

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



КОЗЛОВЦЕВ АНДРЕЙ ПЕТРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ
ТЕХНОЛОГИИ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА В ЗАМКНУТОМ ЦИКЛЕ
СИСТЕМЫ «АТМОСФЕРА – ИНЖЕНЕРНОЕ СООРУЖЕНИЕ -
ВОДНАЯ СРЕДА»**

*Специальность: 05.20.01. – «Технологии и средства
механизации сельского хозяйства»*

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант – доктор технических наук, профессор
Владимир Александрович Шахов

Оренбург, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА	15
1.1 Необходимость охлаждения молока в процессе его получения и переработки	15
1.2 Технология получения и использования холода машинной выработки	21
1.3 Обзор научных исследований и производственного опыта по использованию естественного холода	31
1.3.1 Сезонное использование естественного холода	31
1.3.2 Круглогодичное использование естественного холода	50
1.3.3 Охлаждение простейшими емкостными охладителями	64
1.4 Оценка потенциальных возможностей аккумулирования и использования природного холода на МТФ Южного Урала	65
2. РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАГОТОВКИ И КРУГЛОГОДОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА В РЕГИОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА	70
2.1 Выбор и обоснование термосифонной системы аккумулирования льда для круглогодичного использования	70
2.2 Анализ процесса функционирования бассейна, оборудованного термосифонами, в морозный период	75
2.2.1 Теплообменные процессы в бассейне при подводе холода сверху	75
2.2.2 Оценка интенсивности намораживания ледяной массы в бассейне, оборудованном термосифонами	80
2.2.2.1 Намораживание льда в поверхностном слое бассейна	80
2.2.2.2 Намораживание льда испарителем термосифона	85
2.2.3 Образование льда при работе термосифона	92
2.2.3.1 Образование льда на стенке испарителя термосифона	92
2.2.3.2 Теплообмен при образовании льда на прямоугольном ребре	

испарителя термосифона.	105
2.3 Функциональные особенности использования льдохранилища при охлаждении молока на молочно-товарных фермах	108
2.3.1 Односекционный термосифонный аккумулятор природного холода для охлаждения молока на фермах	108
2.3.2 Двухсекционный термосифонный аккумулятор природного холода для охлаждения молока на фермах	112
2.3.3 Подземная холодильная камера с термосифонами	117
2.4 Послойное намораживание льда	121
2.4.1 Водоборотный аккумулятор послойного намораживания льда	121
2.4.2 Двухкамерное заглублённое льдохранилище	131
2.4.3 Анализ процесса промерзания воды при послойном намораживании	135
2.5 Ковшовые дозаторы в системе льдоаккумулирования	141
2.6 Теоретические основы стаивания льда в льдоаккумуляторе	154
3. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА	159
3.1 Алгоритмы математического моделирования длительности охлаждения молока во фляжном охладителе	159
3.2 Создание и использование программ для ЭВМ	163
3.2.1 Методика расчета процессов охлаждения в простейших охладителях	163
3.2.2 Методика расчета интенсивности намораживания ледяной массы в поверхностном слое бассейна	165
3.2.3 Методика расчета основных параметров охладителей молока	166
3.3 Практическая реализация разработанных программных средств (ПС)	168
3.3.1 Охлаждения молока во фляжном охладителе	168
3.3.2 Расчет интенсивности намораживания ледяной массы	

в поверхностном слое бассейна	170
3.3.3 Расчет технических показателей холодильной машины для конкретных условий	172
4. ПРОГРАММЫ, ЧАСТНЫЕ МЕТОДИКИ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	175
4.1 Программы исследований	175
4.2 Методология и результаты экспериментальных исследований	178
4.2.1 Методика и результаты тепловизионного исследования температурных режимов работы термосифона	178
4.2.2 Методика и результаты расчета теплообменных процессов во фляжном охладителе	184
4.2.3 Методика и результаты определения влияния температуры окружающего воздуха на суточную холодопроизводительность термосифона	196
4.2.4 Методика и результаты исследования изменения холодопроизводительности термосифона при изменении скорости воздуха	200
4.2.5 Методика определения и результаты распределения температур в толще льда, интенсивности роста толщины	204
4.2.6 Методика и результаты определения скорости стаивания льда в льдоаккумуляторе в процессе эксплуатации	210
4.2.7 Методика проведения многофакторного эксперимента по определению холодопроизводительности термосифона	213
4.3 Производственные исследования	226
5. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕННЫХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	232
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	240
ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА	243
ПРИЛОЖЕНИЯ	275

ВВЕДЕНИЕ

Состояние молочно-товарного комплекса РФ за последние годы характеризуется сложившейся и продолжающейся углубляться тенденцией спада производства молока и снижения численности поголовья коров. Увеличение производства молока в связи с импортозамещением – главная задача сегодняшнего времени для российских животноводов [190, 242, 245, 247].

16 апреля 2015 года на прямой линии с президентом РФ В.В. Путиным была озвучена главная проблема российских производителей молока - в большинстве российских регионов закупочные цены на сырое молоко ниже себестоимости его производства. Себестоимость производства молока в проблемных регионах превышает закупочную цену от нуля до четырёх рублей за килограмм, что стало главной причиной уменьшения поголовья коров. На начало 1991 года в России было 24 млн. коров, по оперативным данным Росстата на 1 апреля 2015 года насчитывается уже 7,401 млн. коров [32, 86, 147, 164, 271].

Решать проблему убыточности производства молока путем увеличения дотаций из госбюджета в ближайшие годы, на наш взгляд, вряд ли получится из-за общей сложной экономической ситуации в стране. По мнению большинства российских экономистов, выход из этой ситуации один – надо снижать себестоимость производства молока. При этом свыше 30% - это расходы на электроэнергию, топливо-смазочные материалы, техническое обслуживание и ремонт применяемого оборудования, амортизацию.

По данным Ю.А. Цоя структура затрат на производства одного литра молока выглядит следующим образом (рисунок 1).

Рассматривая процессы обслуживания животных – кормление, поение, уборка навоза, доение, охлаждение молока можно сделать заключение, что последний является самым энергоёмким процессом и самым перспективным с точки зрения сокращения затрат материально-

энергетических ресурсов. По данным профессора Юхина Г.П. затраты на охлаждение молока составляют до 50% всех затрат на первичную обработку молока [288].

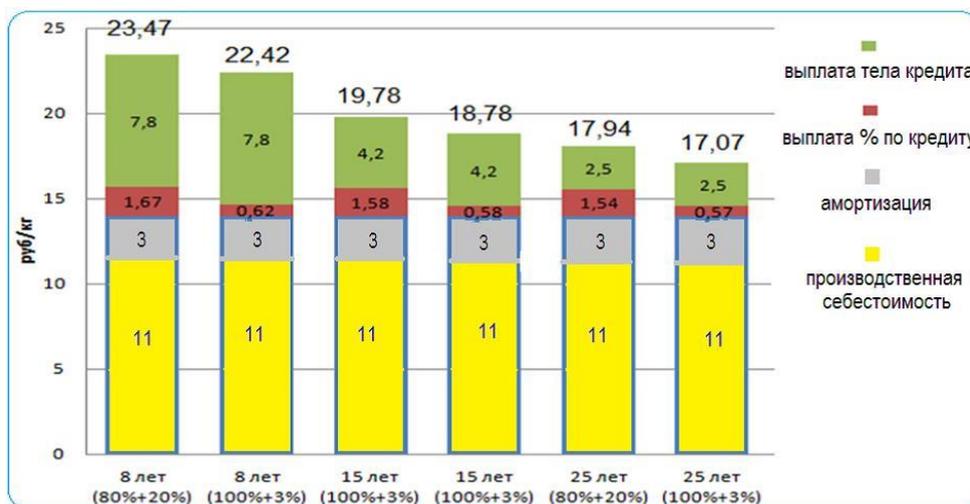


Рисунок 1 - Структура затрат на производства одного литра молока

Рост цен на энергоносители, в том числе на электроэнергию - процесс объективный, так как месторождения полезных ископаемых истощаются, добыча их уменьшается, а стоимость извлечения и доставки к местам потребления и переработки увеличивается [11, 33, 91, 189, 248].

Кроме роста цен использование углеводородных полезных ископаемых увеличивает содержание углекислого газа в атмосфере, что в свою очередь увеличивает парниковый эффект и повышает температуру атмосферы земли [287].

В 2015 году ученые впервые в современной истории зафиксировали превышение средней температуры планеты более чем на 1 °С по сравнению с XIX веком, когда началось наблюдение за изменениями глобальной температуры. Такой рост может привести к глобальному изменению климата, в том числе к таянию ледников и повышению уровня Мирового океана, температурным аномалиям и увеличению частоты экстремальных явлений, таких как ураганы, наводнения и засухи.

Годом ранее Всемирная метеорологическая организация сообщила о рекордно высокой концентрации парниковых газов в атмосфере за последние

30 лет. Из этого климатологи делают вывод: именно деятельность человека приводит к парниковому эффекту. Это значит, что для сокращения выбросов нужно, с одной стороны, внедрять энергосберегающие технологии, с другой – переходить на альтернативные источники энергии.

В декабре 2015 года на Всемирной конференции ООН в Париже 195 делегаций со всего мира пришли к соглашению, что для предотвращения необратимых последствий для экологии человечеству необходимо удержать рост средней температуры на планете в пределах 1,5-2 °С по отношению к соответствующему показателю доиндустриальной эпохи.

На конференции было принято новое климатическое соглашение, которое придет на смену Киотскому протоколу. Документ закрепляет основные принципы действия всех государств на период с 2020 года. В соглашении поставлена цель – сдержать потепление на уровне менее 2 °С, а в идеале – 1,5 °С. Исходя из этого все страны, включая Россию, должны разработать собственные долгосрочные стратегии «низкоуглеродного» развития, планы по адаптации к изменениям климата и реализовать соответствующие меры. По новому соглашению, наименее развитые и уязвимые к изменениям климата страны получают серьезную финансовую помощь. Решено, что в 2020 году финансовая поддержка этих государств составит 100 млрд. долл., а дальше будет только увеличиваться.

Если государства не начнут всерьез заниматься проблемой охраны окружающей среды, то к 2100 году температура на планете может подняться на 3,7 – 4,8 °С.

И.М. Калнинь, профессор, заведующий кафедрой «Холодильная и криогенная техника» Московского государственного университета инженерной экологии в своей статье «Актуальные направления развития техники низких температур» утверждает: «В 21 веке возрастет использование естественного холода: наружного воздуха, аккумулированного льда, соляных прудов для аккумуляции холода зимой и тепла летом» [87].

В этой связи любое научное исследование, направленное на снижение удельного расхода энергоносителей, в том числе и снижение расхода электроэнергии на производство и переработку молока, является актуальной задачей [264, 137, 33, 84, 107, 156, 259].

Анализируя состояние вопроса на предприятиях по производству молока видно, что в настоящее время на молочных фермах 99% свежесвыдоенного парного молока до 4...5 °С охлаждается искусственным холодом, вырабатываемым холодильными машинами.

Рынок холодильного оборудования в России сегодня перенасыщен. В продаже имеется самое разнообразное оборудование, как импортного так и отечественного производства с различными характеристиками по холодопроизводительности, вместимости, установленной электрической мощности [72, 220, 221, 235, 270].

Но все это оборудование объединяет одно общее свойство – ежегодное возрастание удельной стоимости оборудования (руб./кВт холодопроизводительности), расхода на электроэнергию, на ремонт и техническое обслуживание.

Увеличению интереса к использованию естественного холода, также, способствует обострение экологических проблем. Беспокойство учёных о возможном разрушении озонового слоя Земли привело к принятию 22 марта 1985 года Венской конвенции о защите озонового слоя, к подписанию всеми индустриальными странами в 1987 году Монреальского протокола, ограничивающего производство и использование фреонов и предписывающего поиск альтернативных хладагентов. В 1992 году в Копенгагене была принята жесткая редакция Монреальского протокола, был введен запрет на использование хлорсодержащих хладонов (ХФУ) с 1996 года, постепенное уменьшение не содержащих хлора хладонов (ГФУ) [52, 174, 287].

Во многих странах финансируются научные работы по поиску альтернативных источников энергии, по разработке энергосберегающих

технологий и техники, принимаются государственные программы по энергосбережению [15, 91, 156, 178, 179, 189, 213, 262].

В связи с этим сегодня, как никогда актуален вопрос использования природного холода для охлаждения молока, желателен круглый год.

Степень разработанности темы. Исследования выполнялись в соответствии с планом фундаментальных исследований отдела механизации РАН на период 2013-2020 годы по направлениям: «Методы анализа и синтеза многофункциональных механизмов и машин для перспективных технологий и новых человеко-машинных комплексов» и программой научных исследований ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ № ААА-А-16-116060810025-6 по приоритетному направлению развития науки, технологий и техники РФ «Энергоэффективность и энергосбережение».

Цель исследования. Повышение эффективности процессов охлаждения молока посредством снижения энергозатрат.

Объект исследования. Теплообменные процессы функционирования системы заготовки льда для круглогодичного охлаждения молока на животноводческих предприятиях.

Предмет исследования. Закономерности теплообменных процессов в толще водяного бассейна при подводе холода к нижним (придонным) слоям, к срединным и верхним слоям воды в льдонакопительной емкости.

Методология и методы исследования. Методы и методология исследований опираются на современные информационные технологии, аналитические исследования процессов теплообмена в системе «АТИВ» с применением законов классической механики, гидравлики, термодинамики, теории вероятностей и математической статистики, гидро и ледотермики, теории планирования эксперимента и принципов создания проблемно-ориентированных программных комплексов.

Для расчета динамики заморозки воды и образования льда применяли методику Г.В. Аникина, В.А. Бобкова, Ф.И. Быдина, Учеваткина А.И. и др. Вычисление возможной толщины ледяного покрова проводилось, в

основном, по эмпирическим формулам, основой для которых послужили зависимости Е.Стефана. Реализация этапов вычислительного эксперимента для параметрического синтеза установок для послойного намораживания льда, простейших охладителей проводилась на основании разработанной методологии программирования. Экспериментальные исследования проводили по разработанным частным методикам испытаний. Расчет и анализ параметров процесса осуществляли с использованием теории математической обработки данных, планирования многофакторных экспериментов.

В работе использовались фото-, видео- тепловизионная съемка, применялись программно-технические средства. Результаты экспериментальных исследований обрабатывались в соответствие с общепринятыми методиками планирования многофакторного эксперимента с использованием программных продуктов «Microsoft Excel», «Math CAD 10», «Statistica».

Научная гипотеза – снизить себестоимость процесса охлаждения молока в хозяйствах и предприятиях по переработке возможно путем применения систем круглогодичного использования естественного холода в виде замороженного льда.

Научная новизна работы.

- систематизация и анализ существующих перспективных методов качественного и энергоэффективного охлаждения молока;
- теоретическое обоснование режимов аккумуляции естественного холода в форме льда в льдохранилище для условий молочно-товарных ферм;
- режимы и параметры контроля интенсивности процесса намораживания льда в замкнутом объеме бассейна;
- эффективный способ предохранения стенок льдохранилища от разрушения при намораживании льда;
- математические модели энергоэффективного процесса охлаждения молока в емкостных охладителях ледяной водой льдохранилищ;

- математические модели послойного и объемного намораживания льда с использованием термосифонов;
- технические решения эффективного использования естественного холода для охлаждения молока.

Теоретическая и практическая значимость работы.

- Алгоритмы и программы для расчёта: процесса охлаждения молока в емкостных охладителях ледяной водой из льдохранилища; оценки интенсивности намораживания ледяной массы в бассейне, выбора холодильных машин, позволяющие рассчитать и подобрать оборудование для охлаждения в зависимости от условий эксплуатации, оценить интенсивность процесса охлаждения и сравнить между собой теплофизические характеристики применяемых охладителей.
- Методы и алгоритмы расчета теплообменных характеристик процессов охлаждения, которые могут быть использованы при решении новых научно-исследовательских, инженерных и проектных задач.
- Программные модули, позволяющие без проведения дорогостоящих экспериментов получать интегральные и локальные теплообменные характеристики.
- Способ предохранения стен бассейна, способствующий обеспечить защиту от хладоразрушения льдонакопительных емкостей.
- Результаты экспериментальных исследований тепломассообменных процессов при намораживания льда в бассейне льдоаккумулятора, использование которых дает возможность сделать заключение о эффективности применения энергосберегающих технологий охлаждения молока.
- Конструкции устройств для испытания элементов и изучения теплообменных процессов в устройствах намораживания льда с его годовым запасом в зависимости от поголовья и продуктивности коров на ферме, позволяющие повысить энергоэффективность процессов охлаждения молока.

Вклад автора в проведенное исследование. Автор является основным исполнителем данной диссертационной работы. Все диссертационные исследования, которые состоят из обзора существующих технологий и производственного опыта по использованию естественного холода, постановки проблемы, формулировки цели и задач исследования, выявления перспективных направлений повышения эффективности функционирования существующих систем намораживания льда для охлаждения молока, теоретического обоснования и разработки новых опытных установок льдоаккумуляторов, экспериментального подтверждения теоретических предпосылок и выявления оптимальных технико-технологических параметров разработанных систем в лабораторных условиях, внедрения конструкций в производство, а также определения экономической эффективности использования разработанных конструктивных решений, выполнены лично автором.

Положения, выносимые на защиту:

- концептуальные основы разработки методик, технологических режимов и средств новой, энергосберегающей техники льдоаккумуляции в системе охлаждения молока;
- теоретические положения по обоснованию и совершенствованию конструктивно-режимных параметров разработанных систем использования естественного холода;
- новые технические решения и программные средства для исследования процесса наморозки льда;
- новые технико-технологические решения, обеспечивающие возможность намораживания и дальнейшего использования льда, влияющего на снижение расхода электроэнергии при охлаждении молока;
- математические модели для численного моделирования процессов образования ледяной массы в системах послойного намораживания и с использованием термосифонов;

- результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивных параметров и режимов работы.

Достоверность научных положений выводов и рекомендаций подтверждена результатами экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных условиях (кафедра «Механизация технологических процессов в агропромышленном комплексе» Оренбургского государственного аграрного университета) и производственных (ООО «Пилюгинский АПК» Бугурусланского района, ОАО «Ключевское» Пономаревского района, ООО «А7 АГРО» ОП «Благодарное» Ташлинского района, СПК (колхоз) «им. Шевченко» Грачевского района); а также соответствием приведенных результатов данным, полученным другими авторами. Воспроизводимостью результатов в пределах точности эксперимента, согласием результатов проведенных экспериментов с данными независимых опытов в диапазоне совпадения параметров, а также удовлетворительным согласием с расчетами по теоретическим моделям.

Апробация работы. Отдельные разделы и материалы диссертационной работы были доложены и одобрены на международных научно-технических конференциях Оренбургского ГАУ (2010-2017 г.г.); ГНУ ВНИИМЖ (Подольск, 2010, 2011 г.г.); Пензенской ГСХА (2011 г.); Воронежский ГАУ (2015 г.); на XVI международном симпозиуме по машинному доению сельскохозяйственных животных (Минск, НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012 г.); на Всероссийской конференции «Роль науки в инновационном развитии АПК» (Уфа, 2012 г.); на 17-й международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и технические средства производства продукции животноводства» (Москва, 2014); на V Евразийском экономическом форуме «Роль Евразийского союза в развитии рынка интеллектуальной собственности и защита интеллектуальных прав» (Оренбург, 2015 г.), на международном образовательном форуме «Евразия» (Оренбург, 2016 г.).

Технические решения удостоены дипломов лауреата областной выставки НТТМ, (Оренбург 2013, 2014, 2015, 2016 г), отмечены дипломами и золотыми медалями международной выставки «Золотая осень» ВДНХ (Москва 2014, 2016), диплома X специализированной выставки «ПРОМЭНЕРГО» (Оренбург 2015), сертификатов Международного образовательного форума «Евразия» (Оренбург 2016).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 45 работ (в том числе 15 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ). Издана одна монография, одно учебное пособие и рекомендации, которые внедрены в учебный процесс Оренбургского ГАУ, Башкирского ГАУ и Мичуринского ГАУ. Новизна технических решений защищена пятью патентами на изобретение и тремя свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 301 наименований, из них 12 на иностранном языке. Работа изложена на 274 страницах машинописного текста, включая список литературы, содержит 83 рисунка, 33 таблицы и 31 приложение.

Автор выражает благодарность и глубокую признательность научному консультанту, доктору технических наук, профессору **Шахову Владимиру Александровичу**, доктору технических наук, профессору **Квашенникову Василию Ивановичу**, сотрудникам кафедры «Механизация технологических процессов в АПК», за помощь, оказанную при выполнении данной работы.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА

1.1 Необходимость охлаждения молока в процессе его получения и переработки.

Коровье молоко – ценнейший, совершенный натуральный пищевой продукт для человека. В состав молока входит более 100 компонентов: жиры, белки, углеводы, минеральные вещества, витамины, ферменты, гормоны и др. Молоко натуральное коровье сырое – это молоко без извлечений и добавок молочных и немолочных компонентов, подвергнутое первичной обработке (очистке от механических примесей и охлаждению до 4 ± 2 °С после доения) и предназначенное для дальнейшей переработки [92, 93].

Состав и качество молока зависит от породы животных, стадии лактации, условий содержания и кормления, особенностей технологии доения, первичной обработки получаемого продукта, состояния здоровья и индивидуальных особенностей коров. Однако, при нарушении санитарных и технических требований, оно не только теряет питательность, но и может явиться источником различных болезней и пищевых отравлений [7, 46, 63, 83, 89, 92, 93, 94, 96, 99, 150, 167, 258].

В соответствии с изменениями и дополнениями Федерального закона Российской Федерации от 12 июня 2008 г. № 88-ФЗ «Технический регламент на молоко и молочную продукцию», Федеральным законом о внесении изменений в федеральный закон. «Технический регламент на молоко и молочную продукцию» от 22 июля 2010 г. № 163-ФЗ [225, 226], и в соответствии с изменениями и дополнениями ГОСТа Р 52054-2003 «Молоко коровье сырое», введенными в действие с января 2010 года в зависимости от микробиологических, органолептических, физических и других показателей молоко подразделяют на высший, первый и второй сорта. Молоко, не отвечающее требованиям высшего, первого и второго сортов, оценивается

как несортное. В стандарте впервые установлены общероссийские базисные нормы по органолептическим и физико-химическим показателям, в зависимости от которых, например, массовая доля белка – не менее 2,8 %, жирность – 3,4 %. Однако, при сравнении со стандартами Европейских стран, где высоко развита молочная промышленность, эти показатели значительно уступают (таблица 1.1). В частности, в Англии и Норвегии общая бактериальная обсемененность молока не должна превышать - 150 тыс./см³ (по российскому ГОСТу даже для высшего сорта - 300 тыс./см³) [32, 102, 123, 124, 163, 257, 268]. По данным Росстата в 2011 году из всего объема молока, произведенного в России, высшим сортом (согласно ГОСТ Р 52054.2003) менее 30%, в результате чего хозяйства недополучили значительную часть прибыли.

Очень высокие требования к качеству молока, поставляемого фермерами, предъявляются, например, в Финляндии. Качество финского сырого молока считается одним из самых лучших в Европейском Союзе [271]. Этому способствует система технологических и организационных мероприятий. Качество будущих травяных кормов в Финляндии анализируется еще в состоянии травостоя. Внесением различных удобрений в посеvy трав регулируют биохимический состав будущих кормов. Накопление молока во время доения осуществляется только в молочных танках - охладителях, автоматически поддерживающих температуру 4 ± 1 °С. На фермах поддерживается высокий уровень санитарно - эпидемиологического состояния, все территории ферм имеют твердое покрытие, операторы машинного доения пользуются одноразовыми материалами для обработки вымени перед доением, одноразовой верхней одеждой.

Размеры молочных ферм в Финляндии по Российским меркам небольшие - 15...50 коров. Под это поголовье выпускается животноводческая техника, в том числе оборудование для доения, очистки, охлаждения и хранения молока.

Таблица 1.1. - Требования, предъявляемые к молоку

Показатели	Российские нормы для сорта молока				Европейские нормы для сорта молока
	высший	первый	второй	несортовой	
Кислотность, °Т	16,0...18,0	16,0...18,0	16,0...20,99	менее 16 или более 21	17,0...18,0
Группа чистоты, не ниже	I	I	II	III	I
Плотность, кг/м ³ не менее	1028	1027	1027	менее 1027	1028
Бактериальная обсемененность, КОЕ/г	до 300 тыс.	300 -500 тыс.	500 тыс.-4 млн.	более 4 млн.	до 100 тыс.
Температура заморзания, °С	Не выше минус 0,520			Выше минус 0,520	Выше минус 0,520
Консистенция	Однородная жидкость без осадка и хлопьев. Замораживание не допускается			Наличие хлопьев белка, механических примесей	Осадок и хлопья не допустимы
Цвет	От белого до светло-кремового			Кремовый	Белый

В отличие от зарубежных производителей молока в России его производством занимаются как крупные хозяйства, с поголовьем 400...1200 коров, так и личные подсобные хозяйства (ЛПХ) и крестьянско-фермерские хозяйства (КФХ) поголовьем от 1 до 15 коров. Однако оборудование, используемое в этих хозяйствах, особенно для охлаждения молока в ЛПХ и КФХ, чаще всего либо морально и физически устарело, либо отсутствует совсем. Это положение довольно негативно оказывает влияние на технологический процесс сохранения качества получаемого продукта.

Согласно исследованиям Карташова Л.П., Шахова В.А., Беленького Н.Г. и др. ученых [9, 25, 37, 92, 93, 94, 120, 121, 122, 123, 124, 187,188, 196,], сохранение исходных свойств молока возможно только при числе микроорганизмов менее 200 тыс. в 1 см³, при числе микроорганизмов свыше 1 млн. в 1 см³ происходит необратимое ухудшение качества молока. Среди всего комплекса операций первичной обработки молока, определяющего сортность, охлаждение является одной из главнейшей технологической

операцией [10, 231, 255, 266, 267, 274, 275, 279]. Не своевременное проведение охлаждения молока приводит к интенсивному размножению молочно-кислых бактерий. В одном см³ свежесвыдоенного качественного молока количество бактерий составляет 186 тысяч, а через пять часов хранения при температуре 20 °С их количество возрастает до двух миллионов. На бактериальную обсемененность молока, как один из показателей сортности, оказывают влияние многие факторы (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Оценка основных причин бактериальной обсемененности молока

№, п/п	Источник бактериального обсеменения	Количество бактерий в 1 мл
1	Не проводится сдаивание первых струек молока	100 - 1000
2	Воздушная среда в коровнике	100 - 1500
3	Загрязненное вымя	500 - 15000
4	Недостаточная мойка и дезинфекция доильного и молочного оборудования	500000
5	Недостаточное охлаждение молока	5000000

Другим показателем, по которому судят о свежести молока, является кислотность, указывающая на количество миллиметров децинормального раствора едкой щелочи (например NaOH), идущей на нейтрализацию 100 мл. молока в присутствии фенолфталеина.

В работах И.Н. Босина [34] отмечено, что кислотность молока так же зависит от срока хранения и температуры (таблица 1.3).

Молоко, охлажденное до 10 °С сразу после доения, сохраняет свою кислотность 17,5 °Т без изменения в течение 10 часов хранения, а при температуре 32 °С за это же время кислотность возрастает до 47 °Т.

Таблица 1.3 – Кислотность молока в зависимости от температуры и времени хранения

Срок хранения молока, ч	Температура, °С			
	32		10	
	Кислотность, °Т	Коэффициент увеличения бактерий	Кислотность, °Т	Коэффициент увеличения бактерий
0	17,5	1,0	17,5	1,0
2	18	3,2	17,5	1,9
4	22	8,1	17,5	0,9
6	29	12,2	17,5	1,1
8	37	25,9	17,5	1,1
10	47	26,9	17,5	1,2

Продолжительность бактерицидной фазы молока, на основе анализа литературных данных, зависит в большей степени от температуры и санитарных условий его получения (рисунок 1.1).

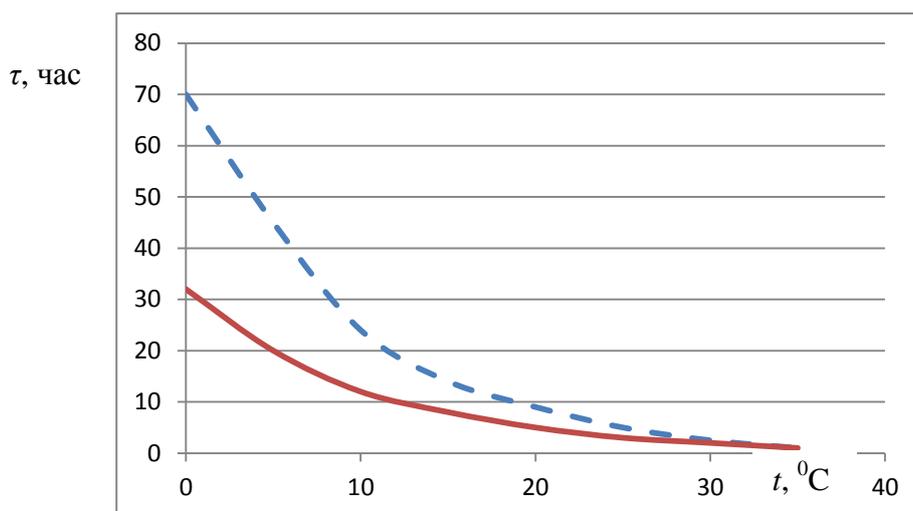


Рис. 1.1 - Зависимость бактерицидной фазы молока от температуры
 - - - - - при хороших санитарных условиях;
 — при неудовлетворительных санитарных условиях.

Бактериальная обсемененность молока наиболее точно отражает санитарные условия его получения (рисунок 1.2). В среднем до 36% от общей бактериальной обсемененности молока приходится на корову (чистота вымени и прилегающих к ней кожных покровов) и доильные аппараты, а при перекачивании и транспортировке этот показатель увеличивается вдвое [46, 93, 110, 257, 271].

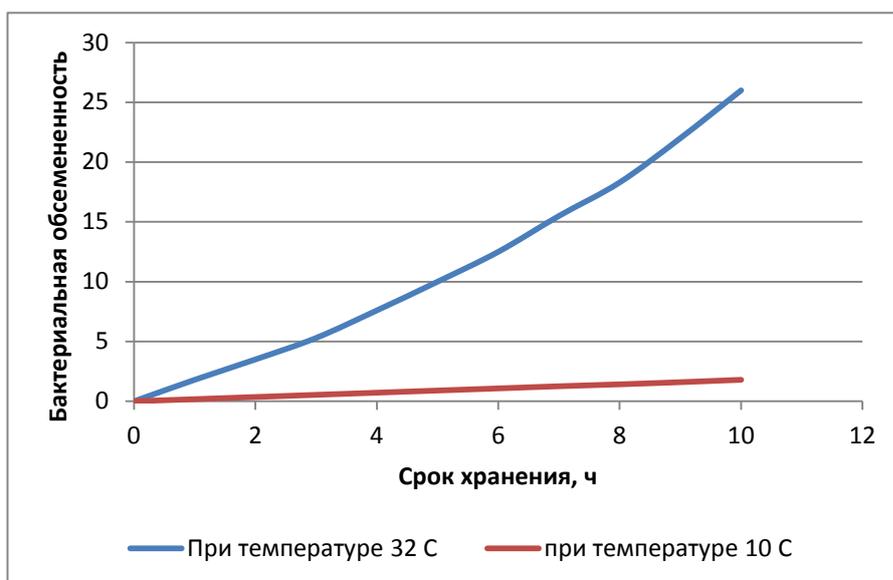


Рисунок 1.2 - Зависимость бактериальной обсемененности молока от температуры

Охлаждение молока до 10°C позволяет поддерживать бактериальную стабильность в нем до 10 ч, охлаждение до $4-6^{\circ}\text{C}$ – свыше 24 ч.

Однако охлаждение не следует принимать за фактор, восстанавливающий качество молока. Охлаждение только задерживает рост уже имеющихся в молоке бактерий. Если оно содержит более 500 тыс./см^3 бактерий, нельзя ожидать, что после охлаждения оно будет принято первым сортом. Поэтому эффект от охлаждения молока будет только в случае, если оно изначально соответствует высокому качеству.

Также в ГОСТ по качеству молока включены требования по температуре заморзания. Точка заморзания молока ниже, чем воды. Для молока высшего, I и II сортов она должна быть не выше минус $0,52^{\circ}\text{C}$.

В соответствии с требованием ГОСТа молоко должно быть получено от здоровых коров и сразу же после дойки, а лучше во время нее профильтровано и охлаждено до температуры $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Пункты 7.3 и 7.4 ГОСТа регламентируют температуру молока не только при хранении, но и при перевозке: «Молоко транспортируют при его температуре от 2°C до 8°C не более 12 ч. У производителя молоко хранят

при температуре 4 ± 2 °С не более 24 ч. При сдаче на предприятие молочной промышленности температура молока должна быть не выше 8 °С...».

Такие жесткие требования к охлаждению молока вызваны прямой зависимостью длительности бактерицидной фазы от температуры хранения [94, 104, 110, 117, 266].

В связи с этим, основной акцент в нашей работе посвящен вопросам охлаждения молока на основе использования естественного холода.

1.2 Технология получения и использования холода машинной выработки

Как видно из анализа литературных источников, холодильная техника имеет богатую историю. Холодильные машины с XIX века и по сегодняшний день широко используются во всех сферах человеческой деятельности. Усилиями многочисленных ученых, инженеров, изобретателей конструкции холодильных машин сегодня доведены практически до идеального совершенства.

Сегодня холод машинной выработки используется повсеместно. Трудно назвать область человеческой деятельности, в которой не использовался бы холод машинной выработки для понижения температуры, если того требуют условия [6, 39, 40, 57, 61, 85, 216, 261].

По принципу работы все современные холодильные машины можно классифицировать следующим образом (рисунок 1.3).

На животноводческих предприятиях, в пищевой и перерабатывающей промышленности наибольшее распространение получили компрессионные холодильные машины.

В основе работы всех компрессионных холодильных машин используется принцип теплопоглощения и тепловыделения при переходе рабочего вещества из одного агрегатного состояния в другое: из жидкого в газообразное и из газообразного в жидкое. Процессы теплопоглощения и

тепловыделения при этом происходят при неизменной, постоянной для данного состояния температуре [4, 46, 92, 93, 104, 110, 151, 255].

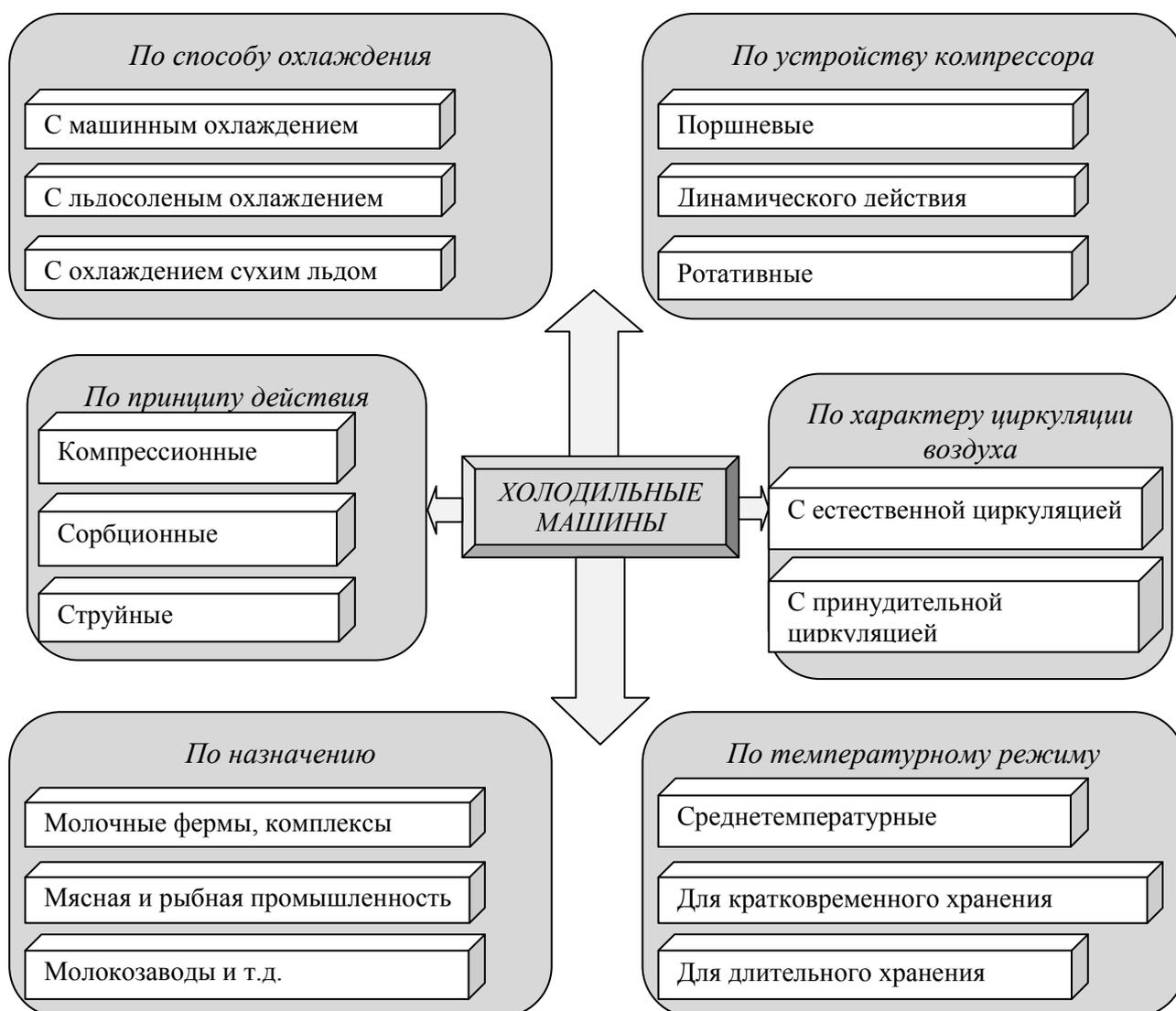


Рисунок 1.3 - Классификация холодильных машин

Английский ученый Блэк (1760 г) показал, что при постоянной температуре вещество может поглощать или выделять тепло путем изменения его агрегатного состояния, а также дал количественную оценку теплоты при изменении агрегатного состояния вещества.

Энергетическое состояние 1 кг воды, например, при изменении агрегатного состояния выглядит следующим образом (рисунок 1.4).

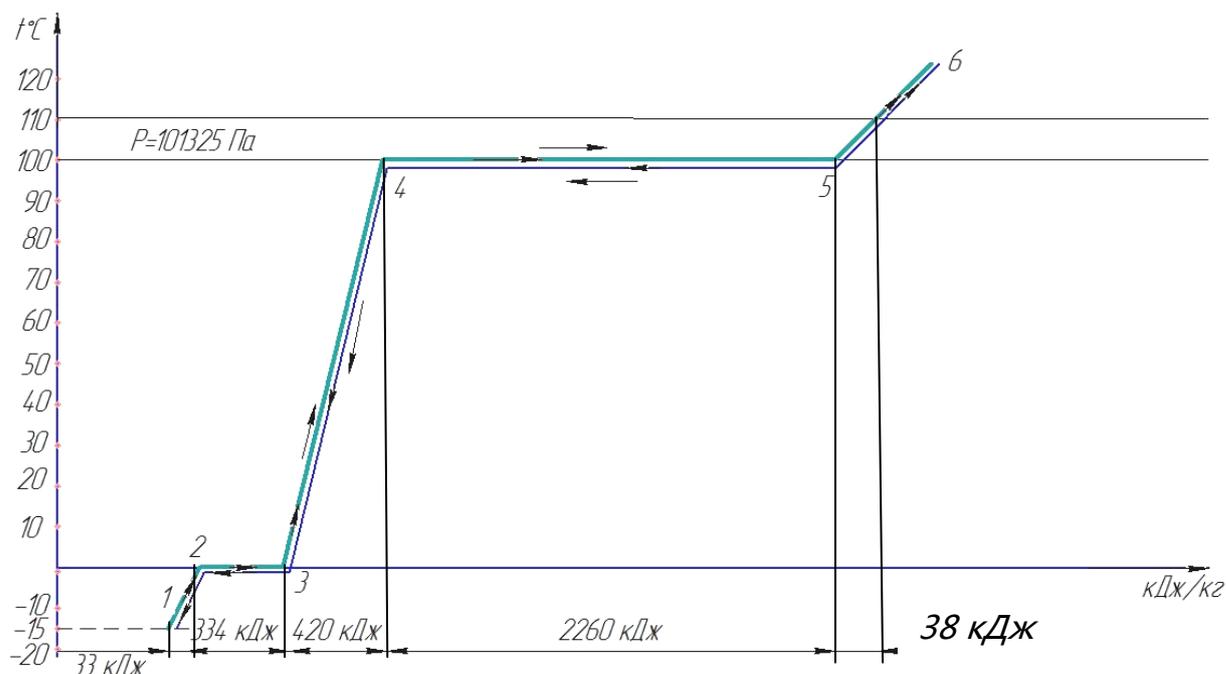


Рисунок 1.4 - Поглощение и выделение теплоты при изменении агрегатного состояния 1 кг воды.

По такому же принципу происходит изменение агрегатного состояния всех веществ, в том числе хладагентов, используемых в холодильных машинах, за исключением того, что хладагент не имеет твердой фазы. Цикл хладагента в холодильной машине имеет следующие фазы: «жидкость – насыщенный пар – перегретый пар – насыщенный пар – жидкость».

Если этот хладагент замкнуть в изолированной термодинамической системе и создать условия для сбора паров испарившегося хладагента и обратного преобразования его в жидкость путем конденсации паров, то эту жидкость можно вновь использовать для охлаждения.

Схема такой термодинамической системы приведена на рисунке 1.5, а процессы, протекающие в системе, отображены в P - V координатах (рисунок 1.6).

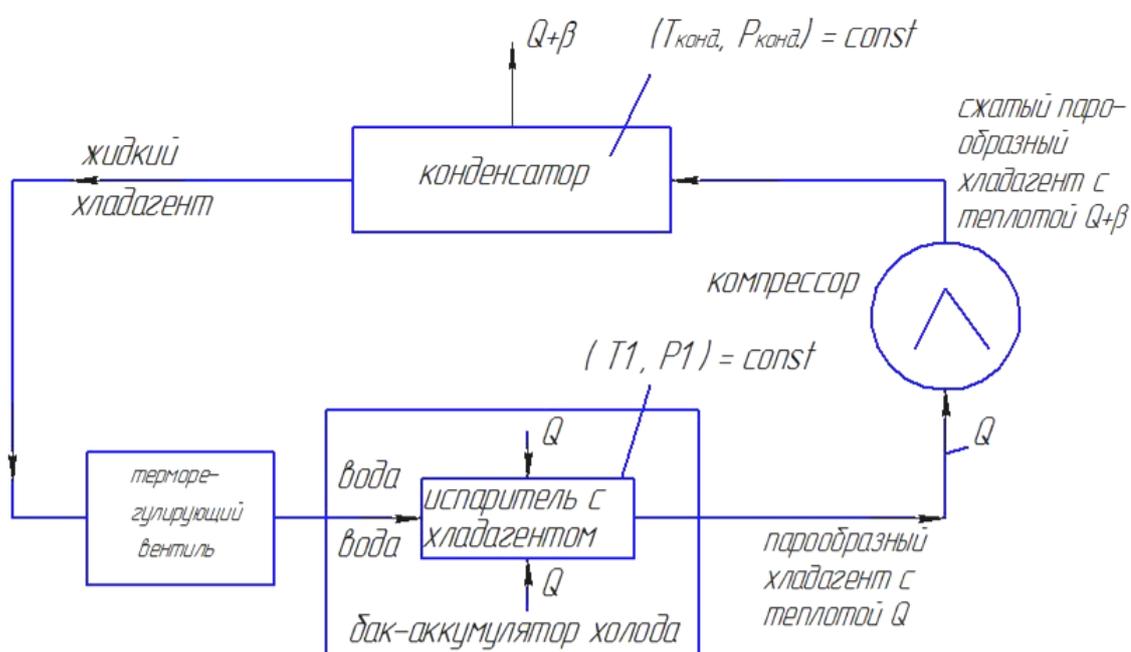


Рис. 1.5 - Блок-схема парокомпрессорной холодильной машины

В воде бака-аккумулятора холода находится испаритель. В испаритель поступает жидкий хладагент, который при данных T_1 ; P_1 испаряется, поглощая тепло от воды (поток Q и прямая «4-1» на рисунке 1.6).

Регулируя давление в испарителе с помощью терморегулирующего вентиля, (точка кипения жидкости зависит от давления) можно сделать так, чтобы хладагент превращался в пар при требуемой температуре. Тепло Q у воды в баке будет отниматься хладагентом, и передаваться в окружающую среду. Для этого хладагент сжимают компрессором до давления P_2 (кривая «1-2») и направляют в теплообменник, называемый *конденсатором*. Конденсатор обдувается холодным воздухом или омывается водопроводной водой, в результате чего теплота от конденсатора переходит к этому воздуху (воде) (поток $Q+\beta$, прямая «2-3», рисунок 1.6).

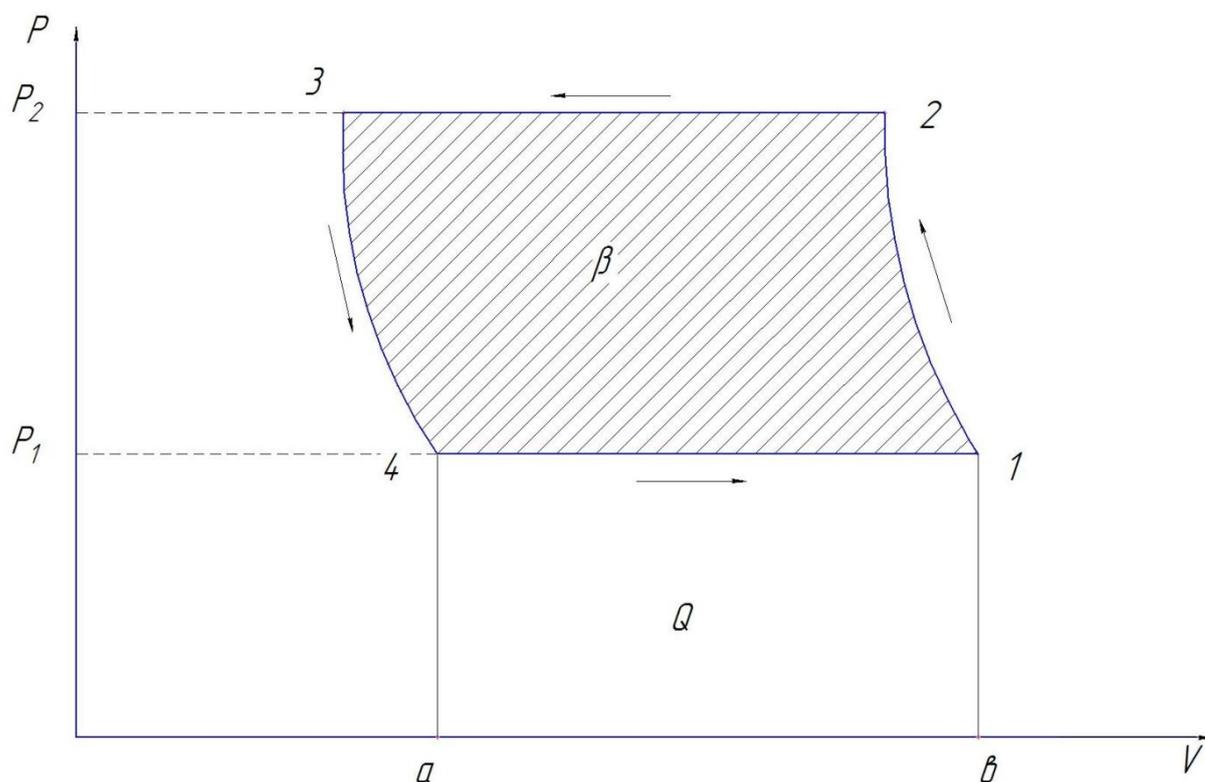


Рис. 1.6 - Диаграмма холодильного цикла в P - V координатах

Основной технической характеристикой любой холодильной машины является холодопроизводительность. **Холодопроизводительностью** холодильной машины называется количество теплоты (Дж), перекачиваемой (передаваемой) холодильной машиной от охлаждаемого продукта к хладагенту в единицу времени (час) [94, 98, 110].

Численное значение холодопроизводительности компрессорной холодильной машины определяется количеством газообразного хладагента, перекачиваемого компрессором по контуру «компрессор – конденсатор – ресивер - терморегулирующий вентиль – испаритель – компрессор», в единицу времени.

Подача компрессора не является величиной постоянной. Ее числовое значение зависит от величины давления на входе в компрессор и выходе из него. Абстрагируясь от подробностей термодинамических процессов в холодильной машине можно сказать, что при охлаждении молока (например в РНО) холодопроизводительность компрессорно-конденсаторного агрегата

все время уменьшается с уменьшением температуры молока. Чем ниже температура молока, тем «труднее отнимать» у него теплоту.

Точная зависимость подачи любого компрессора от давления в технической литературе изображается графиком в осях «подача-давление», именуемым характеристикой компрессора.

С целью выявления холодопроизводительности, изготовители холодильных машин показывают ее значение косвенно:

а) массой льда, намораживаемого в аккумуляторе холода за определенное время, кг/час;

б) массой молока, охлаждаемого машиной от начальной температуры до конечной ($^{\circ}\text{C}$) за определенное время кг/час.

Располагая данными «а» или «б», можно вычислить холодопроизводительность (Вт) [46, 104, 119, 172, 278].

В этом случае секундная холодопроизводительность равна:

$$Q = M_n C_n (t_{н.н} - t_{к.н}) / 3600, \quad (1.1)$$

где M_n – массовый расход жидкого продукта, кг/с,

C_n – удельная теплоемкость продукта, Дж/кг·К,

$t_{н.н}$ и $t_{к.н}$ – начальная и конечная температуры продукта, К.

Холодопроизводительность, вычисленная по зависимости 1.1, является *средней* холодопроизводительностью. При охлаждении, например, молока она будет несколько отличаться от вычисленной. Но это отличие незначительно и для практических расчетов этим пренебрегают.

В технологических расчетах, подобных в приведенных примерах, можно вычислить числовое значение любой из входящих в формулу 1.1 величин, при условии, что все остальные значения заданы. Если же неизвестных величин будет больше, чем одна, задача становится статически неопределимой, то есть имеет множество решений. Представим исходные данные и расчетные величины в форме таблицы 1.7.

Таблица - 1.7. Исходные данные к расчету

Заданные величины					Не известные величины	Расчетная формула
M	C	t_H	t_K	$T_{сек}$	Q_c	$Q_c = MC(t_H - t_K)/T_{сек}$
M	C	t_H	t_K	Q_c	$T_{сек}$	$T_{сек} = MC(t_H - t_K)/Q_{сек}$
M	C	t_H	Q_c	$T_{сек}$	t_K	$t_K = t_H - Q_c T_{сек}/(MC)$
M	C	Q_c	t_K	$T_{сек}$	t_H	$t_H = t_K + Q_c T_{сек}/(MC)$
M	Q_c	t_H	t_K	$T_{сек}$	C	$C = Q_c T_{сек}/(M(t_H - t_K))$
Q_c	C	t_H	t_K	$T_{сек}$	M	$M = Q_c T_{сек}/(C(t_H - t_K))$

Холодильную установку выбирают по наибольшей суточной потребности в холоде [46, 92, 93, 104, 151, 278]:

$$Q_{сут} = \Sigma Q_1 + \Sigma Q_2 + \Sigma Q_3 \quad (1.2)$$

Количество холода, необходимое для охлаждения продукта до температуры хранения:

$$Q_1 = G \cdot c(t_{нач} - t_{кон}) \quad \text{или} \quad Q_1 = G(i_H - i_K) \quad (1.3)$$

Количество холода, необходимое для поддержания постоянной температуры при хранении:

$$Q_2 = Q_2' + Q_2'' + Q_2''' \quad (1.4)$$

Количество холода, необходимое для компенсации притока внешнего тепла:

$$Q_2' = 24 \Sigma k F \Delta t \quad (1.5)$$

Количество холода для компенсации нагрева продукта при его перекачке насосом по трубам:

$$Q_2'' = 860Pz \quad (1.6)$$

Количество холода для компенсации потерь, возникающих при вентиляции холодильных камер:

$$Q_2''' = \alpha B(i_1 - i_2) \quad (1.7)$$

Потребность в холоде для компенсации случайных неучитываемых потерь:

$$\Sigma Q_3 = (0,1 \div 0,4) \Sigma Q_1 \quad (1.8)$$

где G_c – масса продукта, подлежащего охлаждению, кг/сут;

c – теплоемкость продукта, Дж/кг·°С;

$t_{нач} - t_{кон}$ – начальная и конечная температура продукта, К;

i_n, i_k – начальное и конечное теплосодержание продукта, Дж/кг;

k – общий коэффициент теплопередачи, Дж/м²·ч·К;

F – поверхность теплообмена, м²;

Δt – разность температур между средами, находящимися в условиях теплообмена и разделенными поверхностью теплообмена, К;

P – мощность насоса для перекачки продукта, Вт;

z – длительность работы насоса, ч/сут.;

α – кратность смены воздуха в холодильных камерах, раз/сут.;

B – масса удаляемого воздуха при температуры камеры, кг;

i_1, i_2 – энтальпии наружного воздуха и воздуха камеры при соответствующей влажности.

Расчетная рабочая производительность холодильной машины

$$Q_p = \frac{Q_{cym}}{z} \quad (1.9)$$

Число часов работы машины зависит от организации труда в хозяйстве и обычно не превышает 16 ч (двухсменная работа) [46, 92, 93, 104, 151, 278].

