть первый сформированный кагат направляется первым в переработку. Данный способ не учитывает интенсивность процессов протекающих внутри кагата при хранении, которые во многом зависят от неоднородности качества хранящихся корнеплодов сахарной свеклы.

На рисунке 2.12 представлен разработанный алгоритм очередности разгрузки кагатов сахарной свеклы в переработку.

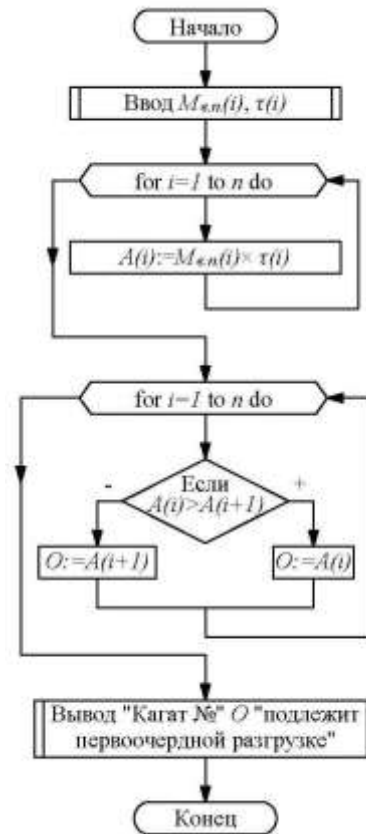


Рисунок 2.12 – Алгоритм определения очередности разгрузки кагатов в переработку

Разработанный алгоритм позволяет учитывать продолжительность работы системы активно вентиляции, а также потери свекломассы в процессе работы.

2.4. Выводы по главе

1. Установлено, что источниками теплопритоков в процессе хранения кагата сахарной свеклы является: тепло, выделяемое при дыхании корнеплодов; тепло, поступающее за счет солнечной радиации; тепло, полученное в результате конвективного теплообмена; тепло, затраченное на испарение влаги.

2. В ходе проведенных исследований установлено, что кагате при хранении происходит разделение на слои: поверхностный, промежуточный, зона сохранности и корректирующий. Поверхностный и промежуточный слой подвержены воздействию факторов окружающей среды. Теоретическими исследованиями установлены размеры слоев кагата: поверхностный 0,2-0,3 м;

промежуточный 0,5-0,7 м и корректирующий 1,0-1,5 м. Наиболее благоприятные условия для хранения достигаются в зоне сохранности. Корректирующий слой подвержен воздействию приточного воздуха во время работы системы активной вентиляции. Из-за различий влияния внешних и внутренних факторов на слои при длительном хранении сахарной свеклы происходит распределение температур внутри кагата сахарной свеклы.

3. Проведены теоретические исследования процесса хранения сахарной свеклы в кагатах с применением активной вентиляции. Определены профили распределения температур и их диапазоны по высоте кагата. Оптимальный температурный диапазон хранения корнеплодов сахарной свеклы установлен в пределах $+1...+3^{\circ}\text{C}$. Однако из-за условий хранения кагата предложено расширить верхнюю границу температурного диапазона до $+5^{\circ}\text{C}$, а нижнюю границу до -1°C , так как температура замерзания свекловичного сока составляет $-2...-4^{\circ}\text{C}$.

4. Получены аналитические выражения теплового и материального балансов в кагате в процессе вентилирования кагатов сахарной свеклы.

5. Аналитически выявлена оптимальная продолжительность работы системы активной вентиляции, которая определяется временным интервалом от начала включения вентилятора и до достижения равенства температуры кагата и окружающего воздуха. Зависимости определяют общий характер изменения температуры и массы водяного пара в кагате, но не учитывают инерционность процессов при работе системы активной вентиляции, которую предлагается определять через коэффициенты амплитуды колебания температуры в насыпе при охлаждении.

6. Разработан алгоритм управления активной вентиляцией кагата сахарной свеклы с учетом изменяющихся погодных-климатических условий и стадий хранения кагата. Обоснован набор уставок, характеризующий каждый из режимов работы системы активной вентиляции: поддержание, охлаждения и циклический.

7. Разработан алгоритм очередности разгрузки кагатов в переработку в зависимости от продолжительности вентилирования и потери массы кагата в период хранения.

3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Программа и задачи экспериментальных исследований

Целью экспериментальных исследований являлось изучение закономерностей процессов, протекающих в кагате сахарной свеклы без вентиляции и при работе системы активной вентиляции для обоснования режимов работы системы управления.

Программа экспериментальных исследований включала:

- разработку частных методик;
- разработку конструкции экспериментальной установки;
- определение зависимости снижения температуры от потери свекломассы в кагате сахарной свеклы и на экспериментальной установке при работе активной вентиляции;
- определение уставок для режимов работы системы активной вентиляции при изменении погодных-климатических условий.

Методология экспериментов разрабатывалась с учетом руководящих технических материалов общих и разработанных частных методик, анализа ранее выполненных теоретических, а также экспериментальных исследований.

Сбор и запись данных производились сертифицированными измерительными приборами, а также данные о работе системы активной вентиляции кагата поступала из алгоритмов специализированного программного обеспечения АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0 [57]. Обработка данных и дальнейшие расчеты проводились на ЭВМ с помощью пакета компьютерных программ: MathCAD 14, Statistica 12.0, Microsoft Excel 2007

3.2. Условия проведения экспериментальных исследований по изучению тепломассообменных процессов при хранении сахарной свеклы

Экспериментальные исследования проводили согласно ГОСТ Р 50525-93 и ГОСТ 33884-2016 в несколько этапов:

- на экспериментальной установке с объемом массива корнеплодов сахарной свеклы 1 м³ с ограниченным влиянием факторов окружающей среды;
- в производственных условиях на фрагменте кагата, оснащенного системой активной вентиляции, подверженного влиянию окружающей среды.

Лабораторные исследования физико-механических свойств корнеплодов сахарной свеклы выполнялись на кафедре «Технологические процессы и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ.

Исследования влияния работы системы активной вентиляции на потери свекломассы, а также исследование процессов в кагатах с вентиляцией проводили на территории свеклопункта сахарного завода ООО «ПРОМСАХАР» (Курская область).

Плотность, сахаросодержание, загрязненность, наличие зеленой массы, наличие корнеплодов с сильными механическими повреждениями определяли по существующим методикам измерений в лаборатории ООО «ПРОМСАХАР».

3.3. Методика исследований тепломассообменных процессов в массиве корнеплодов сахарной свеклы

Исследования проводили ежегодно с 2019 по 2021 гг. в период массовой укладки корнеплодов сахарной свеклы на хранение. Параллельно выполняли исследования:

- с использованием экспериментальной установки;
- на кагате, оснащенный системой активной вентиляции. В процессе формирования кагата определено исследуемое сечение, в котором отбирались пробы для определения физико-химических показателей корнеплодов согласно ГОСТ 53036-2008.

3.3.1. Методика проведения исследований на фрагменте кагата, оснащенного системой активной вентиляции

Исследования тепломассообменных процессов с учетом воздействия активной вентиляции проводились на вентилируемом кагате. Ширина нижнего основания кагата с активной вентиляцией составляет 30 м, ширина верхней площадки – 12 м, высота – 6,5 м, длина – 120 м, масса – 7 838 т. Вентилируемый кагат имеет форму циклически повторяющуюся: вентиляционные системы находились на расстоянии 6 м друг от друга.



а – формирование кагата с помощью буртоукладочной машины; б – вентиляционная ветвь

Рисунок 3.1 – Кагат, оснащенный системой активной вентиляции

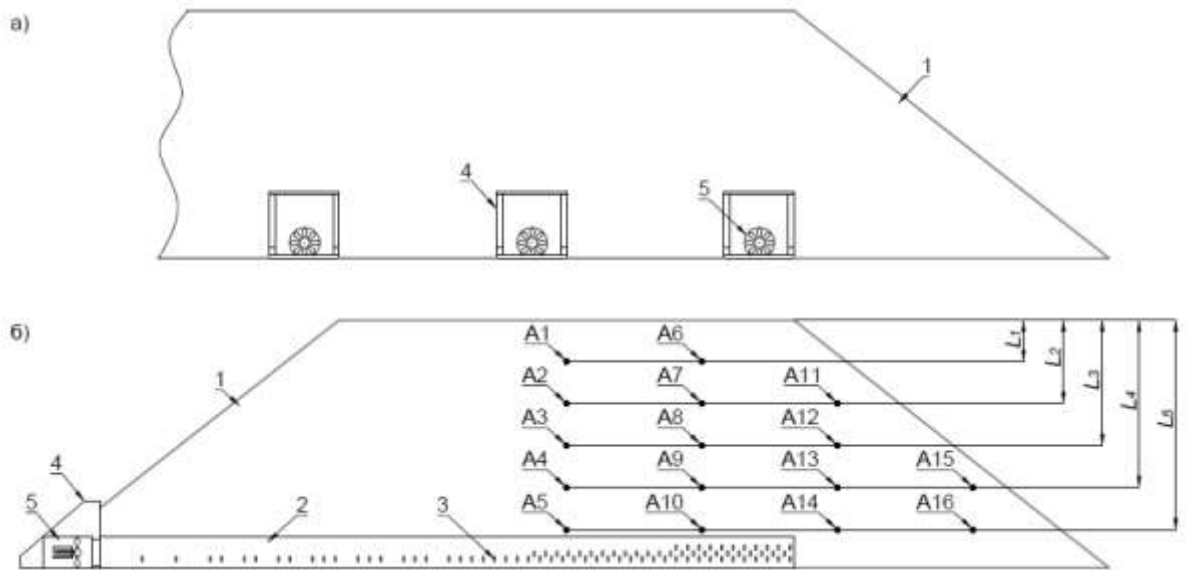
В ранее проведенных исследованиях было установлено, что при межосевом расстоянии 6 м в одинарном кагате не наблюдалась существенная разница температур корнеплодов над вентиляционной ветвью и в промежутке между ветвями [65]. На одну вентиляционную ветвь приходилось 490 т корнеплодов сахарной свеклы (рисунок 3.1). При анализе результатов рассматривался

фрагмент вентилируемого кагата: одна вентиляционная ветвь и массив корнеплодов сахарной свеклы, который охлаждался данной ветвью.

Длина каждой вентиляционной ветви составляла 22 м, что меньше ширины нижнего основания кагата на 8 м согласно нормам проектирования систем активной вентиляции кагатов сахарной свеклы [44]. По результатам проведенных исследований было подтверждено, что длина вентиляционной ветви является оптимальной, так как локальные зоны самосогревания в процессе хранения на участках без вентиляционной ветви не образуются. Во многом это обосновывается с одной стороны менее интенсивным поступлением приточного воздуха при вентилировании, а с другой повышенным влиянием окружающей среды на корнеплоды под склонами кагата, чем под его верхней площадкой.

Подача воздуха из окружающей среды в фрагмент кагата обеспечивалась вентилятором ВО-30-160 мощностью 11 кВт. Объем нагнетаемого в кагат воздуха составлял 22 400 м³/ч [49]. Длина участка воздуховода с воздухораспределительными отверстиями составляла 17 м. Оставшиеся 5 м вентиляционной ветви не имели отверстий, так как в их состав входили вентиляционный агрегат и отвод. Диаметр воздуховода постоянный и составлял 0,8 м. Распределение воздушного потока осуществлялось через щелевые отверстия, расположенные на воздуховоде. На нем расположено 146 воздуховыпускных щелевых отверстий, с проходным сечением 0,006 м². Длина щелевого отверстия составляла 0,016 м, ширина – 0,005 м [51].

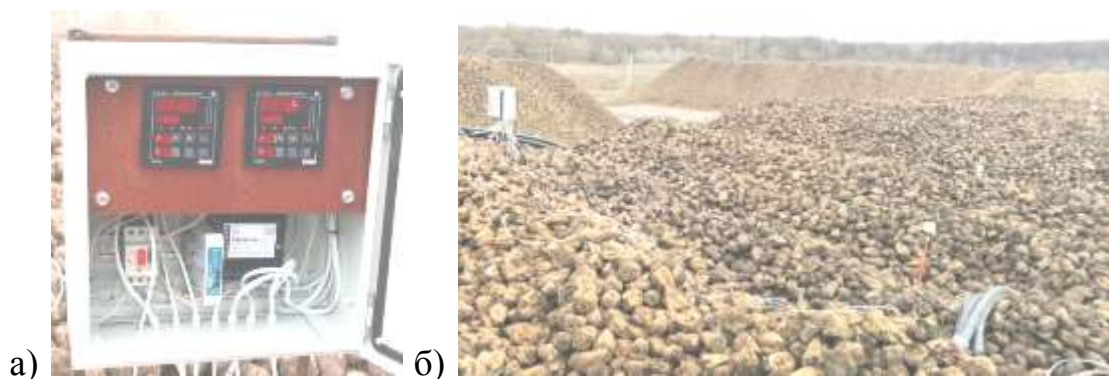
Датчики температуры в фрагменте кагата сахарной свеклы были расположены в количестве 16 штук над вентиляционной ветвью, согласно схеме, приведенной на рисунке 3.2. На рисунке указано расстояние от верхнего основания кагата до расположения датчика: $L_1=1,2$ м; $L_2=2,4$ м; $L_3=3,6$ м; $L_4=4,8$ м; $L_5=6,0$ м [54]. Расположение датчиков обусловлено симметричной формой поперечного сечения кагата.



1 – кагат; 2 – вентиляционная ветвь; 3 – воздуховыпускные отверстия; 4 – рама вентиляционного агрегата; 5 – вентилятор; A1...A16 – расположение датчиков измерения температуры

Рисунок 3.2 – Вентилируемый кагат сахарной свеклы: а – вид сбоку; б – исследуемое сечение

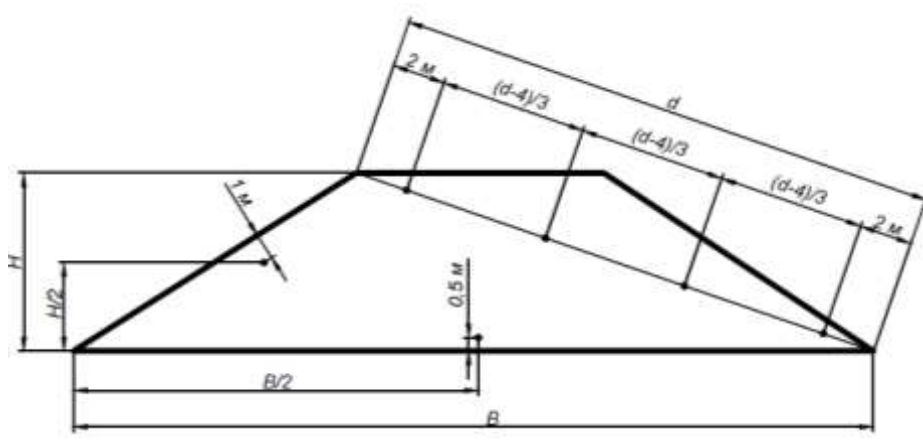
Измерение температуры выполнялось с помощью проводных датчиков ОВЕН ДТС014-50М.В3.25/1,5, которые предназначены для температурных измерений газообразных неагрессивных сред. Считывание показаний осуществлялось измерителем-регулятором ОВЕН ТРМ-138-Р, для записи данных использовался архиватор ОВЕН МСД-200 (рисунок 3.3) [55].



а – устройство шкафа измерения и записи данных; б – установка шкафа и датчиков температуры в кагате

Рисунок 3.3 – Измерение температуры внутри фрагмента кагата

При формировании исследуемого фрагмента была отобрана общая проба из корнеплодов на различной высоте кагата. Из этой пробы составлены 8 однородных проб: шесть из них были уложены в сетчатые мешки и уложены в фрагмент кагата согласно схеме, приведенной на рисунке 3.4 [13].



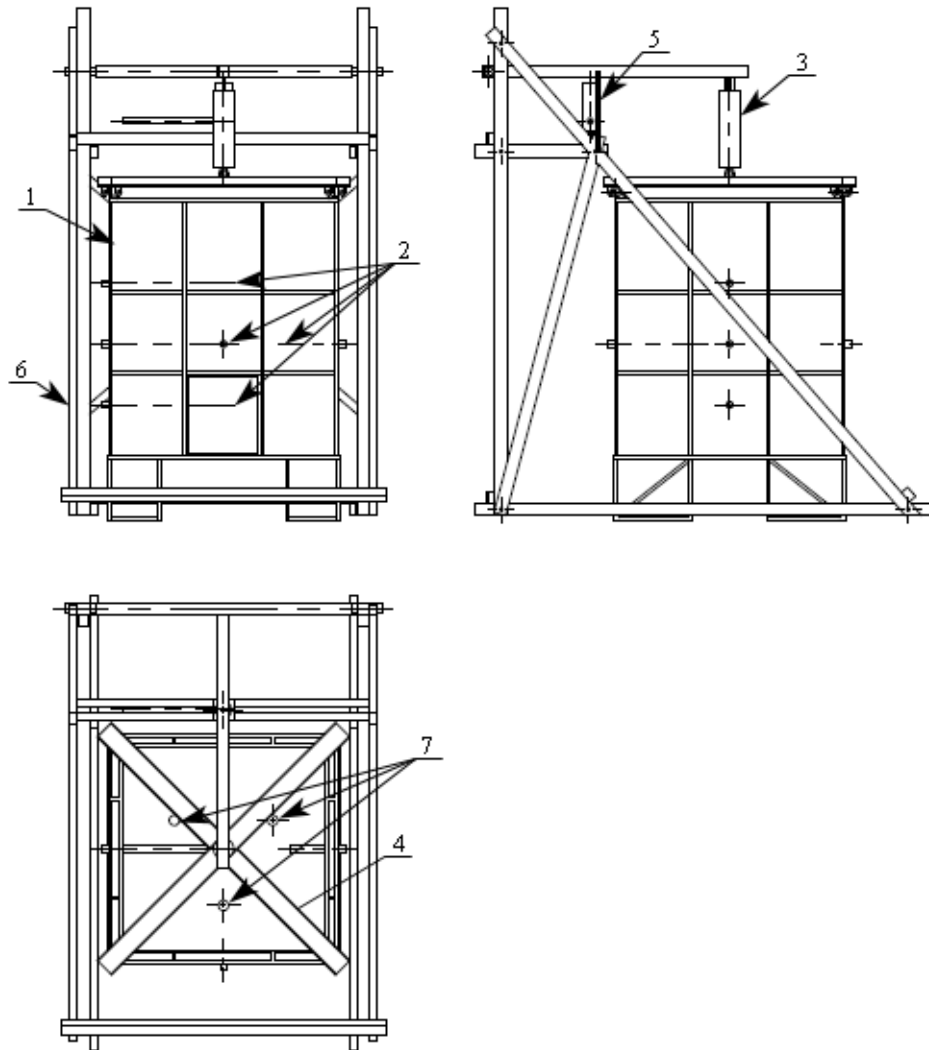
H – высота кагата; B – ширина нижнего основания; d – диагональ

Рисунок 3.4 – Схема укладки в кагаты сеточных проб в вентилируемом кагате

Две оставшиеся пробы были направлены на анализ в сырьевую лабораторию. Все 6 проб были уложены в исследуемом фрагменте кагата по мере его формирования. Вес одной пробы варьировался от 15 до 18 кг.

3.3.2. Методика проведения исследований на экспериментальной установке

Для изучения тепломассообменных процессов в массиве сахарной свеклы использовалась экспериментальная установка, состоящая из емкости, каркаса, подъемного механизма и траверсы. Под экспериментальной установкой подразумевался лабораторный стенд, размещенный вне помещения. Исследуемый массив корнеплодов в установке изолирован от воздействия ряда факторов окружающей среды, таких как ветер, солнечная радиация, осадки. Емкость для хранения корнеплодов 1 имеет внутренний объем для хранения свеклы 1 м^3 . Измерение температуры в объеме корнеплодов осуществлялось датчиками температуры 2 в семи точках насыпи, согласно схеме, приведенной на рисунке 3.5.



1 – емкость для хранения корнеплодов; 2 – трубы для размещения датчиков; 3 – весы подвесные; 4 – траверса; 5 – подъемный механизм; 6 – каркас; 7 – отверстия для подачи воздуха в массив корнеплодов

Рисунок 3.5 – Схема экспериментальной установки для исследования тепломассообменных процессов

Измерение массы корнеплодов выполнялось взвешиванием емкости на подвесных весах 3. Подъем емкости осуществлялся за траверсу 4 с помощью подъемного механизма 5, закрепленного на каркасе 6. В основании емкости имелись воздухораспределительные отверстия 7, через которые воздух подавался в массив корнеплодов снизу вверх. Вес пустой емкости составлял 128,4 кг, со свеклой в начале исследований – 796,8 кг.

Экспериментальная установка была оснащена для измерения температуры датчиками ДТС014-50М.В3.25/1,5, считывание показаний осуществлялось измерителем ТРМ-138-Р, для записи данных использовался архиватор МСД-200 производства ОВЕН. В процессе проведения исследований емкость для хранения взвешивалась каждые 4 суток с помощью подвесных крановых весов CS-97ЕС. По разнице в весе определялись потери свекломассы. В центре емкости заложены 3 сетчатые пробы весом от 15 до 18 кг, которые в процессе хранения извлекались для определения физико-химических показателей сахарной свеклы. Извлечение проб осуществлялось через боковые створки (рисунок 3.6). За счет этого верхний слой массива корнеплодов не перемешивался с нижними слоями.



а – установка в процессе загрузки; б – при взвешивании

1 – емкость для хранения корнеплодов; 2 – трубы для размещения датчиков; 3 – весы подвесные; 4 – траверса; 5 – подъемный механизм; 6 – каркас

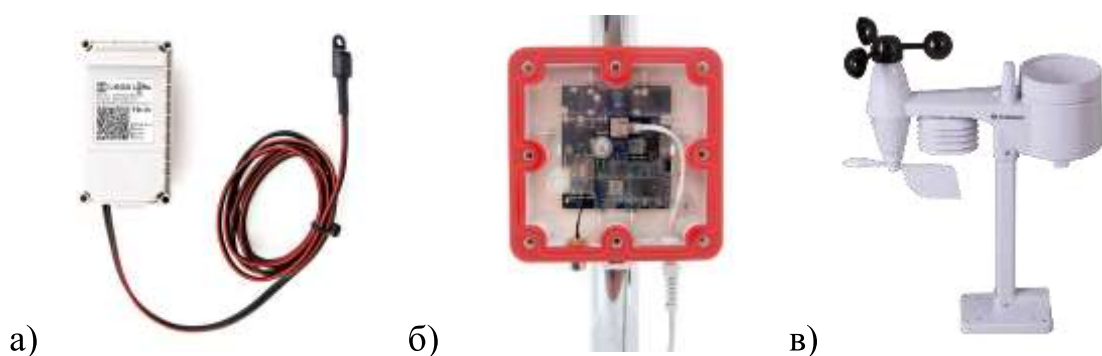
Рисунок 3.6 – Экспериментальная установка для проведения исследований тепломассообменных процессов в массиве корнеплодов

Экспериментальная установка давала возможность изучать инерционность процессов при охлаждении и нагреве свекольной насыпи.

Для снижения температуры свеклы в массиве корнеплодов подавался приточный воздух из окружающей среды. Подача осуществлялась вентилятором через воздухораспределительные отверстия, расположенные на дне стенда. Если охлаждение корнеплодов не требовалось, то отверстия закрывались заглушкой.

3.4. Методика исследования работы системы активной вентиляции в процессе хранения кагата сахарной свеклы

При управлении системой активной вентиляции для контроля за изменением температуры в вентилируемом кагате использовались датчики ВЕГА ДТ-11, которые были оснащены аккумуляторными элементами питания и радиомодулем для беспроводной передачи сигнала измерений (рисунок 3.7) [78, 85]. Термодатчик использовался для измерения температуры в массиве корнеплодов посредством выносного терморезистора, подключённого к термодатчику с последующей передачей значений температуры в беспроводную сеть LoRaWAN. Сигнал с датчиков поступал на базовую станцию ВЕГА БС-1.2 откуда поступал на сервер. Для измерения температуры в массиве корнеплодов датчик ДТ-11 размещался в корпусе термоштанги. Измерение температуры в кагате проводилось весь исследуемый период хранения сахарной свеклы.



а – датчик температуры ВЕГА ДТ-11; б – базовая станция ВЕГА БС-1.2; в – локальная метеостанция Bresser 5-in-1

Рисунок 3.7 – Оборудование для измерения и беспроводной передачи данных

проведении исследований на один кагат приходилось 2 шкафа управления вентиляцией и 16 вентиляционных ветвей. Также программными средствами, была произведена настройка по формированию отчетности с интервалом в каждые 3 часа для данных об изменении температуры внутри кагата, а также температуры и влажности окружающей среды.

Программа АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0 осуществляла формирование ежемесячных отчетов по продолжительности работы системы активной вентиляции отдельно по каждому кагату сахарной свеклы, в котором были представлены данные о температуре в начале и в конце отчетного периода (рисунок 3.9).

ЖУРНАЛ УЧЕТА ПРОБЕГА ВЕНТИЛЯТОРОВ (ЭЛЕКТРОМОЩНОСТИ)

Relies: 1.01.05

Начало сезона: 01.11.2021

ООО «Промсахар»

АГХ/САВК-ЕСМАС-1,0

Отчетный день: 30.11.2021



Отчет сформирован:

Кагатное поле "Тереховка"

01.12.2021 07:33

Количество вентиляторов 88

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

Шкафы управления вентиляцией (1-10). Пробег вентиляторов. Моточасы.

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

Шкафы управления вентиляцией (1-10). Температура сырья. Динамика Т°С_{ШУВ}средняя за сутки.

Т°С на 00-00	ШУВ 01	ШУВ 02	ШУВ 03	ШУВ 04	ШУВ 07	ШУВ 06	ШУВ 05	ШУВ 08	ШУВ 09	ШУВ 11
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

Шкафы управления вентиляцией (1-10). Пробег вентиляторов с начала сезона. Моточасы

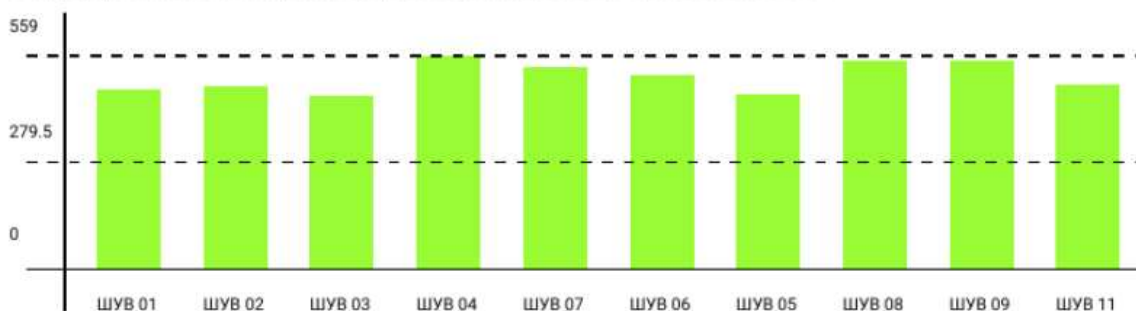


Рисунок 3.9 – Месячный отчет о работе системы активной вентиляции кагатов сахарной свеклы

В месячном отчете приведены данные о среднесуточном охлаждении участка кагата, который находился под управлением ШУВ, а также совокупная продолжительность работы вентиляторов, управляемая ШУВ.

При анализе работы системы активной вентиляции использованы данные, полученные в результате экспериментов с 2019 по 2021 год. На первом этапе были рассмотрены данные об изменении погодно-климатических условий, а именно температуры и влагосодержания окружающего воздуха, в течение всего периода хранения сахарной свеклы – 112 суток с 1 октября по 20 января.

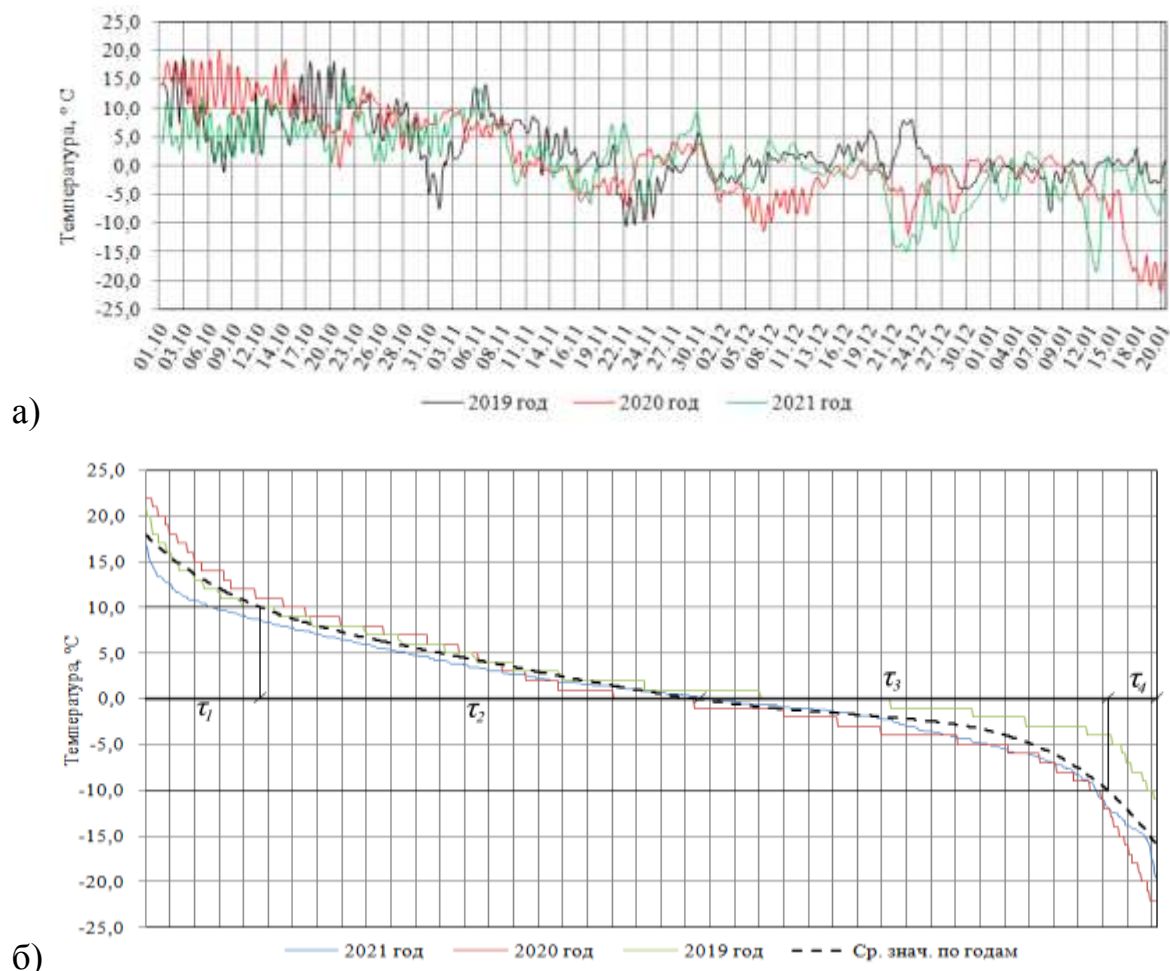
На основании полученных данных об изменении погодно-климатических условий сформированы диапазоны по температуре окружающего воздуха $T_1=+20\dots+10^\circ\text{C}$, $T_2=+10\dots0^\circ\text{C}$, $T_3=0\dots-10^\circ\text{C}$, $T_4=-10\dots-20^\circ\text{C}$, для которых приведены параметры характеризующие их параметры. Данные диапазоны были использованы для обоснования режимов работы системы активной вентиляции.

На втором этапе были рассмотрены периоды хранения кагатов сахарной свеклы по месяцам. При анализе данных по месяцам учитывалась продолжительность периодов температурных диапазонов $T_1\dots T_4$; продолжительность работы системы активной вентиляции; продолжительность периодов, когда были условия для включения системы активной вентиляции. После сопоставления данных для исследуемого временного периода произведен вывод о режиме работы системы активной вентиляции, а также о необходимом наборе уставок для управления в процессе вентилирования.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Результаты анализа погодно-климатических условий в период хранения сахарной свеклы

На рисунке 4.1 представлены графики изменения температуры окружающей среды в период хранения.



а – графики температуры окружающего воздуха и кагата сахарной свеклы; б – результаты обработки графиков температуры окружающего воздуха

Рисунок 4.1 – Изменение температуры окружающей среды в процессе хранения в Рыльском районе Курской области за 2019-2022 годы

Из графиков, представленных на рисунок 4.1-б, следует, что температура окружающей среды изменяется от -20 до $+20^{\circ}\text{C}$. Разделим график на температурные диапазоны с шагом в 10°C : $T_1=+20\dots+10^{\circ}\text{C}$, $T_2=+10\dots0^{\circ}\text{C}$,

$T_3=0\dots-10^{\circ}\text{C}$, $T_4=-10\dots-20^{\circ}\text{C}$. Параметры, характеризующие температурные диапазоны, представлены в приложении 2.

Графики продолжительности работы системы активной вентиляции по месяцам представлены на рисунке 4.2, из которого следует, что в течение исследуемого периода система активной вентиляции работает неравномерно, а наибольшая нагрузка приходилась на ноябрь.

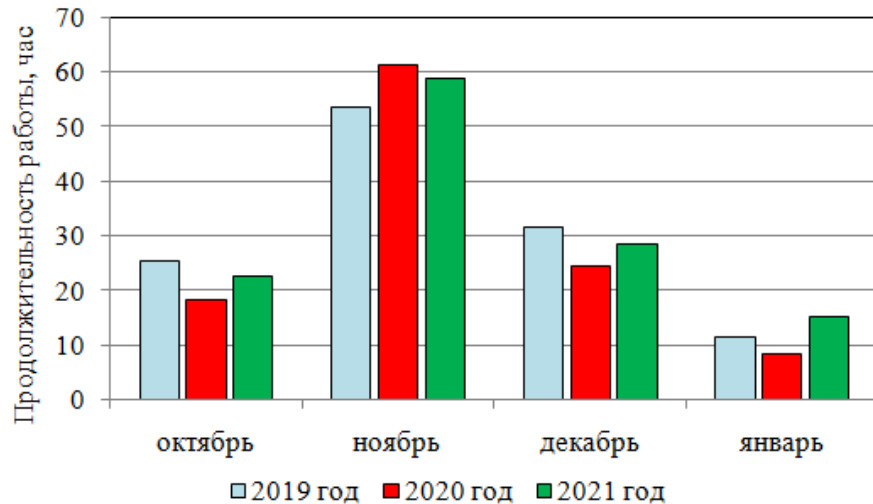
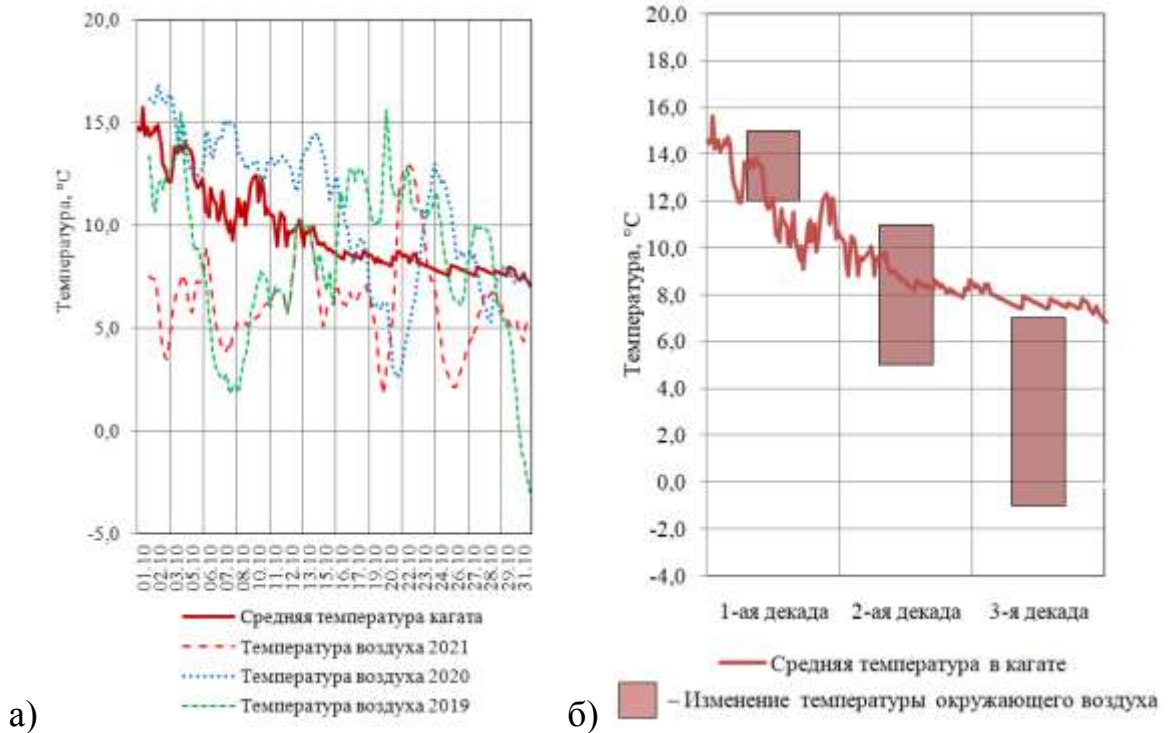


Рисунок 4.2 – Продолжительность работы системы активной вентиляции по месяцам

Из графиков, представленных на рисунке 4.3-а следует, что продолжительность температурного диапазона в $+10\dots+20^{\circ}\text{C}$ составляет в среднем 12 суток. Порядка 18 суток температура окружающего воздуха находится в диапазоне $0\dots+10^{\circ}\text{C}$. Менее 1 суток (от 6 до 23 часов) температура окружающего воздуха находится в диапазоне $-10\dots0^{\circ}\text{C}$. Условия, для охлаждения кагата сахарной свеклы, ограничены высокими температурами окружающего воздуха.

По данным статистического анализа в первой декаде октября (рисунок 4.3-б) диапазон изменения температуры окружающей среды составил от 5 до 20°C . Межквартильный размах (МКР), характеризующий разницу между 75% и 25% квантилем, внутри которого находится 50% наблюдений, составил $12\dots15^{\circ}\text{C}$. Температура в кагате в начале декады равнялась $14,5^{\circ}\text{C}$, в конце – $10,5^{\circ}\text{C}$. Из

этого следует вывод, что условия для работы системы активной вентиляции были ограничены.



Однако начиная со второй декады октября, наблюдалось изменение МКР до 5...11°C, что позволило снизить температуру в кагате с 10,5 до 8°C. В третьей декаде октября МКР также изменился до -1...7°C, а температура в кагате опустилась до 7°C.

По результатам проведенного анализа статистических данных было установлено, что продолжительность периодов, когда разность температур между кагатом сахарной свеклы и окружающим воздухом была больше 2°C составила 112 часов. Графики температур в кагате сахарной свеклы и температурой окружающего воздуха представлены на рисунке 4.4.

В условиях ограниченной мощности электрической сети в одновременной работе из 96 находятся в работе только 19 вентиляционных ветвей. По этой

причине на отдельную вентиляционную ветвь из 112 часов доступных для работы вентиляции, приходится 22 часа.