Ориентировочный выбор требуемой холодильной установки в упрощенном виде осуществляют с учетом ее рабочего режима: температуры испарения хладагента и температуры конденсации паров хладагента, обусловленных перепадом давлений в системах высокого и низкого давления установки [46, 94, 221, 222]. Температуру конденсации выгодно иметь как можно более низкой, для чего в компрессорных установках перед регулировочным вентилем дополнительно к конденсатору, охлаждаемому водой или воздухом, в зависимости от конструкции машины, устанавливают теплообменник для дополнительного охлаждения жидкого хладагента парами хладагента, отсасываемого из испарителя в компрессор, или используют для этой цели воду и воздух. Температура испарения в холодильных машинах должна быть ниже на 10-15 °С требуемой технологией производства температуры промежуточного хладоносителя. От вида хладагента и температурного режима работы зависит объемная холодопроизводительность q_0 (Дж/м³) и собственно холодопроизводительность холодильной установки:

$$Q = Lq_0 \quad (1.10)$$

где L – подача (производительность) компрессора установки, м³/ч.

q_0 - объемная холодопроизводительность, Дж/м³

Для воздухоохлаждаемых конденсаторов температуру конденсации паров «Фреона-12» принимают равной 40-45 °С. Система переохлаждения понижает температуру жидкого фреона перед испарителем, однако в летний

период она может быть в пределах 30-35 °С. Пересчет рабочей расчетной холодопроизводительности проводят по формуле (Дж/ч):

$$Q_0 = Q_p \frac{q_{v_c} \lambda_c}{q_{v_p} \lambda_p} \quad (1.11)$$

где λ_p, λ_c - коэффициенты подачи фреона компрессором при рабочих и стандартных условиях работы, принимаемые по справочным данным. В ориентировочном расчете в условиях работы, близких к паспортным,

принимают $\frac{\lambda_c}{\lambda_p} = 1$

q_{v_c}, q_{v_p} - объемная холодопроизводительность компрессора для паспортных и расчетных условий, Дж/м³.

Для удобства расчета холодильных установок нами разработано программное обеспечение, обеспечивающее упрощение выбора оборудования для каждого конкретного случая в зависимости от поголовья дойного стада, среднегодового удоя и режимов работы предприятия (Приложение 5).

Усилиями многих специалистов во всем мире технология производства и использования искусственного машинного холода доведена практически до совершенства. Но, даже самые совершенные холодильные машины, имеют серьезные, неустраняемые недостатки:

- машины сложны в устройстве, металлоемки и, следовательно, дороги;
- трудоемки в обслуживании, требуют наличия высококвалифицированного персонала;
- энергоемки. На охлаждение каждой тонны молока затрачивается до 35 кВт × часов электроэнергии;
- имеют сравнительно низкую надежность функционирования;
- оказывают негативное влияние на экологию.

Из-за низкой надежности, и нередко низкой квалификации обслуживающего персонала, возникают отказы в работе, приводящие к снижению качества молока. Кроме того, большая часть машинного парка холодильной техники в сельском хозяйстве РФ, на начало 2016 года, выработала свой эксплуатационный срок и требует незамедлительной замены [70, 71, 92, 96, 97, 156, 175, 270, 271].

1.3 Обзор научных исследований и производственного опыта по использованию естественного холода

1.3.1 Сезонное использование естественного холода

Опубликованные научные исследования и конструктивные разработки ученых и практиков по рассматриваемой проблеме в большинстве случаев предлагают использовать естественный холод только в периоды околонулевых и отрицательных температур окружающей среды. Естественный холод – один из важнейших возобновляемых источников энергии. Он является также одним из главных и экологически чистых энергосберегающих средств, обеспечивающих сохранность сельскохозяйственной скоропортящейся продукции непосредственно в местах производства [12, 34, 36, 58, 59, 103, 142, 143, 144, 162, 181, 213, 218, 234, 238, 264, 265]. Преимуществами установок естественного холода являются:

- простота изготовления, обслуживания, ремонта оборудования;
- доступность использования в отдаленных районах;
- высокая надежность охлаждающих систем;
- способность к непрерывному аккумулярованию холода в течение суток в холодный период года;

- экономия электроэнергии, остродефицитного холодильного оборудования и материалов, исключение использования фреона и фреоновых масел;
- низкая себестоимость холода.

Вместе с тем климатические условия на большей части нашей страны обеспечивают отрицательные температуры наружного воздуха 120...150 суток в году. Больше половины территории России располагается в зоне вечной мерзлоты [77, 97, 99, 100, 143, 144, 145, 159, 160, 162].

Большой вклад в решение проблемы эффективного использования естественного холода внесли ученые Босин И.Н., Бобков В.А., Квашенников В.И., Коршунов Б.П., Марьяхин Ф.Г., Мусин А.М., Учеваткин А.И., Цой Ю.А. и многие другие. Они сформировали основные требования к системам охлаждения молока, разработали типоразмерный ряд установок для охлаждения молока с использованием естественного холода, методики расчета и обоснования параметров, режимов работы [26-29, 34-36, 97-101, 141, 158, 161, 162, 181, 256, 264, 265, 282].

Одними из первых научных работ, посвященных использованию естественного холода в народном хозяйстве СССР, явились работы В.А. Бобкова.

ВИЭСХ ведет научные работы по использованию природного холода в сельском хозяйстве с 1979 года. В России первый опыт крупномасштабного использования природного холода был осуществлен на животноводческом комплексе «Гольево» плем-завода – колхоза «Завет Ильича» Красногорского района Московской области. В этом хозяйстве в 1983 -1984 годах были введены в эксплуатацию первые опытно-промышленные установки для охлаждения молока, полученного от стада до 1000 голов. В 1984 г. на основе обобщения опыта плем-завода – колхоза «Завет Ильича», по решению Госплана СССР (протокол заседания №3 от 14.12.1984г) впервые в России началось широкомасштабное использование природного (естественного) холода для охлаждения молока и другой сельскохозяйственной продукции.

На начальном этапе «приручения» естественного холода для охлаждения молока использовалась идея применения холодной природной воды – родниковой, скважинной (артезианской) и т.д. Холодная вода при контакте с теплым молоком в теплообменном аппарате отнимает теплоту от молока и утилизирует ее тем или иным способом.

Водой, нагретой в теплообменнике – охладителе можно распорядиться по-разному, но вариантов фактически всего три. По-первому - вода сбрасывается в канализацию. Такой способ по сей день широко применяется при использовании водопроводной, родниковой воды во фляжных охладителях, в пластинчатых охладителях молокопроводных доильных установок. Очевидно, что в настоящее время не только по экологическим, но и по экономическим соображениям это не приемлемо.

По второму варианту нагретая вода используется для поения коров, мойки оборудования и уборки помещений. Такое решение самое привлекательное, т.к. одновременно утилизируется и полученное ею тепло. Однако это решение вызывает необходимость наличия дополнительного оборудования, чаще всего нестандартного. Именно по этой причине полезное использование воды, нагретой охлажденным молоком, на молочных фермах встречается крайне редко. Остается последнее – нагретую воду охладить и повторно использовать, т.е. организовать водооборотную систему. Именно водооборотное потребление охлаждающей воды и является преимущественным для молочно-товарных ферм и молокозаводов [266, 270, 271].

Охлаждение оборотной воды получило термины *холодонакопление*, *аккумуляирование холода*, а устройства, в которых вода охлаждалась и хранилась, стали называть аккумуляторами холода. Количество холода (Дж, Вт·часов), содержащееся в аккумуляторе, получило название *емкость*, *вместимость* аккумулятора холода. Конструкции водоохлаждающих устройств, являющихся составной частью аккумулятора холода весьма

разнообразны, но все они выполняют одну задачу – теплоту, поглощенную от нагретой воды, рассеять в окружающей среде.

Самым простым и самым дешевым аккумулятором естественного холода является бак с водой под открытым небом. Числовое значение зарядной холодопроизводительности в этом случае обеспечивается только за счет теплопередачи от стен бака и от открытой водной поверхности к холодному окружающему воздуху. В связи с тем, что коэффициент теплопередачи от открытой водной поверхности к воздуху многократно больше коэффициента теплопередачи от стенки бака к воздуху, конструкторы стремились как можно больше увеличить в теплообменных аппаратах площадь открытой поверхности. Так появилась идея использования градирни в дополнение к баку. Структурная схема градирни представлена на рисунке 1.7.

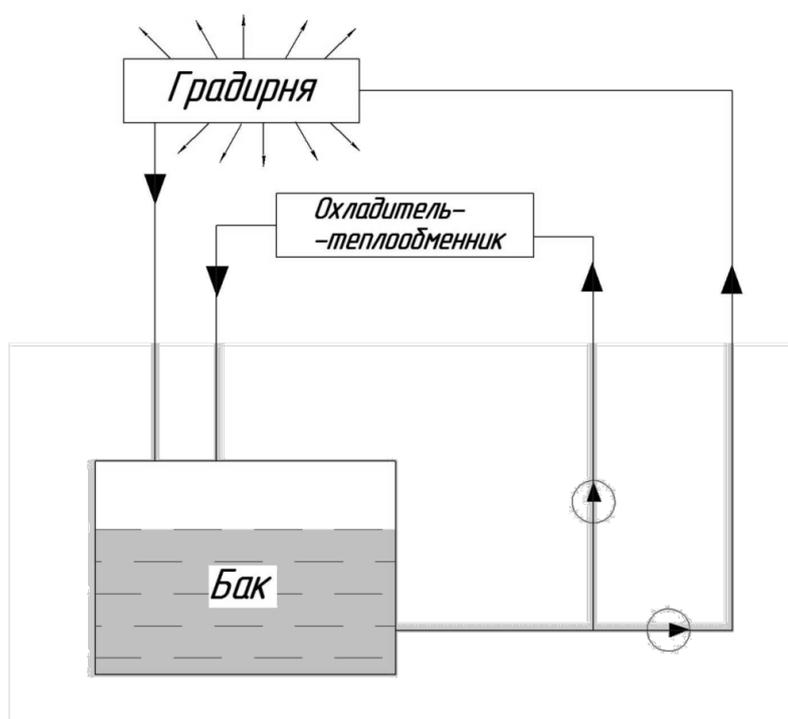


Рисунок 1.7 - Структурная схема аккумуляторной системы естественного холода на основе градирни

Как видно из рисунка 1.7, основой любой конструкции аккумуляционной системы естественного холода является бак – аккумулятор холода.

К баку присоединены два контура:

- Контур градирни, назначение которого передавать теплоту от воды в окружающую среду. Как правило, на фермах градирни используются только в сезон положительных околонулевых температур воздуха.

- Контур теплообменника-охладителя молока, перекачивающий теплоту от молока к воде в баке.

В связи с большим разнообразием конструкций охладителей-теплообменников, скорость теплопередачи (Дж/с, Вт) названных контуров никогда не бывает одинаковой. Скорость теплопередачи контура градирни многократно меньше скорости теплообменника-охладителя молока. Значит, для накопления необходимого количества холода, потребного для охлаждения конкретной массы молока в заданном температурном интервале, длительность работы контура градирни должна быть многократно больше работы контура теплообменника-охладителя.

Конструктивно-технологические схемы градирен довольно разнообразны. Их можно классифицировать по следующим признакам.

1. по способу потока воздуха
 - 1.1 вентиляторные;
 - 1.2 безвентиляторные. В последних циркуляции воздуха осуществляется за счет естественной тяги;
2. по направлению потоков воздуха и охлаждаемой воды
 - 2.1 противоточные;
 - 2.2 попутного направления;
3. по форме водного потока, проходящего через внутренний объем градирни
 - 3.1 капельные;
 - 3.2 пленочные.

Конструктивно-технологические схемы градирен представлены на рисунках 1.8; 1.9.

И те и другие градирни относятся к устройствам испарительного охлаждения. Вместе с тем известно, что в процессах с изменением фазового состояния (в данном случае испарение) направление движения фаз не оказывает заметного влияния на величину движущей силы, т.е. в этом отношении противоточные градирни и прямоточные практически равноценны.

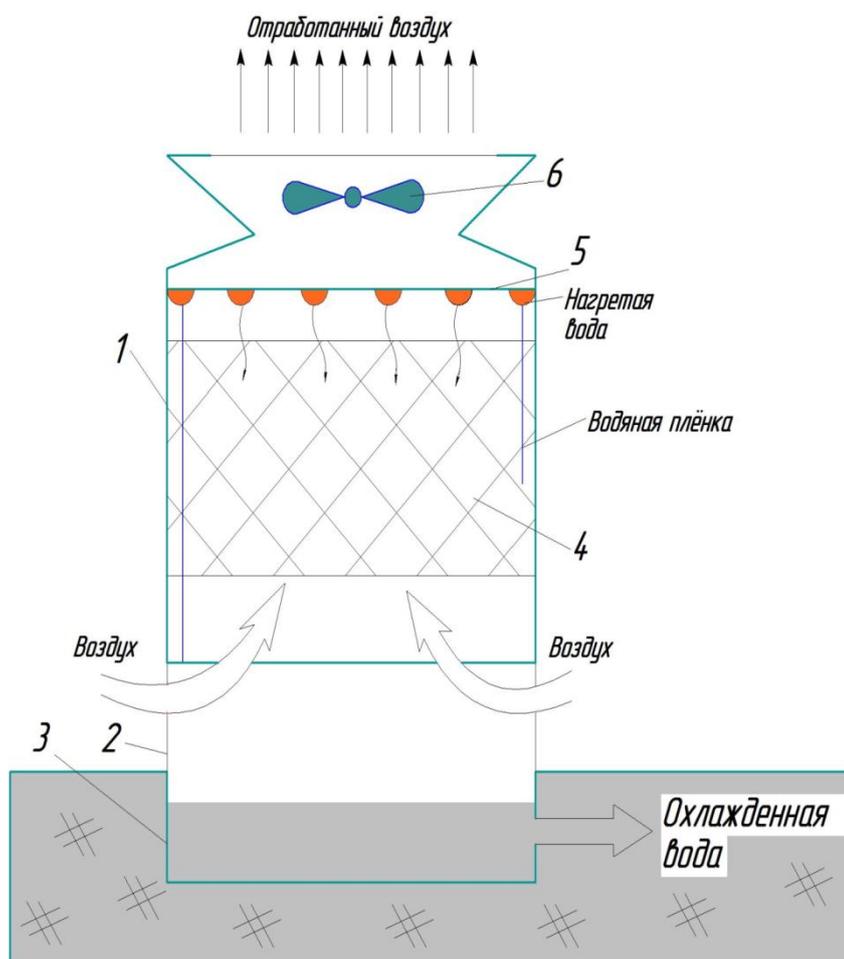


Рисунок 1.8 - Технологическая схема вентиляторной противоточной пленочной градирни

1- корпус; 2 – воздухоотводное окно; 3 – чаша (резервуар охлажденной воды); 4 – ороситель (насадка для формирования пленочного слоя); 5 – водооросительная система; 6 – вентилятор.

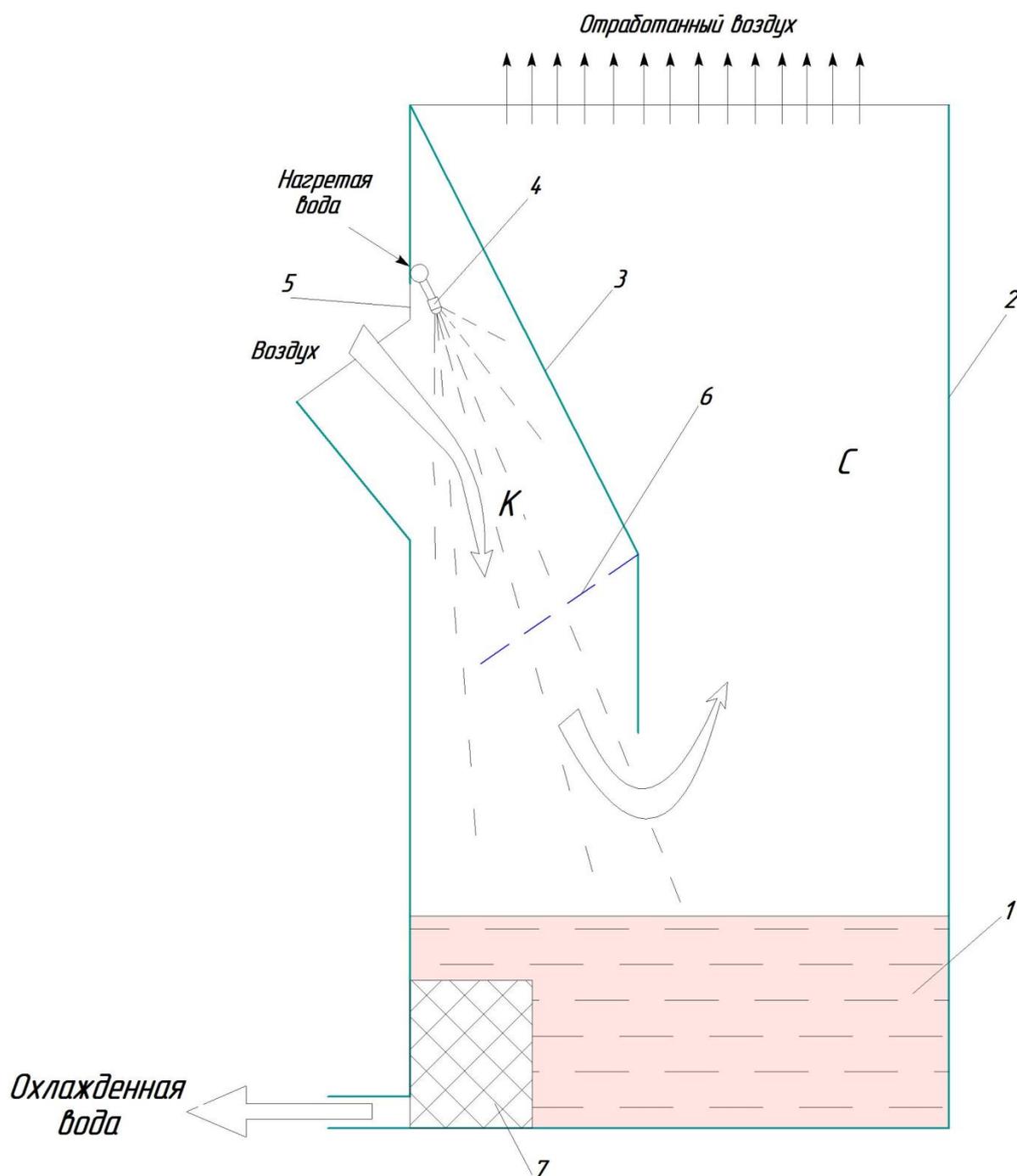


Рисунок 1.9 - Технологическая схема безвентиляторной капельной градирни

К – зона контакта; С – зона сепарации; 1 – поддон; 2 – корпус; 3 – наклонная перегородка; 4 – водораспределительная система с форсунками; 5 – воздуховодное окно; 6 – устройство принудительного вторичного дробления крупных капель (может отсутствовать); 7 – фильтр.

Первым принципиальным различием является способ развития поверхности контакта фаз (воды – воздуха). В градирнях эта поверхность

формируется при растекании воды по оросителю в виде пленки. Очевидно, что ороситель тем совершенней, чем большая поверхность пленки образуется в единице (м^3) занимаемого им объема. Однако при этом совершенно не безразлично, какое гидравлическое сопротивление создает самотечный ороситель движению воздуха. Известна качественная зависимость: чем более развита поверхность оросителя, тем выше гидравлическое сопротивление и больше затраты энергии на продувание воздуха через градирню.

Во всех градирнях, не зависимо от их конструктивных особенностей, охлаждение воды осуществляется одновременно двумя протекающими процессами:

- процесс теплопоглощения на испарение воды;
- процесс теплопередачи от нагретой поверхности к более холодному воздуху.

Удельная теплота испарения воды $2260 \cdot 10^3$ Дж/кг. Если из 100 кг воды, циркулирующей в контуре градирни, испарится 1 кг (1%), то температура оставшихся 99 кг уменьшится на Δt °С.

$$\Delta t = 2260 \cdot 10^3 / (99 \cdot 4,2 \cdot 10^3) = 5,4^\circ\text{C}$$

Принцип испарения 1,5...2% воды в сочетании с теплопередачей от нагретой воды к более холодному воздуху положен в основу работы всех градирен как промышленного, так и сельскохозяйственного назначения.

Недостатками данного вида устройств является то, что оно начинает эффективно работать только при низких температурах окружающего воздуха, и большие габаритные размеры.

Все многообразие известных сегодня аккумуляторов естественного холода, используемых для охлаждения молока, можно разделить на две группы:

- самозарядные. В таких аккумуляторах хранение холода и отвод тепла в окружающую среду осуществляется через стенки емкости и открытую водную поверхность.

- аккумуляторы со встроенным холодозарядным устройством: градирни, радиаторы, тепловые трубы (термосифоны) и т.д.

Основными, важнейшими показателями технической характеристики аккумуляторов естественного холода, как и машинного должны быть:

- емкость, вместимость холода (Дж, Вт·час)
- величина зарядной холодопроизводительности (Вт), характеризующая длительность накопления холода (Дж, Вт·час), как функцию метеорологических условий окружающей среды (температура воздуха, скорость ветра).

Это позволяет легко вычислить длительность накопления холода полной или частичной емкости в зависимости от метеоусловий окружающей среды. В связи с очевидной эффективностью использования естественного холода для охлаждения жидкостных продуктов разработкой конструктивных схем, приборов, приспособлений для этих целей занимается большое число специалистов – ученых, инженеров, изобретателей.

В диссертационной работе Мальнева В.П. [160] рассмотрены вопросы использования естественного холода в хозяйствах центральной зоны России. Индекс холода для данного региона, по мнению автора, не позволяет использовать естественный холод для охлаждения молока в течение всего года. Оптимальным решением данной проблемы являются комбинированные системы, в которых использование естественного холода сочетается с искусственным холодом.

Мальнев В.П. разработал математические модели процесса охлаждения сельскохозяйственной продукции с использованием естественного холода, предложил метод расчета и обоснования параметров энергосберегающей системы охлаждения молока на фермах, обосновал перечень контролируемых и регулируемых параметров, позволяющий создать эффективные электрифицируемые системы охлаждения для центральных регионов страны. Схема комбинированной системы охлаждения молока, разработанная ученым, представлена на рисунке 1.10.

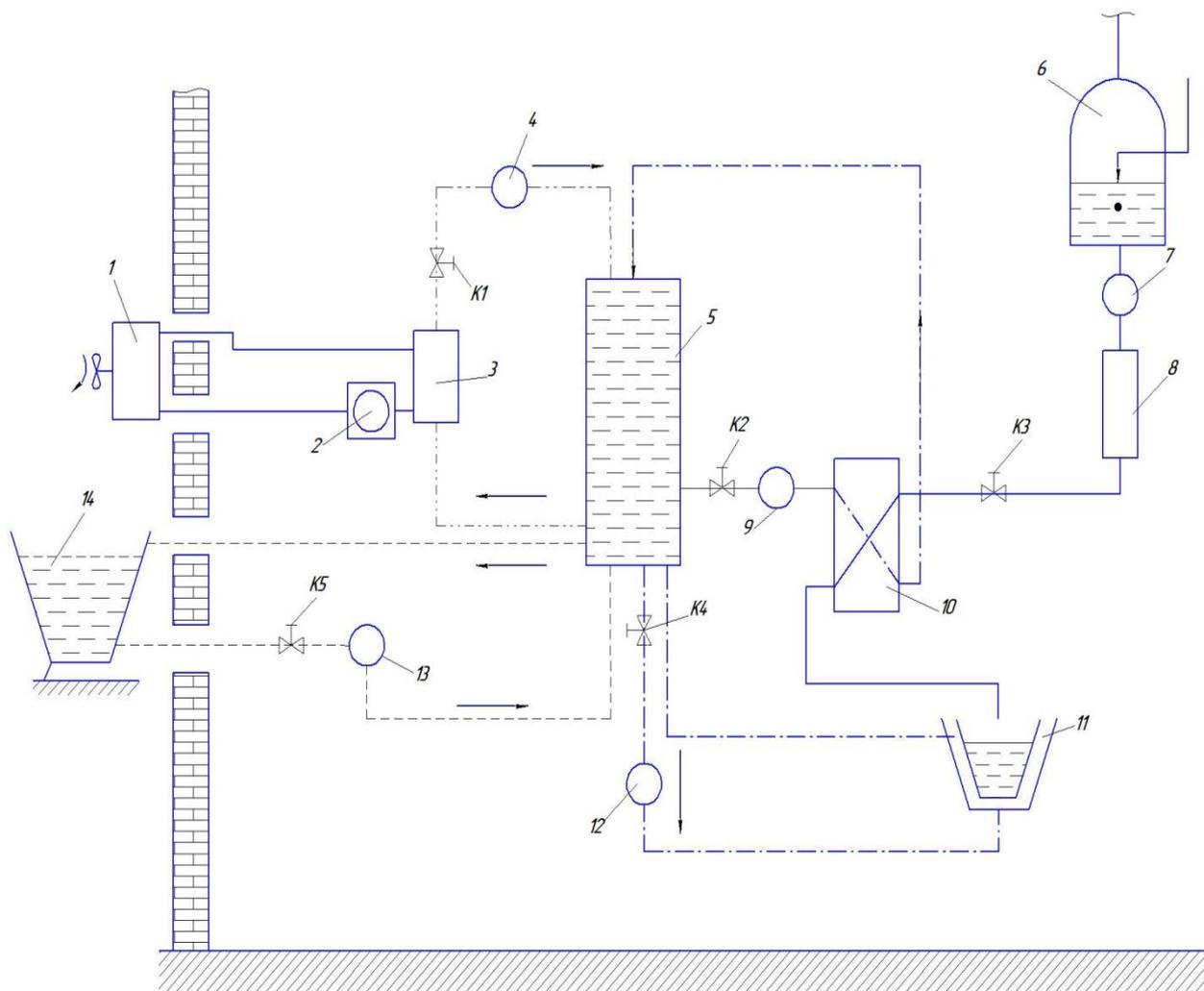


Рисунок 1.10. - Схема комбинированной системы охлаждения молока

1- конденсатор; 2 – компрессор; 3 – испаритель; 4, 9, 12, 13 – водяные насосы; 5 – центральный аккумулятор холода; 6 – молокосорбник-воздухоразделитель доильной установки; 7 – молочный насос; 8 – молочный фильтр; 10 – пластинчатый охладитель доильной установки; 11- резервуар промежуточного охлаждения; 14 – аккумулятор естественного холода; К1 – К5 - вентили.

Основным узлом схемы является центральный аккумулятор холода 5. К нему технологическими трубопроводами подключены четыре замкнутых контура и один разомкнутый:

- контур 3-4-5-3, генерирующий искусственный холод с помощью компрессорно-конденсаторного агрегата 1-2-3;
- контур 14-13-5-14, аккумулирующий естественный холод;

- контур 5-9-10-5, выполняющий предварительное охлаждение молока в пластинчатом теплообменнике, входящим в комплект доильной установки;
- контур 5-12-11-5, выполняющий доохлаждение молока в резервуаре с водяной рубашкой;
- разомкнутый контур 6-7-8-10-11, выполняющий грубую очистку молока в фильтре 8 и транспортировку его в резервуар 11.

С помощью кранов К1, К5 можно включать в работу контуры генерации искусственного и естественного холода, обеспечивая их работу либо в параллельном, либо в одиночной режиме.

Недостатком этой установки является ограниченный интервал эксплуатации, так при критичном для воды понижении температуры окружающей среды (морозе) эксплуатация устройства недопустима.

В диссертационной работе Лаврова В.А. [154] также рассматривались вопросы использования естественного холода для охлаждения молока в электрифицированных системах управления процессами охлаждения.

В настоящее время усилиями специалистов научно-исследовательских, проектно-технологических институтов, специалистов учебных ВУЗов, разработано большое количество систем, аккумулирующих естественный холод с целью охлаждения жидкотекучих продуктов (молоко, квас, пиво, соки и т.д). В качестве примера можно привести конструкции, разработанные авторами: Квашенников В.И., Мусин А.М., Марьяхин Ф.Г., Учеваткин А.И. и многие др. [193, 194, 197-208].

На рисунке 1.11 представлен один из вариантов рассмотренных технологических схем аккумуляторов естественного холода.

Аккумулятор можно отнести к группе самозарядных. Тепло от отработанной нагретой воды отводится в окружающую среду главным образом за счет теплообмена воды с окружающим холодным воздухом через стенки резервуаров и открытой водной поверхностью. Оригинальность конструкции заключается в способе перемешивания отработанной теплой воды с холодной водой резервуаров 1, 2, 3 при околонулевых температурах

воздуха. Траектория потока воды, при поступлении ее в верхний резервуар 3, показана зигзагообразными стрелками. Эта траектория обеспечивает хорошее перемешивание водной массы без специального побудителя. Траектория обеспечивается специальной формой перегородок 12, 13, 15, 1, 20, 21 и их расположением относительно боковых стенок и дна резервуаров 1, 2, 3. При околонулевых температурах отработанная теплая вода циркулирует по большому замкнутому контуру 17-8-5-3-4-2-19-1-6-18-17.

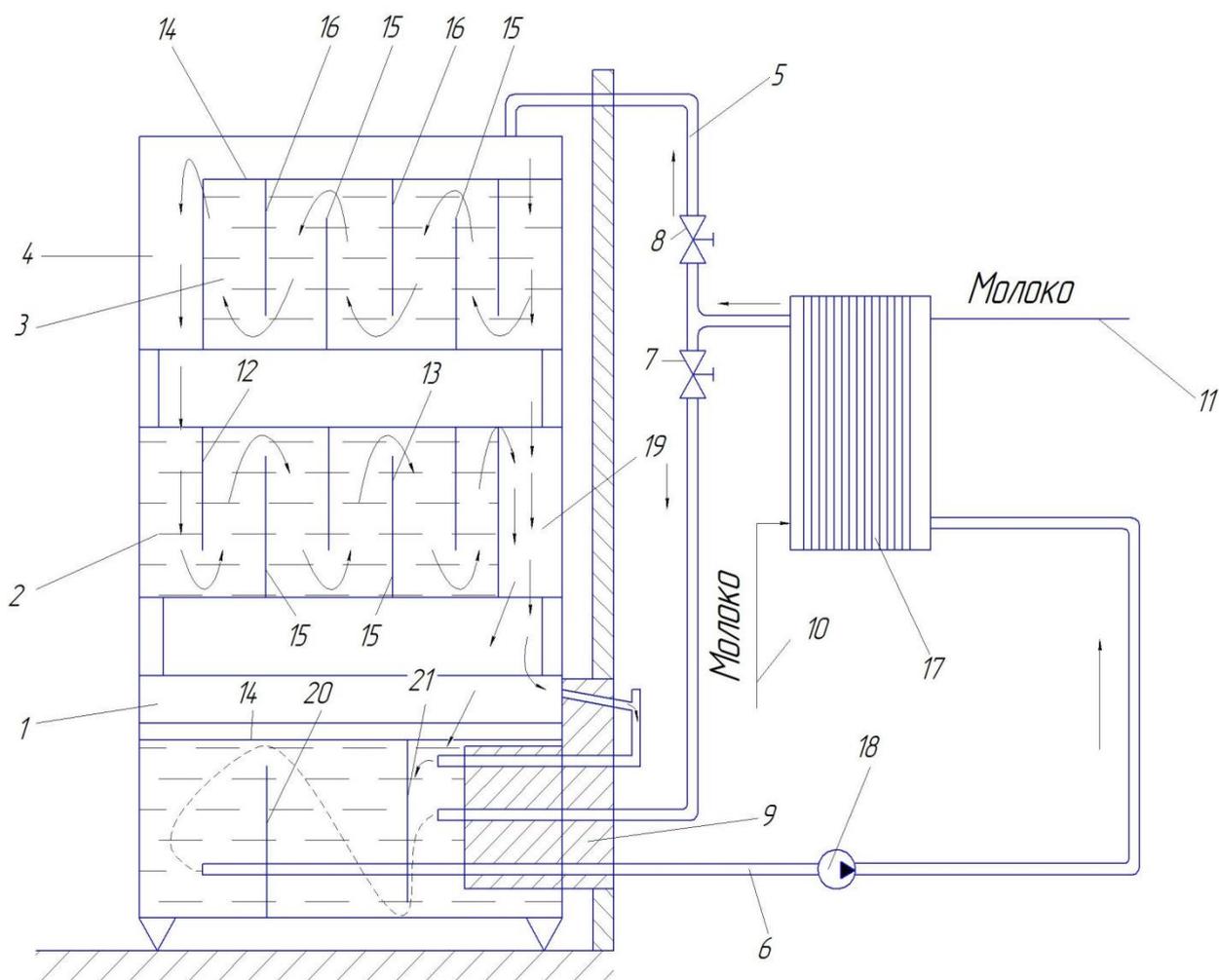


Рисунок 1.11 Схема аккумулятора естественного холода

1, 2, 3 – резервуары для воды; 4 – переливной канал; 5 – подводящая труба; 6 – отводящая труба; 7, 8 – краны; 9 – теплоизолированный ввод пучка труб; 10, 11 – соответственно ввод теплого и отвод холодного молока; 12, 13 – перегородки резервуара 2; 14 – уровень незамерзшей воды; 15, 16 – перегородки верхнего резервуара; 17 – пластинчатый теплообменник-охладитель; 18 – насос холодной воды; 19 – переливной канал среднего резервуара; 20, 21 – перегородки нижнего резервуара.

При отрицательных температурах воздуха открытая водная поверхность резервуаров в перерывах работы охладителя 17 покрывается льдом. В таких случаях вода течет по льду верхнего 3, среднего 2 резервуаров и через канал теплоизолированного ввода 9 попадает в подледное пространство нижнего резервуара 1, откуда по трубе 6, насосом 18 подается в охладитель 17, замыкая большой контур.

При сильных морозах кран 8 закрывается, а кран 7 открывается. Вода циркулирует по малому контуру 17-7-1-6-18-17.

Ледяная поверхность резервуаров 2, 3 в этом случае не используется. Но она пригодится в периоды оттепелей или устойчиво положительных температур. Главный недостаток – сложность конструкции

В литературе [193, 194] описаны еще несколько схем аккумуляторов, подобных рассмотренной. Различия заключаются лишь в количестве резервуаров и количестве и форме перегородок в резервуарах, что можно проследить на рисунках 1.12 и 1.13.

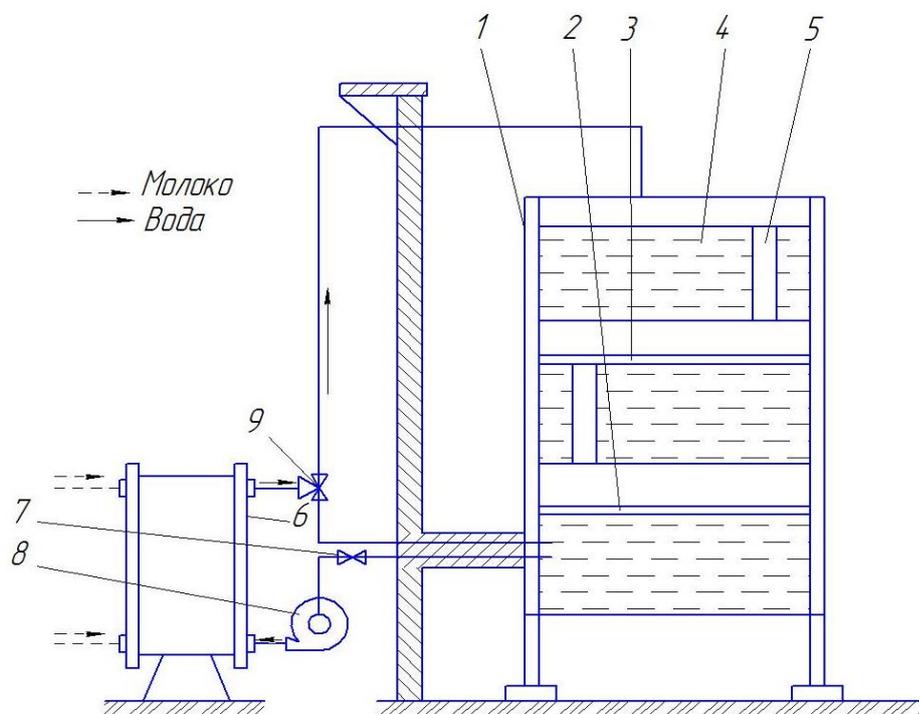


Рисунок 1.12 - Секционный аккумулятор естественного холода

1 – рама; 2, 3, 4 – емкости для воды; 5 – сливная труба; 6 – пластинчатый охладитель; 7 – вентиль; 8 – насос; 9 – трехходовой кран.

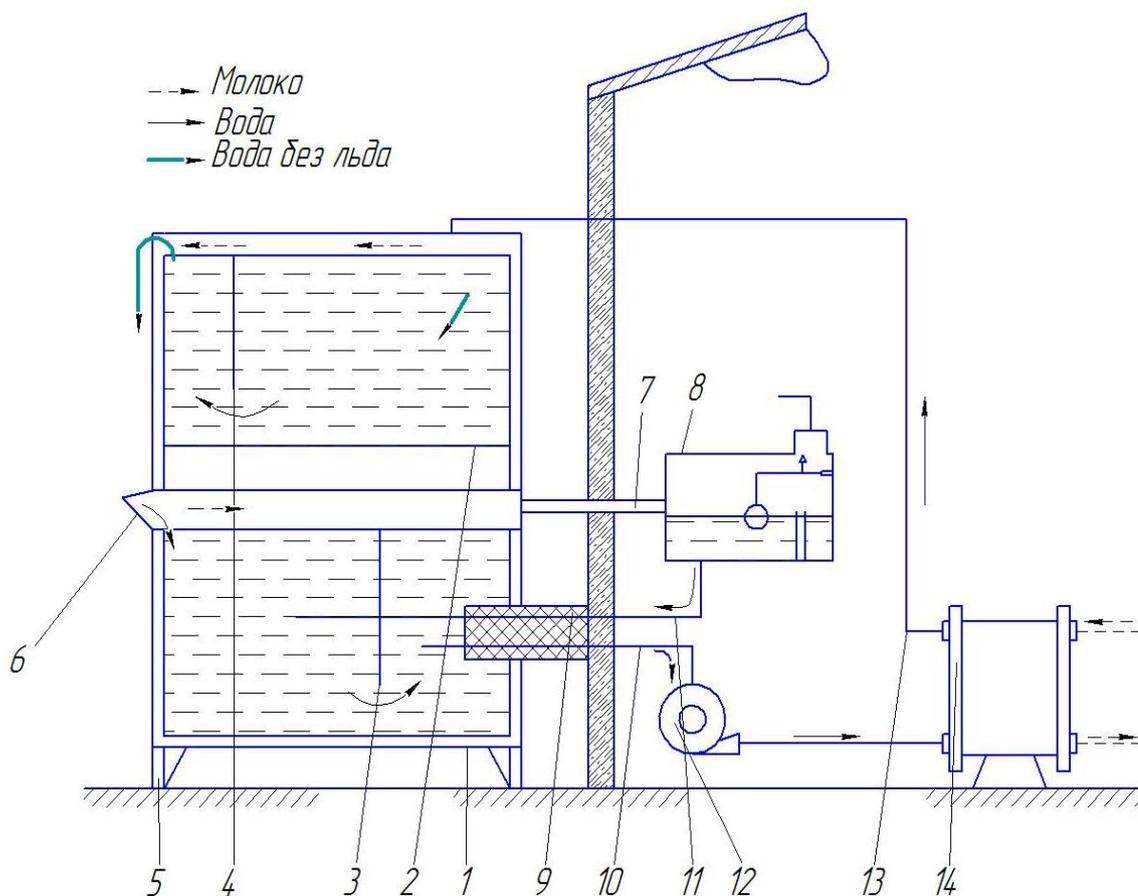


Рисунок 1.13 - Схема двухсекционного аккумулятора естественного холода

1, 2 – емкости; 3, 4 – перегородки; 5 – рама; 6 – козырек; 7 – переливная труба; 8 – бачок постоянного уровня; 9 – теплоизолированный ввод; 10, 11 – водозаборная и подпитывающая трубы; 12 – водяной насос; 13 – труба отепленной воды; 14 – охладитель.

Общим недостатком для данной конструкции является ограниченный интервал эксплуатации, так при критичном для воды понижении температуры окружающей среды (морозе) эксплуатация устройства недопустима.

В кафедре «Механизация животноводства» Мордовского государственного университета разработаны две конструкции: аккумулятор естественного холода А-15 (рисунок 1.14) и малогабаритный аккумулятор А-5 (рисунок 1.15).

Отличительной особенностью аккумуляторов А-15 и А-5, от ранее рассмотренных, является наличие в их конструкции специального холодо

зарядного устройства в виде вентиляторной градирни с насадкой, формирующей пленочный режим течения охлаждаемой воды.

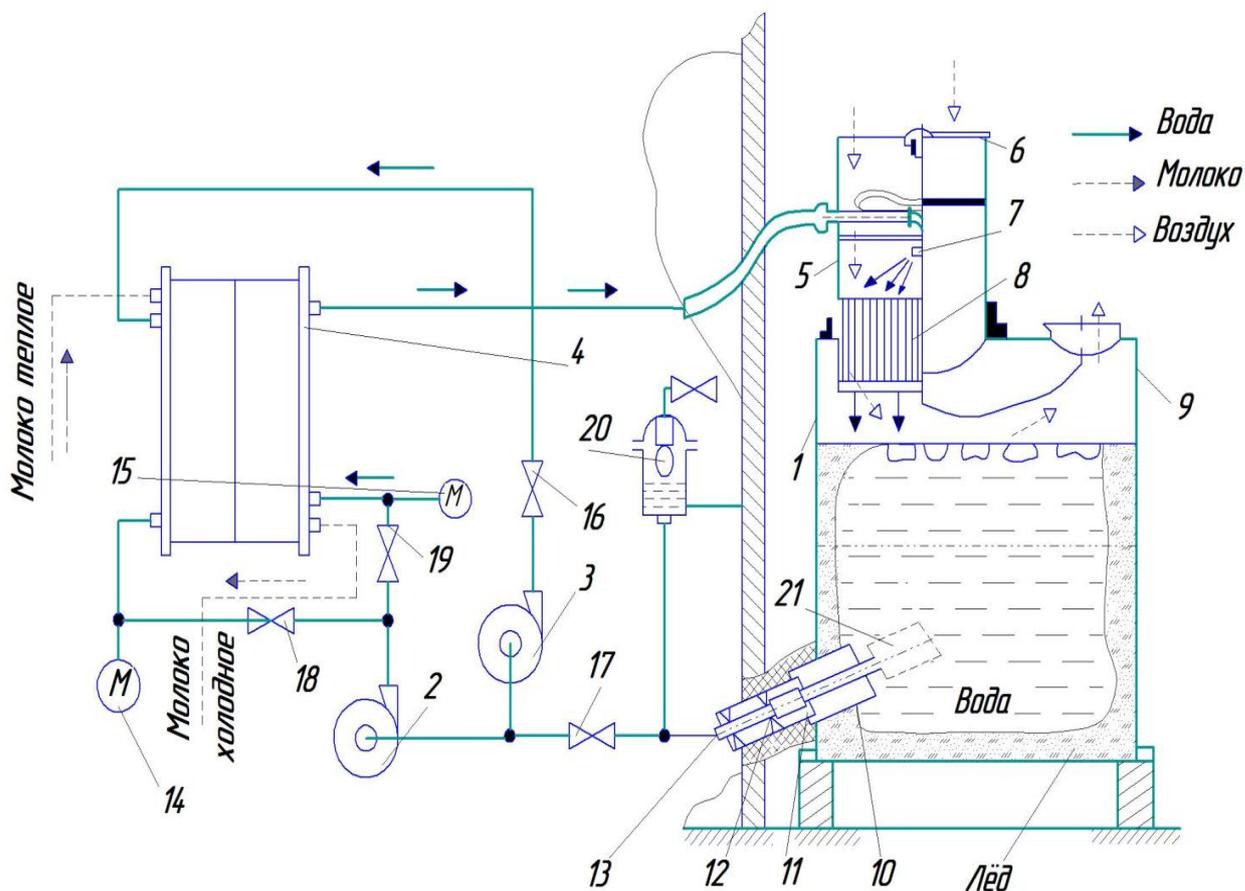


Рисунок 1.14 - Аккумулятор естественного холода А-15

1 – емкость; 2, 3 – насосы; 4 – охладитель молока ООУ-М; 5 – градирня; 6 – крышка; 7 – форсунка; 8 – оросительная насадка; 9 – отверстия; 10 – стакан; 11 – кожух; 12 – термоизоляция; 13 – труба; 14, 15 – манометры; 16, 17, 18, 19 – вентили; 20 – бачок с поплавковым клапаном; 21 – фильтр.

Аккумулятор А-15 имеет стальную горизонтальную емкость 1, которая размещена вне помещения молочного блока на открытом воздухе, соединенную трубопроводами с центробежными водяными насосами 2, 3 (соответственно 2К-20/30 и КМ-8/18) и с двухсекционным пластинчатым охладителем молока 4 марки ООУ-М производительностью 5 т/час. Емкость имеет вместимость 10 м³. В ней сделана вторая горловина, в которой закреплена градирня 5 с осевым вентилятором 6 (В-06-300 №8),

центробежной форсункой 7 и оросительной насадкой 8. Емкость соединена с насосами водозаборной трубой 13, герметично приваренной к краям отверстия дна стакана, заглубленного вовнутрь емкости 10. Труба защищена кожухом 11 с термоизоляцией 12 и снабжена сетчатым фильтром 21. На трубопроводах установлены манометры 14, 15 и вентили 16...19.

Опыт эксплуатации аккумулятора А-15, по данным разработчиков, подтверждает надежность его в работе. Суточная производительность при температуре наружного воздуха минус 10°C достигает 15 т молока, охлажденного с 30 до 6°C. Часовая производительность - до 5 т. Удельный расход электроэнергии при этом составляет 1,8 кВт·ч на 1 т, что в 16 раз меньше удельного расхода электроэнергии по старой технологии охлаждения молока с использованием двух танков-охладителей ТОМ-2А.

Малогабаритный аккумулятор естественного холода А-5 рассчитан для ферм с суточным объемом производства молока менее 5 т (рисунок 1.15).

Аккумулятор А-5, благодаря наличию компенсатора и выступа в поддоне накопителя воды и прямоточной подаче воздуха, способен работать при температурах воздуха от 2°C до любой минусовой.

Суточная производительность А-5 до 5т молока, охлажденного от 30 до 5°C при температуре наружного воздуха минус 10°C. Установленная мощность вентилятора и насоса 2,2 кВт. Удельные затраты электроэнергии 1,4...2,6 кВт·ч/т, габаритные размеры (без накопителя) 1300×1300×2500 мм, масса – 0,4 т.

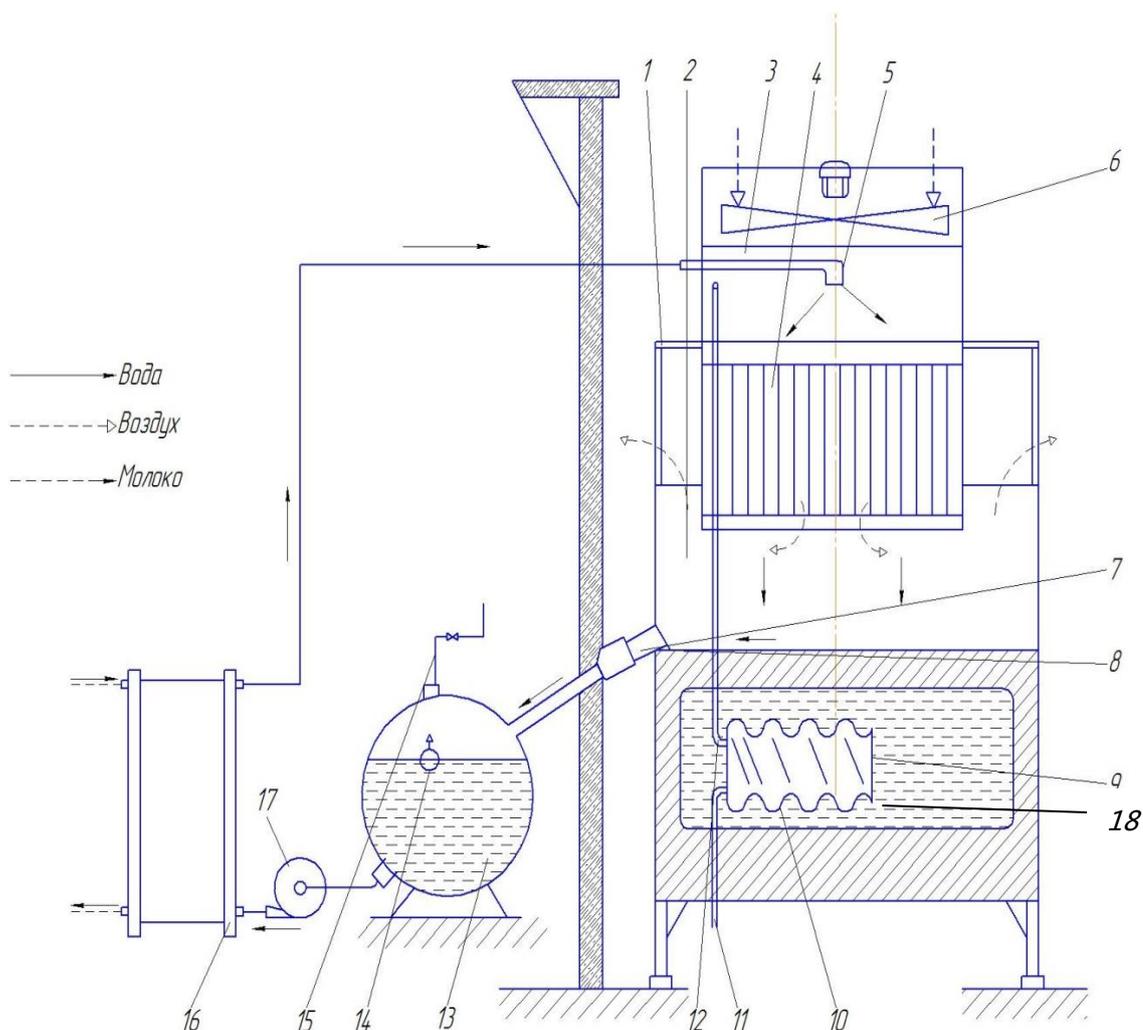


Рисунок 1.15 Малогабаритный аккумулятор естественного холода А-5

1 – каркас; 2 – поддон; 3 – корпус теплообменника; 4 – оросительная насадка; 5 – форсунка; 6 – осевой вентилятор №8; 7 – сливная труба; 8 – выступ; 9 – компенсатор; 10 – пружина; 11, 12 – трубы-воздуховоды; 13 – накопитель воды; 14 – клапан; 15 – водопровод подпитки; 16 – пластинчатый охладитель; 17 – насос; 18 – лед.

Недостатком является то, что конструкции и технологии аккумуляторов А-15 и А-5 не позволяют производить накопление естественного холода для годовой потребности и могут использоваться только при отрицательных температурах наружного воздуха.

Герасимова О.А. с соавторами (Великолукская ГСХА) разработали аккумулятор естественного холода, имеющий три отличительных особенности от описанных ранее (рисунок 1.16) [58].

- в технологической схеме аккумулятора нет ни одного электроприводного узла;
- холодозарядное устройство представляет собой безвентиляторную противоточную градирню с капельным разбрызгивателем охлаждаемой воды;
- для охлаждения молока используется нестандартный теплообменник-охладитель индивидуальной конструкции.

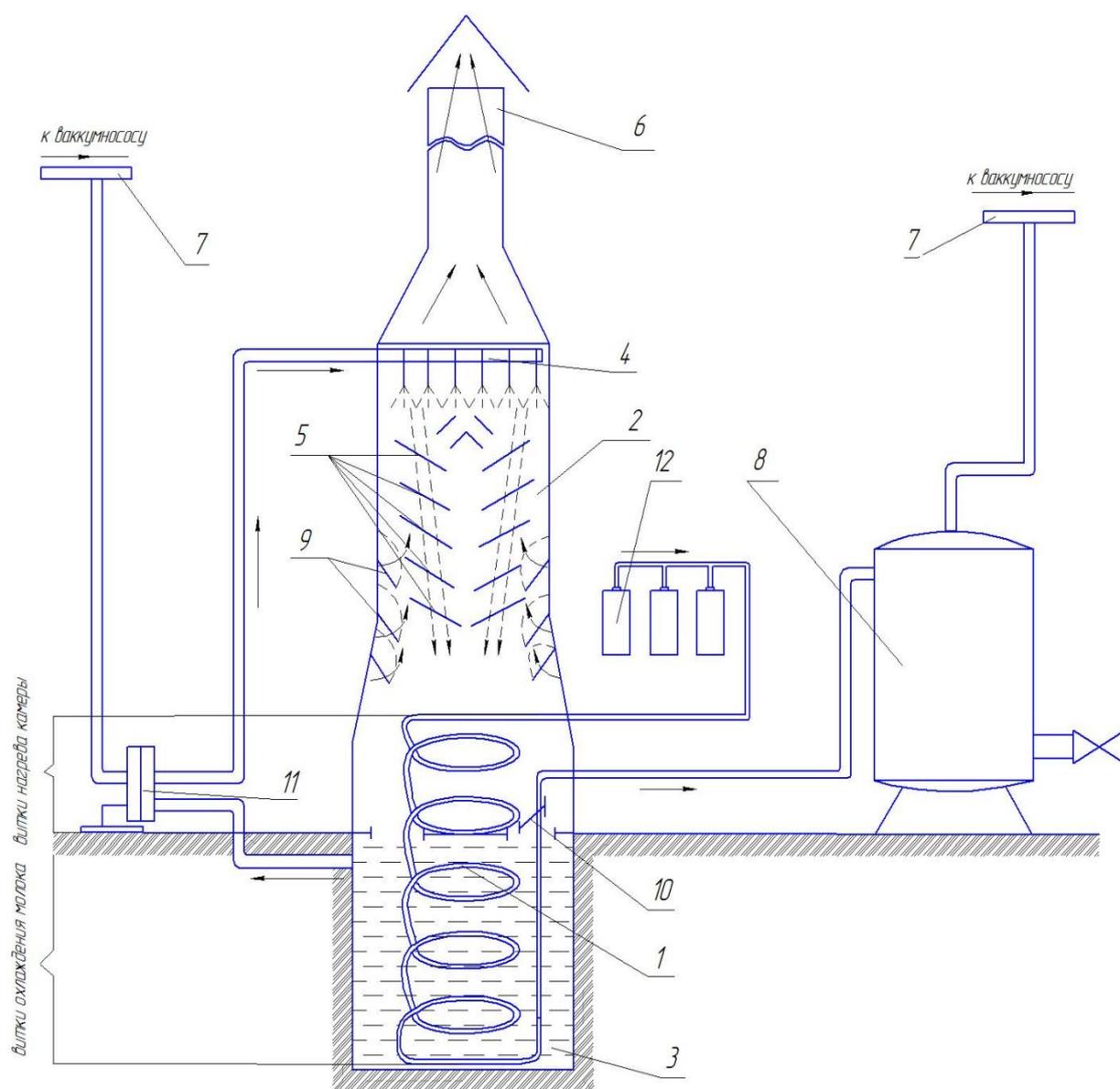


Рисунок 1.16. - Схема аккумулятора естественного холода

1 – змеевик, 2 – теплообменная камера, 3 – аккумулятор холодной воды, 4 - распыляющее устройство, 5 – наклонные стоки, 6 – труба, 7 – вакуумпровод, 8 – резервуар для временного хранения молока, 9 – жалюзи, 10 – перегородка (воронка), 11 – вакуумный насос, 12 – молокосорник.