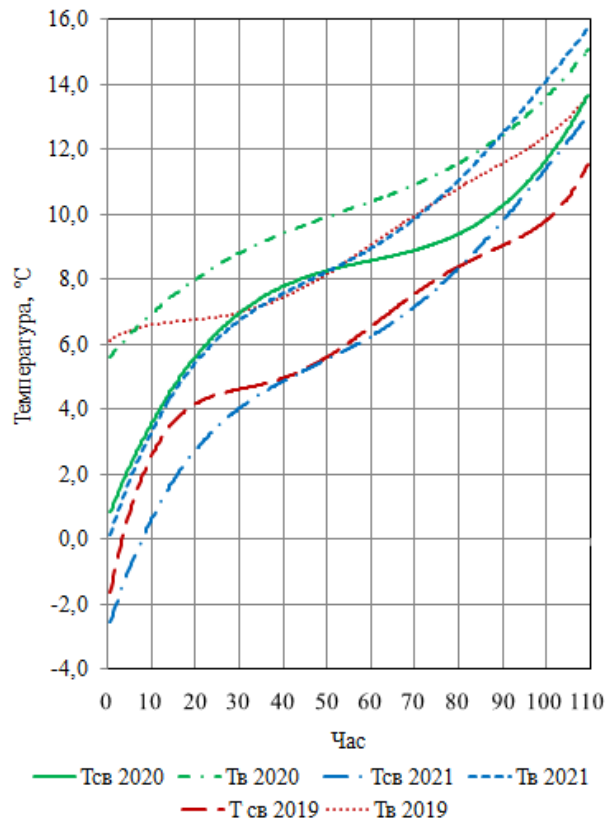


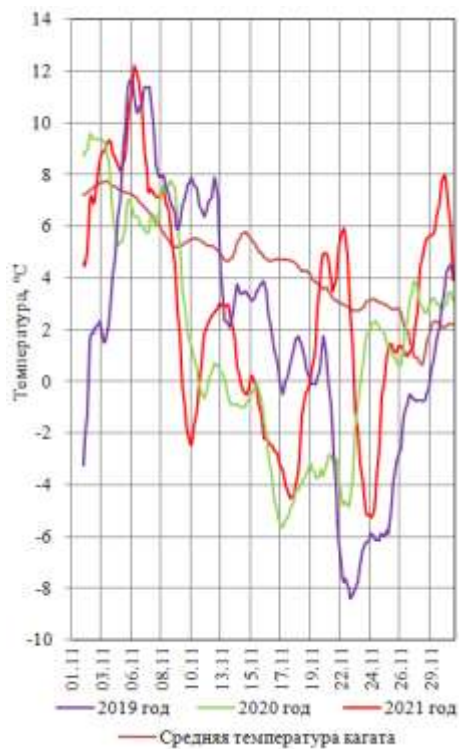
Рисунок 4.4 – Графики температур в кагате сахарной свеклы и температуры окружающего воздуха в октябре, при которых осуществлялось включение системы активной вентиляции

Соответственно, режим работы системы активной в октябре в первую очередь предназначен для предотвращения роста температуры в насыпи до наступления благоприятных условий для охлаждения. Работа вентиляции в режиме поддержания температуры кагата должна обеспечиваться включением вентиляторов при минимальном количестве ограничивающих факторов, а именно по уставке разницы температур между кагатом сахарной свеклы и воздухом из окружающей среды.

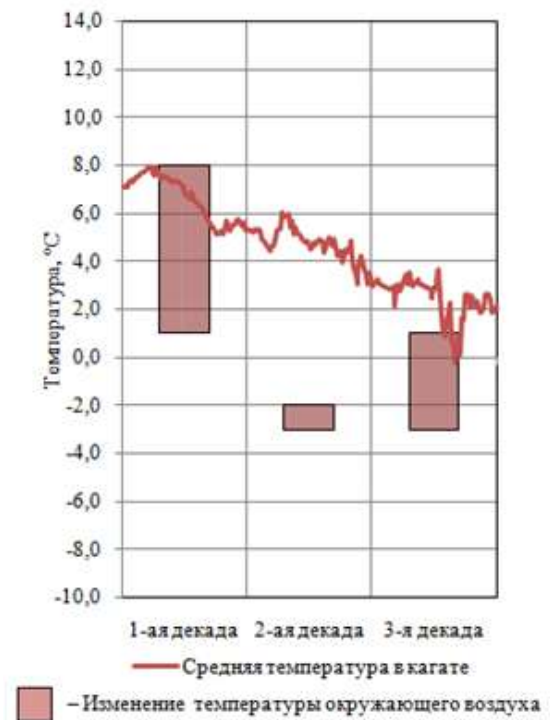
$$k \geq T_{св} - T_{в} \quad (4.1)$$

где k – величина уставки по разности температур между кагатом сахарной свеклы и воздухом из окружающей среды в режиме поддержания температуры кагата.

Из графиков, представленных на рисунке 4.5, следует, что в ноябре продолжительность периода с температурой $+10\dots+20^{\circ}\text{C}$ составляет 1 сутки, $0\dots+10^{\circ}\text{C}$ – 20 суток, $-10\dots0^{\circ}\text{C}$ – 9 суток. В ноябре наиболее благоприятные погодно-климатические условия для охлаждения кагата сахарной свеклы. Температура воздуха ниже температуры свеклы более 20 суток, а средняя продолжительность работы одного вентилятора составляла 58 часов (2,5 суток). Учитывая ограничения по лимитам электроэнергии 1:5 (на 1 работающий вентилятор приходится 4 в простое), необходим временной период для работы вентиляторов с общей продолжительностью 290 часов или 12 суток.



а)



б)

а – графики температуры окружающего воздуха и кагата сахарной свеклы; б – изменение температуры окружающего воздуха и свеклы по декадам
Рисунок 4.5 – Изменение температуры окружающей среды в ноябре

В первой декаде ноября МКР температуры окружающего воздуха составило $1\dots8^{\circ}\text{C}$, а температура в кагате снизилась с 7 до $5,4^{\circ}\text{C}$. Во второй декаде ноября наблюдалось смещение МКР до $-3\dots-2^{\circ}\text{C}$, что позволило снизить температуру в кагате до $3,2^{\circ}\text{C}$. В третьей декаде ноября МКР также изменился до $-3\dots-1^{\circ}\text{C}$, а

температура в кагате снизилась до 2°C . При работе системы активной вентиляции в режиме охлаждения кагата необходимо минимизировать потери свекломассы, которые зависят от количества вынесенной влаги во время вентилирования. В виду благоприятных погодных-климатических условий для охлаждения кагата в ноябре необходим ввод дополнительного параметра, характеризующего работу системы активной вентиляции (уставки) по влагосодержанию воздуха в целях уменьшения выноса влаги в процессе вентилирования.

На рисунке 4.6 представлен график зависимости изменения разности влагосодержания от разности температур воздуха из окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата на момент включения системы активной вентиляции, характерного для ноября.

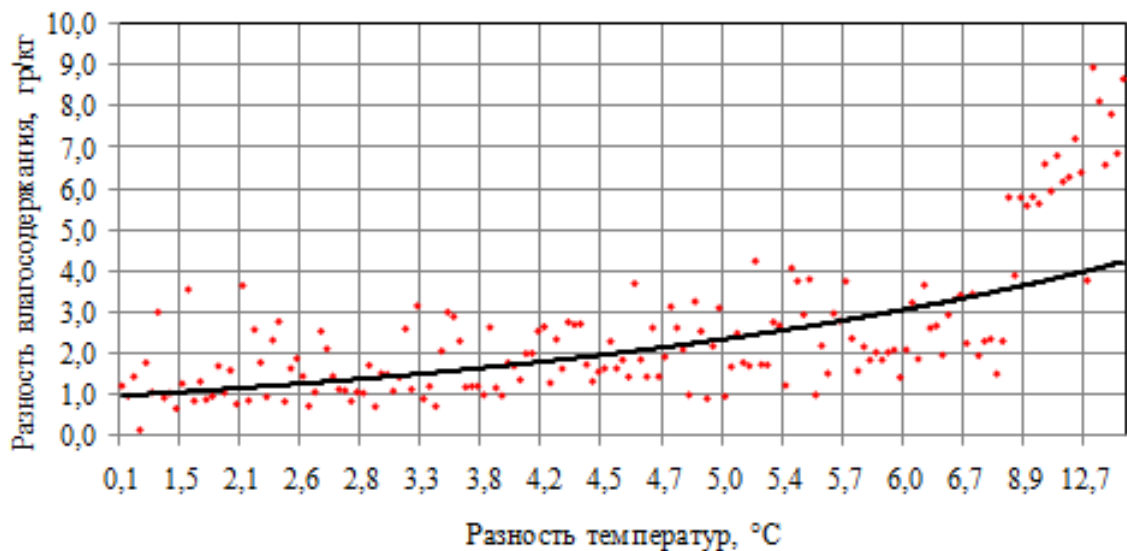


Рисунок 4.6 – График зависимости изменения разности влагосодержания от разности температур воздуха из окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата на момент включения системы активной вентиляции

В процессе формирования графика на рисунке 4.6 не рассматривались данные, при которых температура окружающего воздуха была выше температуры свеклы. Также исключались данные, когда температура воздуха опускалась ниже -3°C , что могло привести к подмораживанию корнеплодов сахарной свеклы.

При дальнейшем рассмотрении данных, представленных на рисунке 4.6, из выборки были исключены значения, не удовлетворяющие следующим условиям:

– разность температур воздуха из окружающей среды и в кагате сахарной свеклы менее 2°C ;

– разность влагосодержания между воздухом из окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата на момент включения системы активной вентиляции более 3 гр/кг.

Тогда график зависимости изменения разности влагосодержания от разности температур воздуха из окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата с учетом введенных критериев отбора приобретает следующий вид (рисунок 4.7).

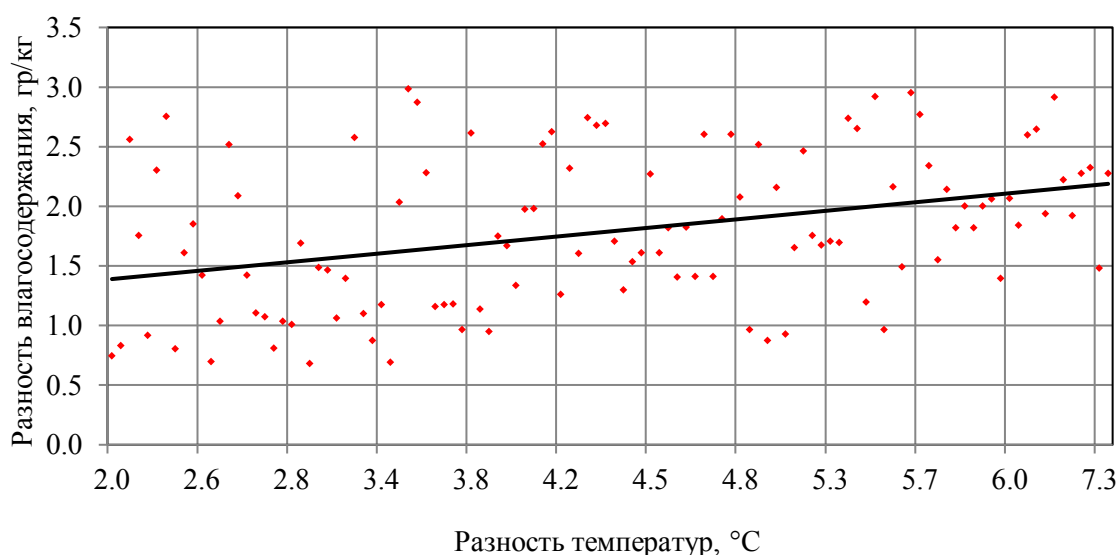


Рисунок 4.7 – График зависимости изменения разности влагосодержания от разности температур воздуха из окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата с учетом введенных критериев отбора

Критериям отбора соответствуют данные, зафиксированные в течение 14 суток, что превышает расчетную продолжительность периода работы системы активной вентиляции в режиме охлаждения.

Тогда работа системы активной вентиляции кагата в режиме охлаждения представлена следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} k \geq T_{cs} - T_e \\ m \leq d_{cs} - d_e \end{cases} \quad (4.2)$$

где k – величина уставки по разности температур кагата сахарной свеклы и воздуха из окружающей среды в режиме охлаждения. Уставка m , определяющая максимально допустимую разность между влагосодержанием воздуха из окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата на момент включения системы активной вентиляции, равняется 3 гр/кг.

Период хранения с декабря по январь характеризуется хранением кагатов сахарной свеклы при температурном диапазоне 0...+5°C. Однако в процессе хранения в кагате образуются локальные очаги самосогревания. Определение места локального очага самосогревания в насыпи корнеплодов сахарной свеклы не всегда представляется возможным. Кроме того, доступ к очагу с поверхности кагата, как правило, отсутствует. В ограниченных условиях по воздействию на локальный очаг самосогревания необходимо осуществлять превентивные меры по недопущению развития данных процессов посредством включения системы активной вентиляции.

Особенностью для данного временного периода является то, что режим работы системы активной вентиляции является циклическим. Кроме того, при работе системы вентиляции в режиме поддержания температуры хранения корнеплодов необходимо минимизировать потери свекломассы.

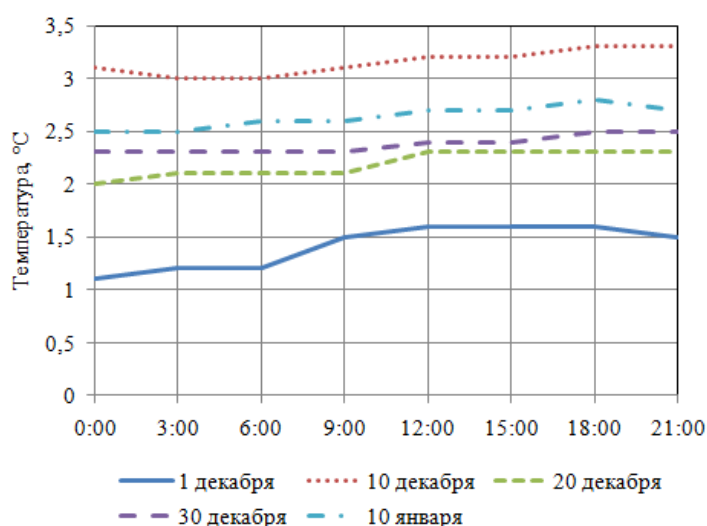
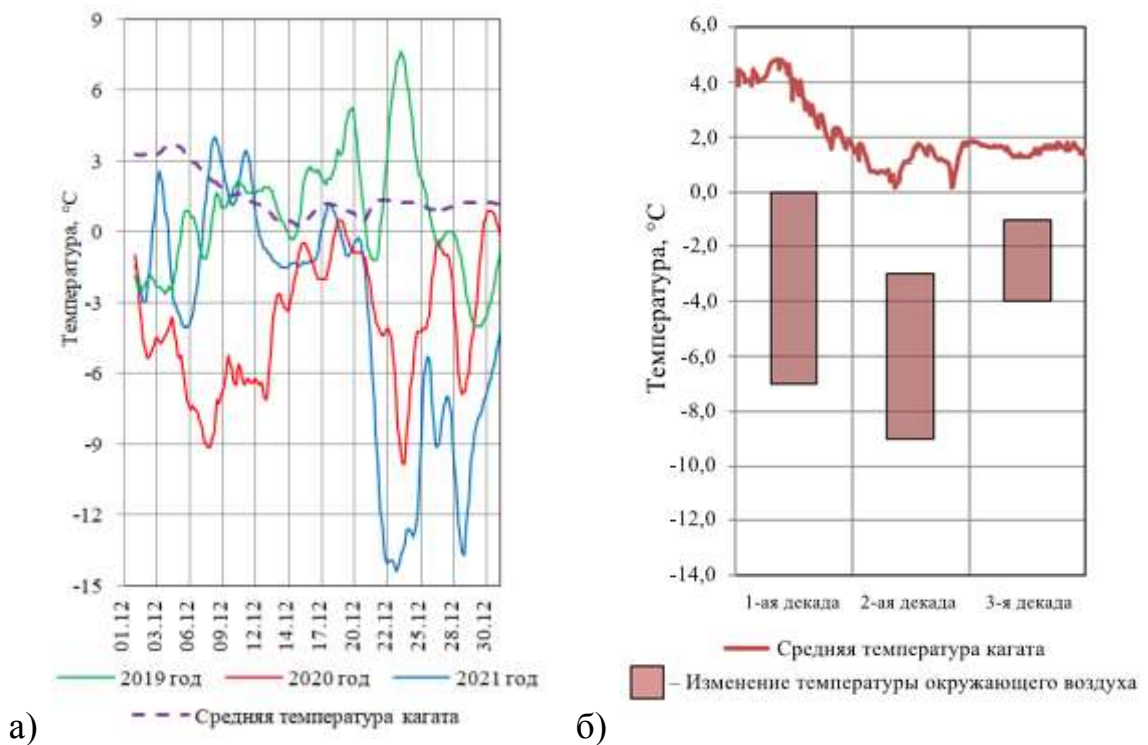


Рисунок 4.8 – Суточный график роста температуры в кагате сахарной свеклы в периоды, когда система активной вентиляции не работала

Для снижения температуры в кагате сахарной свеклы на 12°C в среднем требуется 58 часов работы системы активной вентиляции, то есть необходимо 5 часов проветривания для снижения температуры в кагате на 1°C . Рассмотрим суточный график роста температуры в кагате сахарной свеклы в периоды простоя вентиляторов (рисунок 4.8).

В течение первых трех суток ежесуточный прирост температуры составляла $0,2^{\circ}\text{C}$. Если в течение трех суток система активной вентиляции не включалась, то наблюдалось увеличение суточного прироста температуры до $0,4^{\circ}\text{C}$. В целях поддержания температуры в оптимальном диапазоне хранения $+1...+3^{\circ}\text{C}$ необходимо включать систему активной вентиляции не реже, чем один раз в 3 суток.



а) – графики температуры окружающего воздуха и кагата сахарной свеклы; б) – изменение температуры окружающего воздуха и свеклы по декадам

Рисунок 4.9 – Изменение температуры окружающей среды в декабре

Из графиков, представленных на рисунке 4.9, следует, что в декабре продолжительность периода с температурой $0...+10^{\circ}\text{C}$ составляла 11 суток, $10...0^{\circ}\text{C}$ – 18 суток, $-20...-10^{\circ}\text{C}$ – 2 суток. Период, когда температура воздуха,

удовлетворяющая условию $(-3 \leq T_{\theta} \leq T_{\text{св}} - 1)$, в наиболее теплый 2019 год составил 7 суток, при этом средняя продолжительность работы одного вентилятора достигла 28 часов. Учитывая ограничения по лимитам электроэнергии 1:5, необходим временной период для работы вентиляторов с общей продолжительностью 140 часов или 6 суток.

В первой декаде декабря МКР температуры окружающего воздуха составил $-7 \dots 0^{\circ}\text{C}$, что позволило поддерживать температуру в диапазоне $0 \dots 2^{\circ}\text{C}$. Во второй декаде декабря наблюдалось снижение МКР до $-10 \dots -3^{\circ}\text{C}$, а в третьей декаде МКР составил $-4 \dots -1^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 4.10 представлен график зависимости изменения разности влагосодержания от разности температур воздуха из окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата в декабре.

При построении графика учитывались только те данные, которые удовлетворяли условию $(-3 \leq T_{\theta} \leq T_{\text{св}} - 1)$. Размер выборки за декабрь определен с учетом необходимой продолжительности работы системы активной вентиляции в 140 часов.

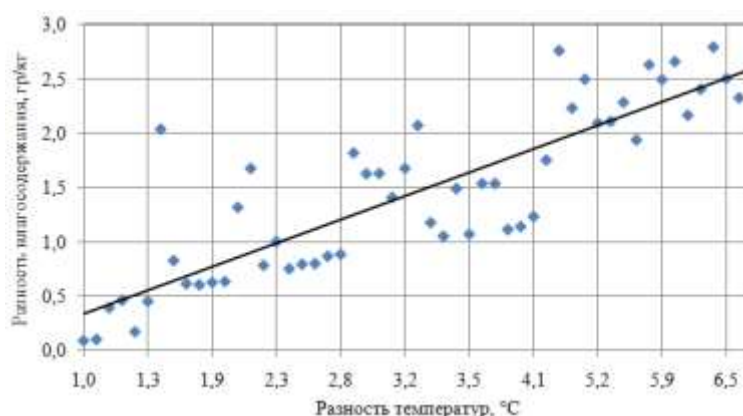
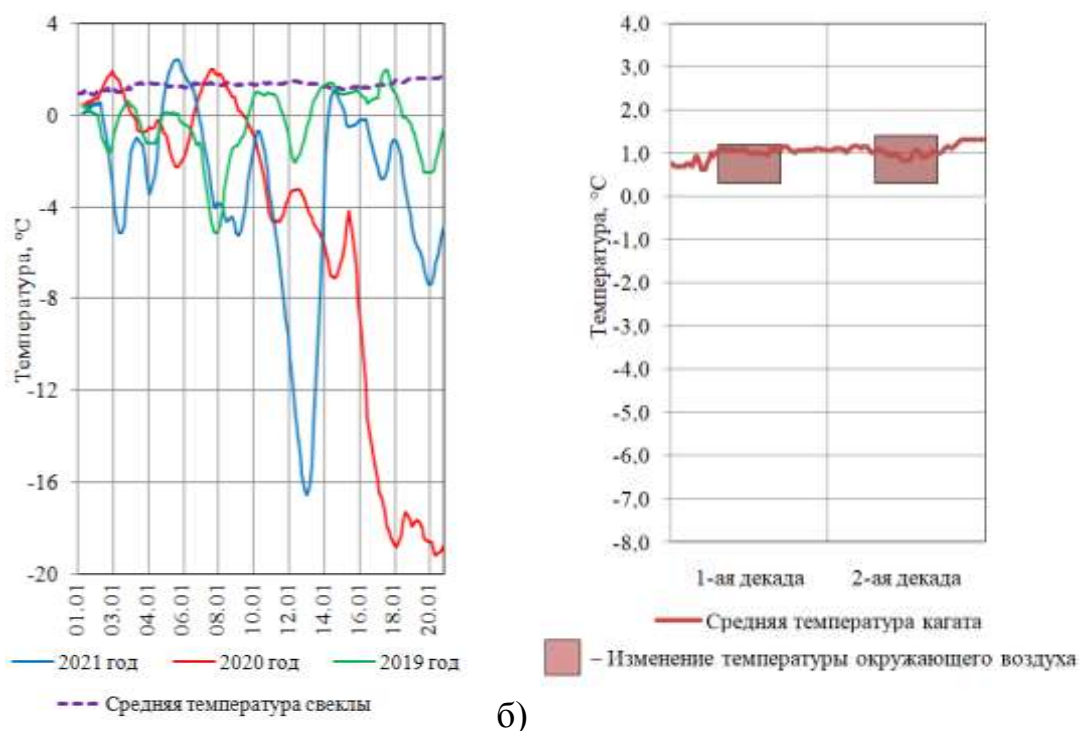


Рисунок 4.10 – График зависимости изменения разности влагосодержания от разности температур воздуха из окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата в декабре

Из графика, представленного на рисунке 4.10 следует, что для работы системы активной вентиляции в декабре параметр, характеризующий уставку по

разности влагосодержания между воздухом из окружающей среды и воздухом в межкорневом пространстве кагата не должен быть больше 3 гр/кг.



а – графики температуры окружающего воздуха и кагата сахарной свеклы; б – изменение температуры окружающего воздуха и свеклы по декадам

Рисунок 4.11– Изменение температуры окружающей среды в январе

Из графиков, представленных на рисунке 4.11 следует, что с 1 по 20 декабря продолжительность периода с температурой $0...+10^{\circ}\text{C}$ составляла 6 суток, $-10...0^{\circ}\text{C}$ – 13 суток, $-20...-10^{\circ}\text{C}$ – 1 суток. Период, когда температура воздуха удовлетворяла условию $(-3 \leq T_{\text{в}} \leq T_{\text{св}} - 1)$, в наиболее теплый 2020 год составил 5 суток, при этом средняя продолжительность работы одного вентилятора составляла 12 часов. Учитывая ограничения по лимитам электроэнергии 1:5, необходим временной период для работы вентиляторов с общей продолжительностью 60 часов или 3 суток.

На рисунке 4.12 представлен график зависимости изменения разности влагосодержания от разности температур воздуха из окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата в январе.

При построении графика учитывались только те данные, которые удовлетворяли условию $(-3 \leq T_e \leq T_{ce}-1)$. Размер выборки за декабрь определен с учетом необходимой продолжительности работы системы активной вентиляции в 60 часов.

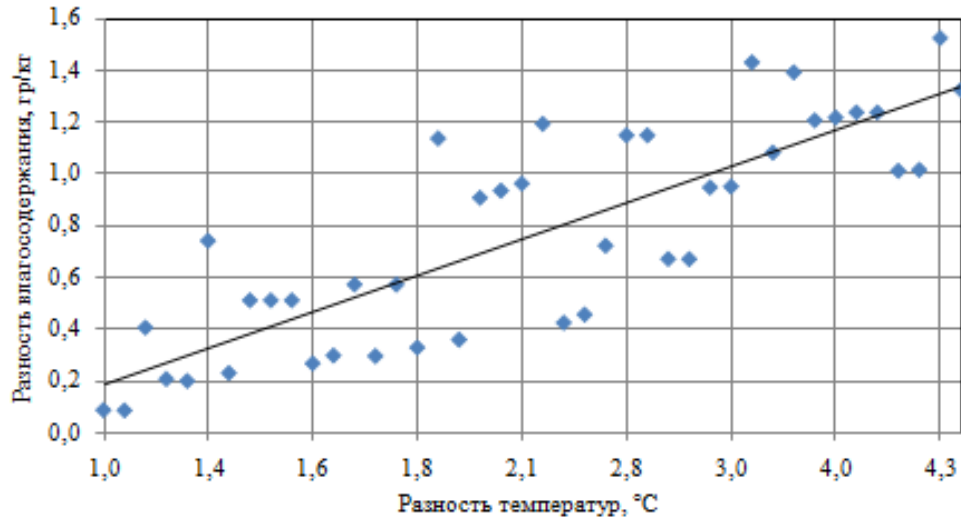


Рисунок 4.12 – График зависимости изменения разности влагосодержания от разности температур воздуха из окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата в январе

Из графика, представленного на рисунке 4.12 следует, что для работы системы активной вентиляции в январе параметр, характеризующий уставку по разности между влагосодержанием воздуха из окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата 3 гр/кг, является достаточным.

Тогда работа системы активной вентиляции кагата в циклическом режиме представлена следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} k \geq T_{ce} - T_e \\ m \leq d_{ce} - d_e \\ \tau_{ц} = f(\tau_{np}; \tau_{раб}) \end{cases} \quad (4.3)$$

где k – величина уставки по разности температур кагата сахарной свеклы и воздуха из окружающей среды в режиме охлаждения. Уставка должна соответствовать следующим условиям $T_e \in (-3 \leq T_e \leq T_{ce}-1)$. Уставка m определяет максимально допустимую разность между влагосодержанием между воздуха из

окружающей среды и воздуха в межкорневом пространстве кагата на момент включения системы активной вентиляции и равняется 3 гр/кг. Уставка, определяющая цикличность работы системы активной вентиляции $\tau_{ц}$ определяется допустимой величиной простоя вентиляторов $\tau_{пр}$, а также необходимой продолжительностью их работы $\tau_{раб}$.

4.2. Определение значения уставок для обеспечения режимов работы системы активной вентиляции

Разница между температурой воздуха в межкорневом пространстве кагата сахарной свеклы и температурой воздуха окружающей среды, при которой включается система активной вентиляции, зависит от двух параметров:

- минимально допустимое значение уставки, определяемое отношением количества отведенной теплоты в кВт к количеству затраченной при работе системы активной вентиляции;
- выполнимости условия достижения заданной уставки.

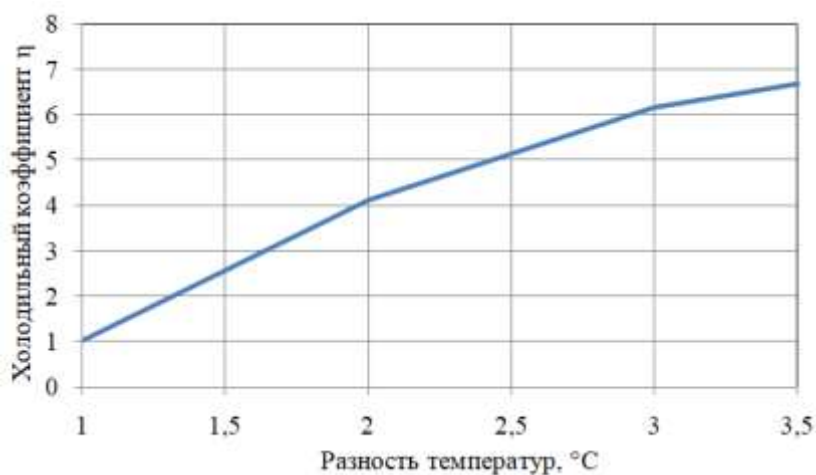


Рисунок 4.13 – Зависимость холодильного коэффициента от разности между температурами воздуха в межкорневом пространстве кагата сахарной свеклы и приточного воздуха из окружающей среды

На рисунке 4.13 представлен график, характеризующий зависимость холодильного коэффициента от разности между температурами воздуха в

межкорневым пространстве кагата сахарной свеклы и приточного воздуха из окружающей среды.

При определении величины уставки минимальной разности между температурами воздуха в кагате сахарной свеклы и воздуха из окружающей среды необходимо учитывать наименее благоприятный период для вентилирования – октябрь.

Во время хранения разность температур между кагатом сахарной свеклы и воздухом из окружающей среды постоянно изменялась. Параметр (уставки), характеризующий работу системы вентиляции по разности температур между кагатом и воздухом из окружающей среды определен по результатам анализа данных, представленных на рисунке 4.14. Установлено, что в октябре в течение 138 часов наблюдается разность температур между кагатом сахарной свеклы и воздухом из окружающей среды больше 2°C , что позволяет обеспечить работу системы активной вентиляции в течение 112 часов.

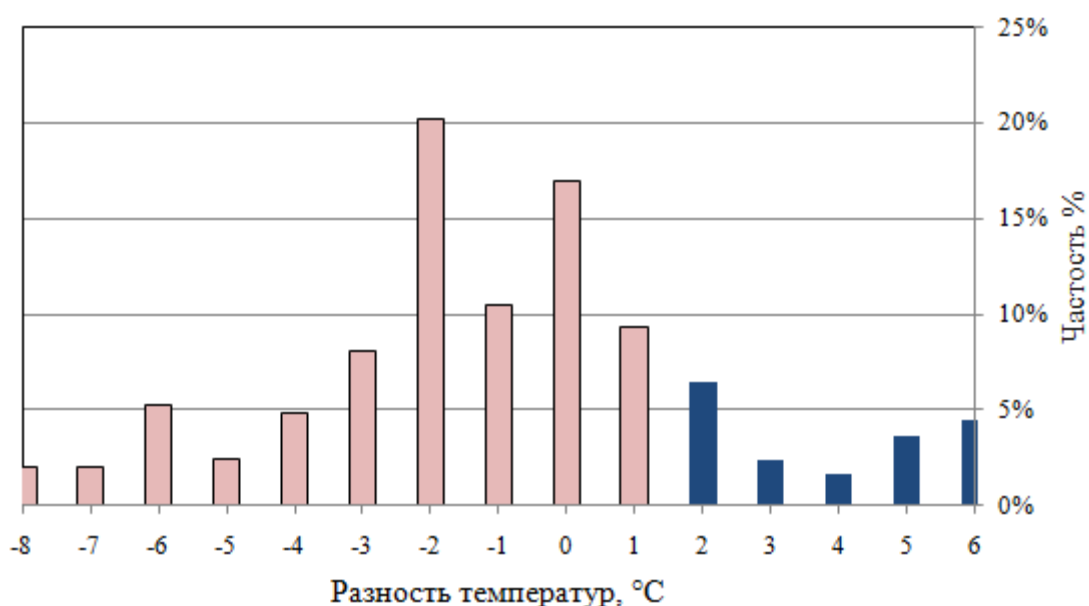


Рисунок 4.14 – Распределение разности между температурами воздуха в кагате сахарной свеклы и приточным воздухом за октябрь

Таким образом, уставка разницы температур между кагатом сахарной свеклы и воздухом из окружающей среды, при которой включается система активной вентиляции, равна 2°C .

На рисунке 4.15 представлен график снижения температуры сахарной свеклы в процессе вентилирования. При уставке 2°C наиболее интенсивное снижение температуры наблюдалось в течение первых 45 минут работы системы активной вентиляции.

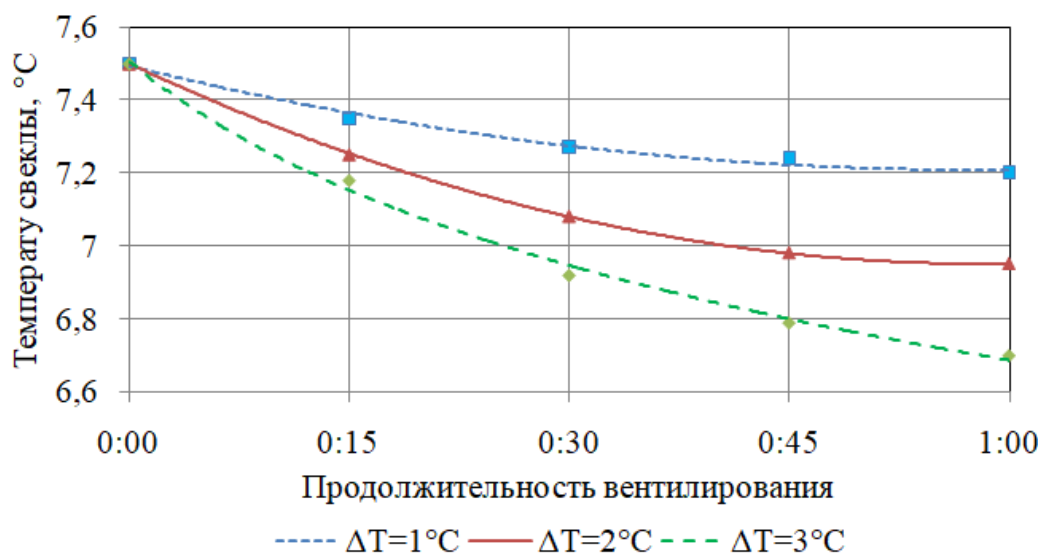


Рисунок 4.15 – Снижение температуры сахарной свеклы в процессе вентилирования

Исходя из данных, приведенных на рисунке 4.15 допустимая разность влагосодержания между воздухом из окружающей среды и воздухом в межкорневом пространстве кагата на момент включения системы активной вентиляции равнялась 3 гр/кг.

Определение значения уставок по времени для циклического режима приведено в п. 4.1. Уставки для системы управления работой активной вентиляцией кагата сахарной свеклы представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Значения уставок режимов работы системы активной вентиляции

Режим работы	Интервал периода хранения	ΔT , $^{\circ}\text{C}$	T_{min} , $^{\circ}\text{C}$	Δd , гр/кг	τ_{np} , час	$\tau_{раб}$, час
Поддержание	1...31	2	-3	3	–	–
Охлаждение	32...72				–	–
Циклический	73...110				72	5

Продолжительность работы каждого из режимов определено на основании анализа статистических данных об изменении температуры окружающего воздуха в период хранения сахарной свеклы по декадам. По результатам анализа температур окружающего воздуха с 2019-2021 гг. для Рыльского района Курской области было установлено, что для работы САВ в режиме поддержания оптимальным является период с 1 по 31 октября, в режиме охлаждения – с 1 октября по 10 декабря, в циклическом – с 11 декабря до конца хранения.

4.2.1. Определение поправочных коэффициентов для математической модели процесса охлаждения кагата сахарной свеклы

На рисунке 4.16 представлены графики с наложенными расчетными траекториями, полученными по результатам проведенного вычислительного эксперимента, с учетом продолжительности работы системы активной вентиляции 900–3600 сек, и экспериментальными значениями изменения температуры корнеплодов в насыпи сахарной свеклы.

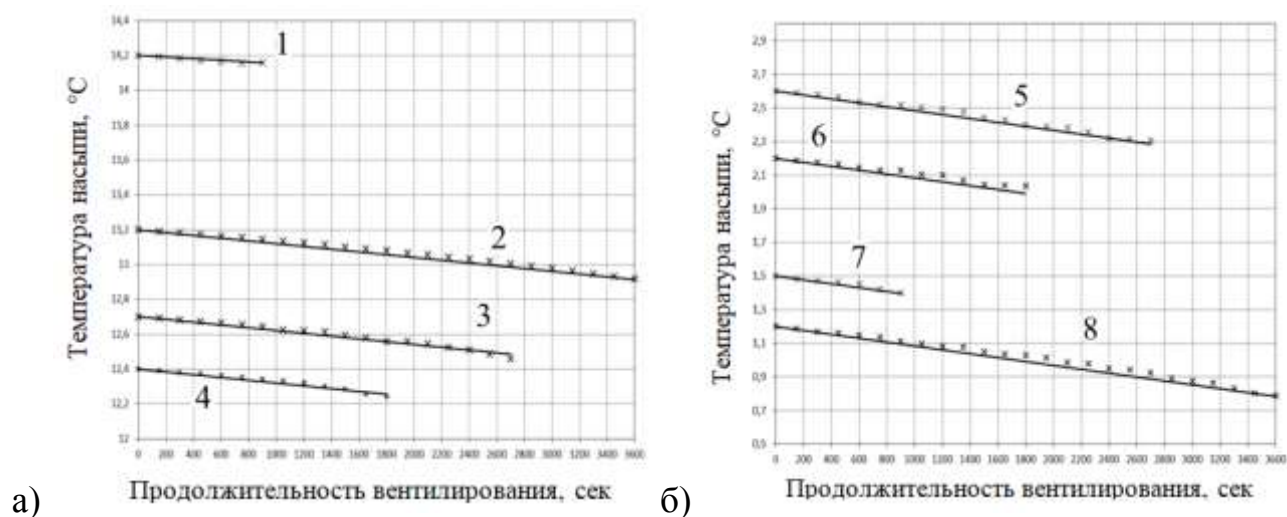


Рисунок 4.16 – Изменение температуры свеклы в зависимости от продолжительности работы системы активной вентиляции: а – в диапазоне температур 12...14°C; б – в диапазоне температур 0...3°C

При построении графиков на рисунке 4.16 использовались данные, которые приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.2 – Значение параметров, используемых при построении графиков

Номер графика	Температура окружающего воздуха, °С	Влажность окружающего воздуха, гр/кг	Влажность в межкорневом пространстве кагата, гр/кг
1	0	3,9	4,83
2	-0,1	3,0	4,79
3	-1,9	2,8	4,34
4	-1,4	3,6	4,18
5	12,9	7,4	9,13
6	11,2	5,5	8,67
7	10,5	7,9	9,24
8	10,1	7,0	9,13

На рисунке 4.17 представлен график потери свекломассы в процессе вентилирования.