Аккумулятор холода работает следующим образом. После дойки на пастбищном комплексе молоко из фляг 12 поступает в змеевик 1 теплообменной камеры 2, с аккумулятором холодной воды 3. Часть витков змеевика 1 находится в теплообменной камере 2, отдавая тепло свежесвыдоенного молока, нагревая воздушную среду камеры снизу. В верхней части камеры расположено распыливающее устройство 4. Распыленная вода стекает по наклонным стокам 5. На камеру установлена труба 6. За счет естественной воздушной тяги в камере, усиливающейся за счет разности температур нагретого воздуха в камере от верхних витков змеевика 1 и холодного воздуха в слоях атмосферы, куда выведена труба 6, образующийся противоток охлаждает струю распыленной воды, которая стекает в резервуар 3 с холодной водой. За счет теплообмена молоко в витках змеевика охлаждается в потоке. Движение молока обеспечивается подводом вакуума от вакуумнасоса вакуумпроводом 7. Хранение охлажденного молока осуществляется в резервуаре 8.

По мнению авторов разработки, преимущество данной установки для использования естественного холода – охлаждение молока в условиях отсутствия электрообеспечения за счет охлаждения распыливаемой в камере в потоке воздуха воды, что позволяет использовать установку не только в холодный период года, но и в летний.

Проведя анализ работ по сезонному использованию естественного холода можно сделать следующие заключения:

- известные сегодня конструкции аккумуляторов природного холода позволяют, в зависимости от величины индекса холода, реально уменьшить удельный расход электроэнергии на охлаждение молока в холодный период года;

- аккумуляторы сезонного использования холода менее металлоемки, проще в устройстве и эксплуатации в сравнении с холодильными машинами равной холодопроизводительности;

- большую часть предлагаемых конструкций аккумуляторов можно изготовить в условиях ремонтных мастерских хозяйств (там, где они еще сохранились).

Но технологии и конструкции, известных сегодня аккумуляторов сезонного использования холода не лишены недостатков. Главные из них:

- известные конструкции и технологии аккумуляторов не позволяют производить накопление естественного холода для годовой потребности;

- большинство предлагаемых устройств для аккумуляции естественного холода совершенно не имеет серьезного научного обоснования. Иначе, чем объяснить тот факт, что в описаниях конструкций устройств разработчики не приводят сведения о двух важнейших параметрах аккумуляторов холода:

1. - числового значения емкости аккумуляторной установки естественного холода – кДж, кВт·часов, либо кг льда;

2. - числового значения холодопроизводительности холодозарядной установки в функции метеорологических условий – температуры воздуха, скорости ветра (кДж/с, кДж/мин, кДж/час, кВт)

Отсутствие этих сведений не позволяет выбирать СОУ для конкретного хозяйства с известным поголовьем и продуктивностью коров.

Отмеченные недостатки аккумуляторов естественного холода СОУ, являются следствием того, что на сегодняшний день не существует четкой и внятной методики расчета конструктивно - технологических параметров оборудования сезонного использования естественного холода.

1.3.2 Круглогодичное использование естественного холода

Среди всех веществ, аккумулирующих природный холод (морозный воздух, снег, артезианская вода, глубинные слои грунта) – лед является наилучшим концентратором холода. Использование водного льда объясняется его ценными физическими свойствами: низкой температурой

таяния (0°C) и высокой удельной теплотой плавления $335 \cdot 10^3$ Дж/кг. Следовательно, при таянии 1 кг льда из окружающей среды расходуется $335 \cdot 10^3$ Дж теплоты. Одной тонной льда, с учетом десятипроцентных потерь его на несанкционированные теплопритоки, можно охладить более трех тонн молока с 30° до 5°C . Водный лед, в качестве источника холода, человек использует с древнейших времен. Температуры, которые могут быть получены с помощью водного льда, оказываются достаточными для охлаждения большинства пищевых продуктов и хранения охлажденных грузов. В случае применения льдосоляного охлаждения достигаются более низкие температуры, позволяющие замораживать и хранить мороженые продукты продолжительное время [77, 79, 80, 113-115].

Климатические условия нашей страны позволяют на значительной территории в зимнее время заготавливать естественный лед и тем самым аккумулировать естественный зимний холод.

Применяют три основных способа заготовки водного льда:

1. из водоемов (водоёмный лёд);
2. послойным намораживанием на специально оборудованных площадках;
3. намораживанием сосуллек в градирнях.

Заготовку льда из водоемов осуществляют путем выколки или вырезки льда, образовавшегося зимой на поверхности рек, озер или морей. Водоем должен иметь достаточно чистую воду, глубину не менее 0,75 м и удобные берега для вывозки льда. Выкалывание или вырезание крупных льдин («кабанов») из чистых водоёмов - широко известный, но очень трудоемкий способ, так как помимо затрат труда на саму разработку льда (пешнями или бензомоторными пилами), требуется его погрузка в транспортное средство, транспортировка на место хранения, разгрузка, укладка и укрытие. Лед заготавливают во второй половине зимы, когда толщина его достигает 20...30 см. Для получения более ровных блоков вначале ледяное поле размечают на прямоугольники размерами 0,8x0,6 или

1,0x0,7 м, а затем лед выкалывают ломом или выпиливают, извлекают из воды (с помощью лебедок и транспортеров) и перевозят к месту хранения.

Заготовленный зимой водный лед хранят в льдохранилищах, где создают запасы, необходимые для охлаждения заданных объектов в весенне-летне-осенне-зимний периоды, т.е. в течение всего года. Для этих целей используют чаще всего льдохранилища временного типа (рисунок 1.17). Они представляют собой укрытые бунты заготовленного из водоемов льда. Форма бунта должна быть удобна для укрытия. Бунты закрывают соломенными матами, а затем засыпают тепловой изоляцией (опилки, торфяная крошка, костра или болотный мох). Чтобы предотвратить оползание теплоизоляционного покрытия, у основания бунта по всему периметру делают откосы из теплоизоляционного материала и ставят деревянные борты

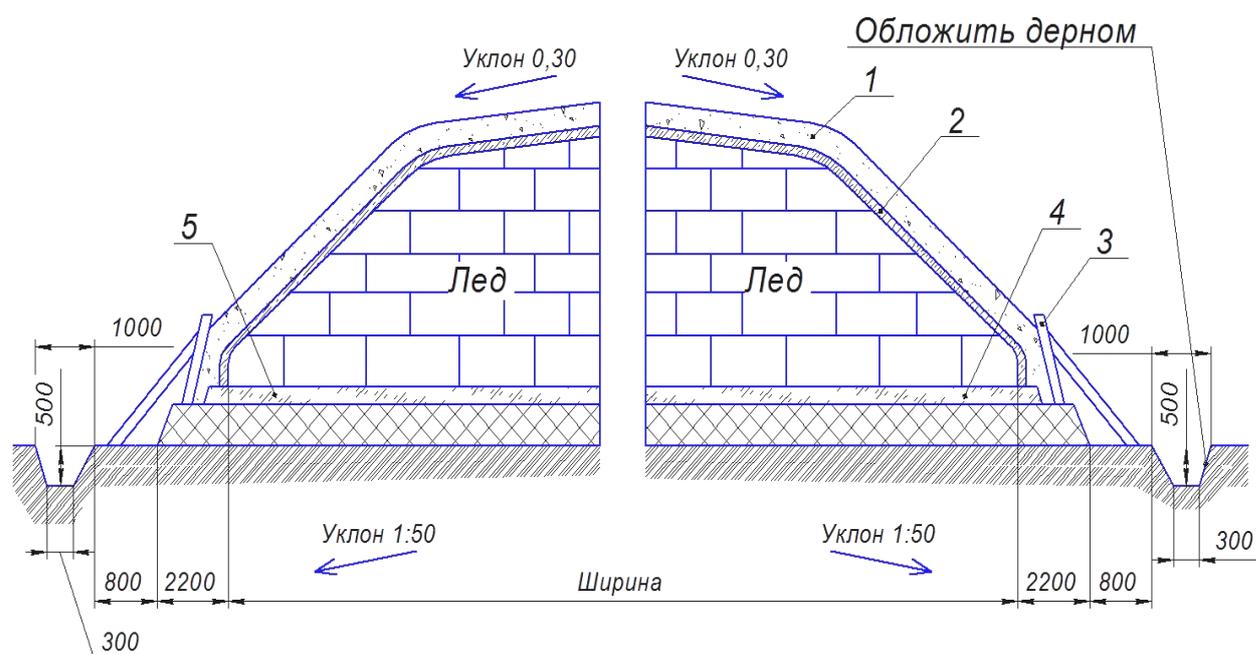


Рисунок 1.17 – Льдохранилище водоёмного льда временного типа.

1-теплоизоляция опилками, 2-соломенные маты, 3-подпорный щиток из горбылей или досок, 4-доски, 5-шлак или гравий, 6-желоб для стока воды.

Толщина теплоизоляционного укрытия составляет 0,50...0,75 м в северной зоне, и 0,75...1,0 м - в средней. Из льдохранилища временного типа

лед выкалывают в ранние утренние часы с торцевой стороны, обращенной на север. После выборки льда бунт закрывают матами и опилками. Недостаток таких льдохранилищ - относительно большие потери от таяния льда и загрязнения укрывными материалами. Размер потерь составляет 15...20% количества заготовленного льда для северной зоны и 20...30 % для средней. В южной зоне применять такие хранилища нецелесообразно.

Недостатки этого способа заготовки - низкое качество льда из-за возможной загрязненности водоемов и загрязненности льда во время перевозки; большие потери при хранении в результате неплотной укладки блоков, а также громадная трудоемкость при разработке, погрузке, перевозке и складировании.

В необходимых случаях сооружают *льдохранилища постоянного типа*. Они представляют собой здания с ограждениями, имеющими тепловую изоляцию. Однако в нашей стране льдохранилища постоянного типа для естественного льда не нашли широкого распространения, и главным образом потому, что большую часть льда заготавливают способом послойного намораживания. В этом случае естественным является укрытие замороженного бунта, т.е. применение льдохранилищ временного типа. Количество заготовленного льда должно быть значительно больше количества льда, необходимого для охлаждения, на величину потерь при его хранении, выколке, дроблении и транспортировании. Все эти потери составляют 25...40 %.

Более предпочтительным способом заготовки естественного льда является послойное намораживание. Сущность этого способа намораживания заключается в периодическом набрызгивании или распылении воды слоями 0,5...1 см на спланированную и дренированную песком, шлаком или гравием площадку. За один час можно заморозить [35, 36, 115, 127, 129] слой льда, определенной толщины h .

Площадки для послойного намораживания сооружают прямоугольной формы с соотношением сторон от 1:3 до 1:5, ориентируя их длинной

стороной с севера на юг. Размеры площадки выбирают из расчета $3...4 \text{ м}^3$ льда на 1 м^2 площадки. При обустройстве площадки по ее периметру делают опалубку из деревянных щитов высотой $1...1,5 \text{ м}$.

С наступлением морозов при помощи шланга площадку заливают тонким слоем воды (около 5 мм) и, дав ему полностью замерзнуть, наливают новый слой. Толщина слоя льда, которую можно наморозить (по данным Захарова В.Ф.) [78] за сутки, зависит от температуры воздуха и скорости ветра. В безветренную погоду при минус $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ намораживается слой 15 мм , при минус $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – 30 мм , при минус $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – 50 мм в сутки. При ветреной погоде скорость образования льда увеличивается в несколько раз.

После того, как высота льда достигнет краев опалубки, бортовые щиты устанавливают на его поверхности также в виде прямоугольника, но меньшего размера и продолжают намораживание. Эту операцию повторяют несколько раз, после чего ледяной бунт приобретает форму ступенчатой усеченной пирамиды. Уступы засыпают дробленым льдом, обливают водой и промораживают для получения равных боковых поверхностей.

Для молочных ферм предпочтительные типоразмеры льдобунтов [34, 35] в виде усеченной пирамиды с наклоном граней $45...60^{\circ}$, пригодные как для водоемного, так и для намороженного льда.

Для намораживания льдобунтов на $100...500 \text{ м}^3$, можно использовать короткоструйные поливальные установки (КПУ) (рисунок 1.18).

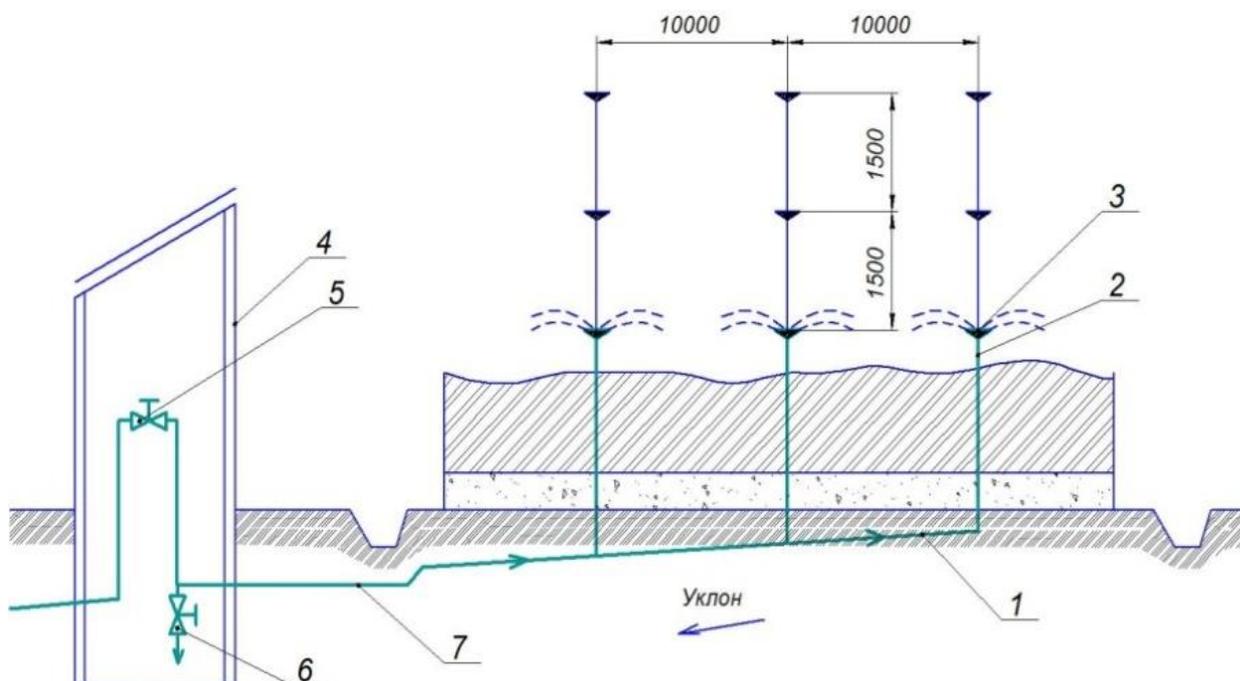


Рисунок 1.18 - Схема установки механизированного послойного намораживания льда из водоемов.

1- подземный коллектор, 2- съемный стояк, 3- распылительная форсунка, 4- утепленная будка, 5- задвижка, 6- кран стока воды, 7- магистральный водопровод.

Площадка для намораживания бунта имеет форму прямоугольника. Её засыпают шлаком или гравием слоем толщиной не менее 15 см и застилают старыми досками, создавая уклон для стока талой воды. Для сбора и отвода талой воды вокруг всей площади на расстоянии 1 м выкапывают канаву глубиной 0,5 м. Вокруг площадки ставят временный деревянный борт высотой примерно 0,5 м и, при ручном намораживании, из шланга наливают тонкими слоями водопроводную воду.

При таком способе толщина слоя льда, намораживаемого в течение суток, также зависит от температуры и скорости движения воздуха. Так, при скорости ветра 1 м/с и температуре воздуха -5°C за сутки можно наморозить слой льда 15 мм, а при -10°C – 30мм, -15°C – 50мм и при -20°C - 70 мм. В ветреную погоду интенсивность намораживания возрастает в 2...3 раза.

Когда толщина слоя достигнет верхнего края борта, деревянный борт открывают и устанавливают на поверхность замороженного слоя льда на расстоянии от краев, примерно равном высоте борта. После этого приступают к намораживанию следующего слоя льда. В результате получается ступенчатый ледяной массив. После окончания намораживания бунту придают форму, удобную для укрытия.

При намораживании больших бунтов (более 1000 т) целесообразно применять гидромеханизированный способ (рисунок 1.19).

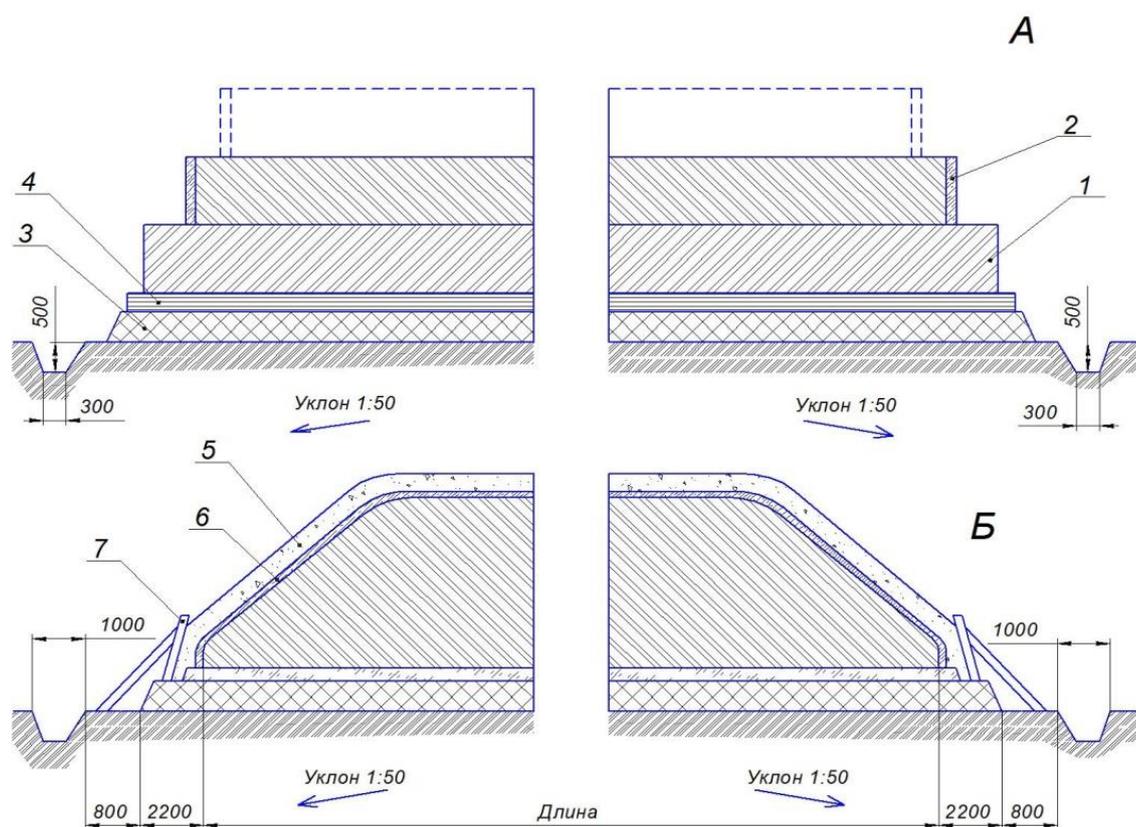


Рисунок 1.19 – Схема льдохранилища с послойно замороженным льдом

А - ледяной массив замороженного льда, Б - продольный разрез ледяного бунта, 1 - первый замороженный слой, 2 - борт - ограждение, 3 - дренажный слой, 4 - настил из досок, 5 - теплоизоляционный слой, 6 - пленочное покрытие, 7 - борт для предотвращения сползания теплоизоляции

В этом случае вода разбрызгивается на площадке форсунками. Пульт управления подачей воды устанавливают в утепленной будке, расположенной вблизи площадки. Лед, замороженный гидромеханизированным способом, дешевле.

В.А. Бобков [27, 29] для намораживания бунтов на 100...500 м³ разработал специальную установку, схема которой представлена на рисунке 1.20.

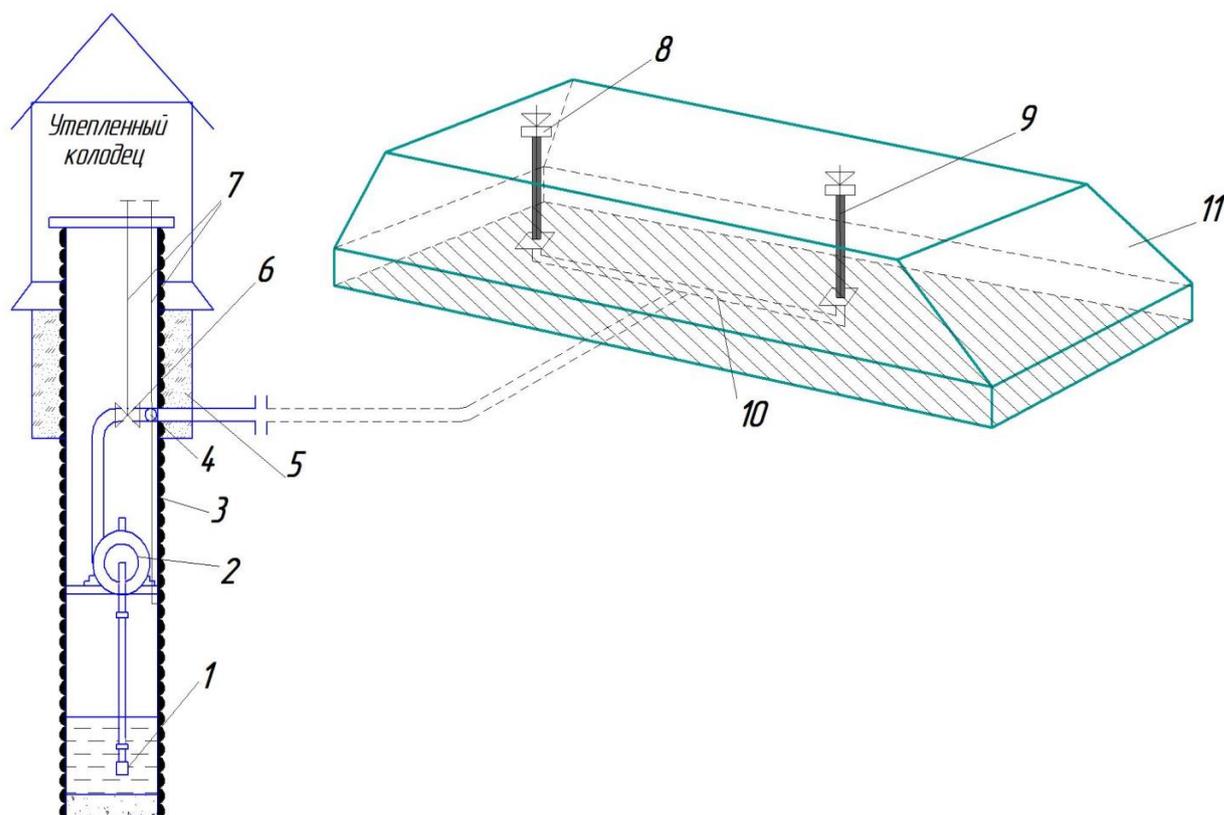


Рисунок 1.20 - Схема брызгальной установки для намораживания ледяных бунтов

1 – фильтр; 2 – насос; 3 – сливная труба; 4 – трехходовой кран; 5 – магистраль; 6 – вентиль; 7 – удлинители к крану и вентилю; 8 – форсунка; 9 – стояк; 10 – коллектор; 11 – контур льдобунта

Установка устроена следующим образом. По длинной оси площадки для бунта, ориентированного в господствующем направлении ветров, на глубине 0,3 м укладывается водопроводный коллектор длиной 6 м, диаметром 50 мм, на концах которого приварены отводы. Отводы располагаются в кирпичных колодцах с деревянными крышками и имеют в верхней части соединительные муфты для соединения с составными стояками из двух труб диаметром 38 мм, длиной 2 м каждая.

На каждом конце трубы имеется резьба $1\frac{1}{4}$ дюйма. Перед началом морозного периода к распределительному коллектору 10 привинчивается по одной трубе с форсункой – разбрызгивателем 8. По мере роста высота бунта, его уровень подходит к форсунке 8. Форсунка свинчивается, а на её место привинчивается следующая труба 2 м. На конец новой трубы навинчивается форсунка. Напор, необходимый для функционирования этой системы, равен 0,2 МПа. Напор создается вихревым насосом мощностью электродвигателя 3,2 кВт.

Для пуска намораживающей установки открывают трехходовой кран 4 и включают насос, после чего открывают все краны.

Продолжительность подачи воды определяют путем наблюдения за растеканием ее по площадке (льдобунту). Как только вода дойдет до краев площадки, подачу прекращают.

Недостатком применения рассмотренных способов намораживания льда для последующего использования в системе охлаждения является его загрязнение и большие потери при хранении, высокая трудоемкость процесса и загрязнение окружающей среды.

Автоматические установки для послойного намораживания льда

Группой сотрудников ВИЭСХ (Данилов В.Р., Алергант Г.И., Анбиндер Д.М. и др.) предложен способ намораживания льда в автоматизированном аккумуляторе холода [243].

Способ намораживания льда в аккумуляторе холода осуществляют следующим образом (рисунок 1.21). В первоначальный момент, когда хранилище 1 и целевая емкость 16 пусты, по сигналу датчика 11 уровня через управляемый клапан 10 подают воду из системы водоснабжения в нижнюю часть емкости 16. При достижении водой датчика 11 уровня сигнал поступает в блок управления 4, к которому подключен датчик 18 температуры окружающего воздуха. В случае одновременного поступления сигналов о наличии воды в емкость 16 и температуре воздуха ниже 0°C

включается регулируемый водяной насос 12, обеспечивающий подачу воды через нагнетательную теплоизолированную трубу 7 на конические выступы 3. Теплоизолированные люки 15 в окнах 14 открыты.

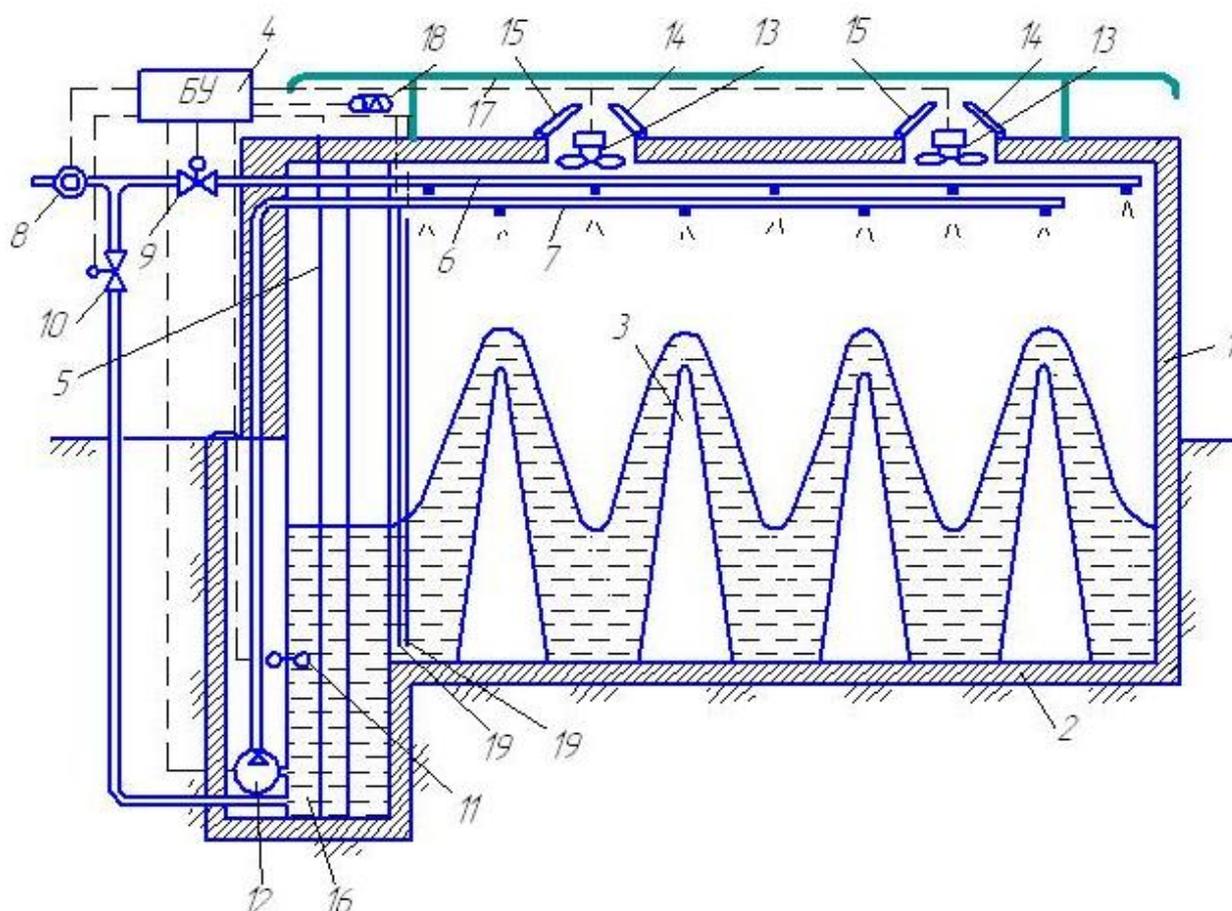


Рисунок 1.21 - Автоматическая установка для послойного намораживания льда

1 – теплоизолированное хранилище, 2 – основание, 3 – конические выступы, 4 - блок управления, 5 - низкопотенциальный подогреватель, 6, 7 - нагнетательные теплоизолированные трубы, 8 – счетчик расхода воды, 9, 10 - управляемые клапаны, 11 - датчик уровня, 12 - регулируемый водяной насос, 13 - вентиляторы, 14 - окно, 15 - теплоизолированный люк, 16 - вертикальная щелевая емкость, 17 - экран, 18 – датчик температуры окружающего воздуха, 19 - токопроводящие шины.

Для ускорения процесса намораживания включают вентиляторы 13, расположенные под экраном 17. Не намерзшая вода через утепленную незамерзающую вертикальную щелевую емкость 16, в которой установлен низкопотенциальный подогреватель 5, обогревающий ее в сильные морозы,

поступает снова в насос 12 и далее на наморозку. Насос 12 регулирует поток воды пропорционально скорости намораживания, которую могут определять вычислительным устройством блока управления 4 по сигналам счетчика 8 расхода воды. Слой льда на конических выступах 3 растет, причем поверхность намораживания, а, следовательно, и скорость намораживания значительно увеличиваются по сравнению с поверхностью основания льдохранилища. Конические выступы 3 играют также роль компенсаторов, принимающих на себя расширение льда при замерзании. Воду подают дискретно, причем ее количество в одной дозе регулируется счетчиком 8 расхода воды.

Использование предлагаемого способа обеспечивает по сравнению с известными способами повышение скорости намораживания льда не менее чем в 2 раза и увеличение сроков хранения льда при аналогичной поверхности намораживания. Недостатком является повышенный расход электроэнергии и сложность в использовании замороженного льда.

В ВИЭСХе разработана автоматическая электрифицированная установка для намораживания льда. Установка (рисунок 1.22) включает в себя теплоизолированный резервуар 1, трубопроводящую систему (трубу 2), датчик 3 уровня, блок 4 управления, водяной насос 5 и вентиль 6, установленный на трубе 2, соединяющей систему водоснабжения с теплоизолированным резервуаром 1; две пары электродов, вертикально расположенные в теплоизолированном резервуаре 1 и последовательно соединенные с блоком 7 сравнения, выпрямителем 8 и усилителем 9, выход последнего подключен к одному из входов блока 4 управления, другой вход которого соединен с датчиком 3 уровня, а выход - с электроприводом 10 водяного насоса 5 и вентилем 6, причем электроды выполнены в виде двух пар пластин, одна из которых - в виде сплошных электропроводящих пластин 11, а другая пара - в виде чередующихся проводящих и изолированных участков 12.

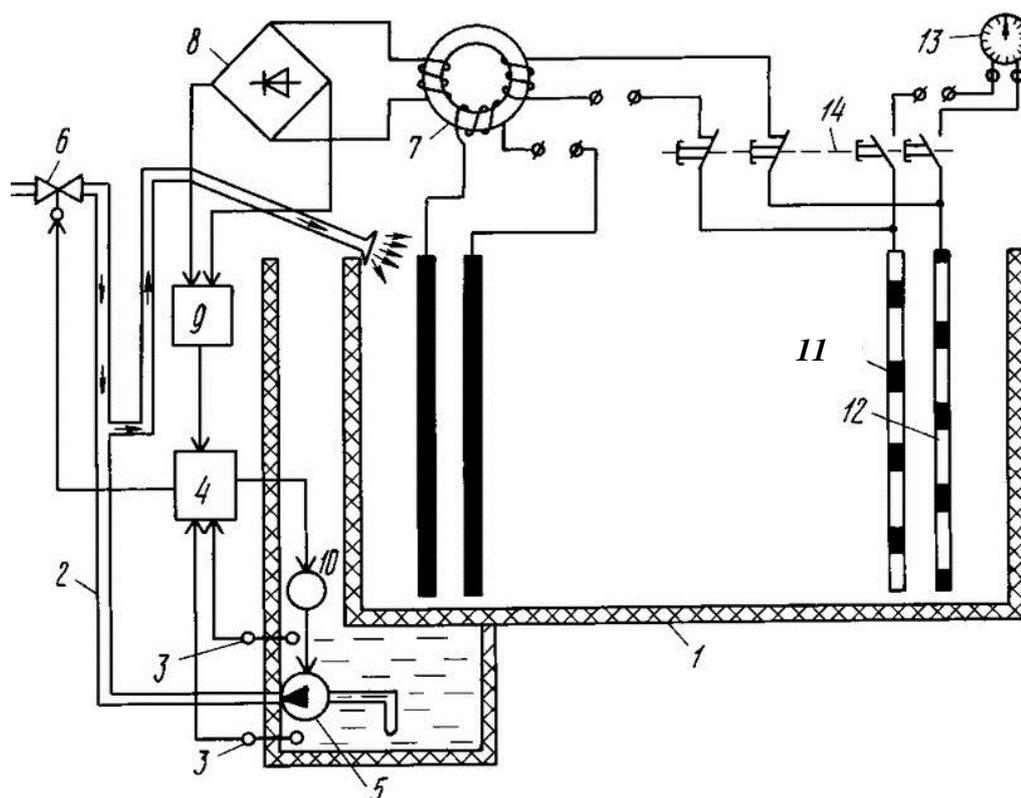


Рисунок 1.22 Схема автоматической установки для намораживания льда (ВИЭСХ)

1 - теплоизолированный резервуар, 2 - трубопроводящая система, 3 - датчик уровня, 4 - блок управления, 5 - водяной насос, 6 - вентиль, 7 - блок сравнения, 8 - выпрямитель, 9 - усилитель, 10 - электропривод 11, 12 - электропроводящие пластины, 13 - указатель уровня, 14 - контакты.

Эта схема работает следующим образом. При подаче питающего напряжения на пары электродов (пластин 11 и участков 12) проходит электрический ток, величина которого зависит от сопротивления межэлектродного пространства. При наличии слоя воды сопротивления между электродами (11) на порядок меньше, чем между электродами (12), поскольку слой воды не замыкает чередующиеся электропроводящие пластины. Из-за различия токов, текущих в обмотках блока 7 сравнения, включенных встречно-последовательно, в управляющей обмотке наводится электродвижущая сила, которая пропорциональна разности текущих токов. Это напряжение выпрямляется выпрямителем 8 и подается на усилитель 9, где усиливается и поступает на блок 4 управления.

При замерзании слоя воды сопротивления между парами электродов (11 и 12) будут близки. В результате этого напряжение на управляющей обмотке будет близко к нулю. В этом случае на выходе выпрямителя 8 напряжение будет также равно нулю. При этом блок 4 управления включает водяной насос 5 для подачи охлажденной воды на наморозку. При включении водяного насоса 5 блок 4 управления регулирует его производительность для равномерного распределения воды по поверхности льда, что способствует равномерному нарастанию льда при значительных отрицательных температурах окружающей среды. Когда уровень воды в заглубленной части резервуара 1 опускается ниже датчика 3 нижнего уровня, подача воды в резервуар 1 прекращается и открывается управляемый вентиль 6. Далее цикл повторяется.

В качестве указателя уровня массива льда используется измерительное устройство. При нажатии переключающих контактов 14 на указателе 13 уровня появится сигнал, который соответствует толщине намораживаемого льда. Таким образом можно определить количество замороженного льда.

Главным преимуществом двух описанных схем установок является снижение трудозатрат на намораживание.

Однако обе установки имеют значительный недостаток. Для использования замороженного льда его необходимо выкалывать или выпиливать и кусками доставлять в помещение для использования. При выкалывании или выпиливании нельзя разрушать монолит льда около электродов, так как их легко повредить. Значит электроды, оставаясь в ледяном панцире после первого цикла наморозки, будут неработоспособны при последующих циклах.

Кроме того вода, получающаяся при плавлении льда в охлаждающих установках, сливается в канализацию, либо разливается по окружающей территории, что ухудшает экологическую обстановку и увеличивает расходы на водоснабжение.

В условиях электрифицированных доильных площадок в хозяйствах Курганской обл. нашла широкое применение установка для охлаждения молока с использованием естественного холода (рисунок 1.23).

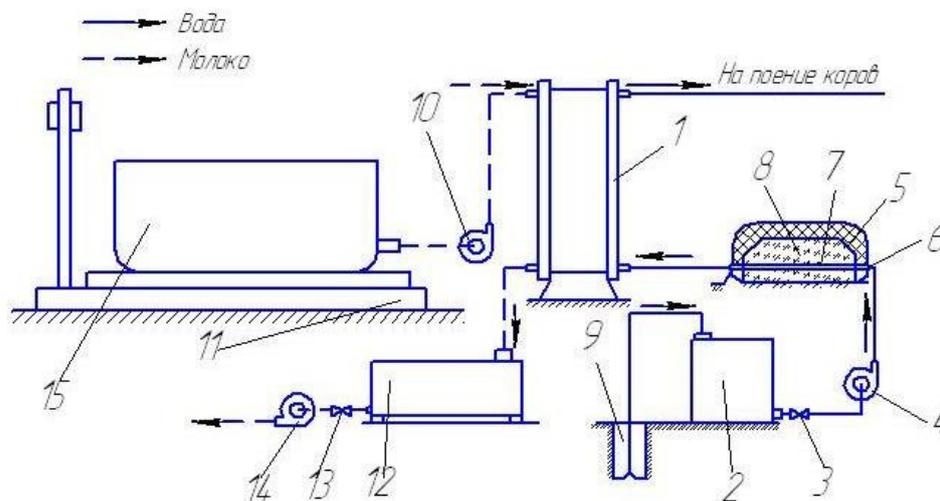


Рисунок 1.23 Установка с льдобунтом для охлаждения молока на пастбище

1 - пластинчатый охладитель; 2 - бак; 3 - вентиль; 4, 10, 14 - насосы; 5 - слой опилок; 6 - гибкий рукав; 7 - регистр; 8 - льдобунт; 9 - скважина; 11 - весы; 12 - емкость для хранения молока; 13 - вентиль; 15 - ванна

Принцип действия установки. Во время доения отфильтрованное (процеженное) молоко поступает в молочную ванну 15, установленную на весах 11. После взвешивания молоко насосом 10 перекачивается через пластинчатый охладитель 1 марки ООТ-М в емкость 12, откуда с температурой 6...8 °С насосом 14 перекачивается в молоковоз для отправки на молочный завод. Для охлаждения молока артезианская вода подается из скважины 9 в бак 2 вместимостью 1...3 м³, откуда насосом 4 нагнетается через регистр 7 в пластинчатый охладитель молока 1, а далее в групповые автопоилки.

За рубежом также проводятся работы по совершенствованию систем, использующих естественный холод. Разрабатываются компрессоры и системы автоматизации, работающие на экологически безопасных углеводородных хладагентах. Они разрабатываются европейскими фирмами

«Coneland», «a'Unite Hermetique» (Франция), а также фирмы «Maneurop», «Dorin», «Butzer», «GEA Farm Technologies» (Германия), Frigomilk (Италия). Создание экологически безопасного оборудования может значительно улучшить экологическую обстановку, однако оно не полностью отвечает требованиям сельского хозяйства, так как не обеспечивает экономии электроэнергии, не защищает сельскохозяйственного потребителя от аварийных и плановых отключений электроэнергии и потерь сельскохозяйственной продукции [72, 267, 295, 297, 300].

1.3.3 Охлаждение простейшими емкостными охладителями

По данным статистики в 2010...2014 гг. в РФ в личных подсобных и крестьянско-фермерских хозяйствах произведено больше половины всего валового производства молока - 55 %.

Однако для этих небольших хозяйств, с поголовьем 1... 15 коров, на российском рынке отсутствует промышленное оборудование для охлаждения молока [125, 191, 195]. Такое положение вынуждает эти хозяйства применять для охлаждения простейшие схемы (рисунок 1.24) с использованием естественного холода:

- в ванне с проточной водопроводной водой;
- в бассейне со льдом;
- в холодильной камере;
- на открытой площадке в холодный период года.

Молоко в таких хозяйствах хранят и охлаждают чаще всего во флягах, ушатах-баках, резервуарах и т.д. Все эти емкостные охладители назовем единым термином «*Фляжный охладитель*».

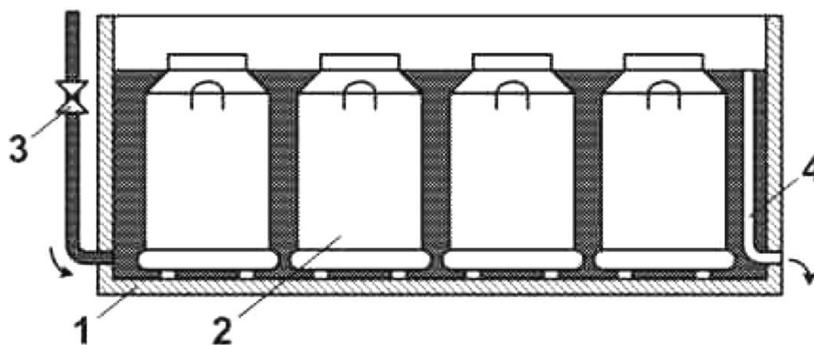


Рисунок 1.24 - Схема охлаждения молока с использованием естественного холода

1 - бассейн; 2 - фляга; 3 - вентиль; 4 - сливная труба

При таком способе охлаждения производитель молока, как правило, не имеет возможности определить режим охлаждения: до какой температуры охладится молоко, за какой промежуток времени. Этот результат становится известным только в конце срока хранения, когда факт испорченности молока станет уже свершившимся.

К сожалению, в литературе отсутствуют рекомендации, и нет методики расчета процессов охлаждения по простейшим технологическим схемам с использованием естественного холода. Однако, в связи с ростом цен на энергоносители, актуальность использования естественного холода для охлаждения молока с помощью емкостных охладителей на мини фермах возрастает.

1.4 Оценка потенциальных возможностей аккумуляирования и использования природного холода в регионе Южного Урала

Территория Южного Урала располагается между 48...56 градуса северной широты и 48...72 градуса восточной долготы. Южный Урал расположен на территории республики Башкортостан, Челябинской области, Оренбургской области (Южное Предуралье) и Курганской области (Южное Зауралье). Территория Урала по климатическим признакам делится на:

Полярный Урал; Приполярный Урал; Северный Урал; Средний Урал; Южный Урал.

Каждый из перечисленных регионов имеет свой характерный климат, характеризующийся среднесуточными температурами, количеством осадков, интенсивностью ветров. Континентальность климата возрастает с северо-запада на юго-восток. Средняя температура января $-15...-18$ °С. Годовая амплитуда колебания температур может достигать $50...70$ °С. Отрицательные температуры воздуха во всем регионе держатся в течение пяти месяцев в году и более.

Японские ученые, исследуя эффективность аккумуляции природного холода для нужд сельскохозяйственного производства, пришли к выводу - аккумуляция природного холода с помощью новейших средств – испарительно-конденсационными системами высокоэффективно в областях, где индекс холода больше 400 градусо-суток [148].

Суровые зимы Южного Урала определяют высокое значение индекса холода. По данным Росгидромета среднегодовые значения температур и вычисленные по ним индексы холода в областях Южного Урала и прилегающих к ним соседних областях представлены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 - Средние многолетние значения отрицательных температур и индекс холода по областям

№ п/п	Областной центр	Январь 31 сут	Февраль 28 сут	Март 31 сут	Ноябрь 30 сут	Декабрь 31 сут	Индекс холода, градусо-суток
1	Курган	17,7	16,6	8,6	14,3	14,3	1939,4
2	Тюмень	17,4	16,1	7,7	13,7	13,7	1890,6
3	Челябинск	15,8	14,3	7,4	12,9	12,9	1705,5
4	Екатеринбург	15,5	13,6	6,9	13,1	13,1	1685,3
5	Уфа	14,9	13,7	6,7	11,2	11,2	1553,4
6	Оренбург	14,8	14,2	7,3	11,2	11,2	1550
7	Казань	13,5	13,1	6,5	3,8	10,4	1423,2
8	Самара	13,5	12,6	5,8	3,4	9,6	1350,7
9	Саратов	11	11,4	4,8	2	8,3	1126,3

Анализ температур в зимний период за последние 20 показывает, что использование систем охлаждения молока за счет использования

естественного холода в условиях Оренбургской области экономически выгодно [8, 128, 99, 114, 130]. Для примера представлены средние температуры за четыре месяца 2015 года в Оренбургской области (рисунок 1.25).

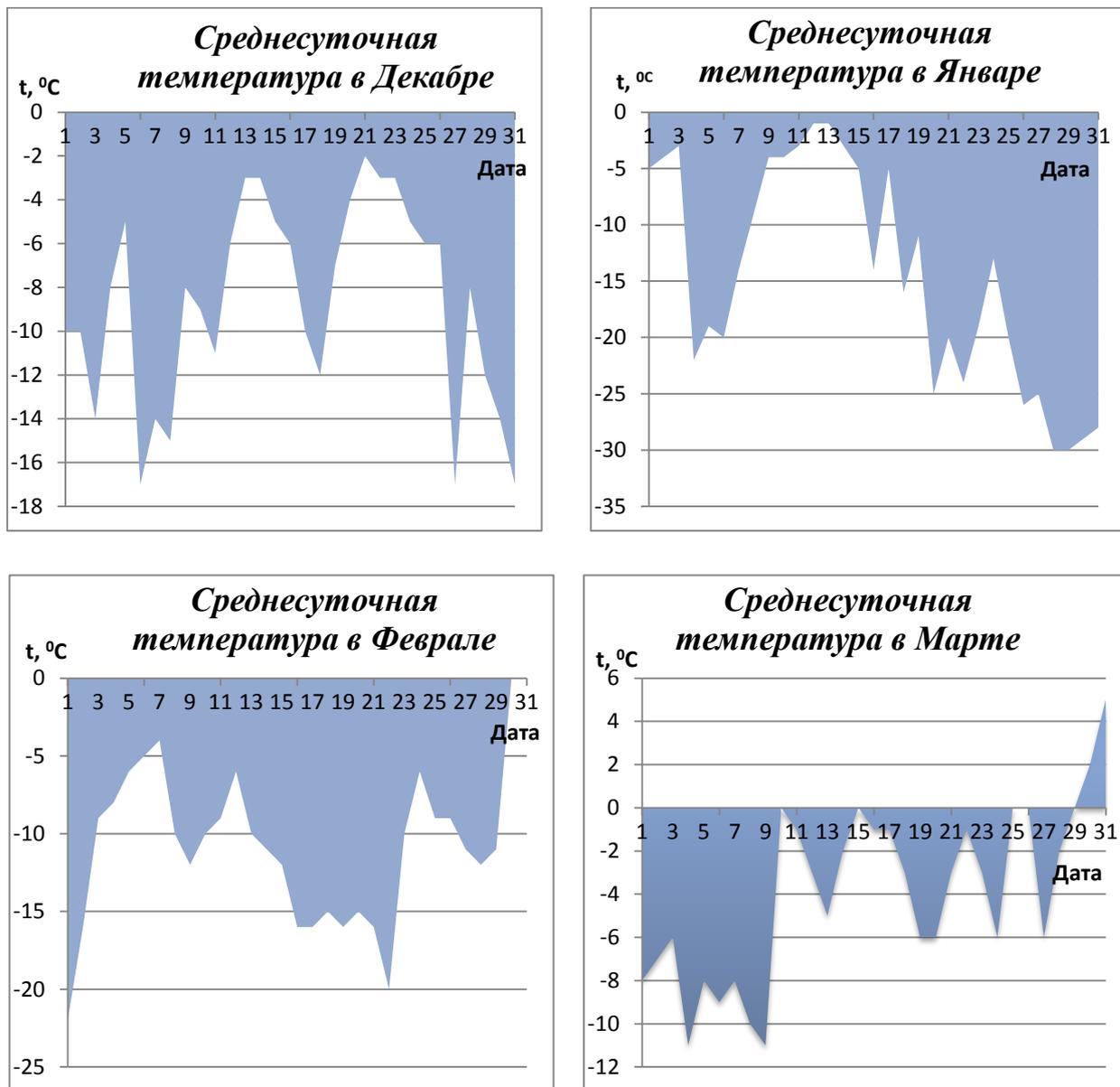


Рисунок 1.25 - Среднесуточные температуры по Оренбургской области в 2015 году

Из данных таблицы 1.8 и рисунка 1.25 видно, что среди всех областей Южного Урала одним из самых низких индекс холода в Оренбургской области – 1550 градусосуток. Но и он почти в 4 раза превышает

экономически допустимый (по мнению японских ученых) порог в 400 градусосуток.

Заключение по главе.

Природно-климатические условия Южного Урала обеспечивают индекс холода от 1550 до 1939,4 градусосуток, что вполне достаточно для использования испарительно-конденсационных систем для аккумуляции природного холода в форме водного льда для молочно-товарных ферм при круглогодичном его использовании.

Анализ исследований показал, что использование природного холода для охлаждения и хранения пищевых продуктов насчитывает более чем двухсотлетнюю историю. За это время разработано множество технологий, способов и приемов использования холода. Но самым эффективным способом накопления природного холода является заготовка **водного льда**.

Однако, все известные сегодня способы его заготовки и использования на молочных фермах, не приемлемы ни по экономическим, ни по экологическим соображениям. Следовательно, нужны новые способы заготовки и использования природного льда, основанные на современных достижениях науки и техники.

В связи со сказанным задачами научного исследования являются:

1. Провести системный анализ и общее методологическое описание процессов охлаждения молока. Обобщить результаты научных исследований и дать оценку состояния процесса охлаждения.

2. Теоретически обосновать закономерности совершенствования систем охлаждения, снижения себестоимости за счет широкого использования естественного холода.

3. Разработать техническое обеспечение и обосновать параметры структурных элементов системы «атмосфера – инженерное сооружение – водная среда» - АТИВ в аспекте развития интегрированной технологии, реализованной на принципах транспортабельности теплоносителя, оптимизации конструктивных характеристик устройств для генерации

холода и дозирования воды, а так же оптимизации режимов защиты от хладоразрушения льдонакопительных емкостей.

4. Установить закономерности образования ледяной массы при дифференцированном воздействии отрицательного температурного поля на верхние, средние и придонные слои водонакопительного бассейна.

5. Выполнить экспериментальные исследования и производственную проверку основных теоретических положений функционирования льдохранилища с годовой потребностью холода.

6. Дать экономическую оценку внедрения предлагаемых технических решений.

2. РАЗРАБОТКА И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАГОТОВКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛЬДА В РЕГИОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

2.1 Термосифонная система аккумуляирования льда для круглогодичного использования

В 1987 году японские ученые Fukuda M., Tsuchiya F предложили для аккумуляирования природного холода использовать разработки в области теплообменных устройств – тепловые трубы, термосифоны, изобретенные в 1942 г. Гоглером из американской фирмы General Motors Corporation. Работали в этом направлении и многие другие известные ученые [5, 18-24, 43, 44, 47, 180, 230, 236, 237, 251, 277, 283].

Сегодня во многих странах (в первую очередь в США и России) ведутся интенсивные разработки конструкций тепловых труб, являющихся высокоэффективными теплопередающими устройствами.

Классическая тепловая труба представляет собой вытянутый в длину герметичный, как правило, тонкостенный металлический сосуд (трубу). Наиболее просты по устройству вертикальные трубы, именуемые термосифонами. Нижняя часть трубы заполнена жидким хладагентом: фреоном $R\ 22$, аммиаком или углекислотой. Если нижнюю часть (испаритель) поместить в какую-нибудь сплошную среду, например, в воду или грунт с температурой $0\ ^\circ\text{C}$, а верхняя, ребренная часть, будет находиться в морозном воздухе, то жидкий хладагент в испарителе будет интенсивно кипеть, забирая тепло из окружающей его среды (воды, грунта). Пары хладагента, поднимаясь по трубе вверх, соприкасаются с внутренней холодной, замороженной поверхностью конденсатора, и конденсируются, выделяя теплоту в окружающий морозный воздух. Пленка жидкого хладагента по стенкам трубы стекает вниз, в испаритель, где снова испаряется. Процесс идет непрерывно до тех пор, пока разность температур

на концах трубы (тепловой напор) не станет минимальной (5°C) [5, 18-24, 43, 44, 47, 180, 230, 236, 237, 251, 277, 283].