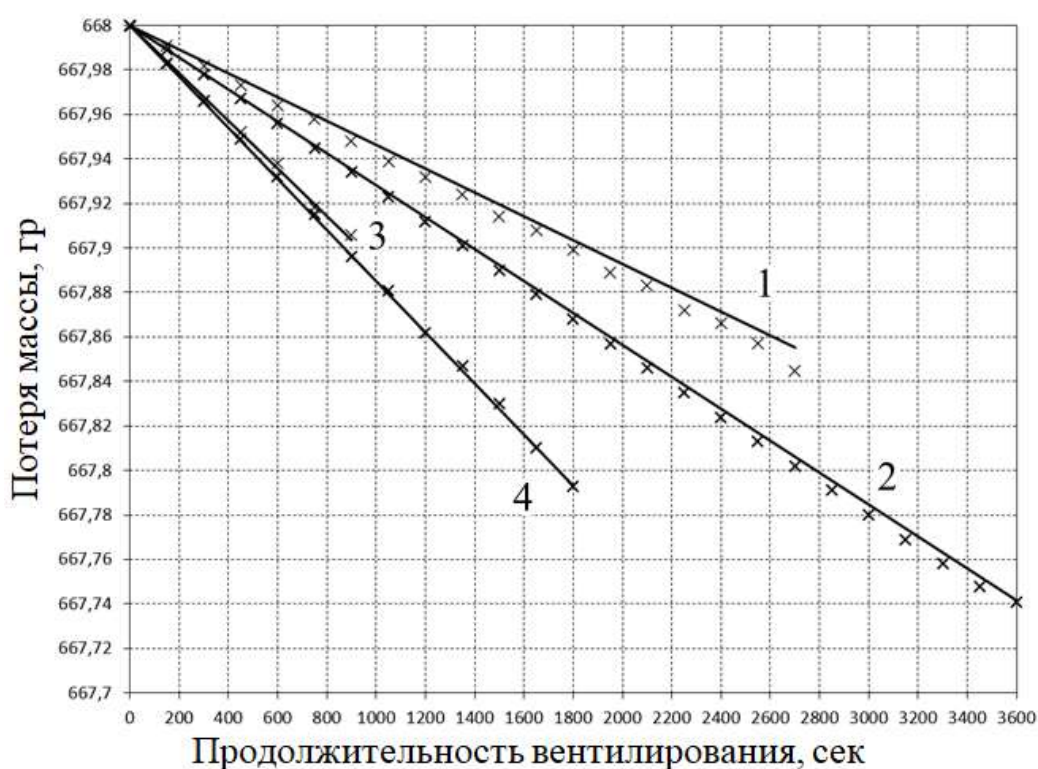


Рисунок 4.17 – Потери свекломассы в зависимости от продолжительности работы системы активной вентиляции

При построении графиков на рисунке 4.17 использовались данные, которые приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Значение параметров, используемых при построении графиков

Номер графика	Начальная температура в насыпи, °С	Влагосодержание в межкорневом пространстве кагата, гр/кг	Температура окружающего воздуха, °С	Влагосодержание окружающего воздуха, гр/кг	Конечная температура в насыпи, °С
1	1,5	4,34	-1,9	2,8	1,4
2	2,2	4,79	-0,1	3,0	2,035
3	2,6	4,83	0	3,9	2,307
4	1,2	4,18	-1,4	3,6	0,789

Сходимость расчетных и экспериментальных данных следует расценивать как вполне удовлетворительную; расхождение составляет не более 6-8%, что находится в пределах погрешности эксперимента.

При применении данной модели для определения потерь массы в процессе вентилирования кагата сахарной свеклы было установлено, что погрешность составляет 16%. Связано это с тем, что модель не учитывает изменение параметров приточного воздуха при прохождении через нижние слои в кагате.

При введении поправочного коэффициента $k=4,86$ уравнение приобретает вид:

$$M_{cv} = (M_{сух.в-ва} + (M_{cv}^k - M_{сух.в-ва}) + 4,86 \cdot \delta j F_{cv} (d_{в}^k - d_{в}^o)(M_{в}^o - M_{в.н.}^o)) / \tau \quad (5.4)$$

После введения поправочного коэффициента расхождение между экспериментальными данными и математической моделью составила 9%. На рисунке 4.18 представлен график изменения потерь свекломассы в вентилируемом кагате сахарной свеклы.

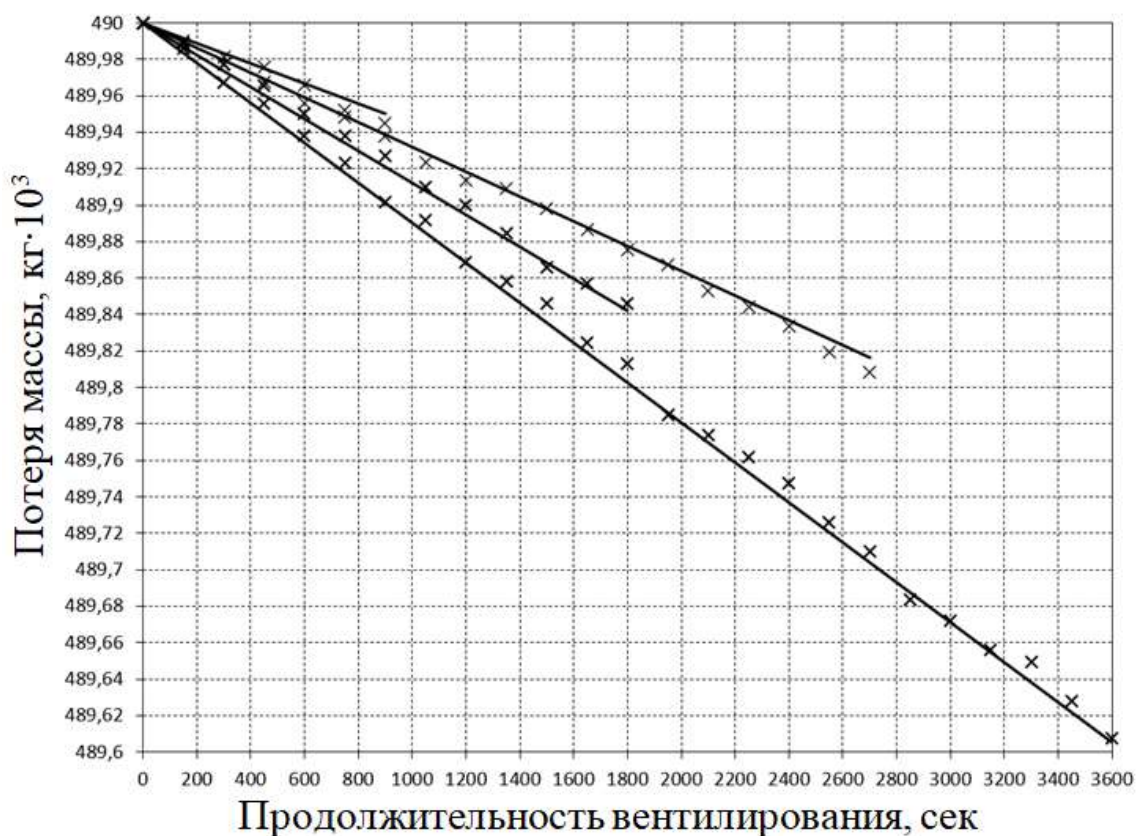


Рисунок 4.18 – Изменение массы в кагате сахарной свеклы при работе системы активной вентиляции: точки – экспериментальные данные; линии – расчетные

Применение поправочного коэффициента позволило понизить погрешность математической модели до 9-10%.

4.3. Результаты применения алгоритма для определения очередности разгрузки кагатов в переработку в зависимости от продолжительности вентиляции и потери массы кагата в период хранения

Сравнение алгоритмов очередности разгрузки в переработку проходило на 6 кагатах сахарной свеклы, оснащенных системой активной вентиляции, результаты представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Сравнение алгоритмов отгрузки кагатов в переработку

	Кагат №1	Кагат №2	Кагат №3	Кагат №4	Кагат №5	Кагат №6
Продолжительность вентилирования, час	121	112	125	116	123	105
Потеря свекломассы от вентилирования, т	7,8	8,5	7,6	8,2	8,0	7,3
Сумма	943,8	952,0	950,0	951,2	984,0	766,5
Очередность отгрузки по дате формирования	1	2	3	4	5	6
Очередность отгрузки в зависимости от продолжительности работы и потерь свекломассы	5	2	3	4	1	6

Продолжительность работы системы активной вентиляции была получена по результатам анализа журнала событий в программном обеспечении АГХ/САВК-ЕСMAS-1.0, а расчет потерь свекломассы в процессе вентилирования рассчитывали по результатам разработанной математической модели.

При отгрузке по дате формирования не учитывались продолжительность вентилирования и потери свекломассы, которые являются косвенными признаками, характеризующими лежкость корнеплодов.

4.4. Выводы по главе

На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В октябре условия для охлаждения кагата сахарной свеклы ограничены высокими температурами окружающего воздуха. Продолжительность температурного диапазона в $+10...+20^{\circ}\text{C}$ составляет в среднем 12 суток, в диапазоне $0...+10^{\circ}\text{C}$ порядка 18 суток. Каждая из вентиляционных ветвей проработала 22 часа, однако, в условиях дефицита электроэнергии, когда на 1 работающий вентилятор приходится 4 в простое, анализ производился для 112 часов доступных для работы вентиляции. В октябре система активной вентиляции работает в режиме поддержания для предотвращения роста температуры в насыпи

до наступления благоприятных условий для охлаждения. Работа в данном режиме обеспечивается по уставке разницы температур между кагатом сахарной свеклы и воздухом из окружающей среды.

2. В ноябре наиболее благоприятные погодно-климатические условия для работы системы активной вентиляции в режиме охлаждения кагата сахарной свеклы: в первой декаде ноября температуры окружающего воздуха преимущественно варьировались в диапазоне $1...8^{\circ}\text{C}$, во второй декаде – $-3...-2^{\circ}\text{C}$, в третьей декаде – $-3...1^{\circ}\text{C}$, что позволило снизить температуру в кагате до 2°C . Режим охлаждения характеризуется следующими уставками: разность температур между кагатом сахарной свеклы и воздухом из окружающей среды в режиме охлаждения; максимально допустимая разность влагосодержания между воздухом из окружающей среды и воздухом в межкорневом пространстве кагата отмечена на момент включения системы активной вентиляции.

3. Период хранения с декабря по январь характеризуется хранением кагатов сахарной свеклы температурном диапазоне $0...+5^{\circ}\text{C}$. Однако в процессе хранения в кагате образуются локальные очаги самосогревания. Определение места локального очага самосогревания в насыпи корнеплодов сахарной свеклы не всегда представляется возможным. В ограниченных условиях по воздействию на локальный очаг самосогревания система активной вентиляции работает в циклическом режиме, который характеризуется помимо уставок по разности температур и влагосодержанию еще уставками, задающими цикличность работы системы активной вентиляции такими как: продолжительность периода возрастания температуры в локальном очаге самосогревания, а также продолжительностью работы вентилятора в течение одного периода.

4. Определены значения уставок, характеризующих три режима работы системы активной вентиляции (поддержания, охлаждения и циклический):

– разница температур между кагатом сахарной свеклы и воздухом из окружающей среды составляет 2°C ;

– максимально допустимая разность влагосодержания между воздухом из окружающей среды и воздухом в межкорневом пространстве кагата на момент включения системы активной вентиляции составила 3 гр/кг;

– продолжительность периода возрастания температуры в локальном очаге самосогревания 72 часа;

– продолжительность работы вентилятора в течение одного периода 5 часов.

5. Определены поправочные коэффициенты для математической модели описания тепломассообменных процессов при охлаждении кагата сахарной свеклы

6. По результатам экспериментальных данных проведено сопоставление метода очередности разгрузки кагатов в переработку по факту формирования с алгоритмом, учитывающим зависимость от продолжительности вентилирования и потери массы кагата в период хранения. В разработанном алгоритме очередности разгрузки кагатов потеря массы определялась по результатам расчетов с помощью разработанной математической модели. Установлено, что разработанный алгоритм позволяет определить наибольшие потери.

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ КАГАТОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Источником экономического эффекта от внедрения предлагаемой технологии длительного вентилируемого хранения корнеплодов в заводских кагатах являются:

- снижение потерь свекломассы и сахарозы при хранении корнеплодов;
- дополнительный доход от увеличения выхода сахара из 1 т корнеплодов в поздние сроки сезона переработки;
- увеличение продолжительности работы сахарного завода;
- дополнительный доход от производства сахара более высокого качества в декабре-январе (ТС 2);
- снижение себестоимости производства сахара за счет распределения затрат на больший объем готовой продукции.

Экономическая эффективность системы вентиляции кагатов и её управления складывается из эффективности возделывания сахарной свеклы в свеклосеющих хозяйствах за счет получения дополнительного валового сбора корнеплодов благодаря увеличению вегетационного срока, способствующего приросту массы корнеплодов, у сахарных заводов от снижения прямых эксплуатационных затрат за счет увеличения длительности работы при переработки качественных корнеплодов, длительно хранящихся в вентилируемых кагатах.

5.1. Методика оценки эффективности возделывания сахарной свеклы

Урожайность корнеплодов определялась по формуле:

$$M = N \cdot m_{\text{свеклы}}, \quad Y = Nm \quad (5.1)$$

где N – густота насаждений растений на 1 га к моменту уборки, шт./га;

$m_{\text{свеклы}}$ – средняя масса корнеплода на момент уборки, кг.

Выручка от реализации корнеплодов рассчитывалась по формуле:

$$B = N \cdot m \cdot C_{\text{свеклы}}, \quad (5.2)$$

где $C_{\text{свеклы}}$ - закупочная цена корнеплодов, руб./т

Цена 1 кг корнеплодов сахарной свеклы определяется по выражению:

$$C_{\text{свеклы}} = D_{\text{факт}} / D_{\text{база}} \cdot C_{\text{сахар}} \cdot k \quad (5.3)$$

где $D_{\text{факт}}$ – фактическая дигестия поступающих на завод корнеплодов, %;

$D_{\text{база}}$ – дигестия базовая – усредненная величина по ЦФО, %;

$C_{\text{сахар}}$ – оптовая цена сахара в ЦФО, руб.;

k – доля от текущей цены за 1 кг сахара. Данная величина колеблется в диапазоне 0,07...0,09. В расчете использовалось значение 0,09.

Оптовая цена на сахар в расчетах принята из графика цен портала sugar.ru. Данные о фактической дигестии сахарной свеклы получены из аналитических справок «О росте корня сахарной свеклы на пробных участках в свеклосеющих хозяйствах» СоюзРосСахара [110, 111].

Прибыль или убыток от реализации корнеплодов сахарной свеклы свеклосдатчиками определена по формуле:

$$П = У \cdot C_{\text{свеклы}} - З \quad (5.4)$$

где $З$ - затраты на возделывание 1 гектара сахарной свеклы, тыс. руб.

Урожайность $У$, необходимая для достижения точки безубыточности возделывания сахарной свеклы в расчете на 1 гектар, рассчитывалась по формуле:

$$У = З / C_{\text{свеклы}} \quad (5.5)$$

$З$ – общие затраты на возделывание сахарной свеклы на 1 гектаре, руб.

Затраты на возделывание 1 гектара сахарной свеклы в свеклосеющих хозяйствах в 2021 году были приняты на основании данных СоюзРосСахара в размере 110 тыс. руб., а 2022 году из-за роста цен на материально-технические расходы ожидается увеличение затрат до 125 тыс. руб.

Рентабельность возделывания сахарной свеклы определена по формуле:

$$R = \frac{У \cdot Ц_{свежлы} - З}{З} \cdot 100\% \quad (5.6)$$

5.2. Методика определения прямых эксплуатационных затрат при применении оборудования системы вентиляции кагатов

Прямые эксплуатационные затраты при применении оборудования системы вентиляции кагатов определялись по методике, изложенной в ГОСТ 34393-2018 и включали следующие статьи:

- заработная плата обслуживающего персонала с отчислениями на социальные нужды,
- амортизационные отчисления оборудования;
- затраты на межсезонный и текущий ремонт;
- стоимость потребленной электроэнергии.

Для обслуживания предлагаемого оборудования системы вентиляции кагатов для круглосуточной работы требуется 4 человека с оплатой труда и отчислениями на социальные нужды в размере 1,79 млн. руб. за год.

Расходы на электроэнергию зависят от применяемой модернизации оборудования и совершенствования алгоритмов управления вентилированием и могут варьироваться от 4 до 12 кВт на одну тонну за весь период хранения. При этом верхнюю границу расходов в качестве основной величины рассматривать некорректно из-за неправильного выбора оборудования и недостаточной автоматизации процесса и несовершенство алгоритмов вентилирования.

В условиях аномально теплой осени 2019г. для обеспечения сохранности сырья с 25 сентября по 15 января потребовалось 5,8 кВт электроэнергии на одну тонну. Прогноз на сезон 2021/22г. – 4 кВт/т.

Затраты на межсезонный и текущий ремонт оборудования во многом зависят от применяемых вариантов конструктивных решений системы вентиляции. Расходные материалы на поддержание в рабочем состоянии

вентиляционных установок и энергетической инфраструктуры в процессе хранения составили 4,54 руб. на одну тонну корнеплодов.

5.3. Результаты определения технико-экономических показателей эффективности применения системы вентиляции кагатов корнеплодов

5.3.1. Экономическая эффективность возделывания сахарной свеклы

На рисунке 5.1 представлен график прироста массы (сплошные линии) и сахаристости (пунктирные линии) в корнеплодах сахарной свеклы.

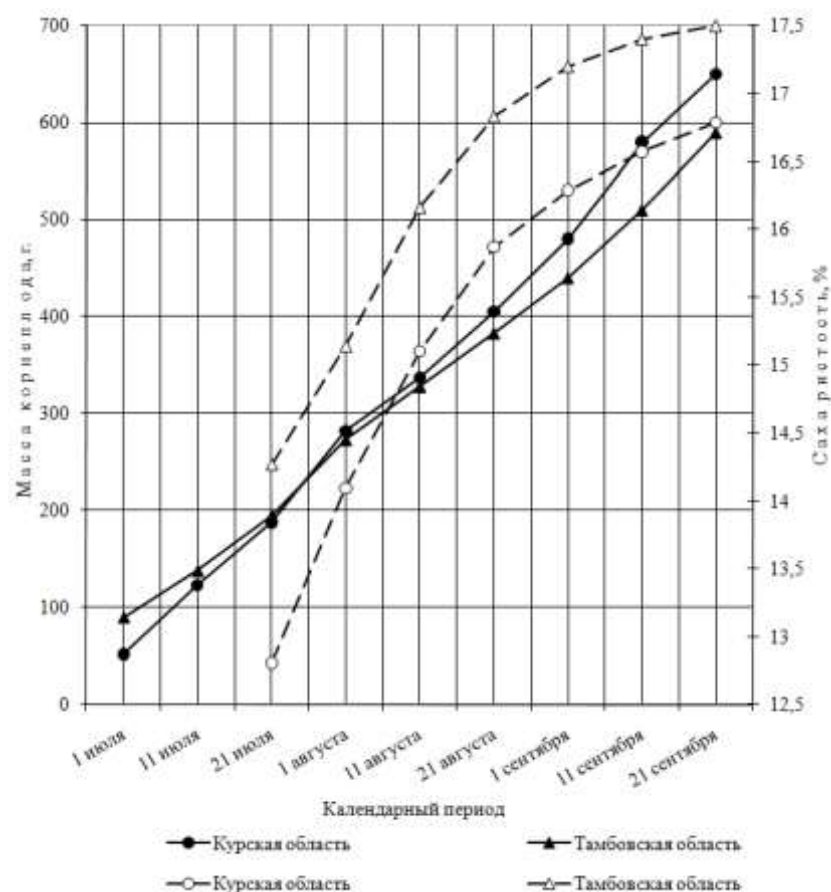


Рисунок 5.1 – График прироста массы и сахаристости в корнеплодах сахарной свеклы

В таблицах 5.1 и 5.2 приведена экономическая эффективность возделывания сахарной свеклы в свеклосеющих хозяйствах в расчетные периоды в зависимости

сроков начала уборки и принятых плановых затрат удельных денежных затрат в расчете на 1 га.

Таблица 5.1 – Экономическая эффективность возделывания сахарной свеклы в 2021 году

Наименование	Начало уборки сахарной свеклы		
	15 августа	1 сентября	25 сентября
Базовая дигестия корнеплодов по ЦФО, %	16,86	17,35	17,91
Фактическая дигестия корнеплодов, %	16,26	16,83	17,52
Цена сахара, руб./кг	42,3	44,3	45,3
Цена корнеплодов, руб./т	3 671	3 867	3 988
Затраты на возделывание свеклы, руб./га	110 000		
Урожайность для достижения точки безубыточности, т/га	33,1—35,9		
Средняя масса корнеплода на момент уборки, г	358	413	485
Урожайность, т/га	34,7	40,1	47,1
Рентабельность, %	-3,5	17,4	42,3
Прибыль/убыток 1 га, руб.	-3 852,7	19 202,2	46 513,3

Таблица 5.2 – Ожидаемая эффективность возделывания сахарной свеклы в сезоне 2022-2023гг.