В процессе функционирования в термосифоне все время идет фазовое превращение:

- в испарителе – «жидкость→пар» с забором теплоты из окружающей среды.

- в конденсаторе – «пар→жидкость» с выделением теплоты в окружающую среду.

Применительно к охлаждению воды температура наружного воздуха, окружающего конденсатор должна быть не выше -5°C .

Таким образом, термосифон перекачивает тепло от грунта или воды в окружающий морозный воздух. Грунт или вода замерзают. При повышении температуры воздуха до положительных значений термосифон перестает функционировать, но тепло в обратную сторону, т.е. из окружающего воздуха в замороженный грунт или воду, не передает. Термосифон является *тепловым диодом*. Диаметр труб термосифонов – 0,02...0,05 м, длина испарителей – 5...11 м.

Трубы изготавливаются из нержавеющей стали или алюминия. Теплопроводность современных термосифонов в 3...4 тысячи раз превышает теплопроводность медных стержней равных габаритов. А медь, как известно, имеет самый высокий коэффициент теплопроводности – 390 Вт/м·К.

В России исследовательскими разработками и производством термосифонов занимаются ООО «Ньюфрост», г. Протвино, Московской области, НПФ «Проектстройстабилизатор», г. Москва, ЗАО «Фундамент Север Проект», г. Москва. Однако наибольшую известность, как в нашей стране, так и за рубежом получило научно-производственное объединение ООО «Фундаментстройаркос» г. Тюмень. Термосифоны, выпускаемые этой компанией и именуемые *термостабилизаторами грунтов*, весьма разнообразны по конструкции и функциональным возможностям. Данные

системы именуется «сезонными охлаждающими устройствами – СОУ».

«Фундаментстройаркос» выпускает три вида СОУ (рисунок 2.1):

- вертикальные естественнодействующие трубчатые ВЕТС;
- горизонтальные естественнодействующие трубчатые ГЕТС;
- одиночные вертикальные термосифоны.

Все названные компании используют свою продукцию в арктических районах РФ для промораживания «вечной мерзлоты» в зимнее время до более низких температур под зданиями, нефтехранилищами, дорогами и другими инженерными сооружениями в местах добычи полезных ископаемых.

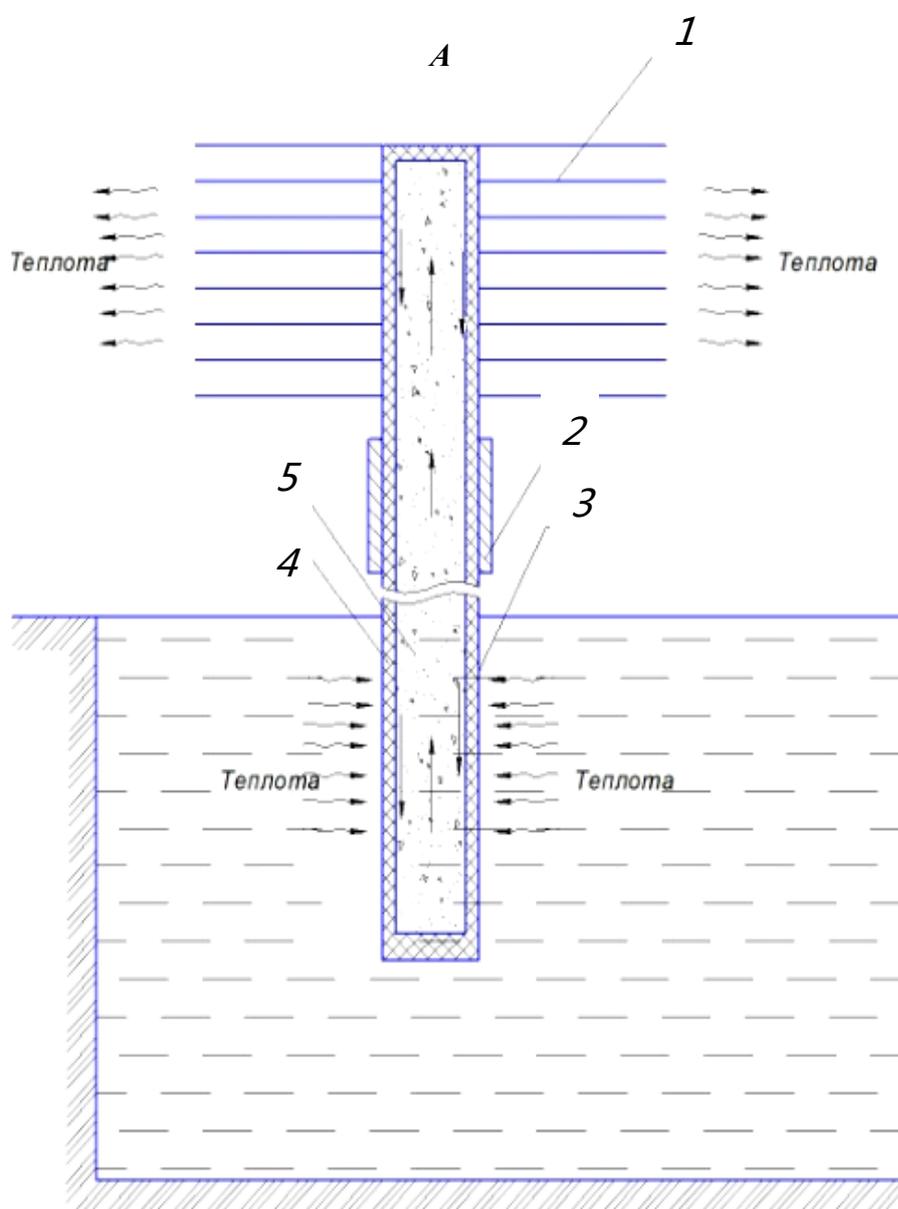


Рисунок 2.1 (А) - Виды термосифонных систем.

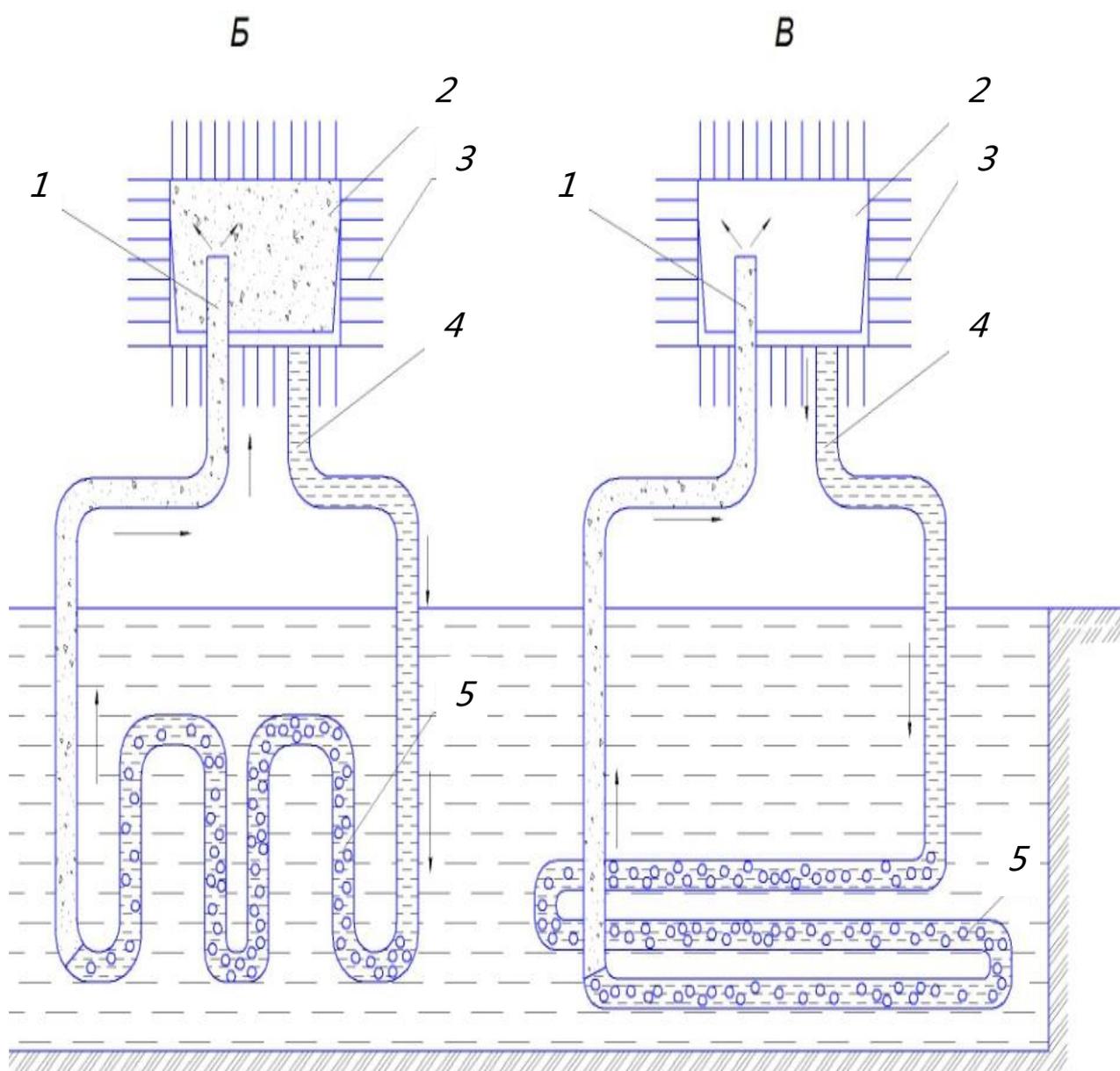


Рисунок 2.1 (Б, В) - Виды термосифонных систем.

А - одиночный вертикальный термосифон; 1- конденсатор; 2-тепловая вставка; 3- испаритель жидкого хладагента; 4- жидкий хладагент; 5- парообразный хладагент. Б - вертикальные естественнодействующие трубчатые ВЕТС; 1- входной патрубок; 2- конденсатор; 3- оребрение конденсатора; 4- выходной патрубок; 5- испаритель. В - горизонтальные естественнодействующие трубчатые ГЕТС; 1- входной патрубок; 2- конденсатор; 3- оребрение конденсатора; 4- выходной патрубок; 5- испаритель.

Учитывая опыт по замораживанию грунтов можно предположить, что термосифоны в зимний период с успехом можно использовать в таких регионах как Урал, Сибирь, Алтай и других с резко-континентальным

климатом для замораживания воды в бассейнах, сооруженных рядом с молокоперерабатывающим отделением МТФ, с предприятиями, перерабатывающими мясную и рыбную продукцию, пивоварни и др.

Термосифоны в морозный период функционируют круглосуточно. Они не потребляют электроэнергию, не требуют технического обслуживания, эксплуатационный срок 30...45 лет. На рисунке 2.2 показана технологическая схема (один из возможных вариантов) льдохранилища, оборудованного одиночными вертикальными СОУ.

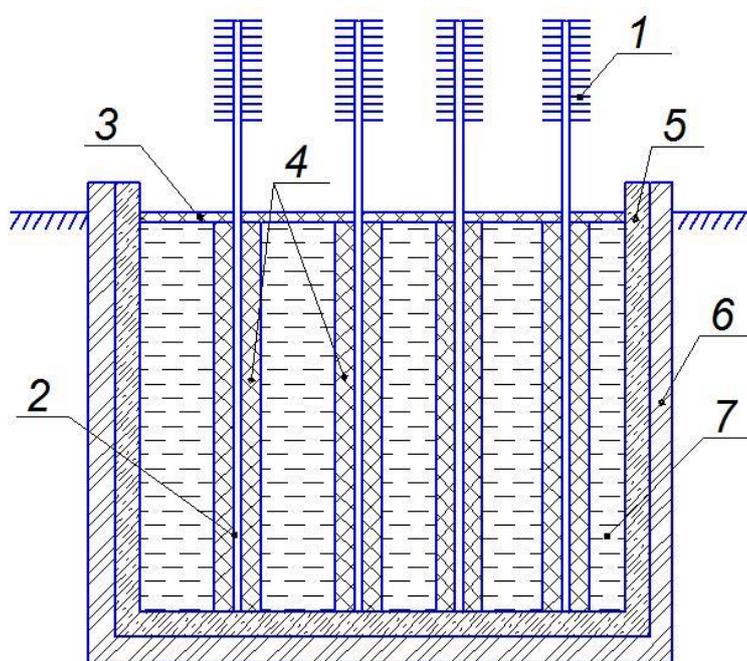


Рисунок 2.2 – Технологическая схема намораживания льда в льдохранилище, оборудованном термосифонами.

1 – конденсатор термосифона; 2 – испаритель термосифона; 3 – поверхностный ледяной слой; 4 – ледяной цилиндр, намораживаемый вокруг испарителя; 5 – бетон; 6 – теплоизоляция из пеноплекса; 7 – незамерзшая вода.

2.2 Анализ процесса функционирования бассейна, оборудованного термосифонами, в морозный период

2.2.1 Теплообменные процессы в бассейне при подводе холода сверху

Процесс теплообмена при льдообразовании относится к сложным процессам, связанным с фазовым превращением воды в лед. При их изучении необходимо учитывать термическое сопротивление слоя льда, изменяющееся со временем. Зависимость этого параметра от времени делает процесс нестационарным. Точные решения данной задачи получены только для некоторых простых случаев (неограниченная пластина, полый цилиндр, шар и т.д.). При этом в качестве упрощающей предпосылки принимается постоянство теплофизических свойств льда [214].

Для решения поставленной задачи в работе принимаем следующие условия. По окончании строительства и монтажа оборудования льдохранилища бассейн заполняется водой. Обычно такие работы проводятся в летний период. Термосифоны, установленные в бассейне, не могут функционировать до наступления морозных дней. Бассейны должны иметь хорошую тепло и гидроизоляцию стен и дна. Обычно это лучший утеплительный материал - пеноплекс. Коэффициент теплопроводности его равен 0,029 Вт/м·К. Толщина слоя утеплителя 0,2...0,3 м [68, 106, 173, 185, 215, 229, 244].

Теплообменные процессы в таких бассейнах будут существенно отличаться от процессов в природных непроточных водоемах. При расчете теплового баланса такого бассейна, в отличие от природных водоемов, теплотери через боковую и донную поверхность будут весьма малыми по сравнению с открытой водной поверхностью бассейна и ими можно пренебречь [250, 252, 253].

Еще одной особенностью бассейна является наличие навеса для защиты открытой поверхности бассейна от лучистой энергии солнца и

образования снежного покрова. По окончании морозного периода на боковые стены под навесом монтируют легкоъемные утеплительные плиты. Поверхность льда укрывается теплоизоляционным материалом с целью сокращения холодопотерь. Материал укладывают отдельными полосами между рядами термосифонов.

В соответствии с водооборотной схемой использования льдохранилища при каждой дойке в него вливается тепловой поток от охлаждаемого молока.

Тепловой баланс бассейна, определяемый суммой тепловых потоков S_{Σ} , поступающих в бассейн, уходящих из него, может быть представлен в следующем виде:

До начала работы термосифонов:

$$S_{\Sigma} = S_m - S_{k1} \quad (2.1)$$

Во время работы термосифонов:

$$S_{\Sigma 1} = S_m - S_{k1} - S_{k2} \quad (2.2)$$

где S_m - тепловой поток от охлаждаемого молока;

S_{k1} - отводимый тепловой поток за счет конвекции при подводе холода сверху, Вт/см²;

S_{k2} - отводимый тепловой поток при подводе холода к глубинным слоям бассейна за счет работы термосифонов, Вт/см².

В исследуемом бассейне перенос тепла происходит главным образом в вертикальном направлении, причем основную роль играют свободная конвекция и физическая теплопроводность [273, 284].

На интенсивность теплообмена между слоями воды в бассейне большое влияние оказывают конвективные течения.

Конвективные течения в водоемах обусловлены распределением плотности воды по глубине (плотностная стратификация).

Известно, что плотность воды существенно зависит от температуры и очень слабо от давления.

Например, при подогреве жидкости снизу, нагретые ее частицы под действием сил плавучести поднимаются, а более холодные, а, следовательно, и более тяжелые частицы, расположенные наверху, опускаются. Нагретые частицы, поднимаясь, перемешиваются с более холодными и постепенно охлаждаются за счет теплопроводности. Это обстоятельство приводит к увеличению их плотности. Одновременно плотность поднимающейся жидкости увеличивается и за счет диффузии. Возникшая конвекция может распространиться до свободной поверхности жидкости или, не дойдя до нее, что зависит от первоначального (исходного) плотностного состояния жидкости и от степени нагрева придонных частиц.

При охлаждении жидкости сверху (наиболее часто встречающийся случай в практике охлаждения природных водоемов), конвективный процесс протекает в обратном порядке: охладившиеся, а, следовательно, более тяжелые частицы жидкости начнут опускаться и вытеснять вверх более теплые, легкие частицы (рисунок 2.3). В этом случае, так же как и в первом, конвективный процесс может распространиться на всю глубину или погаситься на некоторой глубине. Разница между обоими процессами заключается в том, что в первом случае активные ветви конвективных токов направлены вверх, а во втором – вниз. Реактивные ветви конвекции в обоих случаях также будут иметь направление, обратное активным [250, 273].

Изложенная схема конвективного перемещения воды в бассейне при охлаждении ее сверху, нарушается аномалией температуры наибольшей плотности при $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. вода при охлаждении от $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ не сжимается, а расширяется.

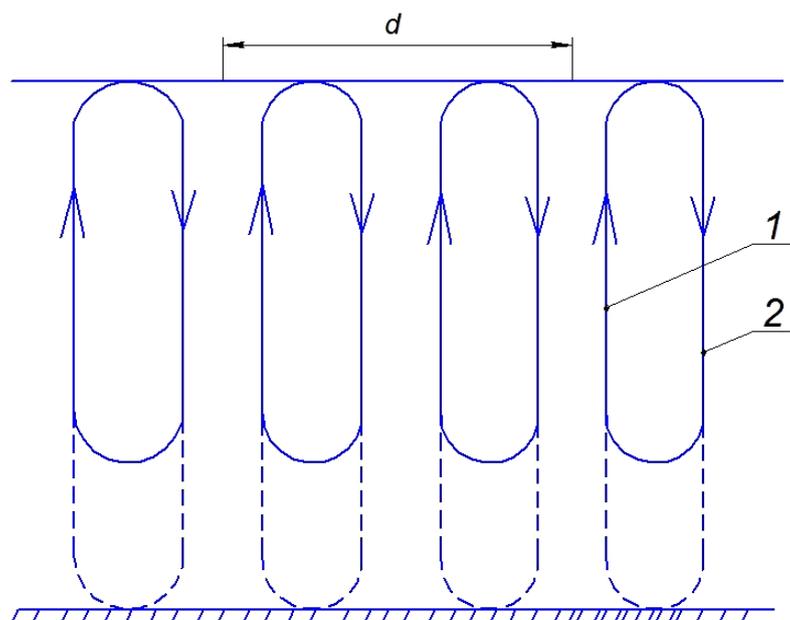


Рисунок 2.3 - Схема конвективного перемешивания воды в бассейне при охлаждении ее сверху при температурах выше 4°C

1 – активная струя, 2 – реактивная струя.

При охлаждении воды сверху (ниже 4°C) **конвекция прекращается** и более холодные частицы жидкости (но более легкие) остаются на поверхности (рисунок 2.4).

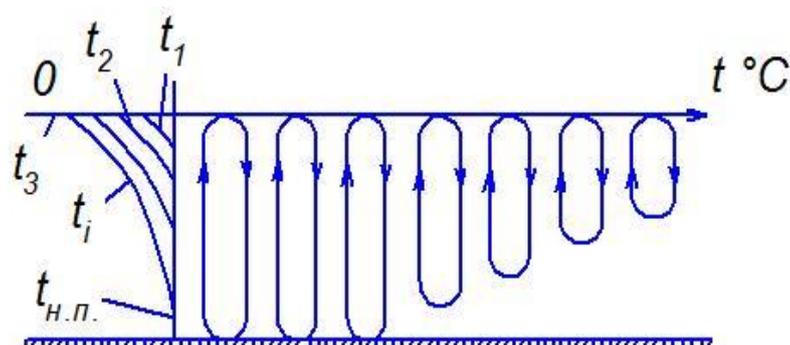


Рисунок 2.4 – Схема конвективных течений при охлаждении воды сверху при температуре ниже 4°C (по Хилькевичу)

$t_{н.п.}$ - температура наибольшей плотности; t_3 – температура замерзания; t_1, t_2, \dots, t_i - последовательные значения температуры ниже 4°C

Прекращение конвекции воды при температуре ≤ 4 °С в обычных природных водоемах формирует общеизвестный процесс льдообразования на поверхности водоемов. Если бы вода не имела максимума плотности при 4 °С, а вела бы себя подобно другим жидкостям, то с уменьшением температуры ниже 4 °С, вплоть до температуры замерзания, плотность ее возрастала бы: чем холоднее вода, тем она тяжелее.

Вода становится холодной там, где она граничит с холодным воздухом окружающей среды, т.е. на поверхности водоема. Это значит, что на границе с холодным воздухом все время образовывалась бы вода с большей плотностью, которая начала бы под действием сил тяжести опускаться вниз. Неизбежно происходило бы перемешивание воды (конвекция), выравнивающее ее температуру по всему объему. А раз происходило бы выравнивание температуры, то процесс образования льда начинался бы не на поверхности, а тоже по всему объему водоема. Всюду, где имелись бы частицы ила, песчинки, растительные остатки, образовывались бы центры кристаллизации и начинали возникать мелкие кристаллы льда. Они стали бы расти, соединяться друг с другом, образовывать льдинки. Внешне процесс был бы похож на застывание (схватывание) жидкого цементного раствора при приготовлении бетона.

Описанные процессы конвекции при температуре выше 4 °С имеют место в природных водоемах при подводе холода сверху. **Другого варианта подвода холода в природе не существует.** Но если в природный водоем или бассейн вставить термосифонные системы ГЕТС или ВЕТС, то подвод холода к водной толще бассейна будет осуществляться и сверху, как обычно, и к нижележащим слоям воды.

Испарительная часть термосифонов будет иметь температуру стенок, близкую к температуре наружного морозного воздуха. Придонные слои воды, имеющие температуру 4 °С, начнут охлаждаться до 3-х, 2-х, 1-го, 0 °С. При этом их плотность начнет уменьшаться. Они, становясь легче, будут всплывать вверх. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока

температура воды по всей глубине не станет одинаковой, близкой к нулю градусов. *Этот процесс очень похож на нагрев воды при подводе тепла снизу.*

После выравнивания температуры до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, начнется процесс кристаллизации как в верхнем слое, соприкасающимся с морозным воздухом, так и в нижнем, соприкасающимся с поверхностью испарителя термосифона. В отдельных случаях, при наличии центров кристаллизации, сразу во всем объеме бассейна, подобно застыванию бетонного раствора, начнется кристаллизация и, следовательно, льдообразование. Интенсивность льдообразования в этом случае будет многократно выше аналогичного процесса в природном водоеме. В этом заключается существенное отличие механизма льдообразования в бассейне с термосифонами от природных водоемов.

2.2.2 Оценка интенсивности намораживания ледяной массы в бассейне, оборудованном термосифонами

В бассейне, оборудованном термосифонами, намораживание ледяной массы происходит двумя способами:

- намораживание в поверхностном слое воды за счет теплопередачи от воды (льда) к окружающему морозному воздуху;
- намораживание на боковой поверхности испарителей термосифонов за счет теплопередачи от воды к морозному воздуху по цепочке: вода → лед → стенка испарителя → хладагент → стенка конденсатора → окружающий морозный воздух.

2.2.2.1 Намораживание льда в поверхностном слое бассейна

Скорость роста толщины льда на поверхности при подводе холода сверху, что имеет место в обычных природных водоемах, изучалась многими отечественными и зарубежными исследователями.

Форма образования льда имеет сложную структуру. Начальное образование возможно описать следующими позициями. Вода находится в жидком состоянии и имеет некоторое заданное по глубине распределение температуры $t_g = f(x)$.

В начальный момент времени на поверхности воды внезапно устанавливается и держится постоянной некоторая температура $t_g(0, \tau) = \varphi(\tau)$ которая при всех изменениях всегда ниже температуры замерзания t_3 . В результате образуется замерзший слой переменной толщины $\xi = f(\tau)$. Нижняя подвижная граница его всегда имеет нулевую температуру. На этой границе происходит переход из одного агрегатного состояния в другое, на что требуется теплота фазового перехода L (Дж/кг). Таким образом, верхняя граница ($x = \xi$) талой зоны имеет постоянную, т.е. нулевую, температуру замерзания.

Впервые метод расчета толщины ледяного покрова на водоемах был разработан Иозефом Стефаном – австрийским физиком и математиком в 1891 г. К настоящему времени предложено большое количество формул и приемов расчета для определения толщины ледяного покрова пресноводных водоемов (h_l):

- метод аналогии, когда толщина ледяного покрова назначается по метеорологическим данным исследуемого водоема с использованием картограммы максимальных, средних и минимальных толщин льда для условий средней, теплой или самой холодной зимы по данным натуральных наблюдений на водоеме-аналоге.

- эмпирический метод, основанный на отыскании эмпирических связей толщины льда и отдельных факторов, определяющих изменение толщины ледяного слоя. В этом случае расчетные эмпирические соотношения получены по известной, относительно тесной корреляции между некоторыми температурными характеристиками и толщиной льда. Таким образом эмпирические формулы это тоже результаты обработки

экспериментальных данных по наблюдениям толщины льда. Они, как правило, имеют местный, локальный характер.

- теоретический метод, основанный на интегрировании исходных дифференциальных уравнений, описывающих сущность нарастания толщины льда, с последующим получением аналитических или же полуэмпирических соотношений для толщины льда.

До последнего времени вычисление возможной толщины ледяного покрова на водоемах (озерах и водохранилищах) производилось в основном по эмпирическим формулам, основанным на зависимости Йозефа Стефана, большинство из которых имеет вид:

$$h_{л} = C[\Sigma(-t_{\text{возд}})]^n \quad (2.3)$$

где $\Sigma(-t_{\text{возд}})$ - сумма средних суточных отрицательных температур воздуха на высоте 2 м от поверхности водоема за расчетный период;

C , n – коэффициенты, определяемые по данным непосредственных наблюдений и отражающие в среднем те условия, которые имели место в период наблюдений (температуру воды, высоту и плотность снежного покрова, скорость течения воды подо льдом, глубину водоема).

Также имеются зависимости, учитывающие только прямое влияние тепловых потерь в непрерывном периоде отрицательных среднесуточных температур воздуха, вне зависимости от других факторов и влияния снежного покрова на льду, что сходно с условиями бассейна, сооружаемого для накопления льда на МТФ (таблица 2.1) [41, 42, 210, 280, 282].

Таблица 2.1 - Эмпирические формулы для расчета толщины льда

Формула	Автор	Соответствие условиям
$h_{л} = 2,000 \cdot [\Sigma(-t_{\text{возд}})]^{0,5}$	Ф.И. Быдин	р. Свирь
$h_{л} = 2,704 \cdot [\Sigma(-t_{\text{возд}})]^{0,5}$	А.А.Тресков	о. Байкал
$h_{л} = 0,187 \cdot [\Sigma(-t_{\text{возд}})]^{0,83}$	В.В.Зайков	о. Онежское

продолжение таблицы 2.1		
$h_{л}=1,000 \cdot [\Sigma(-t_{возд})]^{0,695}$	В.В.Пиотрович	для ясной и ветреной погоды
$h_{л}=1,250 \cdot [\Sigma(-t_{возд})]^{0,610}$	В.В.Пиотрович	для пасмурной погоды с небольшим ветром.

Опираясь на экспериментальные данные, Бобков В.А. в своей работе выявил, что при обычной скорости ветра около 1 м/с понижение температуры на каждый градус ниже 0 °С дает возможность намораживать на горизонтальной поверхности льдобунта примерно 0,5 см льда в сутки.

Часовая интенсивность льдонамораживания:

$$\delta = 0,14t(1 + 0,5v) \quad (2.4)$$

где t – температура морозного воздуха, °С;

v – скорость ветра, м/с;

0,14 – эмпирический коэффициент.

Однако, формула (2.4) не учитывает границы применимости формулы по толщине льда и интервалы погрешностей в пределах этих границ.

Динамика намораживания льда получена в условиях Оренбургского района в водоеме с непроточной водой (рисунок 2.5).

Экспериментальные данные показали, что для получения аналитической зависимости толщины льда от условий окружающей среды наилучшее приближение дает график логарифмической функции вида:

$$y = a \cdot \ln x + b \quad (2.5)$$

где y – толщина слоя льда на водоеме, мм; a и b – коэффициенты, определяемые по результатам обработки экспериментальных данных; x – суммарная отрицательная температура воздуха, °С.



Рисунок 3 – Динамика намораживания льда

В нашем случае эта зависимость примет вид: $h_{\text{л}} = a \cdot \ln \Sigma t_{\text{возд}} + b$.
 Методом наименьших квадратов определяем числовые значения коэффициентов a и b :

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n \ln(t_{\text{возд}})_i^2 + b \sum_{i=1}^n \ln(t_{\text{возд}})_i = \sum_{i=1}^n \ln(t_{\text{возд}})_i \cdot h_i \\ a \sum_{i=1}^n \ln(t_{\text{возд}})_i + bn = \sum_{i=1}^n h_i \end{cases}$$

где $n = 8$ – число недель в эксперименте

$\Sigma t_{\text{возд}}$ °C	$\ln(t_{\text{возд}})$	$\ln(t_{\text{возд}})^2$	$h_{\text{л}}$	$h_{\text{л}} \cdot \ln(t_{\text{возд}})$
31	3,43	11,76	29	99,47
68	4,22	17,81	57	249
107	4,67	21,81	78	326,9
142	4,95	24,5	93	445,5
177	5,18	26,83	105	554,26
210	5,34	28,52	114	614,1
252	5,53	30,58	120	674
298	5,7	32,49	123	66
330	5,88	34,38	125	712,5
Σ	44,89	228,68	842	4388,87

Решив данную систему методом Крамера получим $a=44,14$, $b=-125,6$.

Эмпирическая зависимость толщины льда от значения отрицательных температур, полученная нами после обработки данных методом наименьших квадратов с аппроксимацией логарифмической функцией примет вид:

$$h_{\text{л}} = 44,14 \cdot \ln(\sum t_{\text{возд}}) - 125,6 \quad (2.6)$$

где $\sum t_{\text{возд}}$ – суммарное значение отрицательных температур за первую, вторую и т.д. неделю с момента наступления отрицательных температур. Длительность наблюдений составила восемь недель.

Коэффициент детерминации во всех расчетах составил $0,82 \dots 0,85$, что свидетельствует о максимальном приближении расчетных данных к экспериментальным.

Все вышеперечисленные формулы с разной степенью точности позволяют оценить толщину льда в непроточных природных водоемах. Но каждая формула, полученная автором, носит в основном локальный характер, т.к. она получена в определенной географической местности, имеющей свои метеоусловия, состав воды и т.д.

2.2.2.2 Намораживание льда испарителем термосифона

Так как в предлагаемом способе намораживания льда в рассматриваемом бассейне дополнительно установлены термосифоны, обеспечивающие процесс образования льда не только на поверхности, но и в глубинных слоях. Процессы, происходящие внутри термосифона, основаны на взаимодействии потоков пара и пленки жидкости в транспортной зоне.

Важнейшей характеристикой термосифона является его холодопроизводительность, которая определяет интенсивность намораживания льда.

Интенсивность намораживания льда на боковой поверхности термосифона зависит от конструктивно-технологических параметров термосифона и физико-химических свойств хладагента, заправленного в термосифон. Названные показатели определяют тепловую мощность (хладопроизводительность) термосифона, то есть его теплопередающую способность от замораживаемой воды к морозному воздуху [50, 67, 108, 109, 157].

Теплопередающую способность **внутреннего пространства** термосифона приближенно можно рассчитать следующим образом.

Пусть имеется термосифон длиной 5 м, с внутренним диаметром трубы 25 мм. В термосифоне имеется 100 г жидкого фреона R22 и парообразная фаза. Термосифон содержится при температуре 0 °С (273 К). Из таблиц физико-химических свойств R22 получаем:

- давление конденсации (кипения) при 0 °С – $4,976 \cdot 10^5$ Па;
- плотность жидкой фазы при 0 °С – $1,284 \cdot 10^3$ кг/м³
- плотность парообразной фазы – 21,213 кг/м³

Тогда можно рассчитать полный объем внутреннего пространства трубы:

$$V = \frac{\pi D^2 l}{4}, \text{ м}^3 \quad (2.7)$$

Объем, занимаемый жидкой фазой, равен:

$$V = \frac{m}{\rho}, \text{ м}^3 \quad (2.8)$$

Высота трубы, занимаемая жидкой фазой $l_{ж} = 0,159$ м.

Поместим испаритель термосифона в воду бассейна с температурой 0 °С, температура воздуха над водой, то есть в зоне расположения

конденсатора, равна -10°C . Давление конденсации (кипения) при -10°C принимаем $3,543 \cdot 10^5$ Па.

Пары фреона в верхней части трубы (конденсатор) начнут конденсироваться, уменьшая давление до $3,543 \cdot 10^5$ Па. Разность давлений паров между испарителем и конденсатором составит:

$$4,976 \cdot 10^5 - 3,543 \cdot 10^5 = 1,433 \cdot 10^5 \text{ (Па)},$$

В этом случае за счет перепада давления силу, действующую на столб фреоновых паров высотой $l_n = 5 - 0,159 = 4,841$ (м), можно вычислить по следующей зависимости:

$$F = S \cdot P = S \cdot \rho g l_n, H \quad (2.9)$$

В массе паров 0,05 кг содержится количество теплоты, равное:

$$Q = m \cdot L = 10,35 \text{ кДж}, \quad (2.10)$$

где $L = 205,36$ кДж/кг – удельная теплота парообразования фреона R22.

Нетрудно подсчитать, что длительность перемещения паров фреона от испарителя до конденсатора будет значительно меньше одной секунды. Но если даже принять, что длительность равна одной секунде, тогда мощность теплопередачи составит 10,35 кВт.

На практике теплота от замерзающей воды до морозного воздуха передается по цепочке: вода → ледяной слой на стенке испарителя → стенка испарителя → внутреннее пространство термосифона → стенка конденсатора → ребро оребрения конденсатора → морозный воздух. Термическое сопротивление всей цепочки равно сумме термических сопротивлений всех звеньев цепочки, среди которых ледяной слой на испарителе имеет самую большую величину, возрастающую по мере роста толщины намораживаемого слоя льда. Поэтому мощность теплопередачи (холодопроизводительность) будет в разы меньше вычисленной (10,35 кВт).

В работах Аникина Г.В., Безродного М.К., Быстрова П.И и других ученых приведена математическая модель функционирования парожидкостного термосифона при замораживании [3, 5, 18-24, 43, 44, 47, 50, 108, 276]:

$$Q = \frac{t_a}{\frac{1}{\overline{H}_{op} \cdot l_{op}} + \frac{1}{\lambda_{zp} \cdot 2\pi \cdot l_{исн}} \cdot \ln\left(\frac{r_o}{b}\right)} \quad (2.11)$$

где Q – холодопроизводительность термосифона, Вт;

t_a – температура морозного воздуха, К;

\overline{H}_{op} – параметр теплопроводности от одного погонного метра оребренной поверхности конденсатора, Вт/м·К;

l_{op} – длина оребренной части термосифона, м;

λ_{zp} – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·К;

$l_{исн}$ – длина испарительной части термосифона, м;

r_o – радиус промерзания грунта, заданный нулевой изотермой, м;

b – внешний радиус трубы термосифона, м.

Используя выражение 2.11, задавшись численными значениями величин и экспериментальными данными, авторы получили расчетную зависимость тепловой мощности термосифона (Q , Вт) от радиуса промерзания грунта (r_o), и типа хладагента (аммиак, углекислота) (таблица 2.2, 2.3).

Таблица 2.2 - Зависимость мощности (Q , Вт) термосифона, заправленного аммиаком, от радиуса промерзания грунта (r_o , м) и скорости ветра (v , м/с).

$r, \text{ м}$	$v, \text{ м/с}$		
	1	3	6
0,1	364	498	568
0,5	261	323	352
1,0	233	281	303
1,5	219	261	279

Таблица 2.3 - Зависимость мощности (Q , Вт) термосифона, заправленного двуокисью углерода, от радиуса промерзания грунта (r , м) и скорости ветра (v , м/с).

r , м	v , м/с		
	1	3	6
0,1	336	443	495
0,5	248	302	327
1,0	222	266	284
1,5	210	248	264

Анализируя результаты расчета, авторы делают следующие выводы:

1. Тепловая мощность термосифона имеет сильную зависимость от радиуса промерзания грунта;

2. Зависимость мощности термосифона от вида хладагента слабая.

В связи с тем, что значение теплопроводности водного льда (2,22 Вт/(м·К)) очень близко к значению теплопроводности мерзлого грунта, следует полагать, что данная математическая модель будет адекватно отражать интенсивность намораживания водного льда в рассматриваемом бассейне.

Преобразуя выражение 2.11, получим:

$$Q = \frac{t_a}{\frac{2\pi r}{\bar{H}_{op} \cdot S_{op}} + \frac{r \ln(\frac{r_0}{r})}{\lambda_l \cdot S_{исп}}}, \quad (2.12)$$

где λ_l – коэффициент теплопроводности льда, Вт/(м·К);

r – радиус трубы термосифона, м;

S_{op} – площадь оребренной поверхности термосифона, m^2 ;

$S_{исп}$ – площадь испарительной поверхности термосифона, m^2 .

Полученное выражение будет адекватно отражать интенсивность намораживания льда вокруг испарителя термосифона.

Но все приведенные выше математические модели намораживания водного льда в рассматриваемом бассейне не учитывают искусственность рассматриваемого водоема (бассейна): наличие теплоизоляции стен и дна бассейна, наличие навеса для защиты от солнечной радиации и снегопада, взаимного влияния работы термосифонов (подвод холода к воде снизу) и поверхностного слоя льда (подвод холода к воде сверху).

Наиболее полное представление о процессах теплообмена и намораживания льда в рассматриваемом водоеме можно получить только после расчета температурных полей в самом бассейне и прилегающих к нему грунтах.

Для построения температурных полей используется дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{c\rho} \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) \right), \quad (2.13)$$

где $\lambda \frac{\partial t}{\partial x}$, $\lambda \frac{\partial t}{\partial y}$, $\lambda \frac{\partial t}{\partial z}$ – проекции вектора плотности теплового потока на

пространственные оси координат x , y , z ;

c, ρ – соответственно удельная теплоемкость и плотность воды;

λ – коэффициент теплопроводности.

Уравнение (2.13) устанавливает связь между временным и пространственным изменениями температуры в любой точке тела, в котором происходит процесс теплопроводности.

Если в рассматриваемом случае мы принимаем, что теплофизические параметры будут постоянными, то уравнение (2.11) значительно упрощается и будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda_T}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (2.14)$$

Таким образом, характер термического режима бассейна $\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right)$ определяется граничными условиями (второго и третьего рода), то есть суммой тепловых потоков через его поверхности.

Аналитическое решение уравнения (2.14) невероятно сложно и возможно только с применением новейших средств программного обеспечения, компьютерных технологий.

В ООО «Фундаментстройаркос», совместно с нашим участием, разработан уникальный программный комплекс для расчета температурных полей при замораживании грунтов с помощью СОУ – «ФСА-прогноз». (Приложение 1).

По исходным данным (геометрические параметры льдохранилища, краевые условия), разработанным автором, по программе «ФСА-прогноз» были рассчитаны температурные поля и потребное количество термосифонов (термостабилизаторов грунта) при намораживании льда в проектируемом льдохранилище (Приложение 2).

Расчет проводился по метеоусловиям Оренбургской области в бассейне V (20х6х3). При установке 120 штук термосифонов ТК 32/6,0 бассейн за первый год промерзает полностью. Бассейн сохраняется в мерзлом состоянии весь летний период до декабря месяца.

Общая масса льда, намороженного в бассейне, составляет:

$$m_{\text{л}} = V \cdot \rho = 3,3 \cdot 10^5 \text{ кг}$$

где ρ - 917- плотность льда, кг/м³

Таким образом, с помощью одного термосифона можно наморозить 2751 кг. льда. Количество тепла, которое может утилизировать эта масса льда, составляет $Q = m \cdot \lambda = 9,2 \cdot 10^8$ Дж.

Для определения массы молока, которую можно охладить за счет полученного льда, определяют количественную оценку энергетических

потоков энергосберегающей технологической линии. Данную оценку производят на основании уравнений энергетического баланса [154, 182].

Масса молока, охлажденная льдом одного термосифона с 30 до 4 °С составит:

$$m_M = \frac{Q}{c_M(t_H - t_K)} = \frac{9,2 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^3(38 - 8)} = 8214 \text{ кг} \quad (2.15)$$

По представленным данным расчета можно сделать вывод, что одного термосифона достаточно для круглогодичного охлаждения молока от 2-х коров с годовым удоем более 4000 кг/гол.

2.2.3 Образование льда при работе термосифона

2.2.3.1 Образование льда на стенке испарителя термосифона

В статье Э.И. Гуйго [68] рассмотрена математическая модель процесса образования льда на стенке испарителя ледогенератора при условиях взаимодействия третьего рода со стороны холодильного агента. Представленная модель может быть применима и в процессе образования льда на стенке испарителя термосифона. Процесс решения сводится, в этом случае, к решению системы уравнений теплопроводности в слое льда и стенке при условиях сопряжения и соответствующих краевых условиях.

В качестве допущения при постановке задачи принято предположение о прямолинейности профиля температур в слое льда, существенно огрубляющее математическую модель задачи, что может привести к ошибкам в решении, величина, которая будет тем больше, чем больше толщина слоя льда.

Для расчета времени намораживаемого льда предложено уравнение:

$$\tau = -\frac{\rho r}{\alpha_{\theta} t_{\theta} N} \left\{ \varepsilon - \frac{\lambda t_0}{\alpha_{\theta} t_{\theta}} \ln \left[\frac{\alpha_{\theta} t_{\theta} \lambda \varepsilon_1}{\alpha_{\theta} t_{\theta} \lambda \left(\frac{\lambda_1}{\alpha_0} + R \right) + \lambda \lambda_1 t_0} + 1 \right] \right\} \quad (2.16)$$

где r - теплота фазового перехода воды в лед, Дж/кг;

ρ - плотность льда, кг/м³;

t_0 - температура кипения холодильного агента, К;

t_{θ} - температура воды, К;

α_{θ} - коэффициент теплоотдачи от воды к стенке, Вт/(м² К);

α_0 - коэффициент теплоотдачи от поверхности стенки испарителя к кипящему холодильному агенту, Вт/(м²·К);

λ, λ_1 - коэффициент теплопроводности металлической стенки и льда соответственно, Вт/(м К);

R - толщина металлической стенки, м;

ε - координата поверхности раздела лед-вода;

N - коэффициент, учитывающий степень интенсификации льдообразования.

Анализ решения полученного уравнения показал, что интенсификация процесса образования льда, путем увеличения коэффициента теплоотдачи со стороны хладагента, возможна до 1200 - 1500 Вт/(м² К), дальнейшее увеличение теплоотдачи со стороны хладагента практически не влияет на рост толщины слоя льда.

В работах [28, 29] рассмотрена весьма простая зависимость для определения времени, необходимого для образования слоя льда заданной толщины на плоской стенке:

$$\tau = \frac{L_{кр} \rho_l \delta_l}{\Delta t} \left(\frac{1}{\alpha_0} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{0.5 \delta_l}{\lambda_l} \right) \quad (2.17)$$

где δ_l - толщина льда, м;

δ_c - толщина стенки, м;

ρ_l - плотность льда, кг/м³;

λ_l – коэффициент теплопроводности льда, Вт/(м К);

λ_c - коэффициент теплопроводности стенки, Вт/(м К);

α_0 - коэффициент теплоотдачи от поверхности стенки испарителя к кипящему холодильному агенту, Вт/(м²·К);

$L_{кр}$ – удельная теплота плавления льда, Дж/кг.

Тогда скорость роста слоя льда можно определить по формуле:

$$\frac{\partial \delta_l}{\partial \tau} = \frac{\Delta t}{L \rho_l \left(\frac{\delta_l}{\lambda_l} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_0} \right)} \quad (2.18)$$

Авторы [281, 283] предлагают формулы для нахождения толщины льда в заданный момент времени при условии постоянной температуры кипения хладагента и постоянной разности температур воды и хладагента.

Постоянная разность температуры кипения хладагента и температуры воды позволит определить толщину льда:

$$h_l = \left(\frac{m_l}{\rho_l N} - \frac{\pi(D_n^2 - D_{тр}^2)}{4} \cdot h_{тр} \right) \cdot \frac{4}{\pi D_n^2} \quad (2.19)$$

где m_l – масса намораживаемого льда, кг;

N – количество труб в аккумуляторе, шт;

D_n – наружный диаметр замороженного слоя льда, м;

D – диаметр тепловой трубы, м;

$h_{тр}$ – высота трубы, м.

Однако в этой работе нет ссылок на лабораторные или производственные экспериментальные данные, позволяющие судить об адекватности данной модели. При использовании этой математической модели определить толщину льда возможно только при условии, если известна разность температуры воды и температуры кипения хладагента.

В работе [48] предлагается система уравнений, позволяющая рассчитать температуры в любой точке льда и стенки. Математическая модель была получена при решении уравнений теплопроводности с граничными условиями III рода (хладагент - стенка) и IV рода (стенка - лед). Предполагается, что распределения температур в толще льда прямолинейны, а задача сводится к квазистационарной.

Предлагаемые решения свободны от необходимости численного решения трансцендентальных уравнений [254]:

$$T_1(x, \tau) = T_3 + \frac{(T_* - T_3)(x/\lambda_1 + \delta/\lambda_2 + 1/\lambda_3)}{\varepsilon/\lambda_1 + \delta/\lambda_2 + 1/\alpha_3}, \quad (2.20)$$

$$T_2(x, \tau) = T_3 + \frac{(T_* - T_3)(x/\lambda_1 + \delta/\lambda_2 + 1/\alpha_3)}{\varepsilon/\lambda_1 + \delta/\lambda_2 + 1/\alpha_3}, \quad (2.21)$$

$$\tau(\varepsilon) = -[\lambda_1 \rho_1 r_d / \alpha_0 (T_0 - T_*)] \left\{ \varepsilon / \lambda_1 + \frac{(T_* - T_3) \ln(1 - \varepsilon/b)}{\alpha_0 (T_0 - T_*)} \right\}, \quad (2.22)$$

$$b = \lambda_1 \left\{ \frac{(T_* - T_3)}{[\alpha_0 (T_0 - T_*)]} - \delta / \lambda_2 - 1 / \alpha_3 \right\}, \quad (2.23)$$

где T_0 - температура кипения хладагента, К;

T_1 - температура в пристенном слое льда, К;

T_2 - температура стенки, К;

T_3 - температура воды, К;

T_* - температура фазового перехода воды в лед, К;

r_d - теплота фазового перехода воды в лед, Дж;

λ_1 - теплопроводность льда, Вт/(м К);

λ_2 - теплопроводность стенки, Вт/(м К);

ε - толщина слоя льда, м;

δ - толщина стенки, м;

α_0 - коэффициент теплоотдачи со стороны хладагента, Вт/(м² К).

Вызывает интерес случай намерзания льда при натекании жидкости на охлажденную цилиндрическую поверхность. [289].

Математическая модель включает запись дифференциального уравнения Фурье для металлической стенки и слоя льда в цилиндрических координатах при соответствующих краевых условиях и условиях сопряжения.

Для упрощения процедуры решения предложено заменить поля истинных температурных кривых в металлической стенке и слое льда их простейшими аналогами, соответствующими стационарному режиму теплообмена. Такой прием позволяет представить результат в компактной форме, удобной для проведения расчетов.

Температура поверхности раздела «металлическая стенка – лед» находится из выражения:

$$T = \frac{\lambda_2 T_0 \ln \frac{r_0 + \delta + h_{\text{л}}}{r_0 + \delta} + \lambda_1 T_{\text{кр}} \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0}}{\lambda_2 \ln \frac{r_0 + R + h_{\text{л}}}{r_0 + R} + \lambda_1 \ln \frac{r_0 + \sigma}{r_0}}, \quad (2.24)$$

где λ_1, λ_2 - коэффициенты теплопроводности льда и стенки соответственно, Вт/(м К);

T_0 - температура кипения хладагента, К;

r_0 - радиус внутренней стенки цилиндра, м;

$\delta, h_{\text{л}}$ - толщина стенки металлического цилиндра и толщина слоя льда, м;

$T_{\text{кр}}$ - температура фазового перехода жидкости в лед, К.

Тогда, время намерзания слоя льда определяется по соотношению:

$$\tau = -\frac{\gamma \rho_{\text{л}}}{\alpha t_c} \left\{ \frac{\frac{\lambda_1 \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0}}{\lambda_2} h_{\text{л}}}{\frac{\lambda_1 \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0}}{\lambda_2} - \frac{\lambda_1 t_0}{\alpha t_c (r_0 + \delta)}} - \frac{-\frac{\lambda_1 t_0}{\alpha t_c (r_0 + \delta)} \left[1 + \frac{\lambda_1 \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0}}{\lambda_2} \right]}{2 \left[\frac{\lambda_1 \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0}}{\lambda_2} + \frac{\lambda t_0}{\alpha t_c (r_0 + \delta)} \right]^2 (r_0 + \delta)} h_{\text{л}}^2 \right\}, \quad (2.25)$$

где $\rho_{\text{л}}$ - плотность намораживаемого льда, кг/м³;
 γ - теплота фазового перехода воды в лед, Дж;
 α - коэффициент теплоотдачи от жидкости к поверхности льда, Вт/(м² К);
 t_c - температура замораживаемой жидкости, К.

Применительно к плоской стенке данную зависимость можно упростить и записать в следующем виде:

$$\tau = \gamma \rho_{\text{л}} \left[-\frac{\delta}{\lambda_2 t_0 + \alpha t_c \delta} h_{\text{л}} - \frac{t_0 \lambda_2^2}{2 \lambda_1 (\lambda_2 t_0 + \alpha t_c \delta)^2} h_{\text{л}}^2 \right], \quad (2.26)$$

В работе [67] получено соотношение для определения разности температур между тепловыделяющим (охлаждаемым) объектом в аккумуляторе холода и хладагентом:

$$\Delta T = \frac{Q_0}{\pi R^2 \lambda_m \sqrt{b} [1 - \exp(-2\sqrt{b}H)]} [1 + \exp(-2\sqrt{b}H)], \quad (2.27)$$

где Q_0 - тепловыделение объекта, Дж;

R - радиус стержня, м;

H - высота ребра, м;

λ_m - теплопроводность жидкого хладагента, Вт/(м К).

Коэффициент b находится из соотношений:

$$b = \frac{n\delta}{\pi R^2} \left[\sqrt{a} \left(1 + \frac{\exp(-\sqrt{a}L)}{\sqrt{a}L} \right) \text{th}(\sqrt{a}L) + \frac{\exp(-\sqrt{a}L)}{L} - 1 \right], \quad (2.28)$$

$$a = \frac{2\lambda_{\text{ж}}}{\lambda_{\text{м}} \delta (L+R) \sin \alpha}, \quad (2.29)$$

где $\alpha = \pi/n$

L - длина ребра, м;

n - число ребер;

При построении этой математической модели были сделаны следующие допущения:

1) на неоребренном участке теплота Q_0 отводится от охлаждаемого объекта через стержень площадью поперечного сечения $S = \pi R^2$;

2) теплообмен в рабочем веществе происходит не в круговом секторе, а в прямоугольном слое (автор делает такое допущение, т.к. при большом числе тонких ребер слой хладагента между ними приближается к прямоугольному);

3) теплообмен по высоте ребра, а также в радиальном направлении в хладагенте отсутствует, отвод тепла по высоте стержня осуществляется только через ребра (это допущение упрощает характер вычислений по выбранной модели, расчет с его использованием производится с некоторым запасом. В действительности, теплообмен происходит более интенсивно, из-за увеличенной площади теплообменной поверхности оребренного стержня, поскольку при моделировании процесса теплопередачи не учитывается теплообмен между стержнем и хладагентом в межреберном пространстве, а также отвод тепла от торцов ребер;

4) в срединном слое льда (между двумя соседними ребрами) температура меняется линейно от температуры фазового перехода до текущей по оси стержня;

5) автор пренебрегает распределением температур внутри стержня и ребер.

Представляет интерес работа [292], в которой решена задача затвердевания расплава льда на изотермической поверхности плоской стенки в условиях естественной конвекции. Расчетная схема изображена на рисунке 2.5.

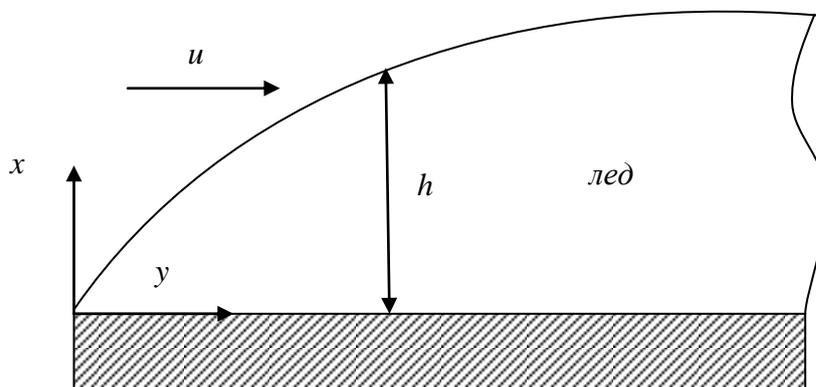


Рисунок 2.5 – Намораживание льда на плоской стенке

Ось x является нормалью к поверхности теплообмена, а ось y направлена параллельно вектору скорости расплава.

В анализируемых материалах отсутствуют сравнение результатов расчета по предлагаемой модели с экспериментальными данными. Кроме того, свойства твердой фазы принимаются постоянными и не зависящими от температуры.