Наименование	Начало уборки сахарной свеклы		
	15 августа	1 сентября	25 сентября
Базовая дигестия корнеплодов по ЦФО, %	16,86	17,35	17,91
Фактическая дигестия корнеплодов, %	16,26	16,83	17,52
Цена сахара, руб./кг	42,3	44,3	45,3
Цена корнеплодов, руб./т	3 671	3 867	3 988
Затраты на возделывание, руб./га	125000		
Урожайность для достижения точки безубыточности, т/га	37,6—38,5		
Средняя масса корнеплода на момент уборки, г	358	413	485
Урожайность, т/га	34,7	40,1	47,1
Рентабельность, %	15,1	3,4	25,2
Прибыль/убыток, руб./га	-18852,7	4202,2	31513,3

Анализ таблиц 5.1 и 5.2 показал, что смещение начала уборки сахарной свеклы с 15 августа на 25 сентября способствует увеличению средней массы корнеплода на 227 г и урожайности на 10 т/га, на 1,26% дигестии и на 317 руб./т цены корнеплодов. При принятых затратах свеклосеющих хозяйств на возделывание сахарной свеклы определена урожайность корнеплодов для достижения безубыточности: при затратах на возделывание в 100 тыс. рублей урожайность должна быть не менее 33,1-35,9 т/га, а при увеличении затрат на 25% урожайность должна быть увеличена на 2,6-4,5 т/га. При этом рентабельность возделывания сахарной свеклы в зависимости от сроков начала уборки при затратах в 100 тыс. руб./га варьирует от -3,5% до 42,3% и от убыточности более 3,8 тыс. руб./т до прибыли в 46,5 тыс. руб./т соответственно, при затратах в 125 тыс. руб./га показатели рентабельности и прибыли(убытка) варьируют соответственно от 15,1% до 25,2% и от 18,85 тыс. руб. до 31,5 тыс. руб./га.

5.3.2. Инвестиции в вентилируемое хранение корнеплодов и прямые эксплуатационные затраты при применении оборудования системы вентиляции кагатов

Инвестиции в вентилируемое хранение корнеплодов на площадке сахарного завода, определяются затратами на создание необходимой энергетической инфраструктуры, приобретение и монтаж вентиляционного оборудования.

В зависимости от комплектации и варианта исполнения стоимость комплекта оборудования для вентиляции в расчете на одну тонну корнеплодов в ценах 2019 г. варьировала от 534,2 руб. до 1483,5 руб. При этом оборудование разных производителей отличается по конструктивным особенностям вентиляционных систем и по способам автоматизированного управления. В комплектациях оборудования, устанавливаемого на существующие заводские площадки хранения, используются простые алгоритмы управления вентилированием кагат и проводная форма связи.

Комплектации оборудования, построенные на принципах интернета вещей, дублирования аварийных объектов рекомендуется применять только на вновь построенных кагатных полях с твердым покрытием площадок хранения.

За величину инвестиционных вложений в оборудование длительного вентилируемого хранения кагатов была принята фактическая стоимость оборудования применяемое во время исследований на площадке сахарного завода составила 44,38 млн. руб., или 887,66 руб. в расчете на 1 тонну корнеплодов.

Для электроснабжения кагатного поля вместимостью 100 000 тонн хранения корнеплодов требуется инвестиции в 7,02 млн. руб. в ценах 2019 года, а в расчете на одну тонну корнеплодов - 70,22 руб.

Инвестиционные вложения на приобретение вентиляционного оборудования и создание энергетической инфраструктуры кагатного поля составили 94,8 млн. руб. или 948,1 руб. в расчете на 1 тонну корнеплодов.

В суммарные инвестиции на оборудование кагатного поля системой вентиляцией необходимо включать затраты на приобретение буртоукладочных машин, используемых при формировании кагатов. Для вновь построенных кагатных полей используют буртоукладочные машины повышенной производительности 480-720 тонн-час (суперБУМ).

В таблице 5.3 приведены результаты расчетов по определению удельных прямых эксплуатационных затрат в расчете на 1 т корнеплодов на эксплуатацию оборудования системы вентиляции кагат.

Таблица 5.3 – Удельные прямые затраты на эксплуатацию оборудования системы вентиляции кагата

Статья затрат	Руб.	Доля, %
Оплата труда обслуживающего персонала	35,75	17
Амортизационные отчисления оборудования	126,8	62
Стоимость потребленной электроэнергии	39,44	19
Затраты на межсезонный и текущий ремонт	4,54	2
Итого:	206,53	100

Внедрение технологии длительного вентилируемого хранения по нашим расчетам потребует удельных прямых затрат в расчете на 1 тонну корнеплодов в размере 206,53 руб. (таблица 5.3). В структуре этих затрат на долю амортизационных отчислений приходится 62%, на потребленную электроэнергию – 19%, оплату труда – 17% и ремонт-2%.

Кроме того, технология длительного вентилируемого хранения кагатов с предлагаемой системой управления позволит повысить технологический эффект переработки корнеплодов при производстве сахара в поздние сроки работы сахарного завода:

- обеспечение сохранности корнеплодов с момента уборки сахарной свеклы до их переработки в декабре-январе;
- снижение климатических рисков (распутица и заморозки);
- увеличение выхода сахара в поздние сроки сезона переработки на 30 кг при расчете на 1 т сахарной свеклы (с 11,7% до 14,7%) за счет лучшей сохранности корнеплодов;
- производство сахара более высокого качества в декабре-январе (ТС 2);
- сохранение доброкачественности свекловичного сока на уровне 88% в поздние сроки работы сахарного завода;
- увеличение продолжительности работы сахарного завода на 20-40 суток.

Дополнительный доход от увеличения выхода сахара в сравнении с базовым уровнем приведен в таблице 5.4. В качестве базового уровня был принят выход сахара из корнеплодов, хранившихся в кагатах без вентиляции в декабре.

Таблица 5.4 – Экономические результаты производства сахара на заводе в январе из 1 т корнеплодов, хранящихся в полевых и вентилируемых кагатах

Показатели	Способ хранения корнеплодов		
	Кагаты без активной вентиляции	70% вентилируемые кагаты и 30% невентилируемые	Вентилируемые кагаты
Выход сахара, кг	117	135	147
Получено дополнительно сахара, кг	–	18	30
Стоимость полученного дополнительного количества сахара, руб.	-	513	855

В ходе проведения исследований было установлено, что прирост готовой продукции из вентилируемых кагатов составил 30 кг сахара с одной тонны корнеплодов сахарной свеклы, который позволит окупить вложенные инвестиции и компенсировать прямые эксплуатационные затраты сахарного завода.

Стоимость дополнительно произведенных 30 кг сахара при цене с учетом оптовой цены на сахар 28,50 руб. (по состоянию на 29.07.2020г.), полученных при переработке 1 тонны корнеплодов в январе месяце, и хранящейся в кагатах по предлагаемой технологии, составила 855 руб.

При этом срок окупаемости затрат на оборудование системы вентиляции кагатов с предлагаемой системой управления работой системы, включая инвестиционные, прямые затраты не превысил двух лет. При этом за первый год эксплуатации вентиляционного оборудования компенсировано инвестиций за счет амортизации 639,82 руб. в расчете на 1 тонну корнеплодов, а остаток подлежащий к возврату, составил 308,30 руб./т. Во второй год эксплуатации системы инвестиции компенсированы в полном объеме и получена прибыль в сумме 331,52 руб./т.

5.4. Выводы по главе

Внедрение технологии длительного хранения корнеплодов в вентилируемых кагатах с предлагаемой системой управления позволит свеклосеющим хозяйствам сместить срок начала уборки сахарной свеклы с 15 августа на 25 сентября, что способствует увеличению средней массы корнеплода на 227 г и урожайности на 10 т/га, на 1,26% дигестии и на 317 руб./т цены корнеплодов. При этом рентабельность возделывания сахарной свеклы в зависимости от сроков начала уборки и при затратах хозяйств в 100 и 125 тыс. руб./га составит 42,3% и 25,2% и позволит получить прибыль в размере 46,5 и 31,5 тыс. руб./т соответственно. Стоимость дополнительно произведенных 30 кг сахара, полученных при переработке 1 тонны корнеплодов, хранящихся в кагатах по предлагаемой технологии в январе месяце, составила 855 руб.

При этом удельные прямые эксплуатационные затраты сахарного завода на переработку 1 тонны корнеплодов составили 206,53 руб. В структуре этих затрат на долю амортизационных отчислений приходится 62%, на потребленную электроэнергию – 19%, оплату труда – 17% и ремонт – 2%. Срок окупаемости затрат на оборудование вентилируемого кагата с предлагаемой системой управления, включая инвестиционные, прямые затраты не превысил двух лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из-за низкой эффективности хранения в полевых кагатах, а также сопряженными рисками в виде распутицы и заморозков происходит смещение сроков начала пуска завода с рекомендуемого отраслевыми нормами 25 сентября на конец августа, из-за чего сельхозтоваропроизводители несут убытки.

1. На основании выполненного анализа существующих способов и технических средств длительного хранения корнеплодов сахарной свеклы определены направления совершенствования работы системы активной вентиляции кагатов. С целью снижения потерь свекломассы до 1,95-2,7 % необходимо организовать длительное хранение корнеплодов в больших кагатах с системой активной вентиляции, оснащенных высокоэффективным оборудованием управляемым современными программно-аппаратными комплексами. Выявлены отличия теоретического обоснования тепловлажностных процессов происходящих в кагатах при открытом хранении на площадках сахарного завода от хранения продукции в закрытых хранилищах с ограждающими конструкциями.

2. На основании проведенных теоретических исследований:

- получены аналитические выражения теплового и материального балансов в кагате в процессе вентилирования и определены поправочные коэффициенты для математической модели описания тепломассообменных процессов при охлаждении кагата;

- установлено послойное распределение корнеплодов при хранении в кагатах: поверхностный, промежуточный и корректирующий слои, и зона сохранности. Поверхностный слой толщиной 0,2-0,3 м и промежуточный слой - 0,5-0,7 м, корректирующий слой - 1,0-1,5 м. Наиболее благоприятные условия для хранения корнеплодов в кагатах обеспечиваются в зоне сохранности;

- обоснованы размеры кагата (высота, ширина), формируемого буртоукладочной машиной. Определены: длина воздухораспределителя и его расположение в кагате, количество вентиляционных ветвей и расстояние между

ними, форма поперечного сечения и площадь воздуховыпускных отверстий, расход воздуха для одной вентиляционной ветви;

- обоснованы конструктивные параметры системы активной вентиляции с учетом размеров и размещения кагат на площадке и характеристик технологических машин и оборудования;

- определены режимы работы системы активной вентиляции: поддержания текущей температуры, охлаждения для снижения температуры в кагате до $-1...+5^{\circ}\text{C}$ и циклический включаемый периодически с определенной продолжительностью для поддержания температуры хранения.

- разработан алгоритм управления активной вентиляцией кагата с учетом изменяющихся погодных-климатических условий и продолжительности хранения корнеплодов.

3. На основании проведенных экспериментальных исследований:

- определены способы, и фактические сроки хранения корнеплодов в кагатах в зависимости от погодных-климатических условий;

- определены профили распределения температур и их диапазоны по высоте кагата в процессе хранения корнеплодов: оптимальный установлен в пределах $+1...+3^{\circ}\text{C}$, предложено расширить верхнюю границу температурного диапазона до $+5^{\circ}\text{C}$, а нижнюю границу до -1°C ;

- обоснован набор уставок, характеризующий режимы работы системы активной вентиляции (поддержание, охлаждение и циклический) и определены их значения: разница температур между кагатом корнеплодов и воздухом из окружающей среды составляет 2°C ; максимально допустимая разность влагосодержания между воздухом из окружающей среды и воздухом в межкорневом пространстве кагата на момент включения системы активной вентиляции составляет 3 г/кг; продолжительность периода возрастания температуры в локальном очаге самосогревания 72 часа; продолжительностью работы вентилятора в течение одного периода 5 часов;

- усовершенствовано программное обеспечение управления системой активной вентиляции кагатов с учетом их количества на площадке и режимов

работы при изменяющихся погодно-климатических условиях в период длительного хранения корнеплодов;

- разработан алгоритм очередности разгрузки кагатов в переработку в зависимости от продолжительности вентилирования и потери массы кагата в период хранения.

4. Внедрение технологии длительного вентилируемого хранения кагатов сахарной свеклы с предлагаемой системой управления позволит свеклосеющим хозяйствам сместить срок начала уборки сахарной свеклы с 15 августа на 25 сентября, что поспособствует увеличению средней массы корнеплода на 227 гр и урожайности на 10 т/га, на 1,26% дигестии и на 317 руб./т цены корнеплодов. Удельные прямые эксплуатационные затраты сахарного завода на переработку 1 тонны корнеплодов составили 206,53 руб. Срок окупаемости затрат на оборудование вентилируемого кагата с предлагаемой системой управления, включая инвестиционные, прямые затраты не превысил двух лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов, Д. М. Изучение температурного режима в кагате сахарной свёклы под полимерным укрытием с антимикробными свойствами / Д. М. Аксенов, Н. М. Сапронов, А. Н. Морозов // 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.
2. Активное вентилирование сахарной свеклы при хранении: М. – ЦИНТИ пищепром, 1969. – 65 с.
3. Алямовский, И. Г. Обобщённые данные для расчёта теплообмена при охлаждении и хранении картофеля / И. Г. Алямовский // Консервная и овощесушильная промышленность. – 1973 – №5. - С. 28-30.
4. Апасов, И. В. Комплексная оценка гибридов сахарной свеклы в период вегетации послеуборочного хранения / И. В. Апасов, И. И. Бартенев, Л. Н. Путилина, Г. А. Селиванова // Земледелие. – 2013. – №4. – С.43-46.
5. Апасов, И. В. Основные направления повышения эффективности свеклосахарного комплекса России в современных условиях // Сахарная свекла. – 2012. – №3. – С. 6–9.
6. Апасов, И. В. Сортовой состав сахарной свеклы и его влияние на эффективность свеклосахарного производств России / И. В. Апасов, А. М. Парфенов, Н. В. Безлер // Сахарная свекла. – 2004. – № 1. – С. 2–4.
7. Балашов, А. В. Обоснование потребности свеклоуборочных комбайнов при различных способах приёма корнеплодов сахарным заводом / А. В. Балашов, С. М. Кольцов // Материалы конференции повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции. - Тамбов. – 2021. – С. 23–26.
8. Бодров, В. И. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений / В. И. Бодров, М. В. Бодров, Е. Г. Ионычев, М. Н. Кучеренко. – Н. Новгород; ННГАСУ, 2008. – 623 с.

9. Бодров, В. И. Хранение картофеля и овощей / В. И. Бодров // Горький: Волго-Вятское изд.-во, 1985. – 224 с.
10. Бодров, В. И. Тепломассообмен в биологически активных системах (теория сушки и хранения) / В. И. Бодров, М. В. Бодров. – Н. Новгород; ННГАСУ, 2013. – 145 с.
11. Бодров, В. И. Анализ влияния способа продувки на тепловой режим насыпи картофеля при активной вентиляции / В. И. Бодров, В. Г. Трошин // Вентиляция и кондиционирование воздуха : межвуз. сб. науч. тр. Риж. политехн. ин-т. - Рига. – 1980. – С. 24–29.
12. Бойко, В.А. Гидравлическое сопротивление кагатов сахарной свеклы / В. А. Бойко // Активное вентилирование сахарной свеклы при хранении // Материалы конференции. – Москва. – 1969. – С. 30–36.
13. Бородянский, Н. А. Вентиляция кагатов сахарной свёклы / Н. А. Бородянский. – М.: Издательство «Пищевая промышленность», 1972. – 163 с.
14. Будаговский, Н.Д. От чего зависит сохранность маточных корнеплодов / Н.Д. Будаговский, Н.Г. Гизбуллин, И.Ф. Чередниченко, М.Ф. Федоряка // Сахарная свекла. – 1991. – №5. – С. 26–28.
15. Буртоукладочная машина БУМ 700 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// www.youtube.com/watch?v=nVKE5v-GVDM](https://www.youtube.com/watch?v=nVKE5v-GVDM) (дата обращения: 05.06.2020).
16. Буртоукладочные машины и тракторные погрузчики для сахарной свеклы / В. А. Новиков, Е. С. Соколов, Н. З. Гуппер, В. А. Григоренко. – Москва, 1977. – 75 с.
17. Буртоукладочные машины МБУ-650. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oaotk.ru/mbu-650.html> (дата обращения: 05.06.2020).
18. Буртоукладчик КОМПЛЕКС 65М2Б3К [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kmbp.com.ua/ru/produktsiya/resheniya-dlya-sakharnoj-promyshlennosti/burtoukladchik-kompleks-65m2b3k> (Дата обращения 25.04.2021).
19. Бухтояров, Д.Н. О качестве корнеплодов / Д.Н. Бухтояров // Сахарная свекла. – 1992. – №4. – С. 40–42.

20. Варшавская, В. Б. Консерванты корнеплодов / В. Б. Варшавская // Сахарная свекла. – 1985. – №11. – С. 28.

21. Варшавская, В. Б. Потери сахара и изменение технологических качеств при прорастании корнеплодов сахарной свеклы во время хранения / В. Б. Варшавская, Л. И. Корсун, М. З. Хелемский, И. Р. Сапожникова // Совершенствование технологии выращивания сахарной свеклы и системы земледелия в районах свеклосеяния. – Киев. - 1978. – С. 189-194.

22. Волкинд, И.Л. Гидравлическое сопротивление и распределение воздуха в сочной растительной продукции при активном вентилировании. – Труды Гипронисельпрома, 1973. – вып. V. – С. 192-201.

23. Волкинд, И.Л. Применение активной вентиляции при хранении картофеля и овощей / И. Л. Волкинд, А. С. Лобанова // ЦНИИ информации и технико-экономических исследований пищевой промышленности, 1971. – 58 с.

24. Волков, М. А. Тепло- и массообменные процессы при хранении пищевых продуктов / М. А. Волков. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 272 с.

25. Волосов, Ю.В. Удельный расход воздуха и потери веса картофеля при хранении в условиях активного вентилирования / Ю.В. Волосов // Хранение, переработка и торговля картофелем, овощами и плодами. – Киев, 1969. – С. 16-18.

26. Вострухин, Н.П. Сахарная свекла – качество корнеплодов и выход сахара / Н. П. Вострухин. – Минск, 1997. – 149 с.

27. Газиева, Н.И. Как защитить посадочный материал в кагатах от гнили / Н. И. Газиева, Е. Н. Удовидченко // Сахарная свекла. – 1996. – №10. – С. 14–15.

28. Гинзбург, А.С. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов / А.С. Гинзбург, М.А. Громов. – М.: Агромиздат, 1987. – 272 С.

29. Гирнык, Н. Л. Математическое описание тепло- и влагообменных процессов в овощехранилищах / Н. Л. Гирнык // Механизация и электрификация соц.сельского хозяйства. – 1974. – №5. – С. 42–44.

30. Горбунов, Н. Н. Сохранность травмированных и подвяленных корнеплодов / Н. Н. Горбунов // Сахарная свекла. – 1989. – №3. – С. 35–36.

31. Горбунов, Н. Н. Хранение сахарной свеклы на поле и на заводе / Н. Н. Горбунов, А. В. Пивоваров. - М.: Пищ. Промышленность, 1977. –87 с.
32. ГОСТ 27032-86 Машины буртоукладочные для сахарных заводов. Типы, основные параметры и размеры. - М.: Стандартиформ, 1987. - 20 с.
33. ГОСТ 34393-2018 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки М.: Стандартиформ, 2009. – 12 с.
34. Grimme (Изд.) Рекомендации по хранению картофеля. GRIMME Landmaschi-nenfabrik Gmb H & Co. KG Damme, 2000. - 49 с.
35. Громковский, А. А. Моделирование процессов хранения сахарной свеклы с учетом температурных условий / А. А. Громковский // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2004. – № 2-3 (279-280). – С. 77–80.
36. Громковский, А. А. Структурные и параметрические модели анализа и синтеза процессов функционирования сахаропроизводящего комплекса : дис. ... канд. технич. наук: 05.13.06 / Громковский Андрей Анатольевич. - Воронеж, 2000. – 166 с.
37. Дулов, М. И. Технология хранения продукции растениеводства: практикум / М. И. Дулов, А. П. Журавлев, Л. А. Журавлева // Самара: РИЦ СГСХА, 2013. – 295 с.
38. Жадан, В. З. Критерии климатического районирования страны в целях использования естественного холода в картофеле- и овощехранилищах / В. З. Жадан, Н. Н. Рослов, Л. В. Мартынова, С. И. Кулаков // Холодильная техника. – 1986. – № 6. – С. 10–13.
39. Жадан, В. З. Теоретические основы кондиционирования воздуха при хранении сочного растительного сырья / В. З. Жадан. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 238 с.
40. Жадан, В. З. Особенности влагообмена в холодильных камерах с регулируемой газовой средой / В. З. Жадан, Н. Н. Дидык // Холодильная техника и технология. – 1981. – С.103-105.

41. Завражнов, А. И. Ресурсосберегающая технология и техника производства сахарной свёклы: монография / А. И. Завражнов [и др.] – СПб. : Лань, 2019. – 164 с.

42. Инструкция по нормированию потерь свекломассы и сахара в свеклосахарном производстве. – ВНИИСП, 1989. – 90 с.

43. Инструкция по нормированию потерь свекломассы и сахара в свеклосахарном производстве: Утв. М-вом пищ. пром-сти СССР 07.09.83. – М. : ВНИИСП, 1983. – 90 с.

44. Князев, В. А. Приемка и хранение сахарной свеклы по прогрессивной технологии / В. А. Князев. - М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. – 200 с.

45. Князев, В. А. Сравнительная оценка химических препаратов, применяемых при укладке сахарной свеклы в целях уменьшения потерь при хранении / В. А. Князев, М. З. Хелемский [и др.] // Сахарная промышленность. – 1980. – №2. – С. 41–44.

46. Колошеин, Д.В. Методика расчета систем активной вентиляции на основе проведенного лабораторного эксперимента при высоте насыпи картофеля 6 метров / Д.В Колошеин, С.Н. Борычев, И.А. Успенский // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19246>. (Дата обращения 25.04.2021 г.).

47. Кольцов, С. М. Анализ существующих технических средств активной вентиляции кагатов сахарной свеклы / С. М. Кольцов, П. Д. Ястребков // Материалы Всероссийской научно-практической конференции: Инновационные подходы к разработке технологий производства, хранения и переработки продукции растениеводческого кластера // Мичуринск. – 2020. – С. 173–177.

48. Кольцов, С.М. Вентилируемое хранение свеклы на открытом грунте // Импортозамещение технологии и оборудования для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: Материалы I Всероссийской конференции с международным участием. – г. Тамбов, 24-25 мая 2019 г. – С. 389-394.

49. Кольцов, С. М. Вентилируемое хранение сырья как одно из направлений модернизации свеклосахарного производства / С. М. Кольцов, А. И. Завражнов, Р. А. Шрамко, О. Ю. Коломыцева, А. А. Завражнов // - Сахар. – 2021. – №1. - С. 46–52.

50. Кольцов, С.М. Влияние физико-химических показателей сахарной свеклы на продолжительность работы системы активной вентиляции кагатов / С. М. Кольцов, А. И. Завражнов // Материалы национальной с международным участием научно-практической конференции, посвященной 70-летию юбилею инженерного факультета ФГБОУ ВО Оренбургского ГАУ. – Оренбург, 2021. – С. 66–70.

51. Кольцов, С.М. Исследование вопроса потери свекломассы при хранении сахарной свеклы в кагате // Современная аграрная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: Материалы 73-й Международной научно-практической конференции. – Мичуринск. – 2021. – С. 152-156

52. Кольцов, С. М. Исследование вопроса потери свекломассы при хранении сахарной свеклы в кагате / С. М. Кольцов // Материалы 73-ей международной научно-практической конференции: «Современная аграрная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации». – Мичуринск, 2021. – №2 – С. 66–72.

53. Кольцов, С.М. К вопросу разработки инженерных систем для хранения сырья на свеклосахарном производстве / С. М. Кольцов, М. Н. Жерлыкина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – №1(4). – С. 36–46.

54. Кольцов, С. М. Методика исследований хранения сахарной свеклы в кагатах / А. И. Завражнов, С. М. Кольцов // Наука в центральной России. – 2020. – № 6 (48). – С. 30–36.

55. Кольцов, С.М. Научно-технический отчет о выполнении НИР «Разработка интеллектуальной системы вентиляции овощехранилищ открытого типа» №14360ГУ/2019 от 11.07.2019 Мичуринск-Наукоград. – 2021. – 58 с.

56. Кольцов, С. М. Обоснование и разработка технологии хранения сахарной свёклы в кагатах в условиях Центрально-Чернозёмного региона / С. М. Кольцов, А. И. Завражнов // Сахар. – 2020. – № 1. – С. 38–44.

57. Кольцов, С. М. Разработка программно-аппаратного комплекса для управления системой вентиляции корнеплодов сахарной свеклы в кагатах / С. М. Кольцов, А. И. Завражнов, А. В. Балашов // Материалы конференции повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции. – Мичуринск, 2021. – С. 26–30.

58. Кольцов, С. М. Снижение потерь сахарной свеклы при хранении / А. И. Завражнов, А. А. Завражнов, С. М. Кольцов, С. С. Толстошеин // Сельский механизатор. – 2020. – № 5–6. – С. 35–36.

59. Кольцов, С. М. Управление режимами вентиляции при хранении сахарной свеклы в кагатах / С. М. Кольцов, А. И. Завражнов, И. А. Елизаров, С. С. Толстошеин // Сельский механизатор. – 2021. – №8 – С. 20–21.

60. Кольцов, С. М. Эффективность вентилируемого хранения сахарной свёклы в условиях центрально-чернозёмного региона / А. И. Завражнов, Р. А. Шрамко, Л. А. Сабетова, А. А. Завражнов, С. М. Кольцов // Сахар. – 2020. – № 8. – С. 20–26.

61. Кольцов, С. М. Вентилируемое хранение сахарной свеклы на открытом грунте / С. М. Кольцов // Материалы конференции Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья. – Тамбов, 2019. – С. 389–394.

62. Кольцов, С. М. К вопросу разработки инженерных систем для хранения сырья в свеклосахарном производстве / С. М. Кольцов, М. Н. Жерлыкина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 1(4). – С. 36–46.

63. Кольцов, С. М. Повышение эффективности вентиляции овощехранилищ открытого типа в свеклосахарном производстве / С. М. Кольцов, М. Н. Жерлыкина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 3(6). – С. 51–56.

64. Кольцов, С. М. Кратное снижение энергопотребления систем активной вентиляции кагатов сахарной свёклы / С. М. Кольцов, К. С. Василевский, С. С. Толстошеин, Р. А. Мамонтов, К. Ю. Иржавцев // Сахар. – 2019. – №4. – С. 70–75.

65. Кольцов, С. М. Методика исследований показателей свекольной массы при хранении в кагатах / С. М. Кольцов, А. И. Завражнов // Материалы научно-практической конференции: Развитие производственного и научного потенциала отрасли садоводства и питомниководства в Российской Федерации. - Мичуринск-наукоград, 2019. – С. 267–273.

66. Корниенко, А. В. К методике и задачам проведения послерегистрационных испытаний сортов и гибридов в зоне сахарных заводов / А. В. Корниенко и [др.] // Сахарная свекла. - 2009. - № 4. - С. 16–18.

67. Корниенко, А. С. Профилактика кагатной гнили / А. С. Корниенко // Защита растений. – 1975. – № 6. – С. 21.

68. Корниенко, Е.Е. Особенности хранения маточной свеклы /Е. Е. Корниенко // Сахарная свекла. – 1986. – № 10. – С. 34.

69. Кульнева, Н.Г. Хранение и переработка сахарной свеклы низкого технологического качества / Кульнева, Н.Г. [и др.] // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья: сб. трудов. – 2016. – С. 380-384.

70. Кульнева, Н. Г. Динамика накопления несахаров в процессе хранения свеклы различного качества / Н. Г. Кульнева, И. Г. Селезнева, К. О. Лисицкая, К. В. Марченко // В сборнике: Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение. – 2015. – С. 238–243.

71. Кульнева, Н. Г. Контроль показателей сахарной свеклы различного качества при хранении / Н. Г. Кульнева, И. Г. Селезнева, И. Ю. Свешников, С. Ю. Казакевич // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. № 4. – С. 32–34.

72. Листов, П.Н. Анализ процесса охлаждения в овощехранилище / П. Н. Листов, Ю. П. Калугина // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1964. - №5. - С. 38-40.

73. Морозов, А.Н. Теоретические аспекты промышленного хранения сахарной свёклы / А.Н. Морозов [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 10. – С. 5–9.

74. Морозов, С.В. Хранение сахарной свеклы в кагатах с орошением и активной вентиляцией / С.В. Морозов, А.М. Хелемский // М.:ЦИНТИ ПИЩЕПРОМ. – 1967. – 20 с.

75. Нефелов, С. В. Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха / С. В. Нефелов, В. С. Давыдов. - М.: Стройиздат, 1984. - 328 с.

76. Новикова, А. В. Комплексная оценка различных условий хранения маточных корнеплодов на посевные характеристики семян сахарной свеклы / А. В. Новикова, И. И. Бартенев, Л. Н. Путилина // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сб. науч. тр. по материалам VII Международной научно-практической конференции – Белгород, 2015. – Часть II. – 176 с.

77. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Жилые здания со встроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей. – М.:Пантори, 2003. – 308 с.

78. Пат. RU 2374323 С1 Российская Федерация МПК С13С 1/00, А01F 25/00. Способ хранения корнеплодов сахарной свеклы / Д.В. Озеров, Н.М. Сапронов, В.В. Спичак, В.В. Буромский / Патентообладатель ГНУ РНИИСП; заявл. 22.12.2008 г.

79. Пат. RU 2685183 С1 Российская Федерация МПК А01F 25/08. Установка вентилирования кагата сахарной свеклы / О.В. Гринавцев. – Заявитель и патентообладатель; заявл. 30.05.2018 г.

80. Пат. SU 1428280 А1 Способ хранения сахарной свеклы в кагатах или буртах / Г.В. Грицинин, И.В. Кобозев. – Заявитель и патентообладатель; заявл. 28.01.1985 г.

81. Перспективная ресурсосберегающая технология производства сахарной свеклы: методические рекомендации / [подгот.: И. В. Апасов и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. –56 с.

82. Пивоваров, А. В. Хранение сахарной свеклы с применением препаратов из фильтрационного осадка / А. В. Пивоваров, Л. М. Ласкутова // Сахарная промышленность. – 1970. – №10. – С. 45–47.

83. Полушкин, В. И. Вентиляция: учеб. пособие для студ. Учреждений высш. Проф. Образования / В. И. Полушкин, С. М. Анисимов, В. Ф. Васильев, В. В. Дерюгин. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 416 с.

84. Посохин В. Н. Аэродинамика вентиляции / В. Н. Посохин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. – 209 с.

85. Правила устройства электроустановок: 7-е изд. / Главгосэнергонадзор России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2007. – 610 с.

86. Приемка и хранение сахарной свеклы. Технологический регламент. Киев: Б. И. – 1989. – 296 с.

87. Проектирование активной вентиляции кагатов сахарной свеклы К.: КИСИ, ВНИИСП – 1969. – 28 с.

88. Пружин, М.К. Сочетание теоретических и прикладных аспектов в исследованиях по хранению сахарной свеклы / М. К. Пружин, Е. В. Широких // В сборнике: Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции. – 2019. – С. 148–152.

89. Пружин, М.К. Теоретическое обоснование свойства хранимостпособности корнеплодов сахарной свеклы / М. К. Пружин, Е. В. Широких // В сборнике: Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов. – 2019. – С. 312–316.

90. Пружин, М.К. Влияние типа гибрида, сроков уборки и хранения корнеплодов сахарной свеклы на изменения компонентного состава свекловичного сока / М. К. Пружин, Е. В. Широких, Л. Ю. Смирнова // В сборнике: Инновационная деятельность науки и образования в агропромышленном производстве. – 2019. – С. 33–37.

91. Пружин, М.К. Свойство хранимостпособности корнеплодов как показатель качества сахарной свеклы / М. К. Пружин, Е. В. Широких, Г. С.

Косулин // В сборнике: Инновационные технологии в пищевой промышленности. – 2018. – С. 239–241.

92. Путилина, Л. Н. Свеклосахарный комплекс России: состояние и направления развития / Л. Н. Путилина, Е. А. Дворянкин, И. В. Апасов, М. А. Смирнов // Вестник воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – №6. - С. 180–190.

93. Путилина, Л. Н. Анализ способов хранения сахарной свеклы в условиях Центрально-Черноземного региона / Л. Н. Путилина, Р. А. Шрамко // Сахар. – 2021. – №6. - С. 44–51.

94. Путилина, Л. Н. Свеклосахарный комплекс России: состояние и направления развития / Л. Н. Путилина [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – Т. 79. – №2 (72). – С. 180–190.

95. Пшеченков К.А. Хранение картофеля / К. А. Пшеченков, В. Н. Зейрук, С. Н. Еланский и др. - М.: Агроспас, 2016. – 144 с.

96. Рослов Н. Н. Комплексы для хранения картофеля и овощей / Н. Н. Рослов. - М.: Россельхозиздат, 1985. – 207 с.

97. Рослов Н. Н. Хранение, обработка и переработка картофеля и овощей / Н. Н. Рослов. – Орёл: Гипронисельпром, 2002. – 229 с.

98. Рубин Б. А. Биохимические основы хранения овощей / Б. А. Рубин. - Л.: АН СССР, 1945. – 154 с.

99. Сапронов, Н. М. Комплексный способ обработки кагатов /Н. М. Сапронов, С. К. Мезенцев // Сахарная свекла. – 1990. – №4. –С. 41–43.

100. Сапронов, Н. М. Формирование технологической адекватности сахарной свеклы: роль углеводного комплекса / Н. М. Сапронов, А. С. Бердников // Сахарная свекла. – 2010. – №3. – С. 46–48.

101. Сапронов, Н. М. Оптимизация физической среды в кагатах сахарной свёклы с применением экспериментального укрытия / Н. М. Сапронов [и др.] // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения

экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции». – Краснодар, 2015. – С. 338–341.

102. Сащенко, С. В. Влияние способов уборки и хранения маточных корнеплодов на продуктивность семенных растений сахарной свеклы : дис. ... канд. с.-х. наук / С. В. Сащенко. – Рамонь, 2009. – 115 с.

103. Свистунов, В. М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства / В. М. Свистунов, Н. К. Пушняков. – СПб.: Политехника, 2007. – 423 с.

104. Северин, В. М. Приемка и хранение сахарной свеклы. Технологический регламент – Киев, 1989. – 296 с.

105. Селиванова, Г. А. Технологические качества корнеплодов сахарной свёклы, инфицированных возбудителями бактериального увядания / Г. А. Селиванова // Евразийский союз ученых. –2014. – № 7-8(7). – С. 32-34.

106. Славянский А. А. Специальная технология сахарного производства / А. А. Славянский. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 216 с.

107. Смирнов, М. А. Резервы повышения сохранности корнеплодов сахарной свеклы / М. А. Смирнов, Л. Н. Путилина // Сахарная свекла. –2014. – № 5. – С. 46–48.

108. Соловьев, С. В. Комплексная защита сахарной свеклы / С. В. Соловьев, А. И. Гераськин // Защита и карантин растений. – 2011. – №7. – С. 21–23.

109. Спичак, В. В. Способы хранения сахарной свеклы / В. В. Спичак, Н. М. Сапронов // Сахарная свекла. – 1994. – №10. – С. 14–15.

110. Справка «О росте корня сахарной свеклы на пробных участках в свеклосеющих хозяйствах (по данным сахарных заводов)» на 11.08.2021 г. СоюзРосСахар.

111. Справка «О росте корня сахарной свеклы на пробных участках в свеклосеющих хозяйствах (по данным сахарных заводов)» на 01.09.2021 г. СоюзРосСахар.

112. Стогниенко О. И. Болезни сахарной свеклы, их возбудители / О. И. Стогниенко, Г. А. Селиванова. - Воронеж: ООО «Антарес», 2008. – 112 с.

113. Стогниенко, О. И. Видовой состав и характеристика возбудителей кагатной гнили / О. И. Стогниенко, Г. А. Селиванова // Сахарная свекла. – 2012. – №9. – С. 39–40.

114. Стогниенко, О. И. Изменения в патогенном комплексе кагатной гнили, произошедшие за 80 лет / О. И. Стогниенко // Приемы и средства повышения продуктивности сахарной свеклы и других культур севооборота: сб. науч. тр. ВНИИСС. – Воронеж, 2014. – С. 106–109.

115. Таурит, В. Р. Фильтрация воздуха и теплообмен в штабеле контейнеров овощехранилищ при общеобменной вентиляции / В. Р. Таурит // Научно-технические проблемы систем теплогасоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения: Межвузовский сб. научн. трудов. - Воронеж, 1998. - С. 29–33.

116. Тухман А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепломассопереноса / А. А. Тухман. - М.: Высшая школа, 1974. - 328 с.

117. Хелемский, М. З. Влияние длительного хранения свеклы на активность ферментов, содержание трисахаридов, органических кислот и аминокислот / М. З. Хелемский // Труды ЦИНС. – 1963. – Т. XI. – С. 18–31.

118. Хелемский М. З. Хранение сахарной свеклы / М. З. Хелемский. - М.: Пищ. пром-сть, 1964. - 471 с.

119. Чернявская, Л. И. Хранение механически поврежденной свеклы / Л. И. Чернявская, Н. И. Павлюченко, Е. Г. Гомиленко и др. // Сахарная свекла. – 1990. – №4. – С. 37–41.

120. Чухраев, И. М. Анализ состояния и совершенствование экономических связей в свеклосахарном комплексе России / И. М. Чухраев // Сахарная свекла. – 2013. – №5. – С. 4–8.

121. Шевченко В. Н. Борьба с гнилями сахарной свеклы важная задача свекловодов / В. Н. Шевченко // Сахарная свекла. – 1970. – № 6. – 293 с.

122. Шендрик Р. Я. Болезни свеклы / Р. Я. Шендрик, Н. Н. Запольская // Сахарная свекла. – 2000. – № 4-5. – С. 45-46.

123. Шпаар Д. Сахарная свёкла (выращивание, уборка, хранение) / Д. Шпаар. – М. : DLV АГРОДЕЛО, 2006. – 315 с.

124. Щербаков, С.Ю. Создание оптимального микроклимата на производстве с использованием вентиляционных систем / С.Ю. Щербаков, А.А. Филитова // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: Сборник материалов международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 84-86.

125. Campbell, L.G. Characterizing sugarbeet varieties for post-harvest storage losses is complicated by environment effects and geno-type \times environment interactions / L.G. Campbell, K.L. Klotz // Can. J. Plant Sci. – 2007. – 87. – P. 121-127.

126. Crook, T.M. (2011): Variety storage trials in Michigan. Sugar beet research and education board. URL: <http://www.sbreb.org/research/prod/prod01/prod01.htm>, 29.01.2014.

127. Diepenbrock, W. Spezieller Pflanzenbau.-3. / W. Diepenbrock, G. Fischbec, K.-U. Heyland, N. Knauer Aufl.-1999.-523 s.-нем.

128. Hawksworth, D.L. Dictionary of the fungi / D.L. Hawksworth // et al. – 1995. – P. 616.

129. Hembree, K. Sugar Beet Research Accomplishments. 1997 Weed science workgroup report.-University of California / K. Hembree. - Davis.- 1997.-P. 216-225.