Решение задачи нестационарного теплообмена в условиях намерзания льда на плоской стенке, сводится к расчету динамики намораживания льда.

Проведя анализ работ ученых в данном направлении [48, 68, 289, 292], возможно принять гипотезу о квазистационарности процесса намораживания льда, которая адекватно соответствует результатам для высокотемпературных режимов намораживания. В рассматриваемом случае ярко выражена зависимость влияния теплофизических свойств льда от температуры. Поэтому необходимо решать поставленную задачу как нестационарную с учетом переменности свойств льда для выявления температурного диапазона.

В данной работе рассмотрен вопрос теплообмена при намораживании льда на плоской стенке (рисунок 2.6) охлаждаемой за счет термосифона до температуры $T_{см}$. Математическая модель задачи сводится к записи нелинейного дифференциального уравнения Фурье, теплового условия воздействия со стороны воды, а также начальных и граничных условий.

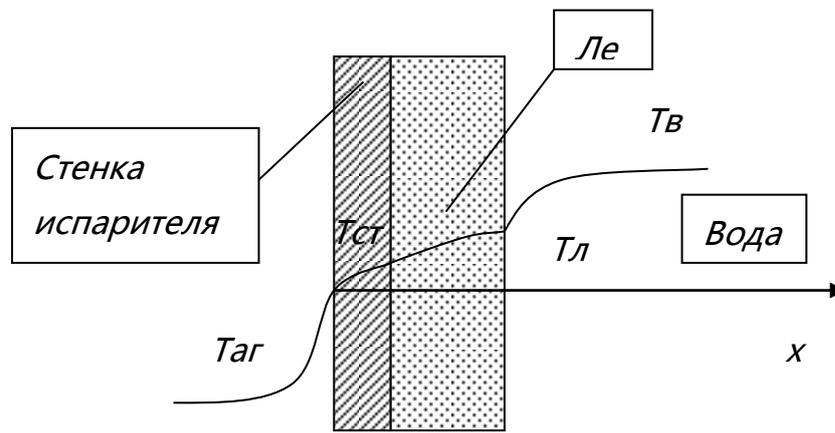


Рисунок 2.6 - Образование льда на плоской стенке

T_{ag} - температура кипения холодильного агента, К; $T_{ст}$ - температура стенки испарителя термосифона, К; $T_{л}$ - температура фазового перехода воды в лед, К; $T_{в}$ - температура воды, К.

Теплопроводность льда авторы [31] выражают как функцию от температуры:

$$\lambda_{л} = 3,184 - 3,153 \cdot 10^{-3} \cdot T, \text{ Вт/(м К)} \quad (2.30)$$

где T – текущая температура в слое льда, К

Теплоемкость льда по линейной зависимости определяется:

$$c_p = bT, \quad (2.31)$$

где $b=7,970$ константа, Дж/(кг·К²).

Соответственно нелинейное дифференциальное уравнение Фурье выраженное зависимостью:

$$\rho_{л} c_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda_{л} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2.32)$$

Примет вид:

$$\rho_l b T \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial X} \left[(A + BT) \frac{\partial T}{\partial X} \right], \quad (2.33)$$

где $A=3,184$ Вт/(м К) и $B=-3,153 \cdot 10^{-3}$ Вт/(м К²) – коэффициенты в формуле (2.33);

X – продольная координата, м.

Тепловое условие воздействия со стороны воды

$$\lambda_{л0} \left. \frac{\partial T}{\partial X} \right|_{X=\delta_l} = \alpha_B (T_e - T_l) + \rho_l L \frac{d\delta_l}{d\tau}, \quad (2.34)$$

где $\lambda_{л0}$ – теплопроводность льда при температуре 0 °С

Краевые условия задачи:

$$T(0, \tau) = T_{ст}; \quad (2.35)$$

$$T(X, 0) = T_B; \quad (2.36)$$

$$T(\delta_l, \tau) = 273 \text{ K} \quad (2.37)$$

Применим к уравнению (2.33) подстановку Больцмана, т.е. будем искать температуру T как функцию комплекса v :

$$T(X, \tau) = T(v); \quad v = \frac{X}{\sqrt{\tau}}; \quad \delta_l = \beta \sqrt{\tau},$$

где β – неизвестная, меняющаяся во времени.

С учетом этого нелинейное дифференциальное уравнение теплопроводности (2.33) в частных производных трансформируется в дифференциальное в полных производных.

$$\frac{d}{dv} \left[(A + BT) \frac{dT}{dv} \right] + \frac{v}{2} \rho b T \frac{dT}{dv} = 0 \quad (2.38)$$

Тепловое условие воздействия со стороны воды будет иметь вид:

$$\lambda_{л0} \frac{dT}{\sqrt{\tau} dv} = \alpha_{в} (T_{в} - T_{л}) + \rho L \frac{\beta}{2\sqrt{\tau}} \quad (2.39)$$

Зная параметр β , можно найти $T(\beta)$ и определить из графика этой зависимости скорость изменения температуры во времени для различных координатных точек. Закон перемещения фазового превращения в этом случае будет иметь вид

$$\delta_{л} = \beta \sqrt{\tau}. \quad (2.40)$$

Выражение для роста толщины слоя намораживаемого льда на охлаждаемой поверхности плоской стенки при постоянных свойствах льда можно получить как частный случай [31].

$$\delta_{л} = -\frac{\alpha_{в}(T_{в}-T_{л})}{\rho_{л}L} \tau + \frac{\lambda_{л}}{\rho_{л}L} \sqrt{\left[\frac{\alpha_{в}(T_{в}-T_{л})\tau}{\lambda_{л}} \right]^2 - \frac{2\rho_{л}L\tau(T_{см}-273)}{\lambda_{л}}}, \quad (2.41)$$

$$\delta'_{л} = -\frac{\alpha_{в}(T_{в}-T_{л})}{\rho_{л}L} \tau + \frac{[\alpha_{в}(T_{в}-T_{л})]^2 \tau - \lambda_{л} \rho_{л} L (T_{см} - 273)}{\lambda_{л} \rho_{л} L \sqrt{\left[\frac{\alpha_{в}(T_{в}-T_{л})\tau}{\lambda_{л}} \right]^2 - \frac{2\rho_{л}L(T_{см}-273)\tau}{\lambda_{л}}}}. \quad (2.42)$$

По результатам расчета моделей намораживания льда на стенке получена зависимость толщины от времени (рисунок 2.7). Процесс роста льда интенсивен в первые часы функционирования рассматриваемых систем, но по мере увеличения его слоя увеличивается термическое сопротивление цепочки звеньев теплопередачи: вода – лед – стенка – хладагент, приводящее к уменьшению скорости намораживания льда, что является серьезным недостатком.

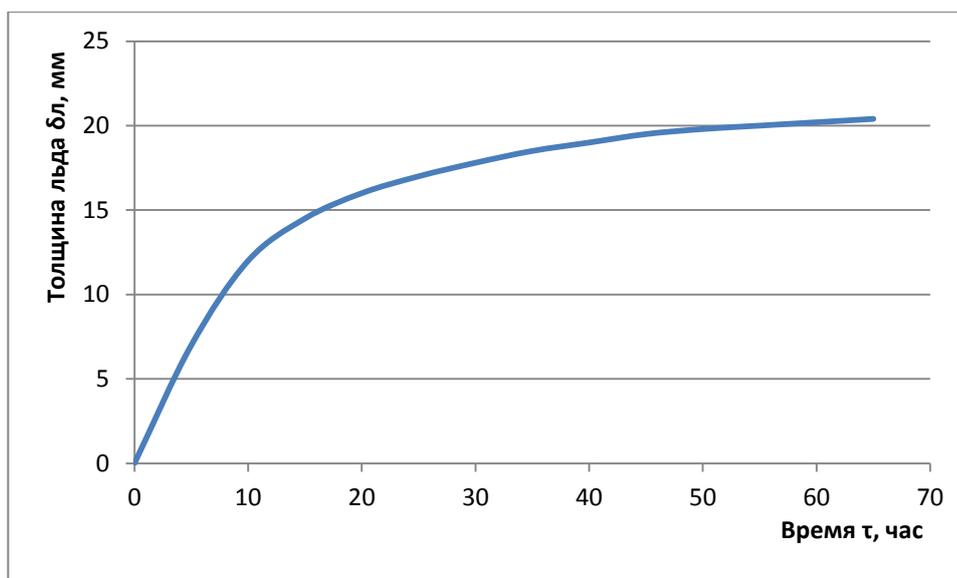


Рисунок 2.7 Зависимость толщины льда на стенке испарителя термосифона от времени

В работе Аникина [5] приведена зависимость холодопроизводительности термосифона P , заправленного аммиаком, от толщины стенки ледяного цилиндра R , намораживаемого вокруг испарителя термосифона при скорости ветра 3 м/с (таблица 2.4).

Таблица 2.4 - Зависимость холодопроизводительности термосифона P , заправленного аммиаком, от толщины стенки ледяного цилиндра R

$R, м$	0,1	0,5	1,0	1,5
$P, Вт$	498	323	281	261

Экстраполяция приведенных данных на область нулевой толщины стенки льда показывает, что холодопроизводительность термосифона в этот момент будет равна 725 Вт.

Максимум холодопроизводительности термосифонов в начальный момент, то есть, при нулевой толщине стенки льда, факт общеизвестный. Этот факт приводит многих исследователей к идее периодического удаления

льда с поверхности испарителя с целью сохранения холодопроизводительности термосифона близкой к максимуму.

Распределение температур в слое льда, рассчитанное по предлагаемой методике (уравнения 2.11, 2.12), приведено на рисунке 2.8.

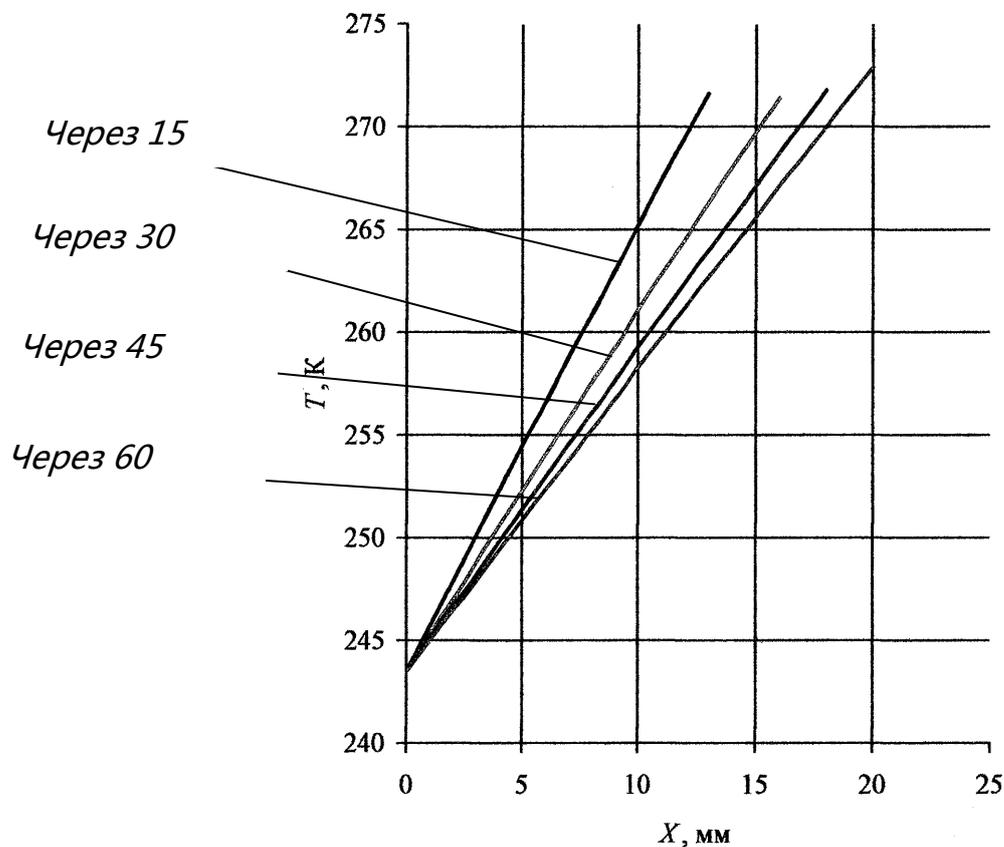


Рисунок 2.8 Распределение температур в слое льда

Можно заметить, что со временем распределения температур сходятся к одной линии. Это объясняется тем, что толщина льда в некоторый момент времени перестанет увеличиваться, система станет стационарной и будет описываться стационарной математической моделью.

При анализе полученных расчетных результатов был сделан вывод, что границей применимости формулы (2.40) является температура стенки ≈ -14 °С.

2.2.3.2 Теплообмен при образовании льда на прямоугольном ребре испарителя термосифона.

Для увеличения холодопроизводительности термосифона предложено усовершенствование конструкции термосифона - оснащение его испарительной части термонасадкой [199]: спиралевидной или пакетом параллельных дисков, закрепленных на боковой поверхности испарителя (рисунок 2.9).

Теоретическое обоснование работы насадок в полной мере способствует принципу функционирования основной системы термосифона.

Возможности работы спиралевидного или плоского оребрения, с точки зрения законов теплодинамики, практически не различаются. Следовательно, в данной работе наибольший интерес вызывает случай оребрения испарителя термосифона.

Возможно применение прямых (профильных) и кольцевых (поперечных) ребер. Ребра могут иметь различные профили (прямоугольный, треугольный, трапециевидный, спиралевидный).

Теоретически возможно предположить, что форма намораживаемого льда будет повторять форму оребренной поверхности.

Тогда температурная эффективность определяется

$$\varepsilon_t = \frac{t_B - \bar{t}_p}{t_B - t_{осн}} \quad (2.43)$$

где t_B – текущая температура воды, К;

\bar{t}_p – средняя температура ребра, К;

$t_{осн}$ – температура основания ребра, К

При образовании льда на поверхности оребренной части термосифона суммарный тепловой поток состоит из двух составляющих: конвективной теплоты и теплоты фазового перехода:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{конв}} + Q_{\phi} \quad (2.44)$$

Конвективная составляющая равна:

$$Q_{\text{конв}} = \alpha_{\text{в}} S_p (t_{\text{в}} - t_{\text{л}}) \quad (2.45)$$

Теплота фазового перехода:

$$Q_{\phi} = L S_p \delta_{\text{л}} \rho_{\text{л}} \quad (2.46)$$

С учетом (2.45-2.46) уравнение (2.44) будет иметь вид:

$$\alpha_{\Sigma} (t_{\text{в}} - t_{\text{л}}) = \alpha_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t_{\text{л}}) + L \delta_{\text{л}} \rho_{\text{л}}, \quad (2.47)$$

где $\delta_{\text{л}}$ – скорость роста слоя льда, м/с.

Следовательно эффективный коэффициент теплоотдачи равен:

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{\text{в}} \left[1 + \frac{L \delta_{\text{л}} \rho_{\text{л}}}{\alpha_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t_{\text{л}})} \right] \quad (2.48)$$

Для упрощения математических выкладок принимаем

$$\xi_{\text{л}} = 1 + \frac{L \delta_{\text{л}} \rho_{\text{л}}}{\alpha_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t_{\text{л}})} \quad (2.49)$$

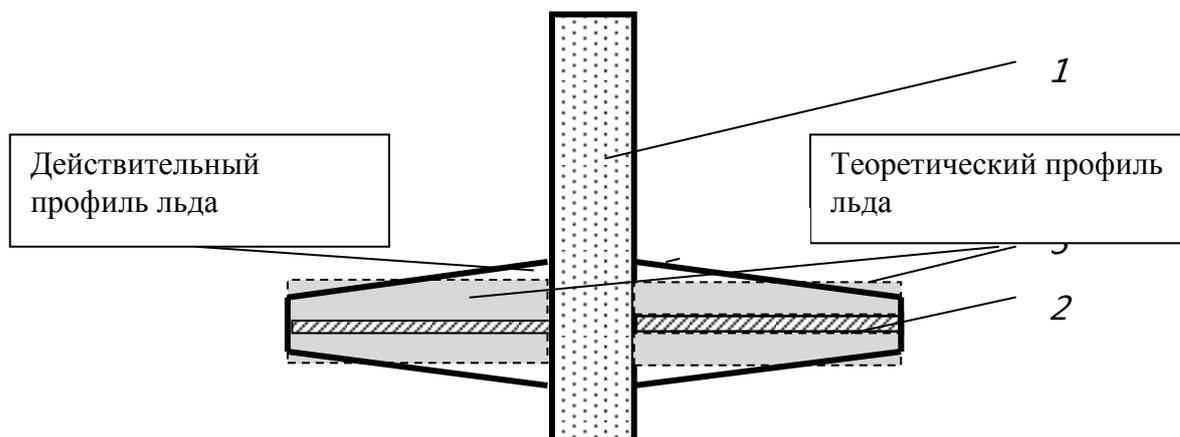


Рисунок 2.9 Схема намораживания льда на прямом прямоугольном ребре испарительной части

1 – испарительная часть термосифона с хладагентом; 2 – ребро испарительной части.

Исходя из высказанных выше соображений, запишем систему уравнений, описывающую теплопередачу в системе «оробренная поверхность – вода»:

$$\begin{cases} \alpha_B F_p (t_B - t_l) + L \delta_l F_p \rho_l = k_p F_p (t_B - t_l) \\ \varepsilon_t = \frac{t_B - \bar{t}_p}{t_B - t_l} \end{cases}, \quad (2.50)$$

$$\text{где } k_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B \xi_l \varepsilon_p} + \frac{\delta_l}{\lambda_l}}.$$

Неизвестными параметрами для решения уравнения (2.50) являются: толщина слоя льда δ_l на момент времени τ и температурная эффективность ребра ξ_t .

Рассмотренная модель может служить основой для расчета теплопередачи в оребренном термосифоне, погруженном в неограниченный объем воды.

2.3 Функциональные особенности использования льдохранилища с термосифонами при охлаждении

2.3.1 Односекционный термосифонный аккумулятор природного холода для охлаждения молока на фермах

Технологическая схема охлаждения молока на МТФ ледяной водой из рассматриваемого льдохранилища показана на рисунке 2.11.

Охлаждение происходит ледяной водой из льдохранилища в течение круглого года. Вода с температурой $+1...+2$ °С насосом 14 нагнетается в пластинчатый теплообменник-охладитель 12, из которого с температурой $+7...+8$ °С по возвратной трубе 13 возвращается в льдохранилище, где она снова охлаждается до $1...3$ °С.

Термосифоны льдохранилища начинают функционировать при температурах окружающего воздуха от -5 °С и ниже. К этому времени водная поверхность бассейна уже будет покрыта льдом, так как замораживание поверхностного слоя воды в бассейне начинается при температуре воздуха 0 °С [125].

Образование льда на испарителе термосифона происходит фактически внутри замкнутого объема бассейна. В связи с тем, что объем льда больше объема воды, из которой он образовался, внутри подледного пространства возникают громадные давления $200...300$ МПа, способные разрушить стены бассейна. Поэтому необходимы конструктивные решения, исключаящие этот негатив. Кроме того в производственных условиях возникает необходимость контроля динамики намораживания льда: массовой скорости за месяц (кг/месяц), за неделю (кг/неделю), за сутки (кг/сутки), суммарной массы льда за зимний сезон, заготовленной на предстоящий весенне-летне-осенний период.

Известные (электронные, механические) способы контроля весьма сложны, трудоемки и дорогостоящи. Нами предлагается простой и дешевый

способ ликвидации вышеназванного негатива с одновременным контролем динамики намораживания льда.

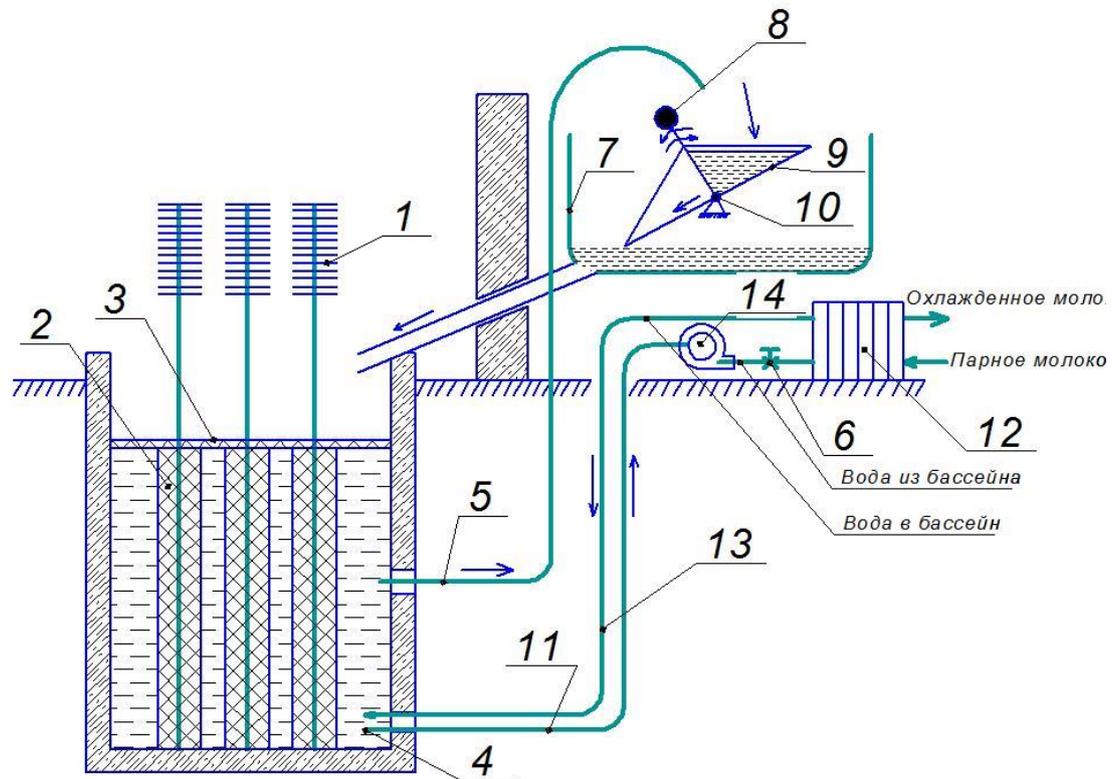


Рисунок 2.10 - Технологическая схема охлаждения молока водой из бассейна, оборудованного термосифонами.

1—конденсатор термосифона; 2—испаритель термосифона; 3—ледяной слой; 4—обратный клапан; 5—дренажная труба; 6—вентиль; 7—корпус измерителя объема воды; 8—регулятор объема дозы; 9—ковш качалка; 10—счетчик расхода воды; 11—всасывающий трубопровод ледяной воды; 12—пластинчатый охладитель; 13—возвратная труба; 14—насос ледяной воды.

Для этой цели внутренняя часть бассейна (рисунок 2.10) соединяется дренажной трубой 5 с ковшовым измерителем массы воды 7, расположенным в молочном отделении фермы или специальном помещении. Каждая половина ковша-качалки 9 имеет вместимость $0,05 \dots 0,1 \text{ м}^3$. Принцип работы ковша-качалки 9 хорошо известен. По мере увеличения объема льда $V_{л}$, намораживаемого вокруг испарителя термосифона, соответствующий объем воды по дренажной трубе 5 вытесняется в ковшовый измеритель. В момент накопления массы воды в рабочей половине ковша, равной критической

величине, ковш опрокидывается. Накопленная доза воды по сливной трубе попадает на поверхность бассейна, где растекается тонким слоем и промораживается морозным воздухом. Количество срабатываний ковша-качалки регистрируется датчиком (на рисунке 2.10 не показан), соединенным с компьютером. Информация о количестве срабатываний ковша-качалки обрабатывается на компьютере с целью получения данных о динамике намораживания льда, количества намороженного льда. Дренажная труба 5, всасывающая и возвратная трубы 11 и 13 должны быть проложены ниже уровня промерзания грунта [113].

При возрастании объема льда V_l , намороженного на испарителе термосифона, часть объема воды ΔV_e вытесняется из бассейна по дренажной трубе 5 в ковшовый измеритель 7. Выясним связь объема воды ΔV_e с массой льда M_l . Уравнение баланса массы льда M_l и массы воды M_e , из которой он образовался, имеет вид:

$$M_l = M_e \quad (2.51)$$

$$V_l \rho_l = V_e \rho_e \quad (2.52)$$

где ρ_l , ρ_e –плотность льда и воды соответственно.

Уравнение баланса объемов при образовании льда:

$$V_l = V_e + \Delta V_e \quad (2.53)$$

После подстановки значений из (2.52) в (2.53) и преобразований получим:

$$\frac{\Delta V_e}{V_e} = \frac{\rho_e - \rho_l}{\rho_l} \quad (2.54)$$

Обозначим $\frac{\Delta V_{\text{в}}}{V_{\text{в}}} = \beta$ – коэффициент объемного расширения воды при превращении ее в лед.

Тогда получим:

$$\frac{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}} = \beta \quad (2.55)$$

С учетом преобразований формула (2.54) примет вид:

$$V_{\text{л}} = \Delta V_{\text{в}} \frac{1}{\beta} \quad (2.56)$$

Умножая левую и правую часть уравнения (2.56) на $\rho_{\text{в}}$ и учитывая формулу (2.51), получим:

$$M_{\text{л}} = \Delta V_{\text{в}} \frac{\rho_{\text{в}}}{\beta} \quad (2.57)$$

$$\text{Обозначим } \frac{\rho_{\text{в}}}{\beta} = k \quad (2.58)$$

Тогда:

$$M_{\text{л}} = k \Delta V_{\text{в}} \quad (2.59)$$

После подстановки численных значений $\rho_{\text{в}}$ и $\rho_{\text{л}}$ в формулы (2.55) и (2.58) получим:

$$\beta = 0,0906 \text{ или } 9,06\%.$$

$$k = 11035 \text{ кг/м}^3.$$

Таким образом, k - является величиной постоянной и имеет вполне конкретный физический смысл. Этот коэффициент позволяет определить

массу льда, приходящуюся на единицу объема воды, вытесненной из замкнутого объема бассейна в процессе намерзания.

Зная суммарный объем воды, прошедший через счётчик расхода воды, т.е., вытесненный из бассейна образовавшимся льдом, эту массу льда можно легко вычислить.

Формула (2.59) позволяет легко решать обратную задачу. Например, вычислить объем воды (m^3), который поступит в мерную емкость при замораживании $300 m^3$ воды в бассейне с замкнутым объемом.

Предложенная методика верна при условии целостности ледяного слоя на поверхности бассейна. В связи с этим при разработке проекта бассейна необходимо предусмотреть меры по предохранению поверхностного слоя льда от разрушения при намораживании льда термосифонами.

2.3.2 Двухсекционный термосифонный аккумулятор природного холода для охлаждения молока на фермах

Расчёты, проведенные ранее, показали, что при установке в бассейн, размером $20 \times 6 \times 3$, 120 штук термосифонов (термостабилизаторов) ТК 32/6,0 конструкции НПО «Фундаментстройаркос» в условиях Оренбургской области за декабрь, январь, февраль месяцы (90 сут.) вся вода в бассейне будет заморожена. Общая масса льда в бассейне составит 243690 кг, что соответствует запасу холода в $243690 \times 335 = 0,8164 \cdot 10^8$ кДж. Таким количеством холода с учетом потерь в 10% можно охладить с 30^0C до 5^0C годовой удой от стада в 200 коров с годовой продуктивностью более 4000 кг на голову. Удельная нагрузка составит 1,7 коровы на один термосифон.

Но удельную нагрузку на термосифон можно повысить, увеличив срок функционирования термосифонов с 90 до 130...140 суток в год, исходя из следующих соображений.

В конце февраля, начале марта, когда температура атмосферного воздуха повысится до «околонулевых» значений, вокруг испарителя каждого термосифона будет заморожен ледяной цилиндр радиусом 0,3...0,5 м.

Функционирование термосифонов с этого момента прекращается, так как период температур между испарителем и конденсатором $\Delta T \approx 0^\circ\text{C}$.

Теплая вода с температурой 15...20 $^\circ\text{C}$, поступающая в бассейн от охладителей молока, не может контактировать непосредственно со стенкой испарителя термосифона, так как «теплоизолирована» слоем льда цилиндрического монолита. Утилизация теплоты от охлажденного молока с этого момента осуществляется только за счет таяния льда монолита, замороженного в предыдущий морозный период. Если ледяной монолит вокруг каждого испарителя к этому моменту разрушить, обеспечивая контакт воды непосредственно со стенкой испарителя, то термосифон будет функционировать и при «плюсовых» температурах вплоть до повышения температуры наружного воздуха до 5 $^\circ\text{C}$. Однако экологически приемлемых технических решений удаления льда со стенок испарителя на сегодня не существует.

Для реализации названной идеи можно применить технологический способ, суть которого заключается в следующем.

В заглубленную (полузаглубленную или наземную) часть льдохранилища (бассейны) вставляются испарительные части термосифонов 2 (рисунок 2.11). В осенний период при наступлении нулевых температур атмосферного воздуха термосифоны перекачивают теплоту от воды бассейна в окружающую атмосферу, так как температура воды в бассейне после охлаждения молока в проточном (или емкостном) охладителе 12 равна 15...20 $^\circ\text{C}$. К началу очередного доения коров вода в бассейне охладится до температуры, близкой к температуре наружного воздуха. Термосифоны будут функционировать круглосуточно, т.е. до тех пор, пока разность температур ΔT станет близка к нулевому значению.

Весь объем льдохранилища состоит из двух самостоятельных, независимых друг от друга секций: оперативная секция и секция летнего резерва. Оперативная секция используется 170 суток в году: 3-я декада октября–ноябрь-декабрь-январь-февраль-март-1-я декада апреля.

Охладители молока на ферме в этот период закольцовывают только на эту секцию. Схема такого аккумулятора холода показана на рисунке 2.11 [127].

В оперативной секции «А» ежесуточно, 2...3 раза в день (в зависимости от кратности доения) происходит интенсивный процесс теплообмена с окружающей средой: в часы доения, в секцию поступает суточное количество теплоты (Q сут.) от охлаждаемого молока, а в перерывах между дойками, в том числе, в ночные часы, термосифоны перекачивают теплоту в окружающий холодный воздух.

В секции резерва «Б» никаких массообменных процессов не происходит, вода не перемешивается и в период отрицательных температур на водной поверхности секции, вокруг испарителей термосифонов намораживается ледяной слой. Для предохранения стен секции от разрушения при намерзании льда, вокруг испарителей обе секции в нижней части соединяются отверстием «О».

Нетрудно подсчитать, что в односекционном объеме льдохранилища (360 м³, 120 термосифонов, 90 суток с отрицательными температурами) секундная холодопроизводительность одного термосифона равна 0,116 кВт.

В оперативной секции в результате интенсификации теплообмена за счет теплопроводности и конвективного теплообмена, холодопроизводительность одного термосифона составит 0,3 кВт. Лёд на испарителях в этой секции может образовываться только в часы особо низких температур морозного воздуха (-25...-30⁰С). Но в часы доения этот лед тает.

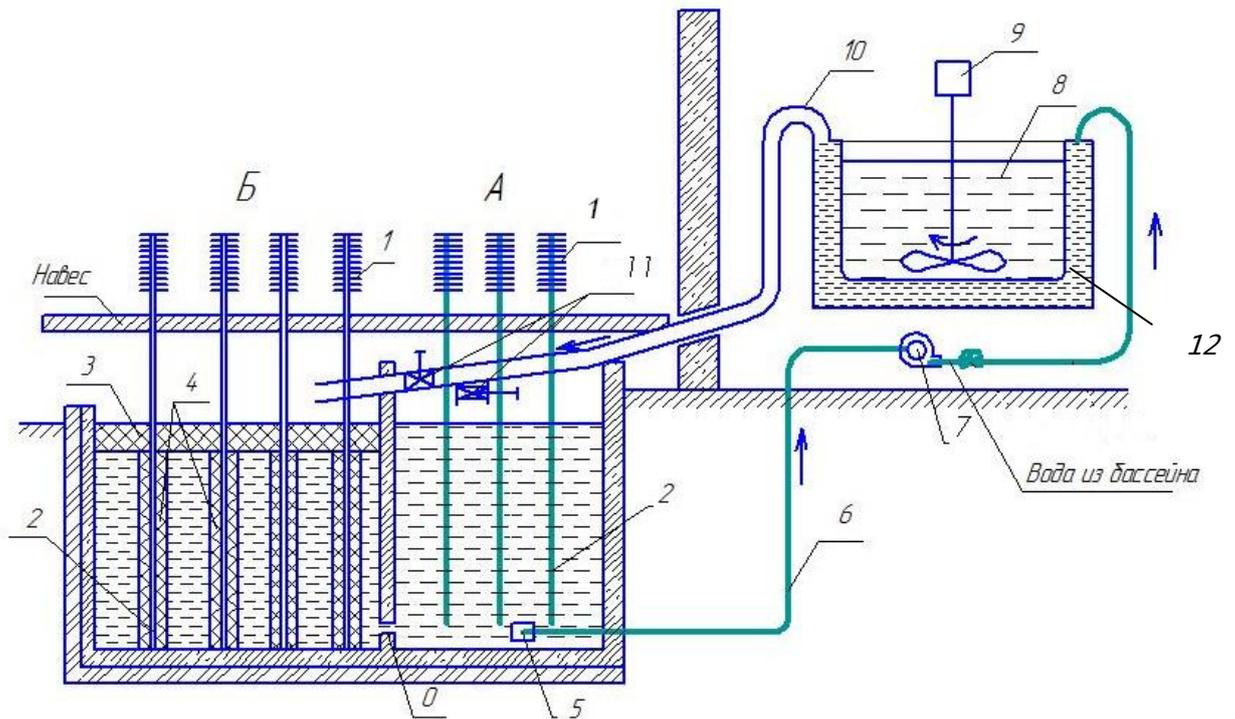


Рисунок 2.11. - Технологическая схема двухсекционного аккумулятора природного холода

1 – термосифон, 2 – испаритель термосифона, 3 – поверхностный лед, 4 – лед, образованный работой термосифона, 5 – фильтр, 6 – труба подачи ледяной воды, 7 – насос, 8 – молоко, 9 – мешалка молока, 10 – трубопроводы сброса теплой воды, 11, – краны, *O* – соединительное отверстие.

Значение (0,3 кВт) не является величиной постоянной. Оно может варьировать и по часам суток, и по дням недели, месяца. Но как средневзвешенное значение его можно принять для расчетов.

Среднесуточное количество теплоты поступающей в оперативную секцию в осенне-зимне-весенний период (170 суток) Q_{cp} . равно:

$$Q_{cp} = \frac{m Y_z \beta_1}{365} C_m (t_k - t_n) \quad (2.60)$$

где m – число коров на ферме, (200 гол);

Y_z - годовая продуктивность коров, (4000 кг/(гол·год));

β_1 – коэффициент годовой неравномерности надоев (1,35);

C_m – удельная теплоемкость молока, (3,93 Дж/ (кг·К));

t_n, t_k – соответственно начальная и конечная температура воды, прошедшей через охладитель молока и поступающей в бассейн, (30 и 5 °С).

Среднесуточное количество теплоты, отводимое из оперативной секции одним термосифоном, $q_{cp} = 25920 \text{ кДж/сут.}$

Количество термосифонов, необходимых для оперативной секции, N

$$N = \frac{Q_{cp}}{q_{cp}} = 11,2 \text{ штук}$$

Принимаем 12 термосифонов.

С наступлением весенне-летне-осеннего периода – со 2-ой декады апреля по 2-ю декаду октября (включительно) – охлаждение молока ведется только ледяной водой из секции летнего резерва за счет таяния льда, так как термосифоны не работают, и тепло в обратную сторону не перекачивают. Общее количество холода, которое должно быть накоплено в секции летнего резерва: $Q_{сум}$ (кДж) равно:

$$Q_{сум} = \frac{mY_2\beta_2}{365} \cdot D \cdot C_m(t_u - t_k) \cdot \eta, \quad (2.61)$$

где β_2 – коэффициент неравномерности надоев, 1,35;

D - длительность весенне-летне-осеннего периода, 195 суток;

η - коэффициент, учитывающий потери холода в этот период, 1,1;

Количество холода, накапливаемого за 90 сут. одним термосифоном в секции летнего резерва при его мощности 0,116 кВт $q' = 902016 \text{ кДж}$

Количество термосифонов, потребное для секции летнего резерва $N' = 69,1 \text{ шт.}$ Принимаем 70 термосифонов.

Суммарное количество термосифонов в двухсекционном аккумуляторе холода для молочной фермы на 200 коров с годовым удоем

4000 кг/гол и охлаждением молока с 36°C до 6°C равно $N_{обем} = 82$ термосифона.

Это на 38 термосифонов меньше, чем, например, в односекционном аккумуляторе природного холода.

2.3.3 Подземная холодильная камера с термосифонами

Лёд, намороженный в заглублённом льдохранилище, можно использовать не только для получения ледяной воды.

На кафедре механизации технологических процессов в АПК Оренбургского ГАУ разработана схема холодильной камеры для охлаждения пищевых продуктов краткосрочного хранения с использованием природного холода, получаемого с помощью термосифонных систем [198].

Предлагаемое хранилище пищевых продуктов (рисунок 2.12, 2.13) представляет собой подземное сооружение, содержащее емкость для аккумуляирования холода 1, воздушную холодильную камеру 2, имеющую стену 3, контактирующую с грунтом 4, пол и потолочное покрытие с люком 5. Доступ к люку 5, в частном случае выполнения хранилища, осуществляется через наклонный тамбур 6 с дверью 7 и лестницей 8, которая продолжается до пола воздушной холодильной камеры 2. Вместо наклонного тамбура 6 с дверью 7 может быть использована вертикальная шахта, имеющая вместо двери 7 горизонтальный люк на уровне поверхности грунта.

В емкости для аккумуляирования холода 1 установлены термосифоны 9. Емкость для аккумуляирования холода 1 располагается внутри в центральной части воздушной холодильной камеры 2, обеспечивая тем самым увеличение площади теплопередачи.

Для контроля состояния льда по всей глубине емкости для аккумуляирования холода 1 через определенное расстояние устанавливаются датчики температуры 11.

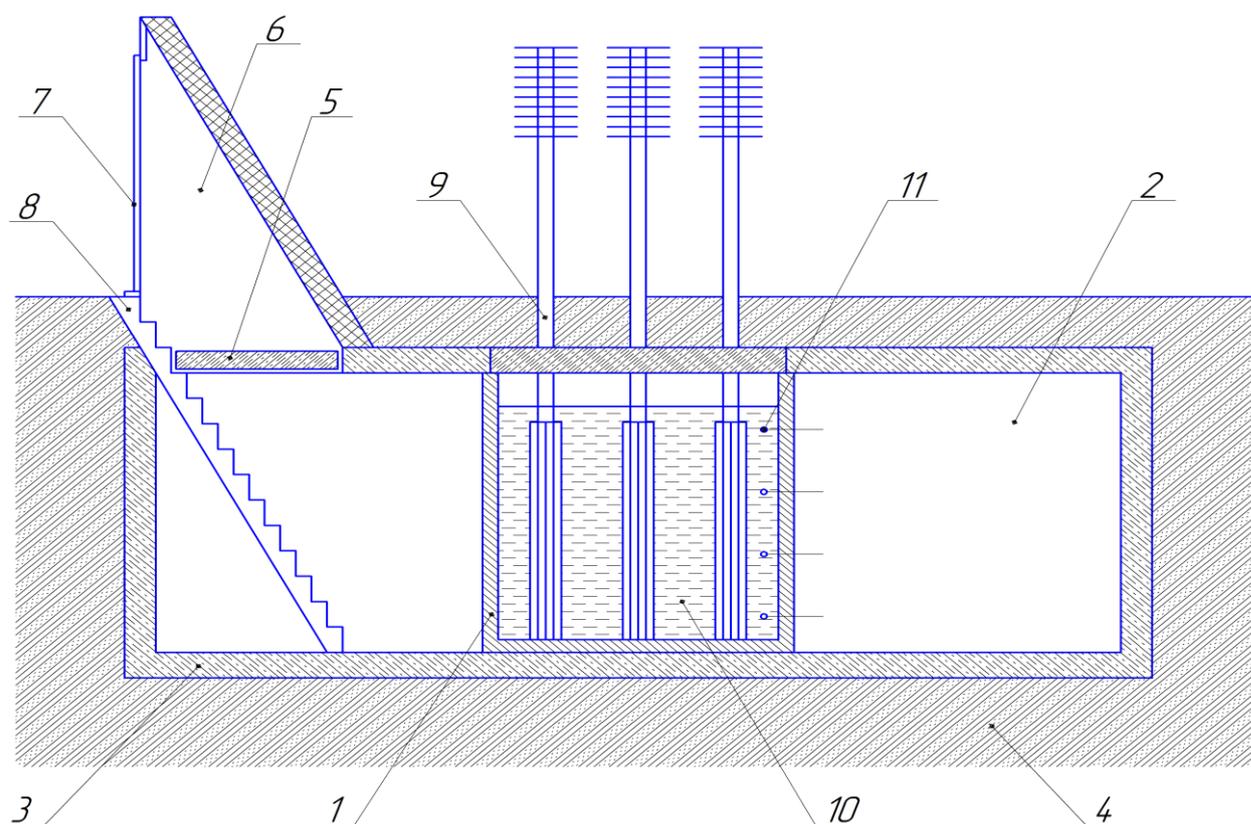


Рисунок 2.12. Схема хранилища пищевых продуктов с использованием природного холода.

1 - емкость для аккумуляции холода; 2 - воздушная холодильная камера; 3 - гидроизолирующая стена; 4 - грунт; 5 - люк; 6 - наклонный тамбур; 7 - дверь; 8 - лестница; 9 - термосифоны; 10 - вода; 11 - датчики температуры.

Грунт 4, контактирующий со стеной 3, охлаждается в холодный период года и играет роль дополнительного аккумулятора холода в воздушной холодильной камере 2.

Работает хранилище пищевых продуктов следующим образом.

При температуре окружающего воздуха ниже -5°C начинается функционирование термосифона. Хладагент в испарителе термосифона, окруженном водой с температурой $+1, +4^{\circ}\text{C}$, начинает интенсивно кипеть, отнимая теплоту от воды 10 по всей толще емкости для аккумуляции холода 1.

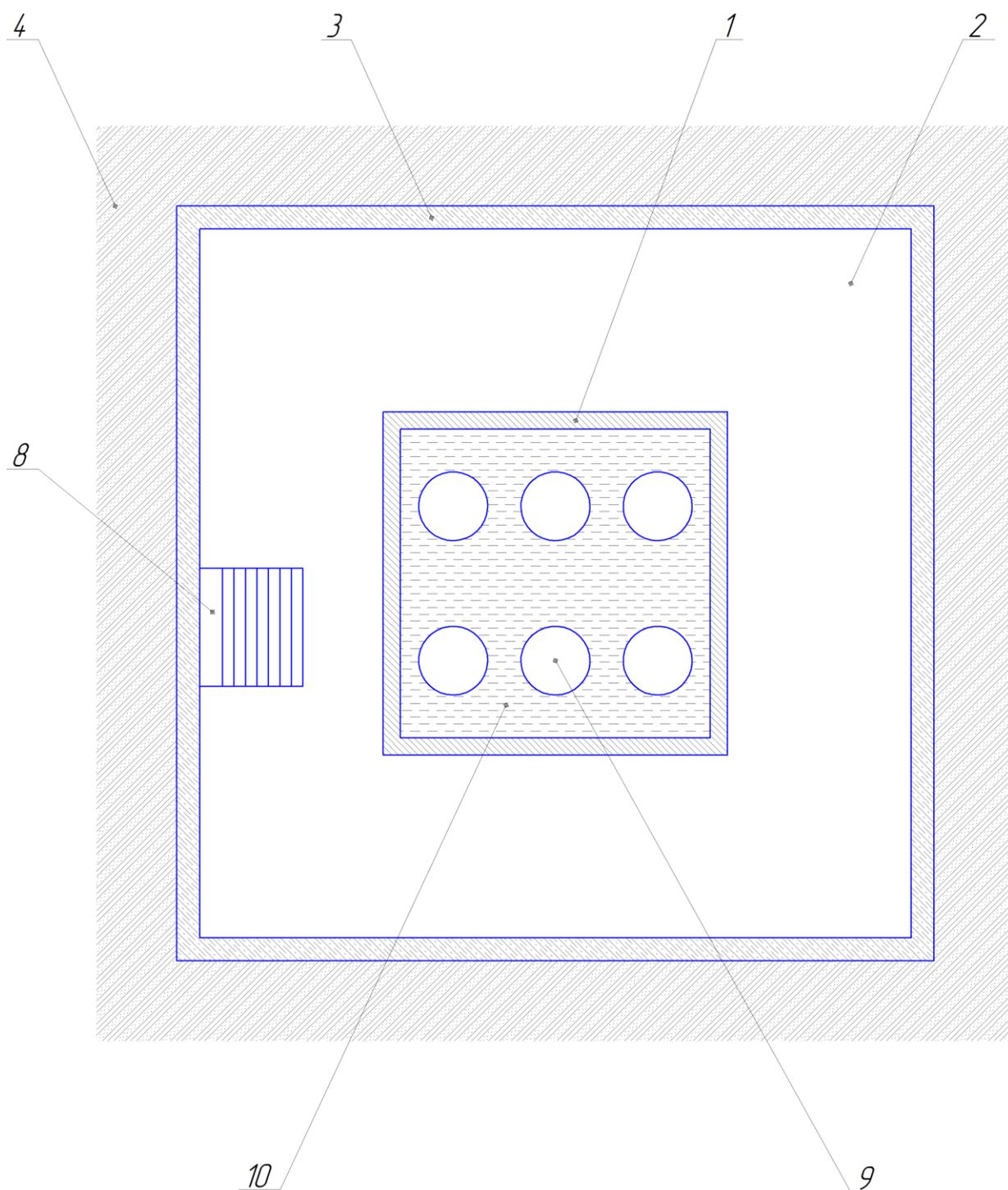


Рисунок 2.13 Схема хранилища пищевых продуктов (вид сверху)

1 - емкость для аккумуляции холода; 2 - воздушная холодильная камера; 3 - гидроизолирующая стена; 4 - грунт; 8 - лестница; 9 - термосифоны; 10 - вода.

Пары хладагента поднимаются вверх и, соприкасаясь с внутренней замороженной до температуры наружного воздуха поверхностью, конденсируются, отдавая теплоту стенкам конденсатора. Капли хладагента по стенкам термосифона 9 под действием силы тяжести стекают вниз, в испаритель, где снова испаряются.

Таким образом, идет непрерывный процесс перекачивания теплоты от всей толщине воды 10, от нижних придонных до верхних слоев. Вокруг испарителя каждого термосифона в течение морозного периода намерзает цилиндрический монолит льда диаметром 0,8...1,1 метра, длиной, равной длине испарителя.

В теплое время года, когда температура воздуха над поверхностью грунта становится выше окружающей температуры в зоне испарения, циркуляция хладагента в термосифоне прекращается, но тепло в обратную сторону, т.е, с поверхности под землю, в хранилище, не поступает. Термосифон является тепловым диодом.

Хранилище подобного типа на молочно-товарной ферме можно сделать в наземном исполнении, разместив его на стыке блока вспомогательных помещений с коровником, желательно со стороны северных направлений. В этом случае значительно упрощается эксплуатация и контроль за работой технологического оборудования хранилища.

Технический результат достигается за счет того, что емкость для аккумуляции холода располагается внутри в центральной части воздушной холодильной камеры, увеличивая тем самым площадь теплопередачи и сокращая время охлаждения продуктов. Емкость для аккумуляции холода выполнена из теплопроводящего материала с запасом по объему для расширения жидкости при переходе ее из жидкой фазы в твердую.

2.4 Послойное намораживание льда

2.4.1 Водооборотный аккумулятор послойного намораживания льда

В качестве второй альтернативы описанными нами способам заготовки льда является технология заготовки и использования природного льда, основанном на послойном намораживании его в заглубленном льдохранилище [77, 100, 101].

Для начала зададимся вопросом – нельзя ли с целью сокращения трудоемкости заготовки природного льда, рядом с молокоперерабатывающим цехом (отделением) фермы соорудить бассейн с площадью водного зеркала, например, 4x4 метра, глубиной 4-5 метров и предоставить ему возможность естественным образом промерзнуть до дна? Бассейн с таким объемом льда смог бы обеспечить охлаждение молока с 30⁰ до 5⁰С на ферме 50 коров с годовым удоем 4500 кг на голову в течение всего года. В этом случае можно было бы полностью обойтись без холодильных машин.

Заметим, что озера и пруды не замерзают до дна, потому что образующийся при замерзании лед не тонет, а плавает на поверхности воды. При этом он образует своего рода шубу, которая препятствует обмену теплом между водой и морозным воздухом и существенно замедляет процесс замерзания воды.

Если бы у воды, как у большинства других веществ, твердая фаза была бы тяжелее жидкой, лед тонул бы, оставляя поверхность воды незащищенной, и превращение некоторого количества воды в лед никак не влияло бы на процесс ее дальнейшего замерзания. На границу с холодным воздухом выходили бы все новые и новые порции воды, и процесс замерзания шел бы очень быстро - гораздо быстрее, чем он идет на самом деле. Более точные оценки показывают, что при таком режиме образования

льда самые глубокие водоемы неизбежно промерзали бы до самого дна [126, 128, 273].

В регионе Южного Урала – Оренбургская, Курганская, Челябинская область – за весь зимний период водоемы промерзают всего лишь на 600...800 мм даже в самые холодные зимы. Значит, сооруженный нами бассейн, в силу отмеченных особенностей льда, промерзнуть естественным образом до самого дна не может.

Значит, нужны другие технические решения, позволяющие накопить лед в заглубленном льдохранилище с использованием всей глубины.

Одним из таких решений является заглубленное льдохранилище, конструктивно-технологическая схема которого разработана на кафедре «Механизация технологических процессов в АПК» Оренбургского ГАУ (рисунок 2.14).

Основной отличительной особенностью льдохранилища является использование водооборотной схемы холодоснабжения молокоперерабатывающего предприятия.

При современном развитии техники отпаять ледяной пласт от берегов специально сооруженного бассейна, утопить его и зафиксировать там не представляет технических трудностей и не требует больших материальных затрат. После замерзания второго слоя с ним необходимо поступить точно также. Затем третий, четвертый слои и так далее (патент № 2627574 РФ).

Отличительная особенность предлагаемого способа послойного намораживания льда в льдохранилище заключается в том, что вода, разливаемая тонким слоем по поверхности ледяного пласта, берется не из водопроводной сети, а из подлёдного пространства льдохранилища.

По мере откачивания воды пространство между нижней поверхностью ледяного пласта и уровнем незамерзшей воды в хранилище постоянно возрастает. Незамерзшая вода в этот момент является как бы громадным поршнем, движущимся вниз. В этом пространстве возникает вакуум величиной до 80 кПа.

Казалось бы, под действием такого вакуума ледяной пласт должен либо оторваться от стен горловины и целиком упасть на незамерзшую воду, либо разрушиться и крошками, кусками упасть на воду.

Однако при толщине слоя, например, 0,3 м и вакууме 80 кПа (рисунок 5.5) не происходит ни первое, ни второе явление.

Таким образом, основным проблемным узлом предлагаемой системы послойного намораживания льда является горловина льдохранилища. Проблема вызвана примерзанием намораживаемого ледяного слоя к стенкам горловины. Закономерности прилипания льда к подложке в процессе замерзания воды (адгезия) изучали Гольдштейн Р.В., Епифанов В.П., Кобеко Бобков В.А., Blackburn С и многие другие ученые [26, 27, 62, 111, 290, 293, 294, 296, 301].

По единому мнению всех исследователей прилипание льда к подложке, кроме молекулярных сил притяжения, обычно имеют место связи двойного электрического слоя, а при соответствующих подложках – и водородные связи с пленкой молекулярно-ориентированной воды.

Примерзаемость льда к подложке связана, в частности, со скоростью деформации и температурами намораживания и отрывания льда.

Примерзаемость зародышей ледяных кристаллов к полностью смачиваемой ледяной поверхности по В.А. Бобкову соответствует прочности льда на разрыв. Иначе говоря, вновь намороженный слой имеет силу сцепления со слоем, намороженным ранее, равную силе разрыва сплошного монолита.

При замерзании воды даже на гидрофобной (водоотталкивающей) поверхности отталкивающая сила поверхностного натяжения воды исчезает, и всегда устанавливается некоторая связь льда с этой поверхностью. Этот факт указывает на отсутствие в природе тел с *непримерзаемой* поверхностью.

В предлагаемой нами конструкции льдохранилища (рисунок 2.14) слой намороженного льда через несколько циклов срабатывания сифонного устройства окажется «подвешенным» в воздухе, так как уровень воды в

подледном пространстве уменьшится. Положение ледяного пласта относительно стен горловины и его целостность целиком и полностью определяются силами примерзания льда к стенкам, площадью, толщиной слоя пласта и прочностными характеристиками льда. Физические свойства льда представлены в таблице 2.4 [26, 27, 62, 111, 290, 293, 294, 296, 301].

Таблица 2.4 - Физические свойства льда

Параметры льда	Значения при нормальном давлении P=101325Па и температурах, °С	
	t= 0 °С (273,15 °С)	t
Плотность, кг/м ³	$\rho_0 = 916,8$	$\rho_t = 916,8(1-0,00015t)$
Удельная теплота плавления, кДж/кг	$r_0 = 334$	$r_t = 334+2,12t$
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С)	$c_0 = 2,12$	$c_t = 2,12+0,008t$
Удельная теплопроводность, Вт/(м·°С)	$\lambda_0 = 2,22$	$\lambda_t = 2,22(1-0,0015t)$
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	$\delta_0 = 1,2$	$\delta_t = 1,2-0,08t$ для t до -25 °С
То же, при растяжении, МПа	$\delta_0 = 0,5$	$\delta_t = 0,5-0,015t$ для t до -25 °С
То же, при срезе, МПа	$\delta_0 = 0,7$	$4\delta_t = 0,7-0,01t$ для t до -25 °С
Модуль Юнга, МПа	$E_0 = 9400$ (при -30 °С около 10000)	
Модуль сдвига, МПа	$G_0 = 3400$ (при -30 °С около 3700)	
Коэффициенты трения (по стали)		
статистический	$4\mu_0 = 0,2:0,35$	
кинетический	$4\mu_0 = 0,03:0,035$	

Величина сил примерзания увеличивается при снижении температуры, иначе говоря, напряжение отрыва льда от стенки даже больше, чем разрушающие напряжения внутри ледяного монолита.

Но адгезионные силы примерзания можно уменьшить, применяя гидрофобные покрытия стен льдохранилища, например, используя такие материалы, как тефлон, фторопласт. Однако при многократном намораживании и отделении льда, что имеет место в горловине предлагаемого льдохранилища, водоотталкивающий эффект со временем уменьшается, стремясь к нулевому значению.

Другие известные способы уменьшения адгезионных сил примерзания – периодическая смазка поверхностей незамерзающими смазками, периодическая замена гидрофобных покрытий и т.д. в льдохранилище из экономических соображений неприемлемы.

В связи с названными проблемами отделения пласта льда от поверхности горловины льдохранилища мы предлагаем использовать электронагрев поверхности горловины с помощью нагревательного саморегулирующегося провода «HEAT LINE – Антифриз».

Схема льдохранилища, реализующая предлагаемую идею, представлена на рисунке 2.14

Льдохранилище представляет собой бассейн заглубленного типа с бетонированными теплоизолированными стенами. В горизонтальном сечении – квадрат 5х5 м [77].

Горловина льдохранилища представляет собой усеченный конус с диаметром нижнего основания 5 м, верхнего 4,9 м. высота горловины 0,2 м. Горловина обшита оцинкованным стальным листом. С наружной стороны обшивки закреплена намотка нагревательного саморегулирующегося провода «heatline-Антифриз» общей длиной 100 м, общей потребляемой мощностью 3,1 кВт (для сравнения – мощность бытового электрочайника 2 кВт). Намотка окружена теплоизоляционным слоем 24.

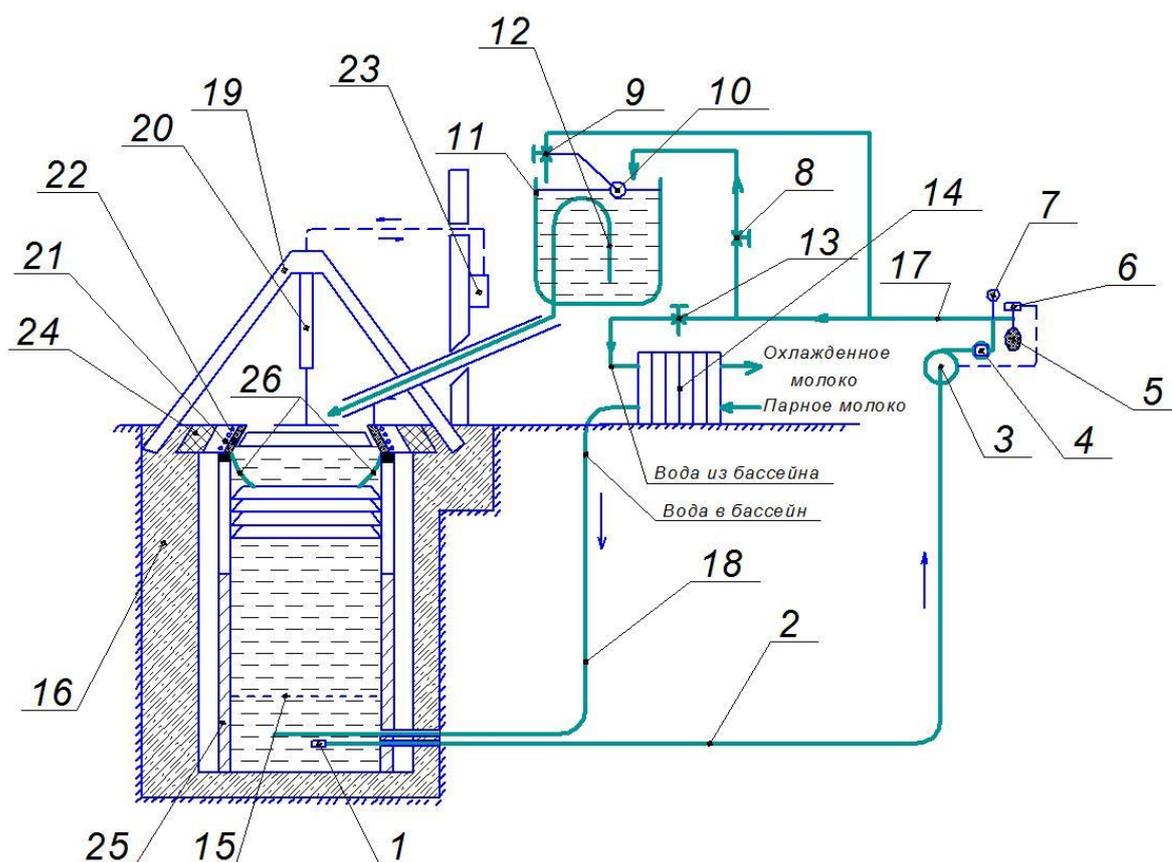


Рисунок 2.14 Схема льдохранилища с послойным накоплением льда.

1–обратный клапан; 2–всасывающая труба; 3–насос; 4–счетчик расхода воды; 5–гидроаккумулятор; 6–реле давления; 7–манометр; 8–расходный кран; 9–кран; 10–поплавковое устройство; 11–бак-дозатор воды; 12–сифон; 13–трёхходовой кран; 14–теплообменник-охладитель; 15–ограничительная решетка; 16–льдохранилище; 17–напорная магистраль; 18–возвратный трубопровод; 19–дугообразная опора; 20–гидроцилиндр; 21–саморегулирующаяся нагревательная лента «Heatline - Антифриз»; 22–обшивка горловины (стальной, оцинкованный лист); 23–гидрораспределитель; 24–теплоизоляционный слой; 25–стойка (швеллер); 26–фиксаторы ледяных пластов.

В каждой из четырех стен забетонированы стойки (швеллер), служащие направляющими ледяных пластов. Под горловиной в каждую стойку вмонтирован пластинчатый фиксатор ледяных пластов 26, в котором металл пластины работает в зоне упругих деформаций.

Над горловиной льдохранилища забетонирована дугообразная опора 19, в центре которой закреплен гидроцилиндр 20. Гидроцилиндр развивает усилие 10 тонн.

Рабочая жидкость в гидроцилиндр подается по шлангу от гидрораспределителя 23 под давлением гидронасоса, смонтированного вместе с баком рабочей жидкости. В качестве рабочей жидкости можно использовать любую тормозную жидкость. В придонном слое воды льдохранилища 16 располагается обратный клапан 1 с сетчатым фильтром, накрученный на конец всасывающей трубы 2. Насос 3 подает воду в напорную магистраль 17, из которой вода поступает в гидроаккумулятор 5 и к расходным кранам 8 и 13. Расходный кран 8 регулирует подачу воды в бак-дозатор воды 11, устанавливая тем самым частоту сброса воды в льдохранилище. Кран 13 подает воду в охладитель 14 или на слив в канализацию.

При достижении уровня воды в баке-дозаторе максимума запускается сифон 12 и вся доза воды, накопленная в баке 11 сифона, попадает на верхнюю замороженную часть льдохранилища 16, разливаясь тонким слоем толщиной 10...20 мм в зависимости от настройки сифонного дозатора. Периодичность срабатывания сифонного дозатора устанавливается так, чтобы предыдущая доза, разлитая по поверхности ранее намороженного льда, успела промерзнуть. Регулировка периодичности устанавливается краном 8. Для автоматического запуска сифона предусмотрено дополнительное поплавковое устройство 10, обеспечивающее открытие крана 9.

Насос 3 управляется с помощью реле давления 6. При давлении 2,1 кг/см² насос выключается, при 1,1 кг/см² – включается.

После многократных циклов работы сифонного устройства большая часть воды в льдохранилище 16 превратится в лед.

Однако доводить промораживание до дна емкости нельзя, так как нижний придонный слой воды используется для ее подачи в теплообменник-охладитель 14 молока через кран 13 с последующим возвратом теплой,

отработанной воды по возвратному трубопроводу 18 снова в придонный слой, где она охлаждается за счет таяния нижних слоев льда. Именно для этой цели служит решетка 15.

Расход воды и, соответственно, объем намороженного льда определяется по показаниям счетчика 4.

Рабочий процесс осуществляется следующим образом. Перед наступлением морозного периода льдохранилище заполняется водой до верхнего уровня горловины. При замерзании первого слоя до толщины 10...20 мм оператор включает в работу бак-дозатор воды и осуществляет послойное намораживание до суммарной толщины 100...120 мм. После наморозки этого слоя оператор включает нагревательную обмотку на 20...30 минут. За этот период времени ледяной пласт надежно подплавляется по всему периметру горловины. Затем в работу включается гидросистема, перемещающая ледяной пласт (10...12 см) ниже фиксаторов 26. После перемещения (затопления) пласта, шток гидроцилиндра под действием пружины возвращается в исходное положение, а пласт от всплытия удерживается четырьмя фиксаторами 26. После затопления первого ледяного пласта в работе гидросистемы наступает пауза – ожидание намораживания второго пласта. Далее процесс циклически повторяется со вторым, третьим и так далее пластом. К концу морозного периода, а возможно и ранее, бассейн будет заполнен слоеным льдом до ограничительной решетки 15 в объеме 80...90 м³. В этом случае выталкивающая (архимедова) сила льда равна 80...90 тонн. Вес всего объема льда составит 82530 кг. Равнодействующая архимедовой силы и силы тяжести льда равна 7,47 т. Именно такое или большее усилие должен развивать гидроцилиндр при затоплении последних пластов, а фиксаторы выдерживать такую нагрузку.

В процессе накопления льда уровень воды в горловине будет повышаться, так как при превращении воды в лед его объем увеличивается на 9% по отношению к объему воды, из которой он образовался. Оператор молочного отделения должен регулярно наблюдать и сливать воду из

бассейна через кран 13, расходуя ее на хозяйственные нужды или в канализацию.

Рабочий объем льдохранилища зависит от годового объема охлаждаемого молока и разности температур ($t_{нач} - t_{кон}$) молока. Годовой объем молока в свою очередь зависит, как известно, от численности и продуктивности коров на ферме.

Таким образом, рабочий объем льдохранилища должен быть равен годовой потребности льда для охлаждения молока с 30^0 до 5^0 С.

Рабочий объем, в зависимости от поголовья коров на ферме и их годовой продуктивности, рассчитывается по формуле:

$$V_{л} = \frac{N \cdot Y_{г} \cdot C \cdot (t_{нач} - t_{кон}) \cdot \eta}{\rho_{л} \cdot L_{л}}, \quad (2.62)$$

где $\rho_{л}$ – плотность льда, кг/м³;

$L_{л}$ – удельная теплота плавления льда, $334 \cdot 10^5$ Дж/кг;

N – поголовье коров на ферме, гол;

$Y_{г}$ – годовая продуктивность коров, кг/гол.

η – коэффициент, учитывающий потери льда, 1.1...1.2. Принимаем

1.15

$$t_{нач} = 30^0 \text{С};$$

$$t_{кон} = 5^0 \text{С};$$

$$C = 4 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

При подстановке числовых значений физических величин в формулу 2.62 получим

$$V_{л} = 3,744 \cdot 10^4 \cdot Y_{г} \quad (2.63)$$

Рабочий объем $V_{л}$ с годовой потребностью льда, рассчитанной по формуле (2.62) в зависимости от числа коров на ферме и их годовой продуктивности представлен в таблице 2.5

К рабочему объему необходимо добавить незамерзаемый объем воды, необходимый для работы насоса ледяной воды, равный 5...7% от рабочего.

Таблица 2.5 - Рабочий объем льдохранилища

	Продуктивность стада, кг/гол											
	3000			4000			5000			6000		
Число коров на ферме, год	100	200	400	100	200	400	100	200	400	100	200	400
Рабочий объем льдохранилища, м ³	112	224	448	150	300	600	187	374	748	225	450	900

Установка, содержащая заглубленную теплоизолированную емкость с горловиной, обшитой листовой сталью, на наружной поверхности которой закреплена намотка из саморегулирующегося нагревательного провода «НITLAIN – Антифриз», описанная выше, имеет ряд определенных преимуществ, главными из которых являются:

- Снижение стоимости конструкции в связи с отсутствием необходимости в установке предохранительного устройства от разрушения стен льдоаккумулятора;

- Повышенная интенсивность намораживания льда из-за того, что после затопления очередного слоя, на границе с морозным воздухом оказывается открытая незамерзшая поверхность воды, которая эффективно замерзает и образует новый слой льда.

2.4.2 Двухкамерное заглублённое льдохранилище

Двухкамерная конструкция заглублённого льдохранилища послойного намораживания имеет значительные преимущества перед описанной выше. Она более проста в устройстве и эксплуатации [77, 125, 129].

- Упрощение конструкции достигается за счет того, что из схемы установки исключены 8 узлов: гидронасос, гидроцилиндр, дуга для крепления гидроцилиндра, горловина, обшитая листами оцинкованной стали, нагревательная лента «НITLAIN-Антифриз», фиксаторы ледяных пластов, стойки швеллеры, теплоизоляция горловины. В этой схеме повышена скорость намораживания.

- Увеличение скорости намораживания льда достигается за счет того, что в работе установки исключено время ожидания заморозки открытой водной поверхности заглубленной емкости, так как эта поверхность при работе установки не существует (не образуется).

- Уменьшение расхода электроэнергии на каждую тонну замороженного льда достигается за счет исключения таких потребителей электроэнергии как нагревательная лента «НITLAIN-Антифриз» и электродвигателя насоса гидросистемы затапливания пластов льда.

Схема 2-х камерного водооборотного льдохранилища послойного намораживания показана на рисунке 2.15, 2.16.

Установка включает в себя заглубленную теплоизолированную емкость 17, разделенную на две равные, гидроизолированные камеры «А» и «Б», всасывающие и возвратные трубы 2 и 18, насос 3, гидроаккумулятор 5, емкость для охлаждения и хранения молока 14, сифонный дозатор 11, краны 8, 9, 10, сливную трубу сифона 15, вентиляторы 20.

Установка работает следующим образом:

Перед наступлением морозного периода половина «А» заглубленной емкости заполняется водопроводной водой до максимального верхнего уровня, а половина «Б» только до уровня I-I ограничительной решетки.

С наступлением морозного периода при температуре от 0°C , до минус 5°C включаются оба вентилятора 20А и 20Б.

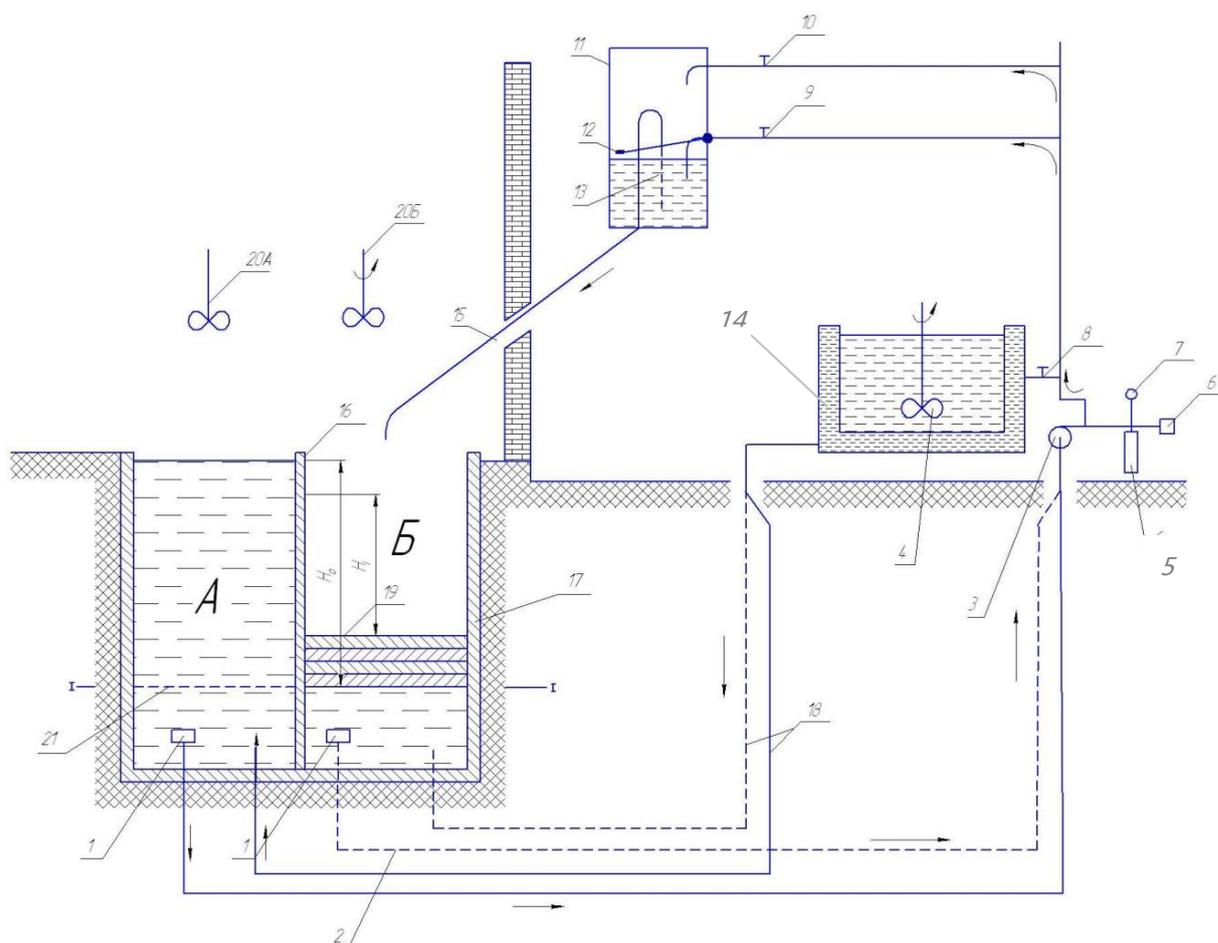


Рисунок 2.15 - Схема работы 2-х камерного водооборотного льдоаккумулятора послойного намораживания по нечетным годам эксплуатации.

1 – фильтры на всасывающей трубе; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – насос; 4 – лопастная мешалка; 5 – гидроаккумулятор; 6 – реле давления; 7 – манометр; 8, 9, 10 – краны; 11 – дозатор сброса воды; 12 – поплавковый клапан; 13 – сифон; 14 – емкость для охлаждения и хранения молока; 15 – сливная труба сифона; 16 – разделительная стенка льдоаккумулятора; 17 – заглубленная теплоизолированная емкость; 18 – возвратный трубопровод; 19 – слои намораживаемого льда; 20 – вентиляторы; 21 – ограничительная решетка.

Если температура воздуха ниже минус 5°C , вентиляторы не включаются. Охлаждение молока осуществляется водой из половины «А», которая насосом 30 прогоняется через межстенное пространство емкости для охлаждения в емкость для охлаждения молока 14, после чего по возвратному трубопроводу 18 она возвращается в половину «А».

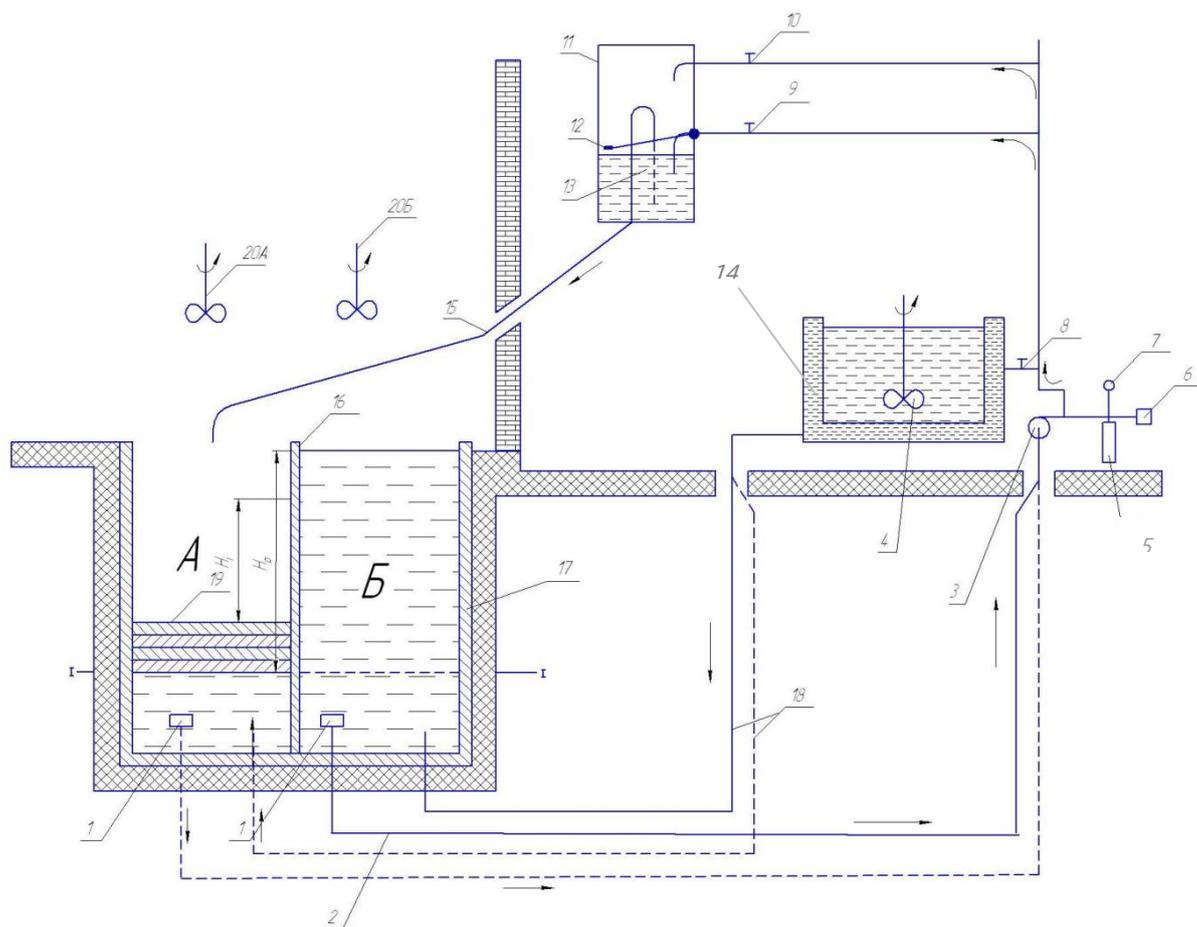


Рисунок 2.16 - Схема работы 2-х камерного водооборотного льдоаккумулятора послойного намораживания по четным годам эксплуатации.

1 – фильтры на всасывающей трубе; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – насос; 4 – лопастная мешалка; 5 – гидроаккумулятор; 6 – реле давления; 7 – манометр; 8, 9, 10 – краны; 11 – дозатор сброса воды; 12 – поплавковый клапан; 13 – сифон; 14 – емкость для охлаждения и хранения молока; 15 – сливная труба сифона; 16 – разделительная стенка льдоаккумулятора; 17 – заглубленная теплоизолированная емкость; 18 – возвратный трубопровод; 19 – слои намораживаемого льда; 20 – вентиляторы; 21 – ограничительная решетка.

После образования тонкого ледяного слоя воды в половине «Б» (на уровне I-I) включается в работу сифонный дозатор воды 11 открытием кранов 9 и 10. Сифонный дозатор срабатывает один раз в 2...4 часа, формируя дозу объема такой величины, которая разлившись по поверхности I-I половины «Б», образует слой высотой 5 мм.

Доза воды, отмеренная дозатором 11, по шлангу 15 сливается в половину «Б» в течение всего морозного периода. К концу морозного периода, или ранее, весь объем половины «Б» заполнится слоёным льдом, а в половине «А» уровень воды установится на отметке I-I. Подачу ледяной воды в охладитель молока 14 насос 3 осуществляет в этом случае из придонного слоя половины «Б», Прогоняя ее по контуру, показанному на рисунке 2.15 пунктирными линиями.

При наступлении положительных температур атмосферного воздуха дозатор 11 выключается из работы. Он будет включен в работу с наступлением нового, т.е. очередного морозного периода, а сливной шланг 15 в этом случае будет переключен в половину «А». Переключаются и всасывающий и возвратный трубопроводы 2 и 18, как показано на рисунке 2.16.

К началу второго морозного периода весь лед в половине «Б» расплавится и половина «Б» будет полностью заполнена водой, а половина «А» только до уровня I-I.

Таким образом, функциональное назначение половин заглубленной емкости льдоаккумулятора «А» и «Б» один раз в год взаимозаменяется. Вместимость каждой половины рассчитывается таким образом, чтобы масса замороженного льда в ней обеспечила охлаждение молока на ферме в течение всего года.

Половина «А» или «Б», заполненная водой до верхней отметки, не может промерзнуть в морозный период, потому что в нее два или три раза в сутки, в зависимости от кратности доек на ферме, поступает теплая вода от

охлаждаемого молока. Включая или выключая вентиляторы 20А и 20Б, можно удерживать температуру воды в емкости в интервале $0^{\circ}\text{C} \dots 4^{\circ}\text{C}$.

Предлагаемая схема льдохранилища имеет целый ряд преимуществ перед известными, широко использовавшимися ранее технологиями заготовки и использования природного льда.

- Резко сокращаются энергозатраты на заготовку и использование льда.
- За счет использования водооборотной схемы сокращаются расходы воды на заготовку льда.
- Улучшается экологическая обстановка на территории, прилегающей к льдохранилищу.
- Повышается надежность холодоснабжения предприятия.
- Уменьшаются расходы на ежегодные ТО и ремонт.

2.4.3 Анализ процесса промерзания воды при послойном намораживании

Данные расчётов показывают, что значение температуры льда определяется главным образом величиной коэффициента теплоотдачи от льда к воздуху. Но значение этого коэффициента сильно варьирует в зависимости от метеоусловий (скорость ветра, влажность воздуха, атмосферное давление, состояние поверхности льда и т.д.).

Исходя из многолетнего опыта послойного намораживания льда, толщину слоя разливаемой воды принимают от 3-х до 10 мм. Большинство исследователей считают, что закономерности послойного намораживания ничем не отличаются от замерзания природных глубоководных водоёмов со стоячей водой [26, 27, 38].

По нашему мнению, несмотря на общие закономерности, описанные в трудах исследователей со времен И.Стефана [26, 27, 38], при послойном намораживании имеется ряд особенностей:

- Вода разливается по ледяной поверхности ранее замороженного слоя. Как правило, вода забирается либо из водопроводной сети с температурой $6...8\text{ }^{\circ}\text{C}$, либо из подлёдной части бассейна.

При этом вода проходит через дозатор розлива, расположенный в отапливаемом помещении. Температура воды в этом случае также на несколько градусов выше температуры замерзания.

- При контакте тонкого (по сравнению с глубоким водоёмом) слоя воды со льдом он подтаивает, и весь слой воды охлаждается до температуры, близкой к нулевой.

- В тонком слое с околонулевой температурой отсутствует плотностная стратификация и, значит, теплообмен между слоем воды и морозным воздухом можно описать закономерностями И.Стефана как в классической постановке задачи о промерзании в упрощенной форме.

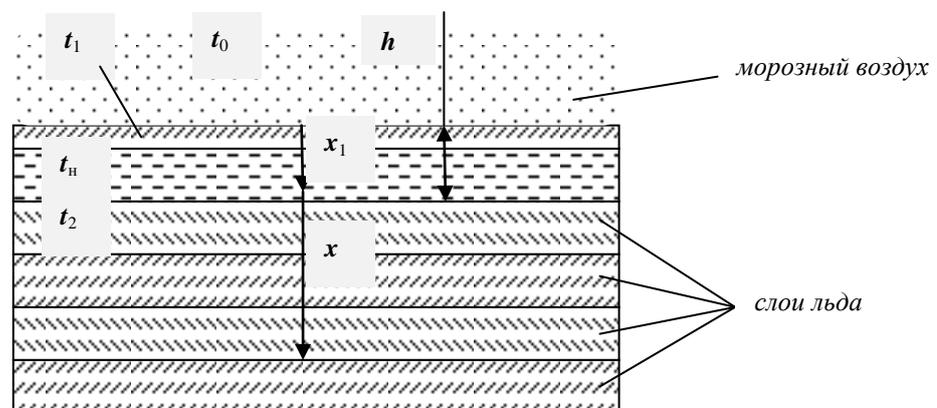


Рисунок 2.17 Схема послойного намораживания

t_n - температура разлитой воды; t_0 - температура воздуха; t_1 - температура в тонком промерзшем слое; t_2 - температура льда; x и x_1 - фронт промерзания

Вода в разлитом слое находится в жидком состоянии и имеет всюду температуру $t_n = 0^{\circ}\text{C}$. При этом над поверхностью воды ($x=0$) располагается воздух с отрицательной температурой, постоянной во времени $t_0 < 0^{\circ}\text{C}$. В результате этого у поверхности воды появляется тонкий слой льда, толщина которого со временем увеличивается.

Требуется найти закон движения фронта промерзания, либо длительности промерзания слоя заданной толщины $x = h$.

Обозначим через X координату фронта промерзания, через $t_1(x, \tau)$ температуру в тонком промерзшем слое, а через t_n температуру разлитой воды; где τ – время.

Тогда задача о промерзании слоя воды может быть сформулирована как задача о сопряжении двух температурных полей на движущемся фронте промерзания, то есть, сведена к решению уравнений теплопроводности.

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} = \alpha_n \frac{\partial^2 t_1}{\partial x^2}, \quad 0 < x \leq x_1 \quad (2.64)$$

$$\frac{\partial t_n}{\partial \tau} = \alpha_w \frac{\partial^2 t_n}{\partial x^2}, \quad x_1 \leq x \leq x_2 \quad (2.65)$$

где α_n и α_w – соответственно коэффициенты теплопроводности льда и воды, с граничным условием на неподвижной поверхности ($x=0$).

$$t_0 < t_1(0, \tau) \quad (2.66)$$

Условие на фронте промерзания имеет вид:

$$t_1/x_1 = t_2/x_2 = t_\phi \quad (2.67)$$

где t_ϕ – температура фазового перехода.

Так как фронт замерзания движется с неизвестной заранее скоростью, то на нём, кроме граничных условий (2.66) и (2.67) для уравнений теплопроводности должно быть задано ещё одно условие, определяющее скорость движения фронта.

Пусть за время $\partial \tau$ фронт смещается на расстояние ∂x . При этом замерзает масса воды, равная $\rho S \partial x$ и выделяется количество тепла $L \rho S \partial x$,

где S – площадь фронтальной поверхности (м^2), L – удельная теплота фазового перехода (Дж/кг), ρ – плотность льда (кг/м^3).

По закону сохранения энергии это количество тепла должно равняться разности количеств тепла, прошедших через фронт со стороны талой и мёрзлой зон:

$$\left[\lambda_n \frac{\partial t_1}{\partial x} \Big/_{x_1} - \lambda_s \frac{\partial t_n}{\partial x} \Big/_{x_2} \right] S \partial \tau = L \rho S \partial x \quad (2.68)$$

где λ_s ; λ_n – соответственно коэффициенты теплопроводности воды и льда ($\text{Вт/м}\cdot\text{К}$).

Упростив выражение (2.66), получим:

$$\lambda_n \frac{\partial t_1}{\partial x} \Big/_{x_1} - \lambda_s \frac{\partial t_n}{\partial x} \Big/_{x_2} = L \rho \frac{\partial x}{\partial \tau} \quad (2.69)$$

Это условие называется *условием Стефана* на фронте фазового перехода.

В настоящее время уравнения теплопроводности воды (2.64) и (2.65) решают численно с помощью программного обеспечения.

Имеется несколько алгоритмов решения таких уравнений, например, метод «вилки» (или половинного деления), метод касательных, метод хорд и др.

Решив систему уравнений (2.64) и (2.65) одним из известных методов, получим

$$x = \alpha \sqrt{\tau} \quad (2.70)$$

где α – параметр, зависящий от температуры поверхности льда, но не зависящий от толщины льда и времени.

Преобразуя (2.70), получим: $\alpha = \frac{x}{\sqrt{\tau}}, \left(m \cdot c^{-\frac{1}{2}} \right)$

Численное значение α можно определить из анализа теплового баланса – количество теплоты, выделенной при замерзании воды должно равняться такому же количеству теплоты, переданному воздуху над поверхностью замерзаемой воды.

Количество теплоты Q , которое за время τ слой льда толщиной x передает воздуху, можно найти из закона Фурье с учётом того, что подо льдом температура равна 0°C .

$$Q = \lambda_n \frac{\Delta t}{x} S \tau \quad (2.71)$$

где $\Delta t = 0 - t_1$,

S - площадь поверхности льда,

0°C – температура подо льдом.

С другой стороны эта величина совпадает с количеством теплоты, которое выделяется за время τ при замерзании воды толщиной слоя x и может быть найдено по формуле:

$$Q = L \rho S u \tau \quad (2.72)$$

где u – скорость движения фронта замерзания, $u = \frac{\partial x}{\partial \tau}$

Приравнивая значения Q в (2.71) и (2.72), получим:

$$\lambda_n \frac{t_1}{x} S \tau = L \rho S u \tau \quad (2.73)$$

или

$$\lambda_n \frac{t_1}{x} S \tau = L \rho S \frac{\partial x}{\partial \tau} \tau \quad (2.74)$$

После преобразований и интегрирования дифференциального уравнения (2.74) с учетом того, что $x = \alpha \sqrt{\tau}$, получаем:

$$\alpha = \sqrt{2 \lambda_n \frac{t_1}{\rho L}} \quad (2.75)$$

Задаваясь значениями отрицательных температур на поверхности намораживаемого слоя льда t_1 и значением физических величин λ_n , ρ , L можно построить график изменения $\alpha = f(t_1)$.

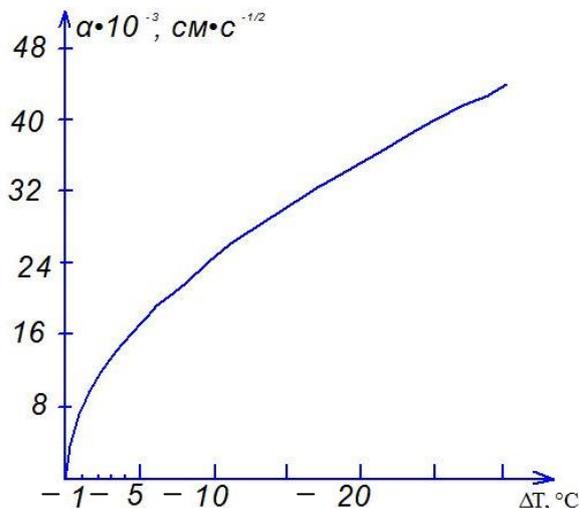


Рисунок 2.18 Зависимость параметра «α» от численного значения отрицательных температур на поверхности льда.

Формулы (2.70) и (2.75) можно использовать при расчёте процесса послойного намораживания льда в льдохранилище. Но необходимо знать зависимость температуры на верхней поверхности льда от значения

отрицательной температуры воздуха надо льдом. Для этого необходимо выполнить расчёт процесса теплоотдачи от поверхности льда к воздуху.

Методика такого расчёта хорошо известна и изложена во многих литературных источниках [26, 29, 77, 210].

Данные расчёты показывают, что значение температуры льда определяется главным образом величиной коэффициента теплоотдачи от льда к воздуху. Но значение этого коэффициента сильно варьирует в зависимости от метеоусловий (скорость ветра, влажность воздуха, атмосферное давление, состояние поверхности льда и т.д.).

Для некоторых наиболее типичных состояний значения этого коэффициента можно найти, например, в справочнике «Таблицы физических величин» [31].

В общем случае температура воздуха t_0 всегда много меньше температуры поверхности льда, то есть $t_0 \ll t_1$. Задавшись значением температуры морозного воздуха и значением коэффициента температуры от поверхности льда к воздуху, можно определить значение температуры поверхности льда t_1 .

В дальнейшем для решения прямой задачи – «расчёт толщины слоя льда» – используем формулу (2.70), по которой можно определить часовую, либо суточную скорость намораживания льда.

Для решения обратной задачи – расчёт длительности промораживания слоя воды назначенной толщины h , по формуле $\tau = \sqrt{\frac{h}{\alpha}}$ можно определить число срабатываний дозатора разливаемой воды в сутки и, собственно, настроить этот дозатор на нужное число срабатываний.

2.5 Ковшовые дозаторы в системе льдоаккумулирования

Для формирования дозы воды соответствующего объема при сбросе на промерзшую поверхность льдоаккумулятора можно использовать

различные дозаторы: объемные, весовые, с ручным управлением, автоматизированные или полуавтоматические. При этом они должны отвечать следующим требованиям:

- длительность формирования (накопления) дозы должна быть больше или равна длительности промерзания предыдущей дозы, разлитой по поверхностному слою льдохранилища;

- дозатор должен иметь устройство для регулирования объема дозы;

- интенсивность опорожнения дозирующей емкости должна обеспечивать равномерное распределение воды по поверхности льдохранилища;

- энергопотребление на привод дозатора должно быть минимальным, либо нулевым.

Перечисленным требованиям, наилучшим образом, отвечают ковшовые и сифонные дозаторы, являющиеся устройствами периодического действия с полуавтоматическим управлением, весового и объемного типа соответственно. Перечисленные дозаторы работают за счет гравитационных сил дозируемой жидкости и не требуют никаких других видов энергии.

Наиболее широкую известность получили двухковшовые дозаторы, применяющиеся, например, в счетчиках для учета индивидуального надоя молока на доильных установках.

Во всех рассмотренных ранее системах льдоаккумулирования (глава 2.3 и 2.4) мы применили разработанные в кафедре конструкции двух и одноковшовых дозаторов.

Первоначально разработанная конструкция двухковшового дозатора в системе дозирования сбрасываемой воды (рисунок 2.19) включает в себя обратный клапан с сетчатым фильтром, расположенным в придонном слое льдоаккумулятора (не показано), накрученный на конец всасывающей трубы 7. Насос 1, подающий воду в напорную магистраль, из которой вода поступает в гидроаккумулятор 2 и к расходным кранам 3, 4. Расходный кран 3 регулирует подачу воды в бак-дозатор воды 5 с одно или двухковшовым

дозатором 6, устанавливая тем самым частоту сброса воды в льдохранилище. Кран 4 подает воду в охладитель или на слив в канализацию.

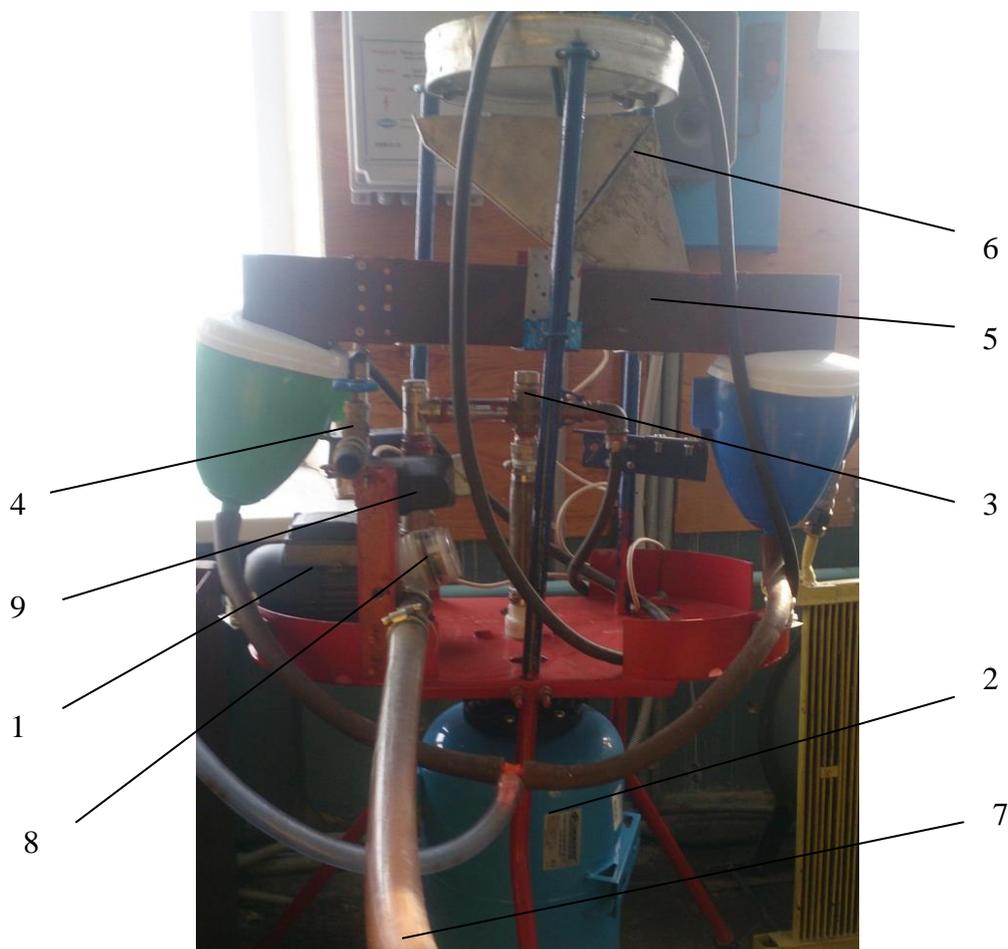


Рисунок 2.19 - Двухковшовый дозатор в системе льдоаккумуляции

1 - насос, 2 – гидроаккумулятор, 3, 4 - расходные краны. 5 - бак-дозатор воды, 6 - двухковшовый дозатор, 7 – всасывающая труба, 8 – счетчик воды, 9 – реле давления.

При достижении уровня воды в дозаторе максимума запускается вся доза воды, накопленная в баке, попадает на верхнюю замороженную часть льдохранилища, разливаясь тонким слоем толщиной 10...20 мм в зависимости от настройки дозатора. Периодичность срабатывания дозатора устанавливается так, чтобы предыдущая доза, разлитая по поверхности ранее намороженного льда, успела промерзнуть. Регулировка периодичности

устанавливается краном. Насос управляется с помощью реле давления. При давлении $2,1 \text{ кг/см}^2$ насос выключается, при $1,1 \text{ кг/см}^2$ – включается.

Расход воды и, соответственно, объем замороженного льда определяется по показаниям счетчика.

Разработанная конструкция дозирования с использованием двухковшового дозатора воды обеспечивает стабильное функционирование системы послойного намораживания льда в льдоаккумуляторе. Ее использование в лабораторных и производственных экспериментах позволило подтвердить теорию послойного намораживания льда, рассмотренную в главе 2.4.3.

Одноковшовые дозаторы менее известны, хотя по своим техническим характеристикам они превосходят двухковшовые: проще конструкция, меньше удельная материалоемкость (кг на 1 литр дозируемой жидкости), меньше габариты, возможность регулировки объема воды.

Исполнительным механизмом дозатора является ковш, закрепленный на качающейся платформе 2 (рисунок 2.20). Ковш выполнен в виде прямоугольной, полой призмы, поперечное сечение которой представляет собой прямоугольный треугольник ABC со сторонами a, b, c.

Стенка между гипотенузами AB в такой призме отсутствует, а емкость ковша определяется площадью днища и задней стенки, расположенными между треугольных стен.

Ковш установлен на платформе 2, шарнирно закрепленной на раме дозатора в точке «Ц». Положение ковша на качающейся платформе можно регулировать винтом 4. Изменением положения ковша на платформе можно регулировать длины радиусов сил тяжести и, следовательно, числовых значений опрокидывающих и восстанавливающих моментов конструктивных элементов ковша и силы тяжести дозы воды, находящейся в ковше.

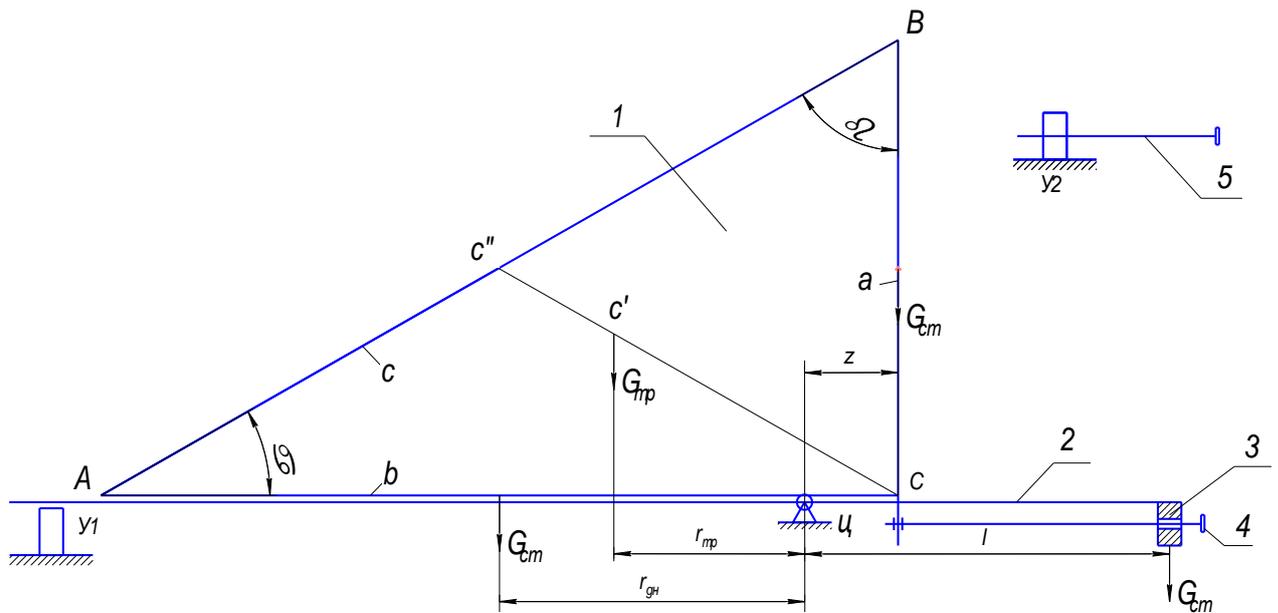


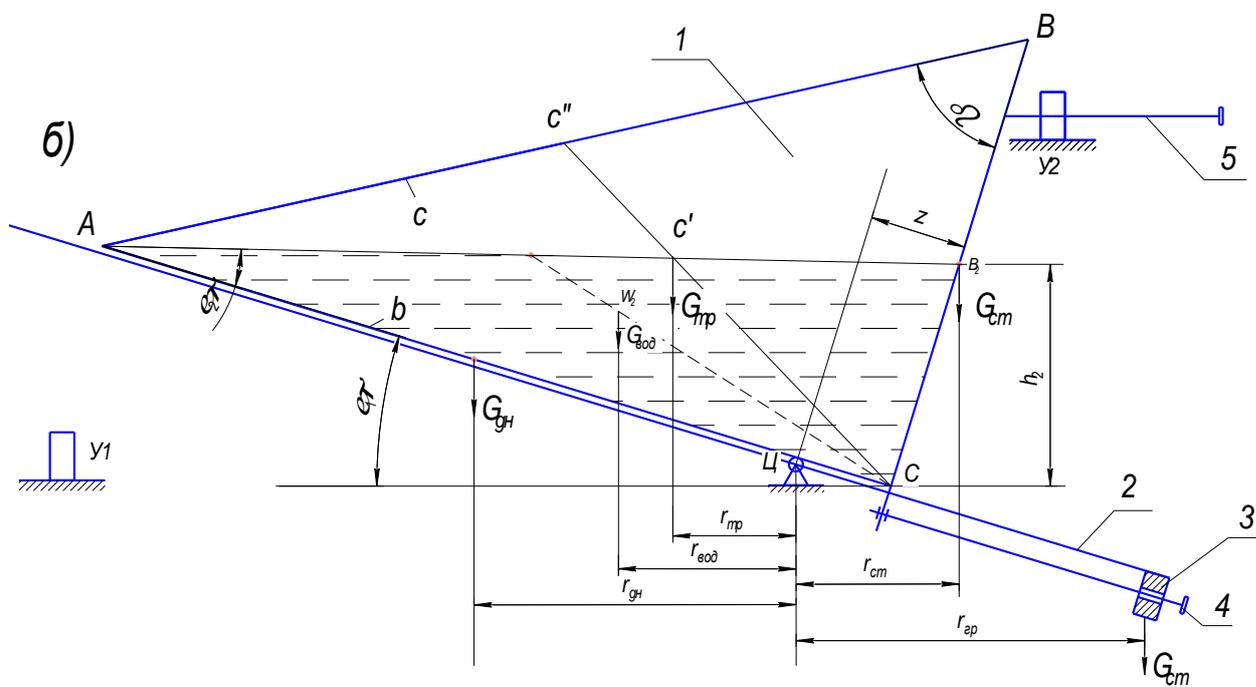
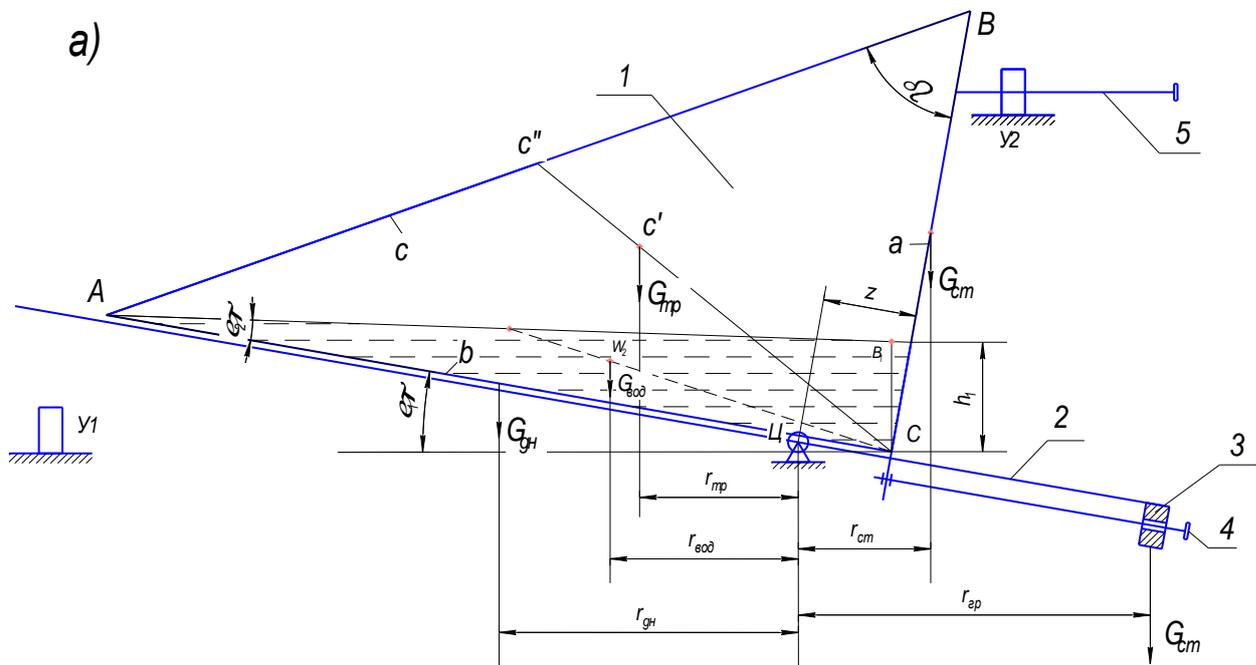
Рисунок 2.20 - Схема ковша-дозатора

1 – ковш; 2 – платформа; 3 – регулировочный механизм; 4, 5 – регулировочные винты; У1, У2 – упоры ограничители; Ц - шарнирное крепление ковша на платформе

Упоры-ограничители поворота ковша У1 и У2 определяют угол качания (поворота) ковша в процессе функционирования. Изменением угла качания ковша также можно регулировать соотношением опрокидывающих и восстанавливающих моментов сил тяжести. Обе названные регулировки в конечном итоге позволяют регулировать объем дозы воды, формируемой ковшовым дозатором в процессе функционирования.

Принцип работы дозатора заключается в том, что ковш, заполненный водой установленного объема под действием силы тяжести воды, имеющей форму треугольника (рисунок 2.21 а, б, в), опрокидывается, повернувшись против часовой стрелки до упора У1 и освобождается от накопленной дозы воды. После слива воды ковш автоматически возвращается в исходное положение «ожидание загрузки», повернувшись по часовой стрелке до упора У2.

Возврат в исходное положение обеспечивает превышение суммарного восстанавливающего момента над значением суммарного опрокидывающего момента сил тяжести конструктивных элементов дозатора.



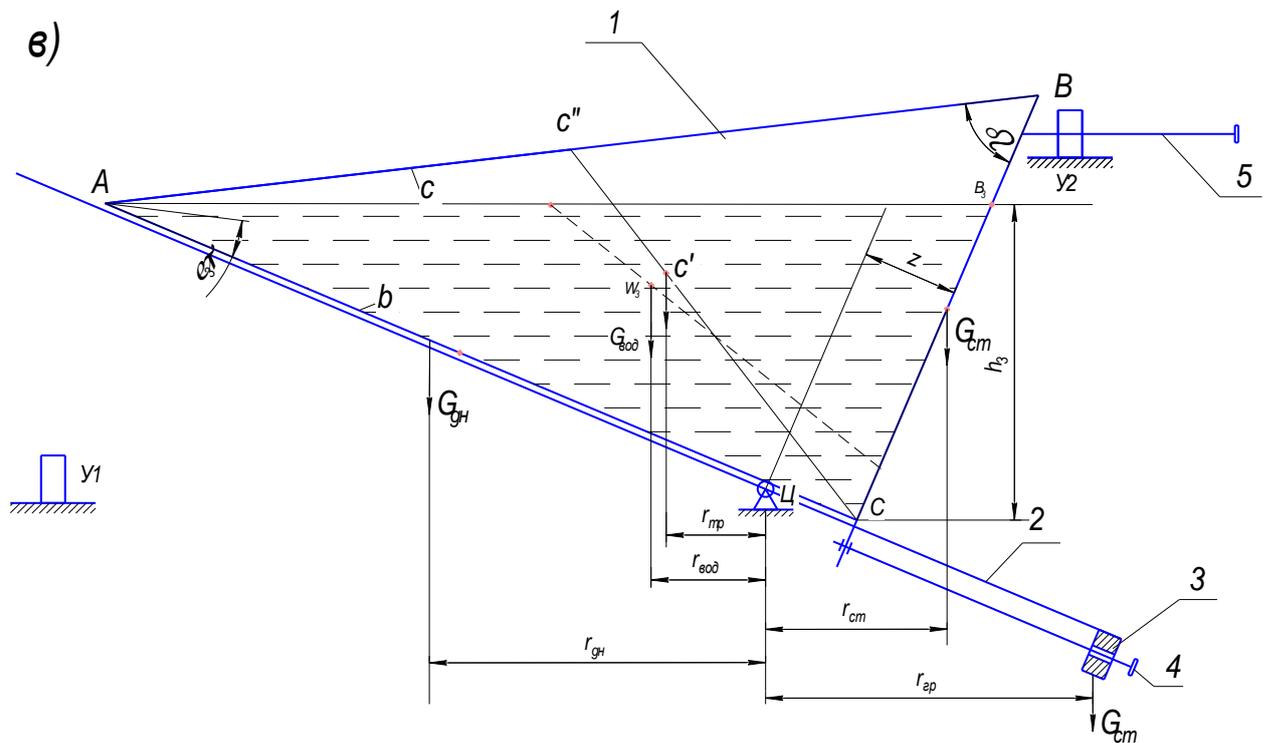


Рисунок 2.21 - Схема работы ковша-дозатора

а, б, в, г – изменяемые объемы воды при различных значениях z , φ ; 1 – ковш; 2 – платформа; 3 – регулировочный механизм; 4, 5 – регулировочные винты; У1, У2 – упоры-ограничители; Ц - шарнирное крепление ковша на платформе.