130. Hoffmann, C.M. Marc concentration of sugar beet (*Beta vulgaris* L) in relation to sucrose storage / C.M. Hoffmann, C. Kenter, J. Bloch //Sci Food Agric. – 2005. – 465 p.

131. Kenter, C. Changes in the processing quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) during long-term storage under controlled conditions / C. Kenter, C. Hoffmann // Int. J. Food Sci. Technol. – 2009. – 44. – P. 910-917.

132. Koltsov S.M. Investigating natural cooling of piled sugar beet - IOP conference series: earth and environmental science // Zavrazhnov A.I., Koltsov S.M., Zazulya A.N., Vedishchev S.M., Tolstoshein S.S. / Michurinsk, Russia, 2021. – P. 012089.

133. Koltsov S.M. Mathematical modeling of the temperature regime in a ventilated pile of sugar beet - IOP conference series: materials science and engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and

Engineering Associations. // Zavrazhnov A.I., Zuglenok N.V., Zavrazhnov A.A., Tolstoshein S.S., Koltsov S.M. / Krasnoyarsk, Russia, 2020. – P. 62067.

134. Liebe, S. Bedeutung von Fäulnisregern für die Lagerung von Zuckerrüben und mögliche Kontrollmaßnahmen. Sugar Industry / S. Liebe, M. Varrelmann // Zuckerind. 138, Sonderheft 11. Göttinger Zuckerrübenagung. – 2013. – P. 87-96.

135. Märländer, B. Einfluss von Sorte und Bestandesdichte auf Ertrag und Qualität von Zuckerrüben - ein Beitrag zur Lichtkonkurrenz / B. Märländer, A. Rover // Zuckerindustrie.- 1996.-№ 1.-P. 39-47.-HEM.

136. Meinert, G. Integrierter Pflanzenschutz, Unkrauter, Krankheiten und Schädlinge im Ackerbau. Verlag Eugen Ulmer / G. Meinert, A. Mitnacht -Stuttgart, 1992.- 335 s.

137. Röstel, H.-J. Zuckerrübe. 1.3 Morphologie und Anatomie. 1.4 Entwicklungsphysiologie. 1.5 Physiologie der Ertragsbildung. 1.6 Ertragspotential. 1.7 Inhaltsstoffe und Qualitätsbildung. 1.8 Ansprüche an den Boden. 1.9 Ansprüche an das Klima. 1.10 Züchtung und Sortenwahl. In: Keller, E. R., Hanus, H., Heyland, K. U. (Hrsg.) Handbuch des Pflanzenbaus. Bd. 3: Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 1999.-P. 319-355.

138. Schnepel, K. Calculation of invert sugar content based on the glucose content of sugar beet. Sugar Industry / K. Schnepel; C. Hoffmann // Zuckerind. – 2013. – 138. – P. 463-470.

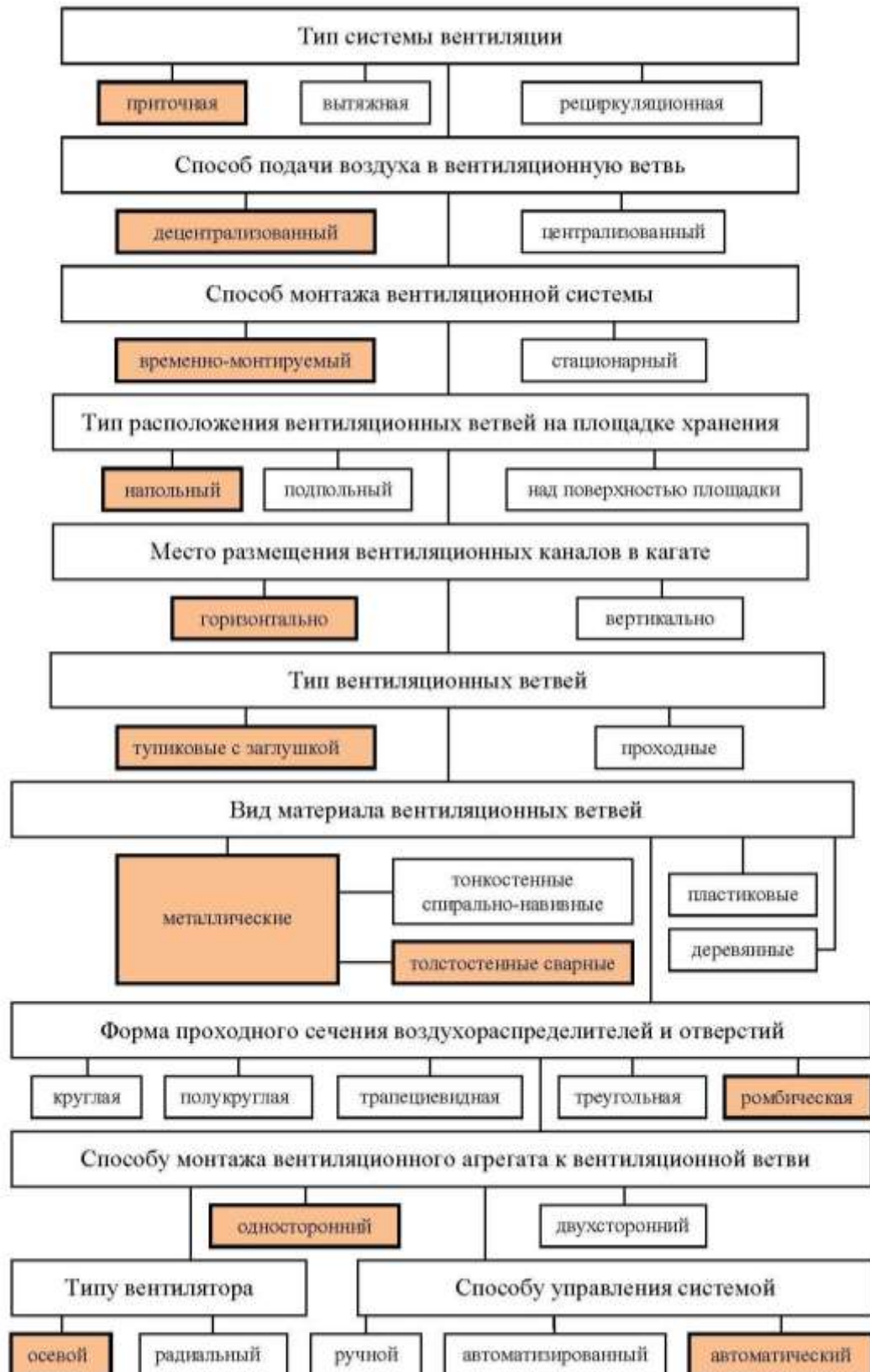
139. Vereijssen J. Cercospora leaf spot in sugar beet. Epidemiology, life cycle components and disease management. – Bergen op Zoom, The Netherlands., – 2004. – P. 198.

140. Vukov K. Physics and Chemistry of Sugarbeit in Sugar Manufacturo / K. Vukov // Elsevior. – Amsterdam, 1977.

141. Wiltshire, J.J. Bruising of sugar beet roots and consequential sugar loss: current understanding and research needs / J.J. Wiltshire, A.H. Cobb // Ann. Appl. Biol. 2000. – 136. – P. 159–166.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Классификация системы активной вентиляции кагатов сахарной свеклы



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты анализа проб из вентилируемого кагата

Пробы 2019 года

Результаты анализа пробы

Вид отобранной смеси (в граммах)

Доля смеси _____

После очистки 14.000

Разница в весе _____

в % сухой массы запись - 1.8%

в % сухой массы запись - 1

в % сухой массы запись -

Загрязненность _____

Содержание _____ 18.5%

Лаборант Ф. И. _____

Лаборант Д. Г. _____



Российская телерадиографическая служба № 10000

05.10.2019

Результаты анализа пробы

Вид отобранной смеси (в граммах)

Доля смеси _____

После очистки 18.000

Разница в весе _____

в % сухой массы запись - 550 - 3.1%

в % сухой массы запись -

в % сухой массы запись -

Загрязненность _____

Содержание _____ 18.1%

Лаборант Ф. И. _____

Лаборант Д. Г. _____



Российская телерадиографическая служба № 10000

23.01.2020

Пробы 2020 года

Результаты анализа пробы

Вид отобранной смеси (в граммах)

Доля смеси 24.500

После очистки 22.500

Разница в весе 2.000 - 8.2%

в % сухой массы 50 - 0.2%

в % сухой массы запись - 2.300 - 10.2%

Загрязненность _____

Содержание _____ 19.2%

Лаборант Ф. И. И. Илларионова

Лаборант Д. Г. В. В. Давыдова



Российская телерадиографическая служба № 10000

10.10.2020

Результаты анализа пробы

Вид отобранной смеси (в граммах)

Доля смеси 26.000

После очистки 24.000

Разница в весе 2.000 - 7.7%

в % сухой массы 50 - 0.2%

в % сухой массы _____

Загрязненность запись - 2.400 - 10.0%

Содержание _____ 18.9%

Лаборант Ф. И. И. Илларионова

Лаборант Д. Г. В. В. Давыдова



Российская телерадиографическая служба № 10000

15.01.2021

Пробы 2021 года

Результаты анализа пробы

Вид отобранной смеси (в граммах)

Доля смеси 18.300

После очистки 15.300

Разница в весе 1.000

в % сухой массы _____

в % сухой массы _____

Загрязненность _____ 6.1%

Содержание _____ 10.05

Лаборант Ф. И. _____

Лаборант Д. Г. _____



Российская телерадиографическая служба № 10000

03.10.2021

Результаты анализа пробы

Вид отобранной смеси (в граммах)

Доля смеси 18.900

После очистки 17.600

Разница в весе 1.300

в % сухой массы запись - 1.300 - 8.4%

в % сухой массы запись - 500 - 0.3%

Загрязненность _____ 6.9%

Содержание _____ 14.4%

Лаборант Ф. И. _____

Лаборант Д. Г. _____



Российская телерадиографическая служба № 10000

05.01.2022

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица 2 – Диапазон температуры окружающего воздуха +10...+20°C

Параметр	2019	2020	2021	Значения, характеризующие период
Продолжительность диапазона температур за период хранения, сутки	14	17	7	7...14
Средняя температура воздуха, °С	12,0	13,0	11,6	12,2
Средняя относительная влажность, %	77	56	55	63
Средняя разность температур между свеклой и воздухом	0,7	-0,5	1,3	-0,5...1,3
Продолжительность периода, когда температура воздуха ниже температуры свеклы, сутки	7,875	7,25	5	5...8
Средняя разность температур, при которой температура воздуха ниже температуры свеклы	1,64	1,47	1,65	1,47...1,65

Таблица 3 – Диапазон температуры окружающего воздуха +0...+10°C

Параметр	2019	2020	2021	Значения, характеризующие период
Продолжительность диапазона температур за период хранения, сутки	66	42	54	42...66
Средняя температура воздуха, °С	2,0	4,0	3,7	3,2
Средняя относительная влажность, %	93	93	89	92
Средняя разность температур между свеклой и воздухом	2,5	6,1	7,5	2,5...7,5
Продолжительность периода, когда температура воздуха ниже температуры свеклы, сутки	50	38	45	38...50
Средняя разность температур, при которой температура воздуха ниже температуры свеклы	1,90	4,74	5,6	1,9...5,6

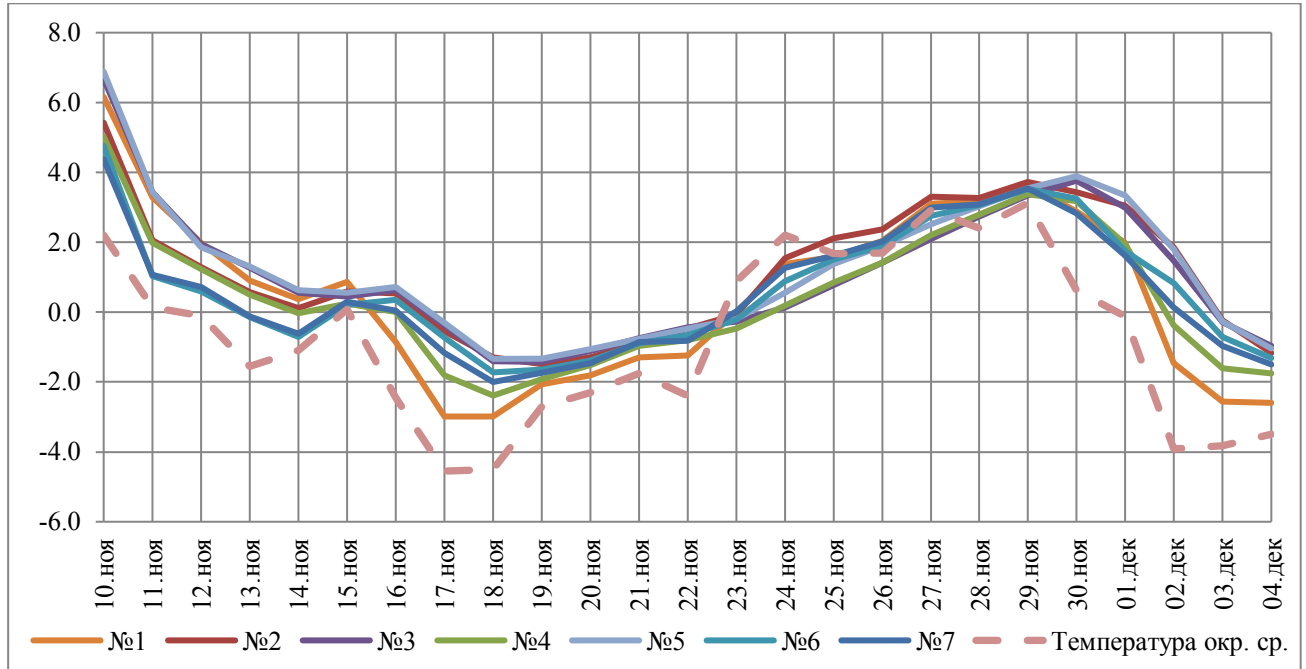
Таблица 4 – Диапазон температуры окружающего воздуха -10...0°C

Параметр	2019	2020	2021	Значения, характеризующие период
Продолжительность диапазона температур за период хранения, сутки	28	44	41	28...41
Средняя температура воздуха, °С	-2,0	-4,0	-3,0	-3,0
Средняя относительная влажность, %	86	86	90	87
Продолжительность периода, когда температура воздуха ниже температуры свеклы, но выше -3°C	21	20	17	17...21
Средняя разность температур между свеклой и воздухом при температуре выше -3°C	2,7	3,4	4,2	2,7...4,2

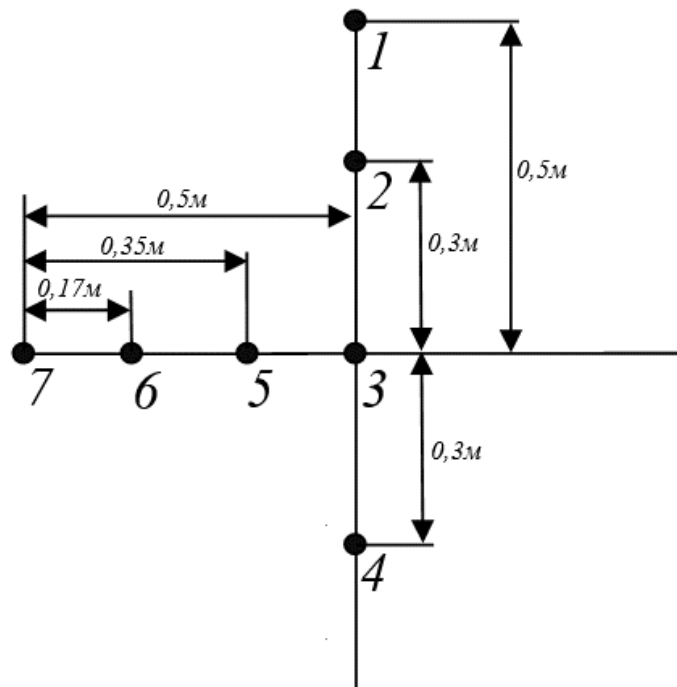
Таблица 5 – Диапазон температуры окружающего воздуха -20...-10°C

Параметр	2019	2020	2021	Значения, характеризующие период
Продолжительность диапазона температур за период хранения, сутки	0,4	6,0	4	0,4...6,4
Средняя температура воздуха, °С	-11,0	-16,5	-13,9	-13,8
Средняя относительная влажность, %	73	77	74	78
Средняя разность температур, при которой температура воздуха ниже температуры свеклы	12,7	18,0	15,2	12,7...18,0

Результаты исследований теплообменных процессов на экспериментальной установке



Изменение температуры внутри насыпи экспериментальной установки



Размещение датчиков в экспериментальной установке

**РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ**

«ПРОМСАХАР»

307344, Курская область, Рыльский район,
пос. им. Куйбышева

расчетный счет № 40702810900100000229
в Московском филиале ОАО «Гута-Банк»

кор. счет № 30101810600000000915

БИК 044583915

ИНН 4620006313; КПП 462001001

телефон: (499) 685-15-67

29.12.2021г. №

«УТВЕРЖДАЮ»

И.О. Заместителя Генерального директора,
Исполнительного директора
ООО «Промсахар»



В.Ю. Артамонов

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы в
технологии хранения сахарной свеклы

Результаты научно-исследовательской работы аспиранта ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет Кольцова Семена Михайловича на тему: «Совершенствование технологии и разработка режимов хранения сахарной свеклы в кагатах», выполненной в 2019-2021 годах, применены в технологии длительного хранения сахарной свеклы с системой активной вентиляции на призаводском свеклопункте ООО «Промсахар» и внедрены в технологический процесс предприятия в соответствии с требованиями технических условий.

Начальник свеклопункта
ООО «Промсахар»

В.В. Бубнов



www.agroholod.ru

393192, Тамбовская область,
г.Котовск, ул.Советская,д.24

тел. (475-2) 26 — 27 — 28

Исх.№141
05 ноября 2021г.

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы в
технологию хранения сахарной свеклы

Результаты научно-исследовательской работы аспиранта ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет Кольцова Семена Михайловича на тему: «Совершенствование технологии и разработка режимов хранения сахарной свеклы в кагатах», выполненной в 2019-2021 годах, применены в технологии длительного хранения сахарной свеклы с системой активной вентиляции на призаовском свеклопункте ООО «Промсахар» и внедрены в технологический процесс предприятия в соответствии с требованиями технических условий.

В процессе внедрения С.М.Кольцов выполнял отладку и ремонт оборудования. Принимал участие в монтаже и эксплуатации системы длительного вентилируемого хранения сахарной свеклы массой 50 тыс.тонн.

Зам.ген.директора ООО «АгроХолод»

В.А. Потапов





Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Мичуринский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ)



АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы
в учебный процесс

Комиссия инженерного института Мичуринского ГАУ в составе председателя – директора инженерного института, доктора технических наук, профессора Манаенкова К.А. и членов: заведующего кафедрой «Технологические процессы и техносферная безопасность», кандидата технических наук, доцента Щербакова С.Ю., доктора технических наук, профессора Хмырова В.Д., составили акт о следующем.

Комиссия рассмотрела материалы научно-исследовательской работы аспиранта Кольцова С.М, на тему: «Совершенствование технологии хранения сахарной свеклы с разработкой режимов вентилирования кагата», включающие обоснование конструктивных параметров и режимов работы системы активной вентиляции кагатов сахарной свеклы, а также результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Комиссия отмечает, что рассмотренные материалы имеют существенное прикладное значение и приняты для внедрения в учебный процесс на кафедре «Технологические процессы и техносферная безопасность».

Аналитические и экспериментальные результаты включены в курс лекций дисциплины «Технологическое оборудование для переработки продукции растениеводства» для студентов, обучающихся по направлению 35.03.06 «Агроинженерия».

Председатель комиссии
Члены комиссии

 Манаенков К.А.
 Щербаков С.Ю.
 Хмыров В.Д.