Рассмотрим взаимодействие сил тяжести конструктивных элементов дозатора в положении I – «опорожнение» и в положении II – «загрузка».

В положении I на конструктивные элементы дозатора действует следующая система сил (рисунок 2.21).

$G_{дн}$ – сила тяжести днища ковша, имеющая плечо длиной, $r_{дн}$

$G_{гр}$ – сила тяжести боковых треугольных стен, имеющая плечо, $r_{гр}$

$G_{см}$ – сила тяжести задней стенки, имеющая плечо $r_{см} = z$

$G_{зр}$ – сила тяжести груза-противовеса, имеющая плечо длиной $r_{зр}$.

Силы $G_{дн}$ и $G_{гр}$ создают суммарный опрокидывающий момент $M_{он}$, стремящийся повернуть ковш против часовой стрелки до упора У1, а силы

$G_{зр}$, $G_{ст}$ создают суммарный восстанавливающий момент $M_{вос}$, стремящийся повернуть ковш по часовой стрелке до ограничителя У2.

Ковш ABC будет находиться в неустойчивом положении равновесия при равенстве суммарного опрокидывающего и восстанавливающего моментов

$$M_{он} = M_{вос} \quad (2.76)$$

Ковш из положения I повернется в положение II «загрузка» только при условии $M_{вос} > M_{он}$ (моментом сопротивления в подшипниках оси качания платформы 2 пренебрегаем).

Используя геометрические, тригонометрические и физические зависимости в прямоугольном треугольнике, можно рассчитать все геометрические параметры ковша, величины сил тяжести и моментов, действующих в конструкции дозатора в положении I и II.

Расчетные величины незаполненного (пустого) ковша в положении «Разгрузка».

- Площадь боковой (треугольной) стенки S можно определить по выражению:

$$S = \frac{V}{Ш}, \text{ м}^2 \quad (2.77)$$

где V - максимальный объем дозы (м^3) с возможностью регулирования объема в сторону уменьшения;

$Ш$ - Ширина ковша, м.

h - Высота треугольника, м;

a, b - Длина катетов, м;

c - Длина гипотенузы, м.

$$b = \sqrt{\frac{2S}{tq\alpha}}, \text{ м} \quad (2.78)$$

$$a = b \cdot tq\alpha, \text{ м} \quad (2.79)$$

$$c = 2a, \text{ м} \quad (2.80)$$

α, β - углы прямоугольного треугольника;

Значения веса конструктивных элементов ковша определяем следующим образом:

- Вес днища ковша $G_{\text{дн}}$

$$G_{\text{дн}} = b \cdot \text{Ш} \cdot \delta_{\text{м}} \cdot \gamma, \text{ Н} \quad (2.81)$$

- Вес боковых треугольных стен (2 стенки)

$$G_{\text{тр}} = 2S \cdot \delta_{\text{м}} \cdot \gamma, \text{ Н} \quad (2.82)$$

- Вес задней стенки $G_{\text{ст}}$

$$G_{\text{ст}} = a \cdot \text{Ш} \cdot \delta_{\text{м}} \cdot \gamma, \text{ Н} \quad (2.83)$$

где - $\delta_{\text{м}}$ - толщина листа, м,

$\gamma = \rho \cdot g$ - удельный вес материала, Н/м³

Вес стен и днища ковша величины постоянные. Они не зависят ни от угла поворота ковша, ни от вида дозируемой жидкости. Но длины плеч (радиусов) каждой из перечисленных сил тяжести $r_{\text{дн}}$, $r_{\text{тр}}$, $r_{\text{ст}}$, $r_{2\text{р}}$ величины переменные, зависящие от угла поворота ковша φ , от конструктивных особенностей ковша, в частности от численного значения углов α , β и от

координаты Z . Изменение величины Z , например, приводит к одновременному изменению длины радиусов $r_{дн}$, $r_{тр}$, $r_{см}$.

На основании геометрических, тригонометрических и физических закономерностей в прямоугольном треугольнике проектируемой конструкции, получим следующие зависимости моментов сил тяжести

$$M_{дн} = G_{дн} \left(\frac{1}{2} b - Z \right) \quad (2.84)$$

$$M_{тр} = G_{тр} \left(\frac{1}{3} b - Z \right) \quad (2.85)$$

$$M_{см} = G_{см} Z \quad (2.86)$$

$$M_{гр} = G_{см} l \quad (2.87)$$

где Z – расстояние от вершины прямого угла до центра качания;

l – расстояние от груза-противовеса до центра качания.

Здесь $M_{дн}$, $M_{тр}$, являются опрокидывающими моментами, а $M_{см}$, $M_{гр}$ – восстанавливающими.

По схеме, представленной на рисунке 2.21 видно, что максимальный суммарный опрокидывающий момент будет при $Z=0$, то есть ковш на платформе 2 будет занимать крайнее (предельное) левое положение. В этом случае возврат ковша из положения I в положение II произойдет только при условии $M_{гр} > M_{дн} + M_{тр}$.

$M_{см}$ здесь равен нулю.

Численное значение l , как видно из рисунка 2.21, в этом случае должно быть $l = \frac{1}{3} b$, м.

Подставив значения известных величин в (2.84-2.87) при $Z=0$, получим

$$G_{гр} > \frac{G_{дн} \cdot \frac{1}{2} b + G_{тр} \cdot \frac{1}{3} b}{l}$$

Зависимости моментов сил тяжести на ковше, находящемся в положении II с углом поворота φ_i и значением $Z_i > 0$, будут иметь следующий вид:

$$M_{\text{дн}} = G_{\text{дн}} \left(\frac{1}{2} b \cdot \cos \varphi_i - Z_i \cdot \cos \varphi_i \right) \quad (2.84')$$

$$M_{\text{гр}} = G_{\text{гр}} \left(\frac{1}{3} c \cdot \cos(\varphi_i + \alpha) - Z_i \cdot \cos \varphi_i \right) \quad (2.85')$$

$$M_{\text{ст}} = G_{\text{ст}} \left(\frac{1}{2} \alpha \cdot \sin \varphi_i + Z_i \cdot \cos \varphi_i \right) \quad (2.86')$$

$$M_{\text{гр}} = G_{\text{гр}} \cdot l \cdot \cos \varphi_i \quad (2.87')$$

$$M_{\text{вод}} = (G_{\text{вод}} \left(\frac{2}{3} (CW)_i \cdot \cos 2\varphi_i - Z_i \cdot \cos \varphi_i \right)) \quad (2.88')$$

Приведенные формулы показывают, что соотношение суммарных опрокидывающих и восстанавливающих моментов зависят от двух переменных величин: угла поворота ковша φ и длины Z . Следовательно, вес (объем) дозы воды, формируемой дозатором, является функцией двух переменных величин (факторов). Обе эти величины являются независимыми и управляемыми (винты 4; 5, рисунок 2.21).

Условие эксплуатации дозатора – ковш при наполнении водой должен начать опрокидывание при достижении открытой водной поверхности в нем, вершины «А». Это означает, что длина катета «В» остается постоянной при любых углах поворота ковша.

Результаты расчетов значения Z для доз объемов 40;50;60;70;80;90;100 литров представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 Расчетные значения настроечных параметров одноковшового дозатора воды: φ ; Z

Объем дозы, л	30	40	50	60	70	80	90	100
Угол качания, φ , град	9,84	13	16	19	22	25	27,5	30
Длина Z , м	0,148	0,153	0,152	0,149	0,144	0,137	0,128	0,118

Настройка параметров φ и Z осуществляется следующим образом:

- Определяется требуемый объем дозы воды, которую должен выдавать дозатор в соответствии с площадью поверхности льдохранилища и температурой морозного воздуха, V_d ;

- Винтом 5 дозатора устанавливается необходимый угол качания ковша;

- Включив подачу воды в ковш, винтом 4 добиваются устойчивой работы ковша при установленном объеме дозы – опрокидывание после наполнения и возврат ковша после опорожнения в исходное положение.

На рисунках 2.21 (а, б, в) видно, что центр тяжести водного треугольника имеет определенную длину плеча и, следовательно, создает опрокидывающий момент.

На рисунке 2.22 центр тяжести водного треугольника W_4 и центр тяжести боковых треугольных стен ковша C' располагаются на одной вертикали с центром качания ковша «Ц».

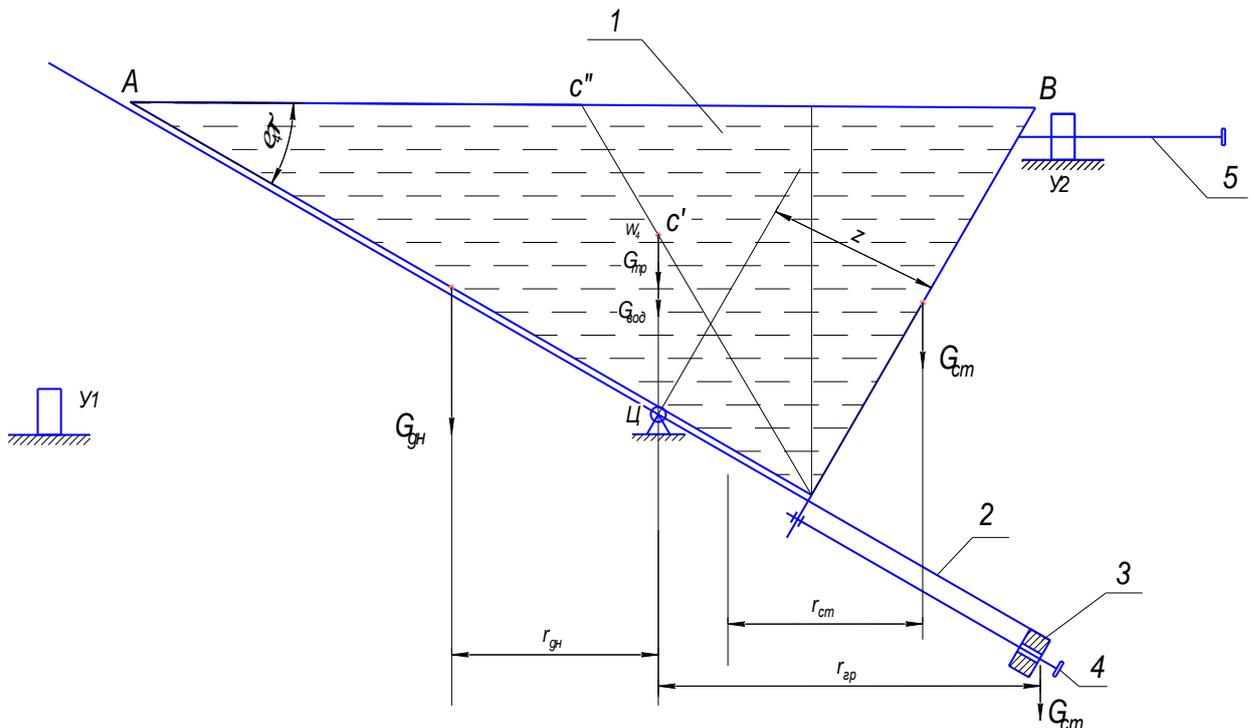


Рисунок 2.22 Схема работы ковша-дозатора при максимальном заполнении (условие неопрокидывания)

1 – ковш; 2 – платформа; 3 – регулировочный механизм; 4, 5 – регулировочные винты; У1, У2 – упоры-ограничители; Ц - шарнирное крепление ковша на платформе.

Следовательно, радиус действия этих сил равен нулю. Значит, опрокидывающий момент этих сил также равен нулю. Ковш не опрокинется. Для устранения этого положения нужно ковш регулировочным винтом 4 сдвинуть по платформе 2 влево до положения, при котором ковш опрокинется и в дальнейшем будет работать устойчиво. Для проведения лабораторных исследований был изготовлен опытный образец одноковшового дозатора, принцип действия которого показан на рисунке 2.23.



а

б

Рисунок 2.23 Одноковшовый дозатор

а – процесс наполнения одноковшового дозатора водой; б – процесс опорожнения одноковшового дозатора

В предлагаемой методике расчета конструктивно-технологических параметров одноковшового дозатора воды некоторой неопределенностью является выбор ширины ковша «Ш». Эта величина не влияет на работоспособность дозатора. Выбор ширины определяет, в основном, компактность внешних габаритов конструкции.

Таким образом, применение одноковшового дозатора воды в системе водооборотного льдоаккумулятора при заготовке льда для круглогодичного охлаждения молока на МТФ является актуальным и позволяет обеспечить качественный процесс послойного намораживания льда.

2.6 Теоретические основы стаивания льда в льдоаккумуляторе

Обязательным условием функционирования конструкций льдоаккумуляторов, предназначенных для обеспечения круглогодичного запаса льда для охлаждения молочной продукции, является наличие воды в нижней части бассейна (емкости, секции) не менее 5-7 % от общего объема намораживаемого льда. Эта ледяная вода подается в теплообменные аппараты, забирает теплоту у охлаждаемого продукта и в теплом виде

возвращается в подледную часть, где опять охлаждается за счет непосредственного контакта со льдом.

Дифференциальное уравнение теплового баланса в этом случае будет иметь следующий вид:

$$V_B c(t_{\text{нв}} - t_{\text{кв}}) = \pi(2R - \delta)^2 \frac{d\delta}{d\tau} \rho L \quad (2.89)$$

Левая часть уравнения - вода отепленная (нагретая охлаждаемым молоком), которая подлежит охлаждению, правая часть - скорость таяния нижней части слоя льда.

Для определения зависимости средней температуры воды, омывающей нижнюю часть льда, от температуры фазового перехода, согласно уравнению стационарного теплообмена, запишем выражение:

$$t_{\text{ф}} = \bar{t} - \frac{Q}{S\alpha_B} = \frac{t_{\text{нв}} + t_{\text{кв}}}{2} - \frac{V_B c(t_{\text{нв}} - t_{\text{кв}})}{\pi(2R - \delta)^2 \alpha_B} \quad (2.90)$$

где V_B - расход воды, кг/с; c - удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); $t_{\text{нв}}$ - начальная температура воды, К; $t_{\text{кв}}$ - конечная температура воды, К; R - радиус ледяного цилиндра, м; δ - толщина размороженного слоя, м; ρ - плотность льда, кг/м³; L - теплота плавления льда, кДж/кг; $t_{\text{ф}}$ - температура фазового перехода «вода-лед», К; \bar{t} - средняя температура воды, К; Q - тепловая нагрузка, Дж; S - площадь нижней части тающего льда, м²; α_B - теплоотдача от воды, Вт/(м²·К).

Дифференциальное уравнение теплового баланса (2.89) в этом случае будет иметь следующий вид:

$$V_B c(t_{\text{нв}} - t_{\text{кв}}) = \pi(2R - \delta)^2 \frac{d\delta}{d\tau} \rho L \quad (2.91)$$

Левая часть уравнения - вода отепленная (нагретая охлаждаемым молоком), которая подлежит охлаждению, правая часть - скорость таяния нижней части льда.

Для определения зависимости средней температуры воды, омывающей нижнюю часть льда, от температуры фазового перехода, согласно уравнению стационарного теплообмена, запишем выражение:

$$t_{\phi} = \bar{t} - \frac{Q}{S\alpha_{\phi}} = \frac{t_{нв} + t_{кв}}{2} - \frac{V_{\phi}c(t_{нв} - t_{кв})}{\pi(2R - \delta)^2\alpha_{\phi}} \quad (2.92)$$

где V_{ϕ} – расход воды, кг/с; c – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); $t_{нв}$ – начальная температура воды, К; $t_{кв}$ – конечная температура воды, К; R – радиус ледяного цилиндра, м; δ – толщина размороженного слоя, м; ρ – плотность льда, кг/м³; L – теплота плавления льда, кДж/кг; t_{ϕ} – температура фазового перехода «вода-лед», К; \bar{t} – средняя температура воды, К; Q – тепловая нагрузка, Дж; S – площадь нижней части тающего льда, м²; α_{ϕ} – теплоотдача от воды, Вт/(м²·К).

Выразим из уравнения 2.92 конечную температуру воды $t_{кв}$:

$$t_{кв} = \frac{2t_{\phi} - t_{нв} + \frac{2V_{\phi} \cdot c \cdot t_{нв}}{\alpha_{\phi} \cdot S}}{1 + \frac{2V_{\phi} \cdot c}{\alpha_{\phi} \cdot S}} \quad (2.93)$$

Решая совместно уравнения 2.91 и 2.92, находим время таяния льда τ_0 толщиной δ :

$$\tau_0 = \frac{\pi \cdot \rho \cdot L}{V_{\phi} \cdot c} \int_0^{\delta} \frac{(2R - \delta)^2}{\left(t_{нв} - \frac{2t_{\phi} - t_{нв} + \frac{2V_{\phi} c t_{нв}}{\alpha_{\phi} S}}{1 + \frac{2V_{\phi} c}{\alpha_{\phi} S}} \right)} \quad (2.94)$$

По результатам расчетов по математической модели (2.94) представлен график зависимости времени оттаивания слоя льда от толщины (рисунок 2.24).

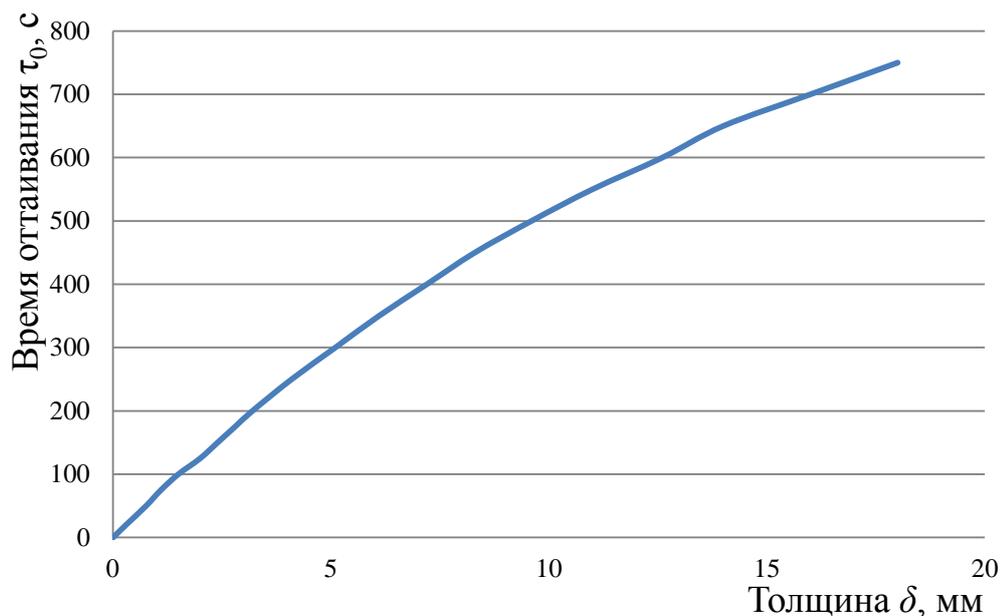


Рисунок 2.24 Зависимость времени τ оттаивания слоя льда от толщины δ

Характер изменения времени оттаивания толщины слоя льда по модели 2.94 согласуется с физическим представлением о процессе.

Выводы по главе.

1. Разработанные технические средства аккумулирования природного холода позволяют обеспечить годовой запас льда для охлаждения молока на молочно-товарных фермах, так как с помощью них возможно промораживать водоем (бассейн) глубиной до нескольких десятков метров. Данные устройства при работе практически не потребляют электроэнергию, не требуют технического обслуживания, не оказывают негативного влияния на экологию.

2. Получены математические модели процесса послойного намораживания и накопления льда вокруг испарителя термосифона. Полученные модели адекватны, что подтверждено экспериментальными исследованиями. Установлено, что один термосифон с длиной испарителя 3м за зимний период в условиях Оренбургской области намораживает массу

льда 2751 кг., что достаточно для охлаждения молока годового удоя от двух коров продуктивностью более 4000 кг/год с 30 до 4 °С.

Скорость роста льда при послойном намораживании возрастает на 0,5 см в сутки при понижении температуры на один градус. Разработанные методики оценки динамики намораживания льда в процессе теплообмена с водой позволяют рассчитать необходимые конструктивно-режимные параметры устройства в зависимости от поголовья. При работе на ферме 200 голов, с годовой продуктивностью 4000 литров достаточно применять льдохранилище размером 20х6х3 м³.

Разработана конструкция одноковшового дозатора воды в системе водооборотного льдоаккумулятора, позволяющая производить сброс воды по расчетным параметрам в зависимости от погодных условий. Объем воды варьируется от 30 литров при установке угла качания 9,84⁰ до 100 литров при угле 30⁰.

3. Закономерности, полученные в результате теоретических и экспериментальных исследований позволили обосновать конструкцию термосифона с термонасадкой для замораживания воды, увеличивающую холодопроизводительность по сравнению с серийными термосифонами с 425 до 800 Вт, в зависимости от метеоусловий.

4. Теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать предохранительное устройство для защиты стен льдохранилища от разрушения при намораживании льда. Данное устройство, кроме того, регистрирует объем вытесненной воды из бассейна в процессе намораживания и определяет массу намораживаемого льда за определенный период времени. Коэффициент, позволяющий определить массу льда, приходящуюся на единицу объема воды, вытесненной из замкнутого объема бассейна в процессе замерзания, равен 11035 кг/м³.

3. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА

3.1 Алгоритмы математического моделирования длительности процесса охлаждения молока во фляжном охладителе

Технология охлаждения молока представляет собой сложный многопараметрический нелинейный процесс, теоретическое и экспериментальное определение свойств которого традиционными методами затруднено [90, 136, 239]. Соответственно требуется обобщение накопленных наукой знаний для точного математического описания процесса охлаждения молока. Эти параметры возможно определить с помощью численных методов [13, 119, 219], причем сам процесс определения может быть выделен в отдельную задачу.

Для решения поставленной задачи следует отметить выполнение следующих обязательных этапов [241, 95, 82, 260].

- составление блок-схемы алгоритма по математической модели;
- теоретическое обоснование параметров и разработка программного средства (ПС);
- корректировка математической модели;
- регистрация ПС;
- тестирование модели на адекватность
- тестирование ПС с помощью лабораторных установок на точность решения;
- эксплуатация ПС.

В процессе составления алгоритма необходимо учесть структуру композиционного проектирования, так как подсистемы, входящие в общую сложную систему, имеют самостоятельное развитие (рисунок 3.1). Необходимо учесть и методы вычисления параметров, характеризующие подсистемы [2, 30, 240, 165].

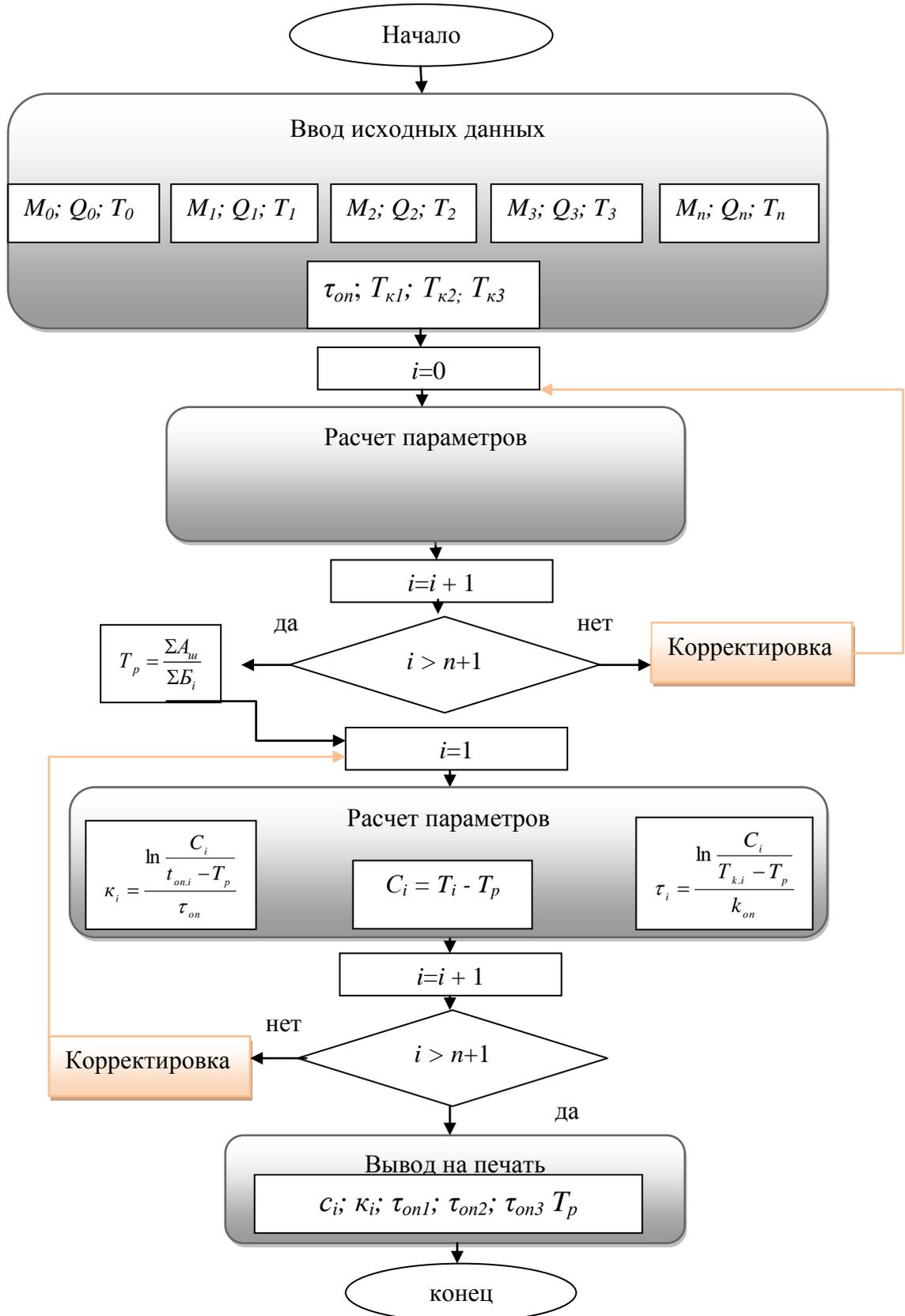


Рисунок 3.1 - Блок схема алгоритма вычисления длительности охлаждения продукта во фляжном охладителе

$M_0; Q_0; T_0$ – масса, (кг); удельная теплоемкость, (кДж/(кг·град)); начальная температура, ($^{\circ}\text{C}$) хладоносителя соответственно; $M_1; Q_1; T_1$ масса, удельная теплоемкость, начальная температура охлаждаемого продукта №1; $M_2; Q_2; T_2$ – масса, удельная теплоемкость, начальная температура охлаждаемого продукта №2; $M_3; Q_3; T_3$ – масса, удельная теплоемкость, начальная температура охлаждаемого продукта №3; $m_n; Q_n; T_n$ – масса, удельная теплоемкость, начальная температура продукта №n; n – число видов охлаждаемых продуктов; $\tau_{\text{оп}}$ – длительность предварительного опыта, то есть длительность пребывания продуктов в контакте с хладоносителем, например 5, 10, 15, 30 мин; $t_{\text{on}1}; t_{\text{on}2}; t_{\text{on}3}$ – температура продукта №1, №2, №3 по истечении опытного времени, ($^{\circ}\text{C}$); T_p – равновесная температура, ($^{\circ}\text{C}$); $T_{\kappa1}, T_{\kappa2}, T_{\kappa3}$ – назначенная, конечная температура охлаждения продукта №1, №2, №3, ($^{\circ}\text{C}$); c_i – константа интегрирования уравнения охлаждения, ($^{\circ}\text{C}$); κ_i – константа интегрирования уравнения охлаждения, (сек^{-1}); $\tau_{\text{on}1}; \tau_{\text{on}2}; \tau_{\text{on}3}$ – расчетное значение длительности охлаждения продуктов №1, №2, №3 до назначенной, конечной температуры.

На следующем этапе необходимо провести проверку соответствия математической модели полученным экспериментальным данным на качественном уровне. Например, длительность охлаждения продукта в простейшем фляжном охладителе, по истечении которого разность температур продукта и теплоносителя будет равна Δt $^{\circ}\text{C}$ или длительность охлаждения до назначенной конечной температуры продуктов, помещенных в бассейн со льдом (холодной водой) должны качественно совпадать с экспериментально установленными.

Затем необходимо провести проверку выполнения математической моделью предварительно заданных условий, в качестве которых могут выступать известные свойства проектируемых объектов.

Если качественная адекватность модели установлена, то проводится количественная оценка сходимости с экспериментальными данными. В случае предусмотренного разработанным алгоритмом приближенных величин необходимо провести оценку их точности и определить условия, при которых заданная точность будет достигнута. Это возможно, применяя метод двойного перерасчета, когда уменьшение шага вычислений в два раза позволит снизить погрешность до 5 %.

Общая схема реализации этапов вычислительного эксперимента представлена на рисунке 3.2.

Перечисленные на схеме этапы могут быть выполнены на основании общепринятой методологии программирования.

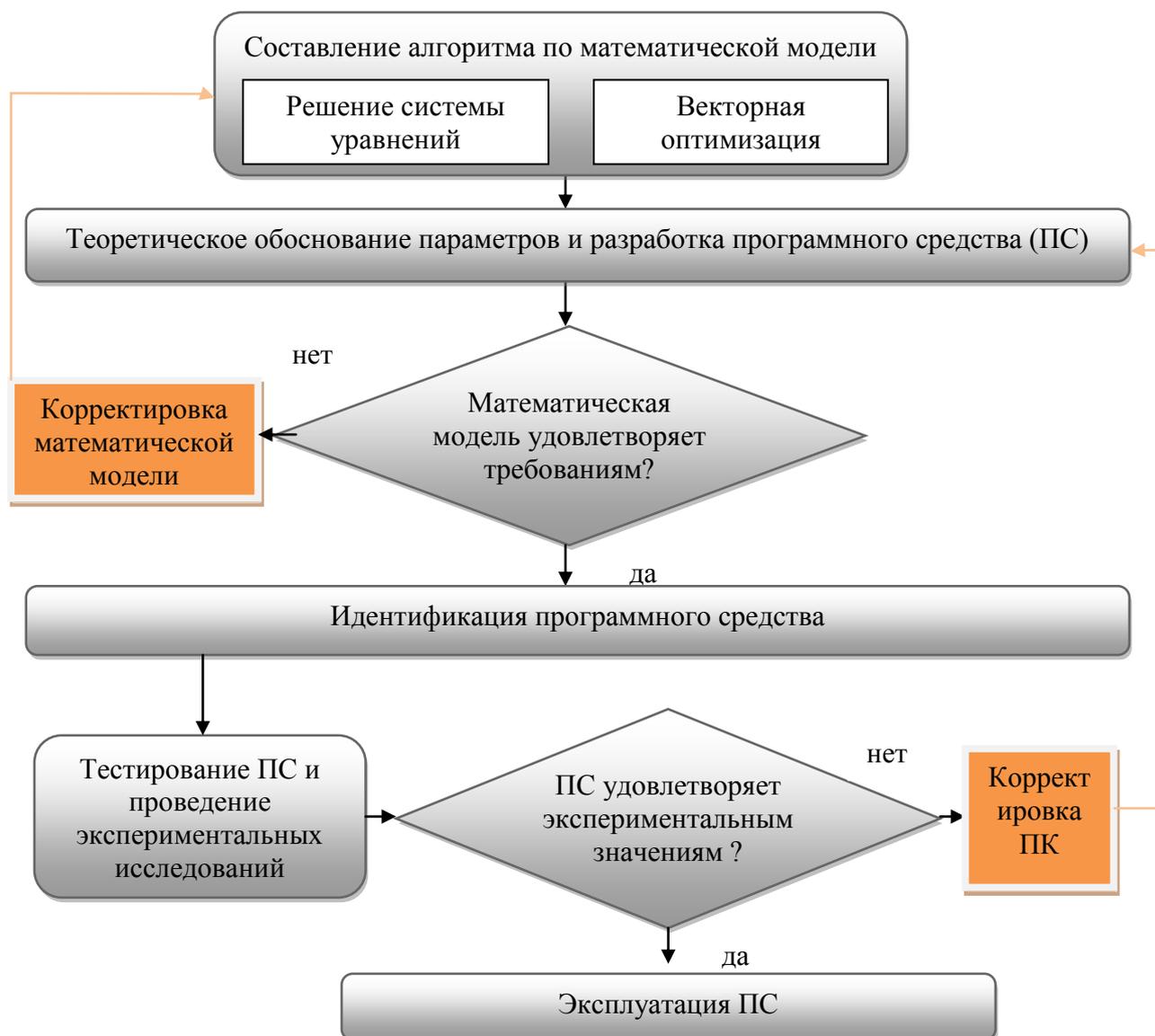


Рисунок 3.2 - Схема решения задачи математического моделирования

Для проведения вычислительных операций в описанных, и им подобных схемах охлаждения пищевых жидкотекучих продуктов (№1, №2, №3 и т.д.) во фляжном охладителе разработана программа для ЭВМ «Фляжный охладитель» (приложение 3).

Аналогично, для проведения операций по вычислению параметров наморозки льда, определения толщины получаемого ледяного слоя в зависимости от условий эксплуатации льдоаккумуляторов и подбора холодильных машин разработаны программы для ЭВМ *«Оценка интенсивности намораживания ледяной массы в бассейне, оборудованном термосифонами»* (приложение 4) и программа *«Охладители молока»* (приложение 5).

Программы *«Фляжный охладитель»*, *«Оценка интенсивности намораживания ледяной массы в бассейне, оборудованном термосифонами»* и *«Охладители молока»* написаны в среде программирования Free Pascal. (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617152; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017610885; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614224).

3.2 Создание и использование программ для ЭВМ

3.2.1 Методика разработки программы «Фляжный охладитель»

Разработана программа *«Фляжный охладитель»*, позволяющая решать как прямые, так и обратные задачи охлаждения, строить график зависимости расчетных текущих температур от времени.

Емкости с охлаждаемыми продуктами помещены в жидкий хладоноситель – бак, бассейн или иная среда с холодной водой или антифризом [126].

Вид окна программы *«Фляжный охладитель»* представлен на рисунке 3.3.

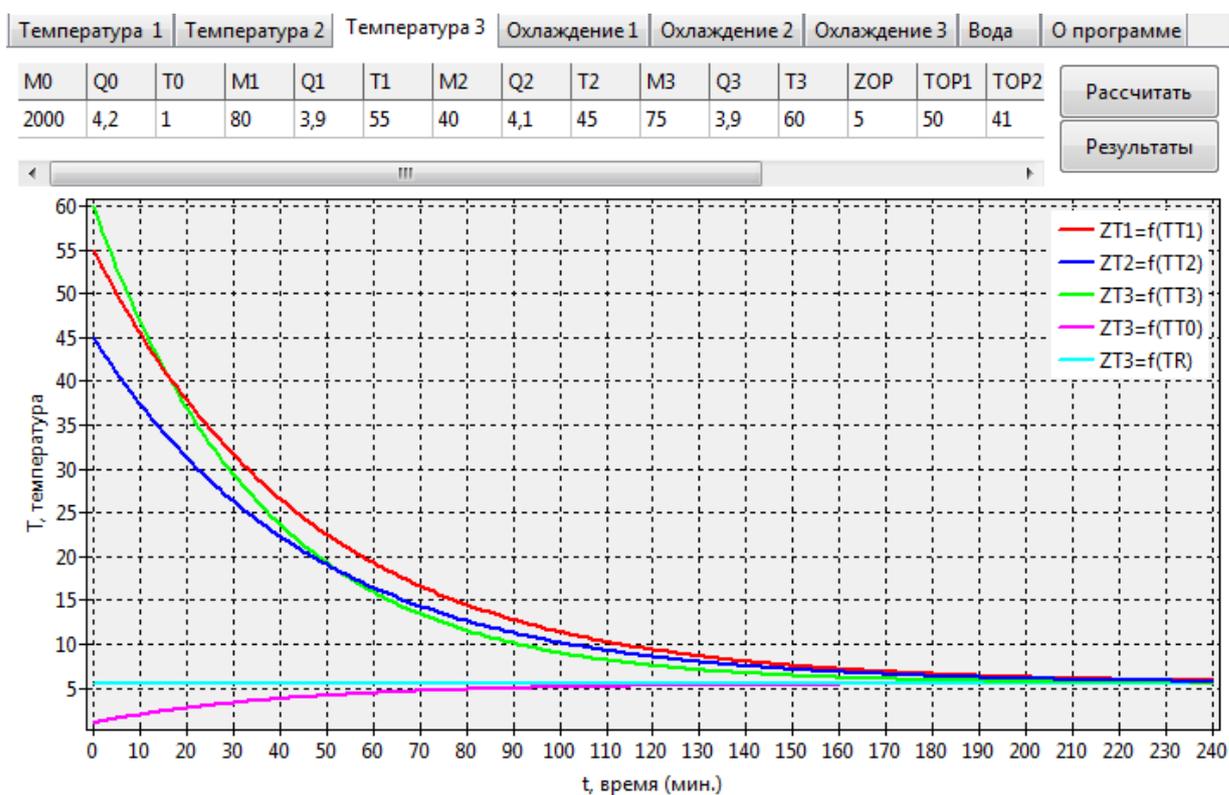


Рисунок 3.3 - Вид окна программы «Фляжный охладитель» с исходными данными и результатами расчетов

$M_0, Q_0, T_0; M_1 \dots$ - исходные данные; (2000; 4,2; 1; 80; 3,9...) - числовые значения исходных данных, «Температура 1»; «Температура 2»; «Температура 3» - соответственно расчет численного значения температуры первого продукта; первого и второго; первого, второго и третьего продуктов за заданное время; «Охлаждение 1»; «Охлаждение 2»; «Охлаждение 3» - соответственно расчетная длительности охлаждения первого продукта, первого и второго, первого, второго и третьего продуктов до заданной температуры; «Вода» - расчет численного значения температуры продукта и хладоносителя и разности температур продукта и хладоносителя в функции времени.

Расчетные величины и графические изображения этих величин выводятся на экран монитора.

При расчете процессов охлаждения во фляжных охладителях возникают две группы задач:

- Прямые;
- Обратные.

При решении прямых задач вычисляется текущее значение температуры TT как функция заданного времени. $TT = \varphi(ZT)$

При решении обратных задач вычисляется длительность охлаждения продукта ZT как функция заданного значения температуры $ZT = \phi(TЗ)$

где $TЗ$ – заданное значение температуры.

Все интерфейсные окна ПС идентичны, поэтому функциональные возможности рассмотрим на решении контрольного примера.

3.2.2 Методика разработки программы «Оценка интенсивности намораживания ледяной массы в поверхностном слое бассейна»

Разработана программа «Оценка интенсивности намораживания ледяной массы в поверхностном слое бассейна», предназначенная для технологических расчетов интенсивности намораживания массы льда в поверхностном слое бассейна в зимний период времени.

Применение программы позволит обеспечить выполнение следующих функций:

- определение истинности процесса намораживания льда;
- редактирование и сохранение всех исходных данных;
- работа с несколькими файлами исходных данных.

Программа «Оценка интенсивности намораживания ледяной массы в поверхностном слое бассейна», включает следующие вкладки: и (рисунок 4.4)

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ НАМОРАЖИВАНИЯ ЛЕДЯНОЙ МАССЫ, В БА...

ИСХОДНИКИ РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ СПРАВКА ВЫХОД

ВЫЧИСЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ВОДОЕМАХ, hл

С, параметр

п, коэффициент

толщина ледяного покрова hл

Зависимость СТЕФАНА

постоянная Стефана-Больцмана $5.7 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²*к⁴)

ρ, плотность воды, кг/м³

λ, коэффициент теплопроводности воды, Вт/м*К

=

Расчет толщины ледяного покрова по теоретическому методу

hэ, эквивалентная толщина льда при наличии снега на поверхности льда, м

λл, коэффициент теплопроводности льда, Вт/м*С

λс, коэффициент теплопроводности снега, Вт/м*С

hс, высота снежного покрова, м

Рисунок 3.4 - Общий вид окна программы

Для работы с программой необходимо внести данные параметров и коэффициентов, определяемых по данным непосредственных наблюдений и отражающие в среднем те условия, которые имели место в период наблюдений.

3.2.3 Методика разработки программы «Охладители молока»

Разработана программа «Охладители молока», предназначенная для технологических расчетов и подбора оборудования для охлаждения молока,

выбора мощности электродвигателя. Применение программы позволит обеспечить выполнение следующих задач:

- определение холодопроизводительности холодильной установки;
- расчет мощности и подбор электродвигателя компрессора холодильной установки;
- редактирование и сохранение всех исходных данных;
- работа с несколькими файлами исходных данных;

Программа «Охладители молока» включает следующие вкладки: (рисунок 3.5).

Рисунок 3.5 - Окно программы

Во вкладке «ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ» внесены основные значения и технические характеристики охладителей молока, молочных цистерн-танков, танков-охладителей, компрессорных холодильных установок, очистителей охладителей. Представлены данные по удельной холодопроизводительности холодильных установок и объемная холодопроизводительность фреона и аммиака.

Вкладка «РАСЧЕТЫ» необходима для выбора расчета объемной холодопроизводительности или мощности электрического двигателя для привода компрессора установки.

3.3 Практическая реализация разработанных программных средств (ПС)

3.3.1 Охлаждения молока во фляжном охладителе

После ввода исходных данных в окно интерфейса необходимо нажать кнопку «Рассчитать».

$M_0 = 2000$ кг; $Q_0 = 4,2$ кДж / (кг·град); $T_0 = 1^{\circ}\text{C}$; $M_1 = 80$ кг; $Q_1 = 3,9$ кДж / (кг·град); $T_1 = 55^{\circ}\text{C}$; $M_2 = 40$ кг; $Q_2 = 4,1$ кДж / (кг·град); $T_2 = 45^{\circ}\text{C}$; $M_3 = 75$ кг; $Q_3 = 3,9$ кДж / (кг·град); $T_3 = 60^{\circ}\text{C}$; $Z_{OP} = 5$ мин.; $T_{OP1} = 50^{\circ}\text{C}$; $T_{OP2} = 41^{\circ}\text{C}$; $T_{OP3} = 53^{\circ}\text{C}$; $ZK = 240$ мин.

Кроме кривых изменения температуры охлаждаемых продуктов в координатах T , Z вычерчивается значение равновесной температуры T_R , представляющей собой прямую, параллельную оси времени и кривую изменения температуры хладоносителя (рисунок 3.3).

Для задач с другими исходными данными необходимо стереть числовые значения контрольного примера и ввести новые числовые значения. После ввода новых исходных данных нажать кнопку «Рассчитать». В случае необходимости можно вывести расчетные числовые значения на экран, нажав кнопку «Результаты».

Графики изменения температур охлаждаемых продуктов и температуры хладоносителя (рисунок 3.6) позволяют визуально оценить интенсивность процесса охлаждения, сравнить между собой теплофизические характеристики тары, в которую расфасованы охлаждаемые

продукты и определить минимальную длительность процесса охлаждения для каждого продукта (рисунок 3.7), не вызывающую снижения его качества.

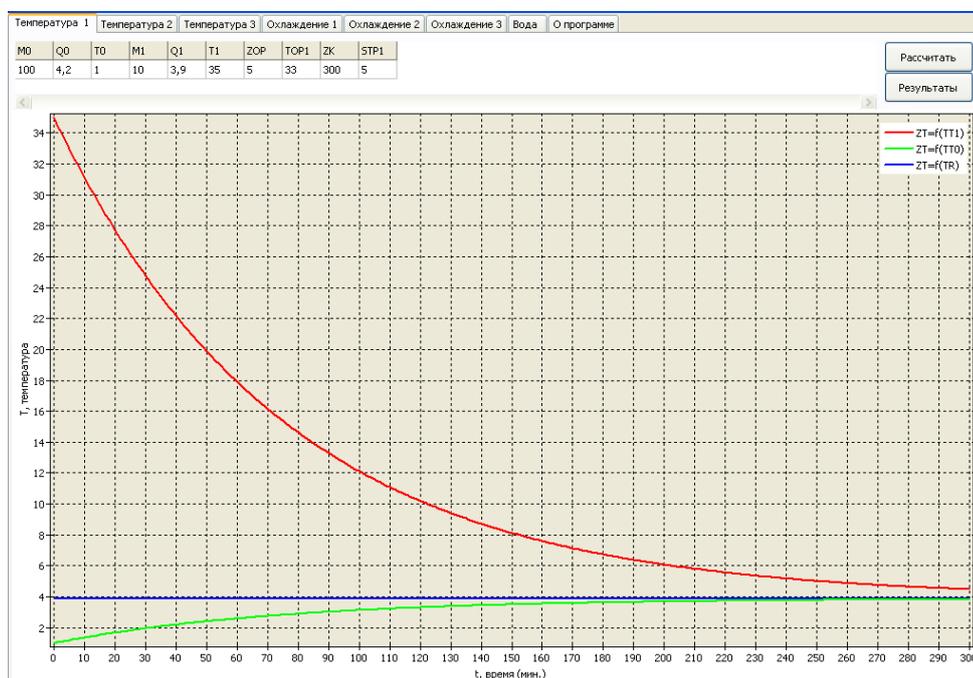


Рисунок 3.6 - Расчет численного значения температуры одного продукта за заданное время

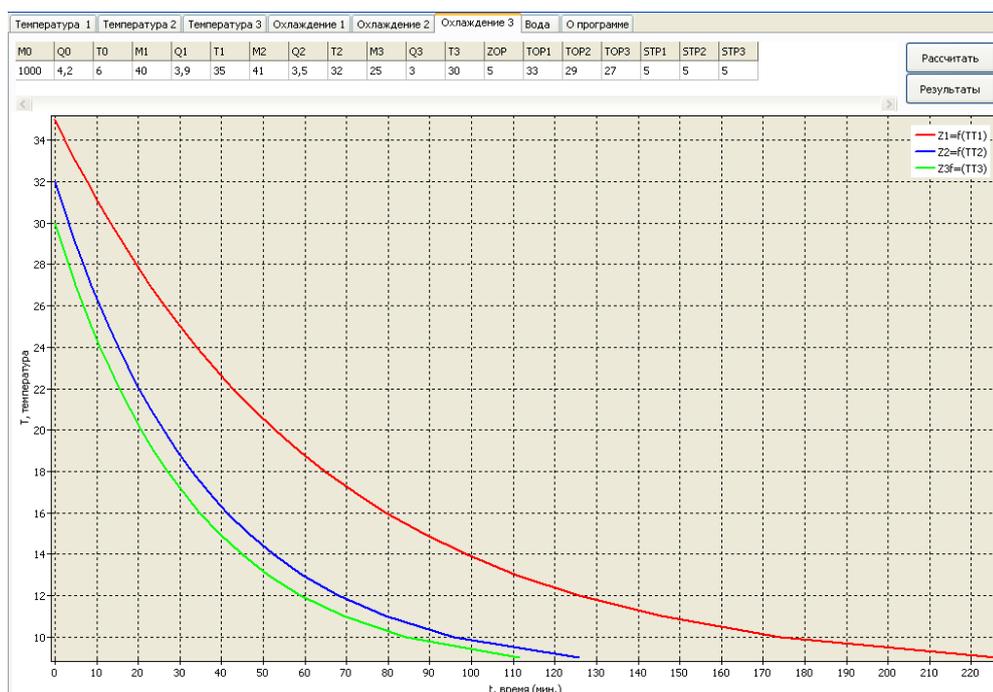


Рисунок 3.7 – Расчет длительности охлаждения каждого из 3-х продуктов до данной температуры

По завершении работы с ПС нажимают кнопку выход, расположенной на контекстном меню. Для эффективной работы с ПС в основном меню имеется «справка», в которой отражена информация «о программе» и «помощь», содержащая руководство к использованию. Все окна ПС снабжены интерфейсными кнопками «свернуть» и «развернуть», необходимые для удобной работы с ПС.

Таким образом, созданный алгоритм математического моделирования, реализованный в ПС, позволяет определить длительность охлаждения продуктов в простейшем охладителе в зависимости от начальных данных производителя пищевой продукции.

3.3.2 Расчет интенсивности намораживания ледяной массы в поверхностном слое бассейна

Исходные данные для расчета интенсивности намораживания ледяной массы в поверхностном слое бассейна в зависимости от значений температуры и скорости ветра, полученных опытным путем, применяя показатели термометра и анемометра, и по данным Гидрометцентра, вносятся в окно разработанной программы (рисунок 3.8).

Учитывая только прямое влияние тепловых потерь в непрерывном периоде отрицательных среднесуточных температур воздуха, вне зависимости от других факторов, и влияния снежного покрова на льду, что сходно с условиями бассейна, сооружаемого для накопления льда на МТФ, получаем результаты расчета толщины льда (рисунок 3.9) по формулам авторов [26-28, 34-36, 41, 42, 210].

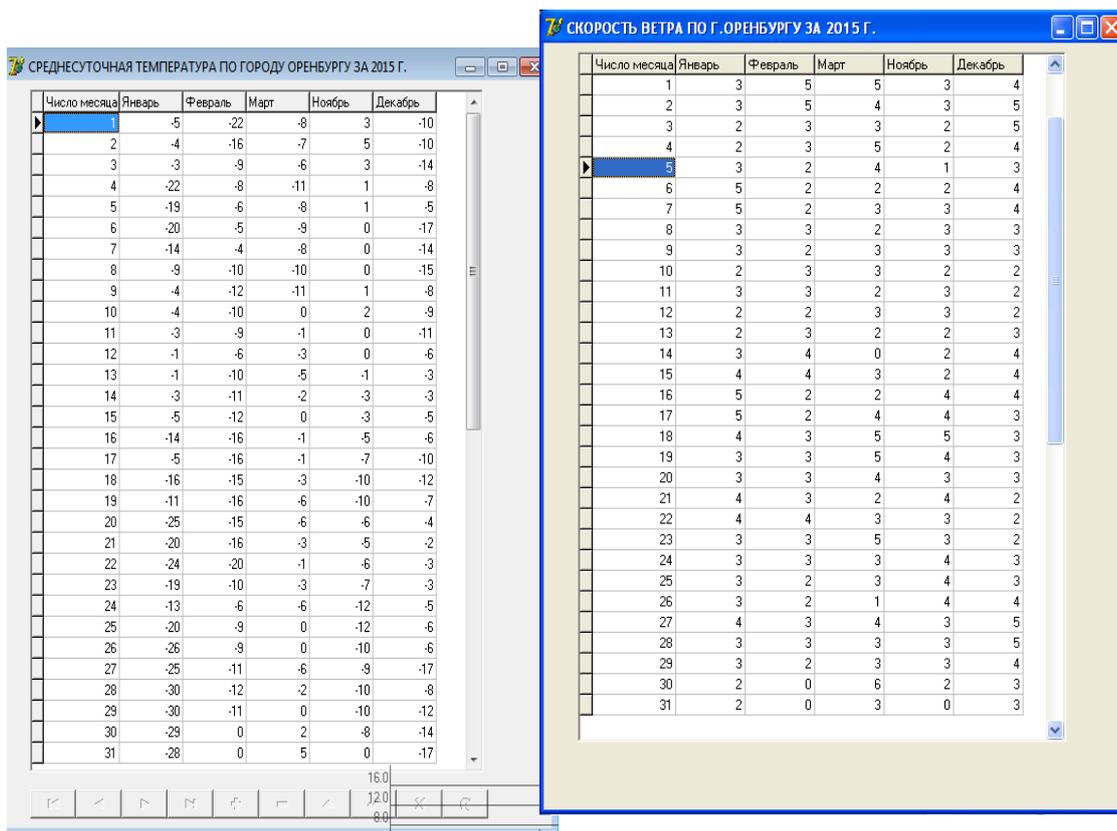


Рисунок 3.8 - Окна исходных параметров расчета

После ввода данных в окно интерфейса необходимо нажать кнопку «Вычислить».

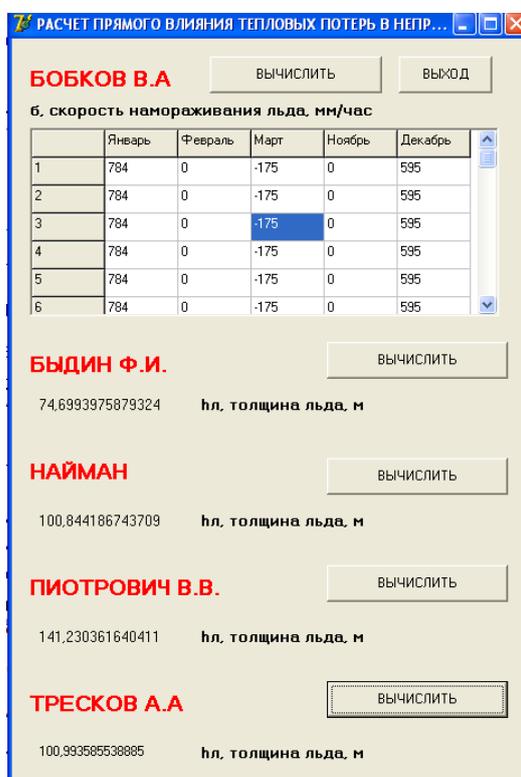


Рисунок 3.9 - Результаты расчета интенсивности намораживания

Для задач с другими исходными данными необходимо стереть числовые значения контрольного примера и ввести новые числовые значения. После ввода новых исходных данных нажать кнопку «Вычислить». В случае необходимости можно вывести расчетные числовые значения на экран.

Получаемые значения позволяют визуальнo оценить интенсивность процесса намораживания льда, сравнить между собой параметры и выявить оптимальные значения температуры и скорости ветра при работе с льдоаккумуляторами.

3.3.3 Расчет технических показателей холодильной машины для конкретных условий

После ввода исходных данных по выбору оборудования по охлаждению молока в окне интерфейса необходимо нажать кнопку «Вычислить Q_1 », «Вычислить Q_2 » «Вычислить Q_3 ». На основе полученных данных проводим расчет рабочей производительности холодильной машины Q и мощности электродвигателя P (рисунок 3.10, 3.11).

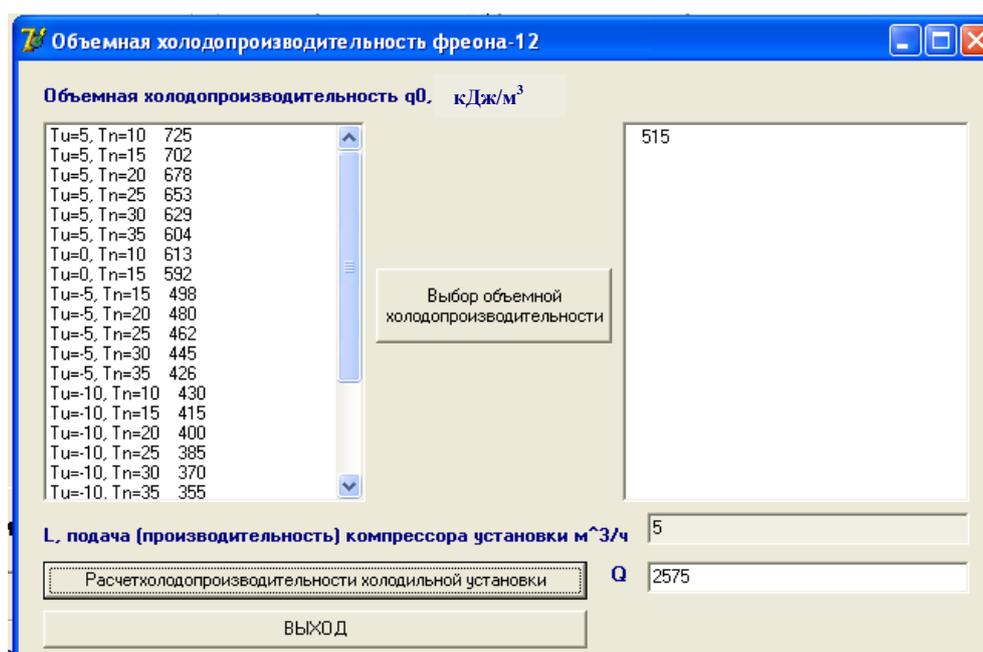


Рисунок 3.10 - Результаты расчета холодопроизводительности

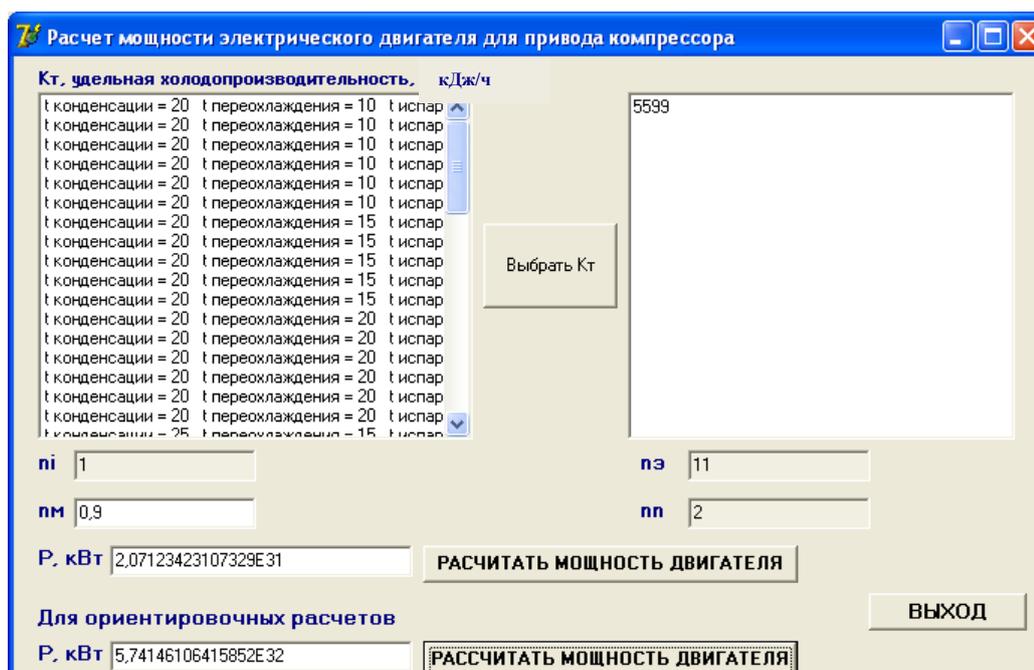


Рисунок - 3.11 Результаты расчета мощности электродвигателя компрессора холодильной машины

Для решения задач по выбору системы охлаждения с другими исходными данными необходимо стереть числовые значения контрольного примера и ввести новые числовые значения. После ввода новых исходных данных нажать кнопку «ВЫЧИСЛИТЬ» или «РАССЧИТАТЬ», в зависимости от поставленной задачи производителем молока. В случае необходимости можно вывести расчетные числовые значения на экран.

По завершении работы с ПС нажимают кнопку «ВЫХОД», расположенную на контекстном меню. Для эффективной работы с ПС в основном меню имеется «СПРАВКА», в которой отражена информация «о программе». Все окна ПС снабжены интерфейсными кнопками «свернуть» и «развернуть», необходимые для удобной работы с ПС.

Разработанная программа позволит оптимизировать систему выбора холодильного оборудования в зависимости от условий эксплуатации.

Таким образом, разработанные программные обеспечения позволят значительно упростить расчет, проведение экспериментов и подбор необходимого холодильного оборудования.

Выводы по главе.

1. Разработана методика расчета процессов охлаждения молока в простейших охладителях при использовании природного холода, позволяющая оценить интенсивность процесса его охлаждения, сравнить между собой теплофизические характеристики применяемых охладителей (тара), в которую расфасованы охлаждаемые продукты, и определить минимальную длительность процесса охлаждения для продукта, не вызывающую снижения его качества (свидетельство о государственной регистрации ПС № 2014617152).

3. Разработана методика расчета интенсивности намораживания ледяной массы в поверхностном слое бассейна, позволяющая выявить скорость и толщину намораживаемого льда в зависимости от температуры морозного воздуха и скорости ветра при работе льдоаккумуляторов в зимний период (свидетельство о государственной регистрации ПС № 2017610885).

2. Разработана методика расчета основных параметров охладителей молока, позволяющая рассчитать и подобрать оборудование для охлаждения в зависимости от условий эксплуатации, определить необходимую мощность электродвигателя и рабочую производительность холодильной машины (свидетельство о государственной регистрации ПС № 2017614224).

4. ПРОГРАММЫ, ЧАСТНЫЕ МЕТОДИКИ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Программы исследований

Программы экспериментальных исследований тепломассообменных процессов в системе «атмосфера – инженерное сооружение – водная среда» при использовании естественного холода в сельском хозяйстве, по оценке интенсивности намораживания ледяной массы и по выбору охладителей молока состояли из лабораторных и производственных экспериментов [64, 65].

Лабораторный эксперимент состоял из нескольких циклов опытов, проведенных в лаборатории машинного доения кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» Оренбургского государственного аграрного университета и на базе молочно-товарных ферм в хозяйствах Оренбургской области.

Первый цикл опытов был направлен на исследование температурных режимов работы термосифонов с использованием тепловизора. Затем изучали теплообменные процессы в простейших фляжных охладителях (второй цикл). Определяли влияние температуры окружающего конденсатор воздуха и скорости воздушного потока на суточную холодопроизводительность термосифона (третий цикл), определяли интенсивность увеличения поверхностного слоя льда в бассейне и скорость подплавления льда в льдоаккумуляторе в процессе эксплуатации (четвертый цикл).

По результатам проведенных теоретических исследований были определены основные параметры, влияющие на холодопроизводительность термосифона, влияния температуры и скорости ветра на скорость намораживания поверхностного слоя, основные параметры, влияющие на

скорость оттаивания заданного слоя льда в нижней части льдоаккумулятора при подводе теплой воды от теплообменного аппарата.

Задачами исследования предусматривалось определить динамику намораживания льда в льдохранилище (холодопроизводительность) и конструктивно-технические параметры льдохранилища.

Некоторые величины, которые определялись аналитически, были получены с оговоренными допущениями, так как их точное определение затруднительно ввиду малой изученности процесса наморозки льда на поверхности и вокруг термосифона [49, 51, 55, 60, 176, 177, 184, 186, 192].

Для экспериментальных исследований потребовались данные о влиянии температуры окружающего воздуха и скорости воздушного потока на процесс промерзания воды. Для этого взята за основу методика определения радиуса промерзания грунта вокруг термосифона и методика определения скорости замерзания льда на поверхности воды.

На заключительном этапе проводились производственные эксперименты, целью которых было подтверждение результатов теоретических исследований и данных, которые были получены в ходе лабораторных экспериментов по исследованию процессов замораживания воды термосифонами и системой послойного намораживания. [64, 66, 69, 73, 74, 75, 88, 166, 219].

Методология экспериментальных исследований предусматривала применение нескольких методик:

- применение методики тепловизионного исследования температурных режимов работы термосифона;
- применение методики по определению расчета теплообменных процессов во фляжном охладителе;
- применение методики по определению влияния температуры воздуха вокруг конденсатора термосифона на холодопроизводительность;
- применение методики по определению влияния скорости воздушного потока на холодопроизводительность термосифона;

- применение методики по определению распределения температур в толще льда, интенсивности его роста и толщины;

- применение методики по определению скорости оттаивания льда в льдоаккумуляторе в процессе эксплуатации.

Производственные исследования были проведены в хозяйствах Оренбургской области: ООО «Пилюгинский АПК» Бугурусланского района, ОАО «Ключевское» Пономаревского района, ООО «А7 АГРО» ОП «Благодарное» Ташлинского района, СПК (колхоз) «им. Шевченко» Грачевского района. Проводили замеры скорости намораживания льда при различных конструкциях предлагаемых льдогенераторов, определяли холодопроизводительность термосифонов (приложения 6, 7, 8, 9).

Таблица 4.1 – Характеристики МТФ предприятий

Место проведения исследований	ОАО «Ключевское» Пономаревский район	ООО «Пилюгинский АПК» Бугурусланский район	ООО «А7 АГРО» ОП «Благодарное» Ташлинского района	СПК (колхоз) «им. Шевченко» Грачевского района
Поголовье коров	200	520	600	600
Средний удой от одной коровы (л/сут)	14,5	18,8	16,9	18,5
Время охлаждения молока (ч)	1,5	1,7	1,8	1,8
Сроки проведения исследований	Ноябрь – декабрь 2014	Январь – март 2015	Ноябрь – декабрь 2015	Ноябрь 2015 – февраль 2016

4.2 Методология и результаты экспериментальных исследований

4.2.1 Методика и результаты тепловизионного исследования температурных режимов работы термосифона

Все объекты, температура которых выше абсолютного нуля (-273,15 °С), излучают инфракрасные волны. Следовательно, для замера

инфракрасного излучения в длинноволновом спектре в пределах обзора возможно применение тепловизионных устройств.

При проведении экспериментов по определению температурных режимов на термосифонах в лаборатории кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» ОГАУ в период с 01.12.2014. по 30.12.2015. применяли портативный тепловизор «Testo 875» и ПК (рисунок 4.1). Техническая характеристика представлена в таблице 4.2.

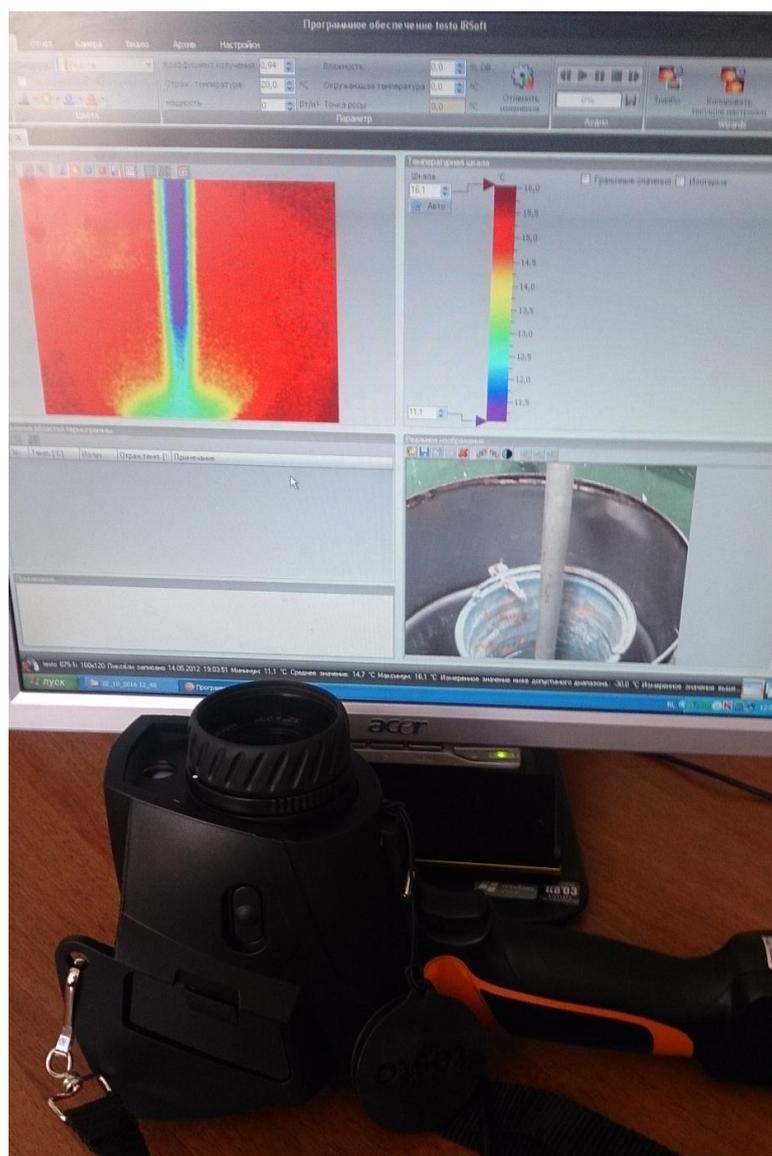


Рисунок 4.1 - Тепловизор «Testo 875» и ПК с программным обеспечением

Измерения проводили каждые два дня, ориентируясь на изменение температуры окружающего воздуха. Точки замера выбраны следующие: конденсатор и испаритель. Также проводили замеры температуры в лаборатории.

Обработка и визуализация изображений проводилась с помощью ПК.

В процессе эксперимента определена методика работы тепловизора «Testo 875» при обследовании температурных режимов на термосифонах, заключающаяся в обеспечении: температурного режима помещения; в настройке прибора; в особенностях работы.

Таблица 4.2 - Технические характеристики «Testo 875»

№	Характеристика	Параметры
1.	Температурная чувствительность (NETD)	< 50 мК (при 30°C)
2.	Диапазон измерения температуры	-30...100 °C
3.	Погрешность измерения температур в диапазоне от -30...+100°C	Диапазон 1@ (-20...100 °C) ±2°C Диапазон 1@ (-30...-21 °C) ±3°C
4.	Установка коэффициента излучения	0,01...1,00
5.	Воспроизводимость	±1 °C или ±1 % от показания
6.	Частота обновления	8 до 15 Гц
7.	Габаритные размеры/масса приемной ИК- камеры	152 x 108 x 262 мм (5,98 x 4,17 x 10,31)
8.	Масса тепловизора «Testo 875»	0,9 кг
9.	Потребляемая мощность (камеры, от аккумуляторов 6В)	1,5 Вт

Методика работы

Тепловизор требует предварительной настройки, связанной с особенностями его работы с исследуемыми объектами.

1. Температурный режим помещения: Выбор температуры помещения определяется исходя из условия: разница между температурой окружающей среды и средней температурой исследуемого объекта должна быть в пределах 10...15 °C и быть постоянной. Обследование в более холодных помещениях снижает контрастность термограмм, а при температуре ниже 0°C проведение исследования становится практически

невозможным. Кроме того, в холодном помещении температура воздуха приближается к температуре испарительной части термосифона, что приводит к резкому изменению тепловизионной картины, а, следовательно, и к ошибкам. В помещении должно отсутствовать движение воздуха. В диагностической комнате должны отсутствовать посторонние источники инфракрасного излучения, такие как нагревательные приборы, лампы накаливания, отсутствовать *прямой* солнечный свет. Поэтому, температурный режим помещения при проведении тепловизионного обследования работы термосифона должен находиться в пределах 10...25°C и быть постоянным. Для борьбы с потоками воздуха желательно наличие кабинки, ограждающей термосифон с трех сторон. Источники инфракрасного излучения отключены, окна задрапированы (шторами или др.).

2. Настройка прибора: Наиболее приемлемый диапазон выбирают с таким расчетом, чтобы все значения температур объекта были внутри этого диапазона. При обследовании работы термосифона ширина диапазона устанавливается на величину 10...15°C. Установка оптимального значения начальной температуры: установить оптимальные значения начальной температуры с таким расчетом, чтобы средние значения температуры объекта находились по возможности в центре температурного диапазона. При обследовании начальное значение температуры 5...-10°C (изменять начальную температуру следует после получения первого кадра). Подбор палитры: подбор (изменение) наилучшей для восприятия палитры термограммы следует после получения первого кадра.

3. Особенности работы: Снимки следует делать в прямой проекции.

Снимки следует делать с различных сторон. Величина угла исследования более 15° не дает качественной термограммы.

Эксперимент выявил перспективность тепловизионного способа. В процессе эксперимента разработана методика его проведения термографом при работе с термосифонами (особый температурный режим, настройка прибора) и установлены особенности работы.

Тепловизионная карта представлена на рисунке 4.2. Термограмма показывает достаточно равномерное распределение температуры по испарительной части.

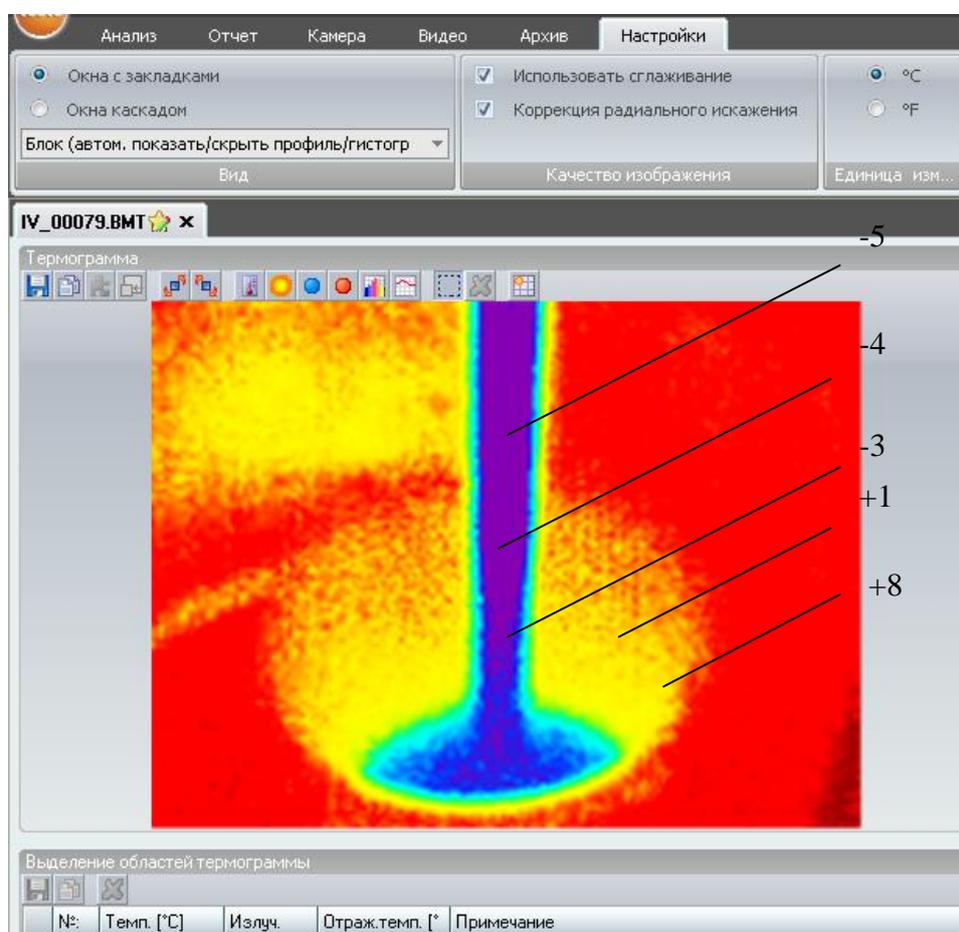


Рисунок 4.2 - Термограмма процесса намораживания льда

Согласно предложенной методике найдены параметры, которые сводились в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Параметры функционирования термосифона

№ опыта	Температура в лаборатории $T_n, ^\circ\text{C}$	Температура конденсатора $t_k, ^\circ\text{C}$	Температура испарителя $t_u, ^\circ\text{C}$
1	16	-8	-3
2	16	-12	-4
3	15	-11	-4
4	14,5	-13	-4,5
5	13	-15	-4,5
6	13	-20	-5
7	12,5	-23	-5
8	12	-23	-5
9	11	-20	-4,5
10	11	-25	-5

Обработка опытных данных проводилась на ПЭВМ с комплектом программ Mikrosoft Offise 2007 (Excel), Statistika 10.0, MathCAD 2000 [105, 211, 272, 298].

По результатам опытных значений параметров построены графические зависимости изменения температуры испарительной части термосифона t_u , находящегося в лаборатории с положительными температурами, от температуры конденсатора t_k , напрямую связанную с температурой окружающей среды (рисунок 4.3).

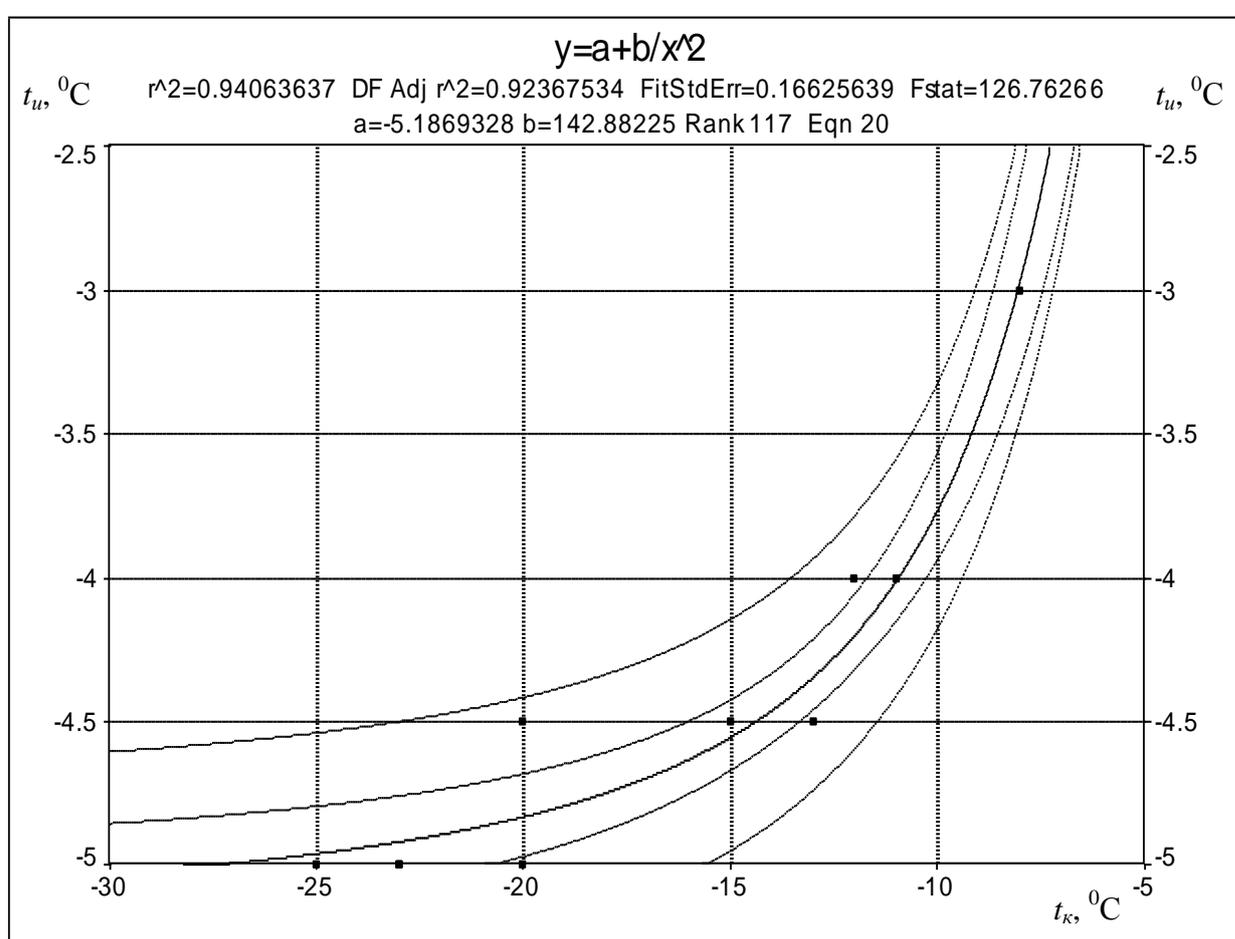


Рисунок 4.3 - Зависимость изменения температуры испарительной части термосифона t_u , находящегося в лаборатории с положительными температурами, от температуры конденсатора t_k .

Из графического представления видно, что зависимость между истинной величиной отклика и факторами носит нелинейный характер. Поэтому возможно использование нелинейной регрессионной модели второго порядка.

Уравнение, описывающее графическое представление зависимости отклика от факторов на рисунке 4.3 имеет вид:

$$Y_i = a + b/x^2 \quad (4.1)$$

где a , b – свободный член и коэффициент уравнения регрессии, X_i – факторы.

Уравнение регрессии, описывающее взаимосвязь холодопроизводительности термосифона и температуры окружающего воздуха следующее:

$$Y = -5.1869328 + 142.88225 / X^2 \quad (4.2)$$

где Y – температура испарительной части термосифона, $^{\circ}\text{C}$, X – температура конденсатора термосифона, $^{\circ}\text{C}$.

Как видно из рисунка оптимальными значениями температуры наружного воздуха, при которых температура на испарителе будет ниже нуля, составляет от -10°C и ниже. Температура вокруг испарительной части термосифона на процесс его работы также оказывает свое влияние за счет потерь в окружающую среду. Следовательно, при работе термосифона необходимо предусматривать теплоизоляцию, позволяющую исключить погрешности работы и максимально исключить теплотери в окружающую среду. Исходя из условий эксперимента, испарительная часть термосифона должна находиться полностью в воде. В морозном воздухе должна находиться только конденсаторная часть.

4.2.2 Методика и результаты расчета теплообменных процессов во фляжном охладителе

Исходя из законов тепломассообменных процессов, логично предположить, что при размещении емкостей с охлаждаемыми продуктами в ограниченной охлаждающей среде, температуры продуктов будут уменьшаться, а среды увеличиваться. Этот процесс будет длиться до тех пор, пока температура всех продуктов и охлаждающей среды не сравняются, остановившись на какой-то общей, единой величине. Назовем эту температуру равновесной.

Процесс теплообмена идет непрерывно до тех пор, пока не установится равновесная температура. При графическом изображении процесса температуры охлаждаемых продуктов и нагреваемой воды, по какой-то кривой, стремятся к равновесному значению T_p .

Равновесная температура это тот ориентир, к которому стремится, снижаясь, температура охлаждаемого продукта и, повышаясь, - температура хладагента.

Процесс выравнивания температур между охлаждаемым продуктом и хладагентом, при теплопередаче через стенку, происходит длительное время, которое стремится к бесконечности. В таких случаях равновесная температура используется для большинства технологических расчетов при теплообмене [116, 119].

Определим числовые значения равновесной температуры, умышленно усложненной для большей ясности алгоритма расчета.

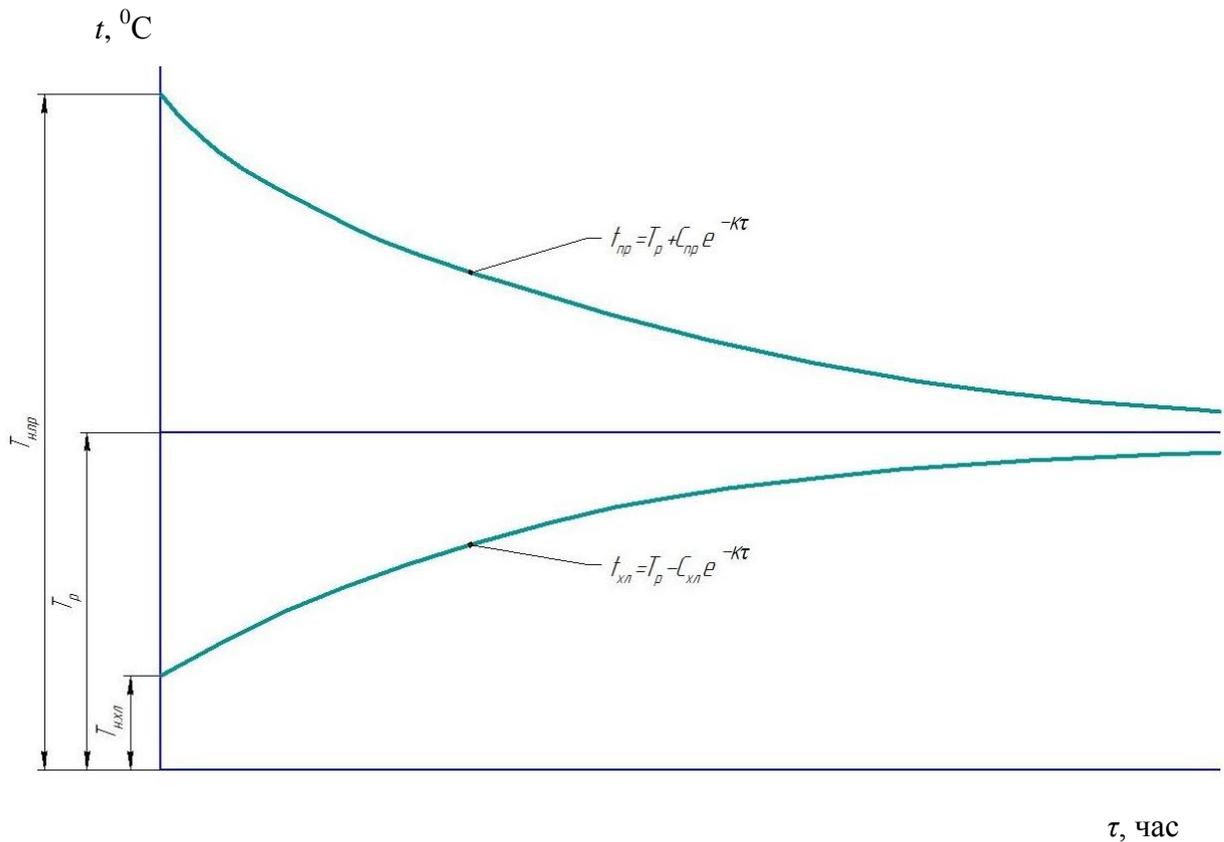


Рисунок 4.4 - График изменение температуры продукта и хладоносителя при теплопередаче через стенку

$T_{н.пр}$ – начальная температура продукта
 $T_{н.хл}$ – начальная температура хладоносителя
 T_p – равновесная температура

В бассейн с холодной водой поместили четыре вида продуктов, расфасованных во флягах. Требуется рассчитать процесс охлаждения.

Предлагаемый алгоритм расчета.

1. Определить числовое значение равновесной температуры.

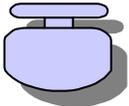
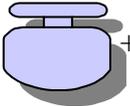
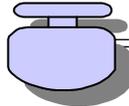
Для определения числового значения равновесной температуры **условно** все продукты выльем в бак с холодной водой и перемешаем (**виртуальное смешивание**).

В полученной смеси очень быстро, практически за время перемешивания, установится равновесная температура – T_p . Именно к этой температуре, уменьшаясь, стремятся температуры охлаждаемых продуктов и,

увеличиваясь, стремится температура холодной воды в баке при теплообмене через стенку в реальных условиях.

Все исходные данные оформим в виде таблицы (таблица 4.4).

Таблица 4.4 - Исходные данные

№ п/п	Показатели процесса	Графическая интерпретация процесса смешивания				
						
1	Смешиваемая жидкость продукта	Холодная вода	Свежее молоко	Молоко, предыдущего удоя	Кипяченое молоко	Смесь
2	Масса, кг	400	40	40	30	530
3	Удельная теплоемкость $10^3 \frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$	4,2	3,9	3,9	3,9	x
4	Температура, $^\circ C$	4	35	25	95	T_p

Последовательность решения задачи.

1.1 Составим уравнение баланса масс смешиваемых продуктов

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 = m \quad (4.3)$$

1.2 Уравнение баланса теплоемкостей (не удельных теплоемкостей)

$$x_1 m_1 + x_2 m_2 + x_3 m_3 + x_4 m_4 = x \quad (4.4)$$

где x – удельная теплоемкость, $\frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$.

1.3 Уравнение баланса количества теплоты (энтальпия) в замкнутой системе (в баке):

$$t_1 x_1 m_1 + t_2 x_2 m_2 + t_3 x_3 m_3 + t_4 x_4 m_4 = m x T_p$$

где T_p – числовое значение равновесной температуры.

2. На основе анализа процесса охлаждения выявить закон изменения температуры охлаждаемых продуктов и хладоносителя во времени.

Скорость теплопередачи «n-м» продуктом через стенку на основании закона Ньютона – Рихмана можно записать:

$$\frac{dQ_n}{d\tau} = -\alpha_n F_n (t_n - T_p) \quad (4.5)$$

где Q_n – количество теплоты, отводимое от n-го продукта за время τ ; Дж.;

F_n – площадь стенки, через которую осуществляется теплопередача, m^2 ;

t_n – текущее значение температуры n-го продукта, $^{\circ}C$.

α_n – коэффициент теплопередачи, $\frac{Дж}{с \cdot m^2 \cdot ^{\circ}C}$;

Коэффициент теплопередачи α_n в формуле (4.5) является функцией многих параметров:

- характерного размера и формы поверхности, через которую осуществляется теплопередача;
- разности температур между охлаждаемой и охлаждающей жидкостями;
- коэффициента теплопроводности материала стенки емкости, в которую помещен охлаждаемый продукт;
- коэффициента температуропроводности материала стенки;
- удельной теплоемкости охлаждаемой и охлаждающей жидкостей;
- плотности жидкостей;
- вязкости жидкостей;
- коэффициента объемного температурного расширения и т.д.

Многообразие параметров показывает, что коэффициент теплопередачи величина сложная и для её определения невозможно дать общую формулу. Поэтому для определения коэффициента теплопередачи используем экспериментальный метод.

Величина Q_n в формуле (4.5) может быть представлена как $C_n^* t_n$,

где C_n^* – теплоемкость охлаждаемого продукта, Дж/К.

Тогда:

$$\frac{dC_n^* t_n}{d\tau} = -\alpha_n F_n (t_n - T_p) \text{ или } \frac{dt_n}{d\tau} = -\frac{\alpha_n F_n}{C_n^*} (t_n - T_p) \quad (4.6)$$

Знак «-» означает, что температура охлаждаемого продукта уменьшается.

$\frac{\alpha_n F_n}{C_n^*}$ - для конкретного теплообменного аппарата (фляга, канистра и

т.д.), функционирующего при заданных условиях, величина постоянная, но действительна только для этого аппарата и только для заданных условий.

Обозначим $\frac{\alpha_n F_n}{C_n^*} = K_n$, тогда уравнение запишется в следующем виде:

$$\frac{dt_n}{d\tau} = -K_n (t_n - T_p) \quad (4.7)$$

Проинтегрируем дифференциальное уравнение (4.7)

$$\frac{1}{-K_n} \int \frac{dt_n}{t_n - T_p} = \int d\tau$$

$$\frac{1}{-K_n} \ln(t_n - T_p) = \tau + c$$

После преобразований получим:

$$t_n = T_p + C_n e^{-K_n \tau} \quad (4.8)$$

Уравнение (4.8) – общее решение дифференциального уравнения (4.7). Оно представляет собой семейство экспоненциальных кривых охлаждения n -го продукта [55, 56, 138, 211, 269]..

Для нахождения частных решений выполняем эксперимент. После размещения емкостей с охлаждаемыми продуктами в холодной воде бака необходимо через любой, выбранный экспериментатором отрезок времени τ_{on} , измерить температуры охлаждаемых продуктов.

Принимаем, например, τ_{on} . Пусть температуры охлаждаемых продуктов оказались:

- температура свежесвыдоенного молока $t_{on.1}, ^\circ C$;
- температура молока предыдущего удоя $t_{on.2}, ^\circ C$;
- температура кипяченого молока $t_{on.3}, ^\circ C$;
- температура яблочного сока $t_{on.4}, ^\circ C$.

Для ответа на вопрос, до какой температуры охладится кипяченое молоко в алюминиевой канистре через 4 часа, необходимо, подставив в формулу (4.8) значение начальной температуры T_3 и $t_{on.3}$ вычислить числовое значение постоянных C_3 и K_3 .

Зная температуры охлаждаемых продуктов через 240 минут, можно определить температуру воды в баке используя уравнение теплового баланса – суммарное количество теплоты, отданное охлажденными продуктами, равно количеству теплоты, полученному водой.

Если при охлаждении фляжными охладителями фляги помещаются в бассейн, масса воды в котором в несколько сотен раз больше массы охлаждаемого молока, то определять значение равновесной температуры не

имеет смысла. Повышение температуры воды в таких случаях будет настолько мизерным, что никакими средствами это повышение «уловить» невозможно. К этому же случаю относится охлаждение во флягах, опущенных в озеро, пруд, реку, оставленных на открытой площадке, обдуваемой холодным ветром и т.д.

Дифференциальное уравнение скорости охлаждения будет иметь вид:

$$\frac{dt_m}{d\tau} = -K(t_m - T_s) \quad (4.9)$$

где T_s – температура окружающей среды. $T_s = const$.

Разновидностью описанного способа является охлаждение молока фляжными охладителями, опущенными в воду со льдом. Температура воды в процессе будет постоянной, пока не расплавится весь лед. Здесь так же необходимо использовать формулу (4.9).

В связи с большой длительностью процесса установление равновесной температуры T_p при теплообмене через стенку, получить её значение невозможно. В этом легко убедиться на следующем опыте.

В большую емкость с кипящей водой поместим емкость меньшего объема с водой температурой 15°C . Контакт между стенками (дном) большой и малой емкости не допустим. Определить, закипит ли вода в маленькой емкости.

Кипящая вода имеет постоянную температуру 100°C при нормальном атмосферном давлении. Вода в малой емкости закипит только при нагреве её до 100°C .

Пусть через 20 минут вода в малой емкости нагрелась до 50°C . Рассчитаем длительность нагрева воды в малой емкости от 15°C до 100°C .

Дифференциальное уравнение теплопередачи в этом случае имеет вид:

$$\frac{dt_{мк}}{d\tau} = K(100 - t_{мк}) \quad (4.10)$$

где: 100 – температура воды в большой емкости;

$t_{мк}$ – текущее значение температуры воды в малой емкости.

Коэффициент K здесь имеет положительное значение, так как температура воды в малой емкости во времени увеличивается.

Общее решение данного дифференциального уравнения имеет вид:

$$t_{мк} = 100 - ce^{-K\tau} \quad (4.11)$$

Определим значение постоянных c и K :

При $\tau = 0$, $t_{мк} = 15$ °С

$15 = 100 - c \cdot 1$, или $c = 85$ °С

При $\tau = 20$ мин, $t_{мк} = 50$ °С

$50 = 100 - 85 \cdot e^{-20k}$

После преобразований $K \approx 0,0265$ мин⁻¹

Частное решение дифференциального уравнения имеет вид

$$t_{мк} = 100 - 85e^{-0,0265\tau} \quad \text{или} \quad t_{мк} = 100 - 85 \cdot \frac{1}{e^{+0,0265\tau}}$$

Из полученного уравнения видно, что температура воды в малой емкости будет равна 100 °С только при условии $85 \cdot \frac{1}{e^{+0,0265\tau}} = 0$.

Нулевое значение дроби может быть только при $\tau = \infty$. Вывод – вода в малой емкости *не закипит*.

В зависимости от количества и вида исходных данных возникают две группы задач:

Задачи группы А:

1 – заданы массы продуктов и хладоносителя, их начальные температуры и удельные теплоемкости. Требуется рассчитать числовое значение равновесной температуры, к которой будут стремиться температуры продуктов и хладоносителя.

2 – заданы начальные температуры и массы продуктов, начальная температура хладоносителя, удельные теплоемкости теплообменивающих сред. Задано значение равновесной температуры. Требуется рассчитать массу хладоносителя (например, массу воды в бассейне), которая должна обеспечить значение равновесной температуры.

3 – задана масса хладоносителя, начальные температуры хладоносителя и продуктов, удельные теплоемкости, конечные температуры продуктов. Требуется рассчитать массы продуктов, которые можно охладить в этих условиях до заданной температуры.

Задачи группы Б:

1 – задано количество, начальные температуры хладоносителя и продуктов, их удельные теплоемкости, длительность охлаждения (мин., час). Требуется определить, до какой температуры охладится продукция за определенное время.

2 – задано количество, начальные температуры и удаленные теплоемкости хладоносителя и продукции, конечная температура продукции. Требуется определить, за какое время продукция охладится до заданной температуры.

3 – задано количество, начальные температуры и удельные теплоёмкости хладоносителя и продукта. Требуется определить время, по истечении которого температура продукта и температура хладоносителя

будут отличаться друг от друга на Δt градусов ($\Delta t > 0$). Если Δt равно нулю, то время равно бесконечности.

Если хладоносителем является окружающая или ограниченная среда, имеющая постоянную температуру (вода со льдом или кипящая вода при нагреве какого-то продукта) то, несмотря на теплообмен, температура охлаждаемого продукта (или нагреваемого) стремится к значению температуры этой среды, то есть, вычислять значение T_p в этом случае не имеет смысла.

Методика решения всех задач, связанных с теплообменом, основана на законе сохранения энергии (в данном случае тепловой).

Однако решение задач в общем виде приводит к написанию длинномерных, громоздких формул, затрудняющих понимание основ методики расчета, особенно в случаях, когда количество видов охлаждаемых продуктов больше двух.

Для устранения этого недостатка, мы предлагаем исходные данные и расчетные величины при решении задач группы А оформлять в виде таблицы, поясняющей суть *виртуального* смешивания.

При исходных данных из примера Б вычислить время охлаждения, по истечении которого разница между температурой воды в бассейне и температурой молока в емкости будет равна 1°C .

Последовательность расчета.

Решим поставленную задачу сначала в общем виде.

Уравнение охлаждения молока в емкости, помещенной в бассейн с холодной водой, известно. Оно получено при решении предыдущей задачи.

$$t_m = 6,804 + 30,196e^{-0,0137\tau}$$

Для получения уравнения нагрева воды в бассейне необходимо решить дифференциальное уравнение нагрева:

$$\frac{dt_{\text{в}}}{d\tau} = +K(T_p - t_{\text{в}}) \quad (4.12)$$

Здесь коэффициент K имеет знак «+», так температура воды в бассейне повышается.

Общим решением дифференциального уравнения нагрева является:

$$t_{\text{в}} = T_p - C_{\text{в}} e^{-k\tau} \quad (4.13)$$

Определим значение константы $C_{\text{в}}$.

При $\tau = 0$, $t_{\text{в}} = 4^{\circ}\text{C}$:

$$4 = 6,804 - C_{\text{в}} \cdot 1; C_{\text{в}} = 2,804^{\circ}\text{C}$$

Тогда:

$$t_n - t_{\text{в}} = \Delta t = T_p + C_n \cdot e^{-k\tau} - T_p + C_{\text{в}} \cdot e^{-k\tau} \quad (4.14)$$

После преобразований:

$$\Delta t = e^{-k\tau} (C_n + C_{\text{в}}); \quad (4.15)$$

Но $C_n = T_n - T_p$; $C_{\text{в}} = T_p - T_{\text{в}}$.

где T_n ; $T_{\text{в}}$ – соответственно, начальная температура продукта и воды;

T_p – равновесная температура.

После подстановки значений C_n и $C_{\text{в}}$ в (4.15) и преобразований, получим:

$$\tau = \frac{\ln\left(\frac{T_n - T_e}{\Delta t}\right)}{K} \quad (4.16)$$

Численное значение « K » здесь определять нет необходимости, т.к. « K » характеризует интенсивность теплообмена теплого молока с холодной водой через стенку емкости, следовательно, будет одно и то же численное значение в общих уравнениях охлаждения молока и нагрева воды.

Таким образом, расчетное значение « K » для уравнения нагрева воды используем из предыдущего примера, $K = -0,0137 \text{ мин}^{-1}$.

Формулы (4.15; 4.16) показывают, что температура охлаждаемых продуктов во фляжном охладителе снижается по экспоненте с различными показателями степени, стремясь либо к значению равновесной температуры, либо к температуре среды с постоянным значением температуры. В тоже время температура ограниченной охлаждающей среды (хладоноситель) повышается по экспоненте, также приближается к значению равновесной температуры.

Все рассмотренные методики охлаждения жидкотекучих продуктов основаны на теплопередаче от охлаждаемого продукта к хладоносителю за счет теплопроводности.

Наглядное представление характера изменения температуры охлаждаемого продукта и хладоносителя дает графическое изображение процесса (рисунок 3.6, 3.7 глава 3).

Однако для построения графиков изменения температуры требуется очень большой объем вычислительных работ.

Для проведения вычислительных операций в описанных, и им подобных схемах охлаждения жидкотекучих продуктов (молоко, соки, квас, пиво и т.д.) во фляжном охладителе в кафедре «Механизация технологических процессов в АПК» ФГБОУ ВО Оренбургского ГАУ разработана программа для ЭВМ «Фляжный охладитель» (приложение 3).

4.2.3 Методика и результаты определения влияния температуры окружающего воздуха на суточную холодопроизводительность термосифона

В процессе теоретических и практических исследований необходимо выявить показатель, определяющий влияние температуры окружающего воздуха на холодопроизводительность термосифона.

Анализируя результаты проведенных исследований можно утверждать, что замеры температуры воздуха вокруг конденсатора термосифона, температуры воздуха в помещении, температуры воды в льдохранилище и толщины ледяного слоя необходимо проводить не реже одного раза в сутки.

В качестве оборудования для определения холодопроизводительности термосифона нами был смонтирован опытный образец устройства в лаборатории кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» (рисунок 4.6).

В качестве опытного образца нами использовался термосифон ТК32/5.0 М5-03.

Для проведения эксперимента испаритель термосифона был опущен в емкость с водой, а конденсатор выведен через плиту-перекрытие на этаж выше и помещен в морозильную камеру. Кроме того, часть трубы и емкость, которые находились в помещении, были утеплены пеноплексом и светоотражающей пленкой для уменьшения холодопотерь.

Методика проведения эксперимента по определению холодопроизводительности термосифона для замораживания воды заключается в следующем.

Каждые сутки в одно и то же время проводились измерения температуры воздуха в морозильной камере, температуры воздуха в лаборатории, температуры воды в емкости, а так же толщины и формы ледяного слоя вокруг термосифона.

Для проведения эксперимента и получения данных использовали следующие приборы:

- стеклянный ртутный термометр «ГТ-П-4», для местного контроля температуры в трубопроводах, сосудах и других промышленных установках с ценой деления $0,1^{\circ}\text{C}$ (для определения температуры воды в бассейне льдоаккумулятора);

- универсальный термометр «Thermo mark» с ценой деления $0,1^{\circ}\text{C}$ (для определения температуры воздуха в морозильной камере и в лаборатории);

- линейка и циркуль (для определения толщины и формы льда).



Рисунок 4.6 – Лабораторная установка по намораживанию льда вокруг испарителя термосифона

Согласно предложенной методике найдены параметры, которые сводились в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Влияние температуры окружающего воздуха на суточную холодопроизводительность термосифона

№ опыта	Температура воздуха вокруг конденсатора, °С	Температура воды в емкости, °С	Температура воздуха в помещении, °С	Холодопроизводительность, кВт
1	-8	+1	+25	0,106
2	-12	+1	+24	0,255
3	-15	+1	+22	0,302
4	-20	0	+20	0,385
5	-23	0	+19	0,417
6	-27	0	+18	0,443
7	-30	0	+16	0,497

Обработка опытных данных проводилась на ПЭВМ с комплектом программ Mikrosoft Offise 2007 (Excel) и Statistika 6.0 [105, 211, 272, 298].

По результатам опытных значений параметров построены графические зависимости изменения холодопроизводительности термосифона Q от изменения температур t_a (рисунок 4.7).

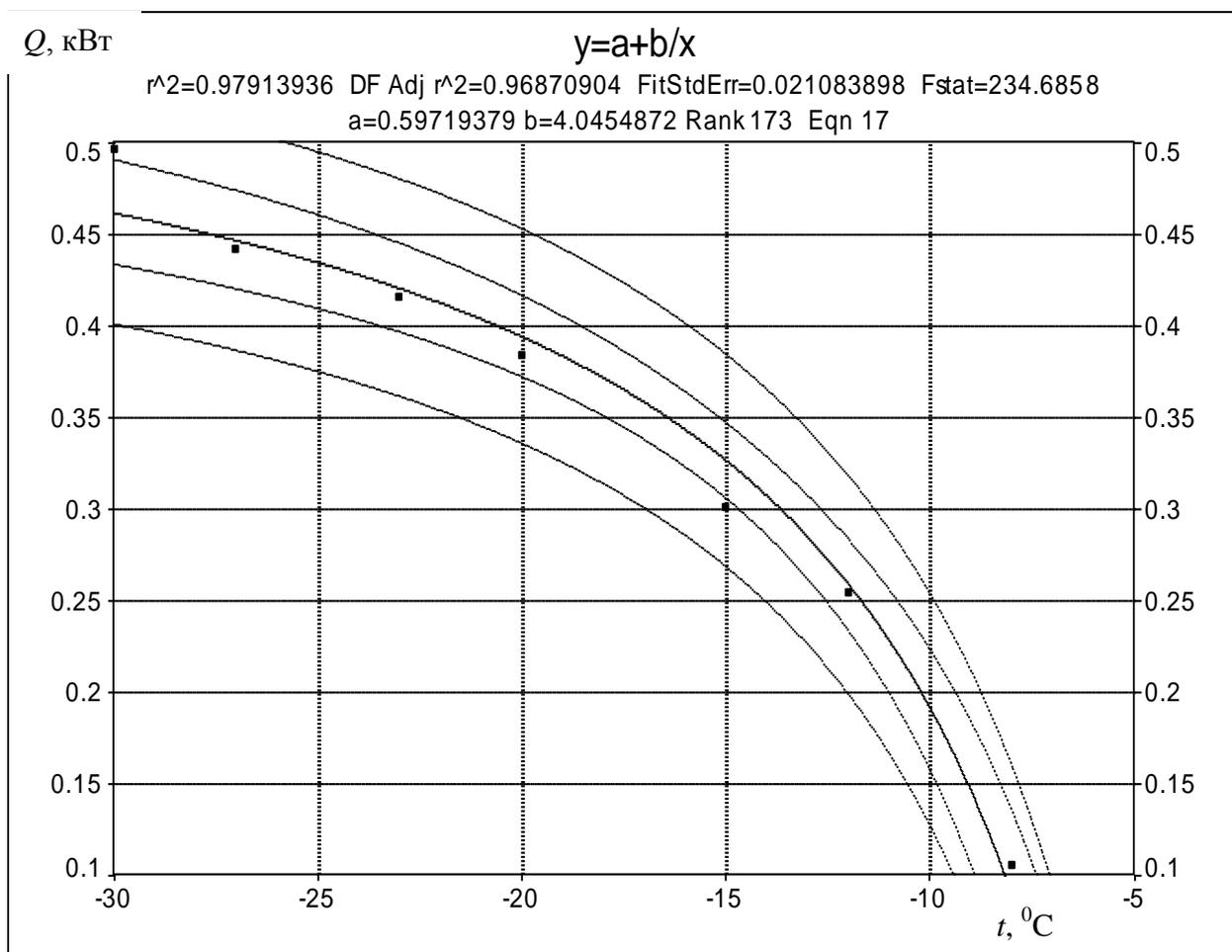


Рисунок 4.7 - Графическое представление $Q = f(t_a)$

Оптимальное значение температуры окружающего воздуха, при которой наблюдается достаточная для интенсивного намораживания льда холодопроизводительность, составляет от -11°C и ниже. Дальнейшее повышение температуры приводит к резкому снижению роста льда на испарительной части термосифона.

Из графического представления видно, что зависимость между истинной величиной отклика и фактором является линейной, поэтому воспользуемся линейной регрессионной моделью первого порядка, имеющей вид:

$$Y_i = a + b / x \quad (4.17)$$

где b , b – свободный член и коэффициент уравнения регрессии, X – факторы.

Уравнение линейной регрессии, описывающее взаимосвязь холодопроизводительности термосифона и температуры окружающего воздуха следующее:

$$Y = 0.597194 + \frac{4.045487}{x}, \quad (4.18)$$

где Y – холодопроизводительность термосифона, кВт, x – температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Из приведенных результатов исследований по влиянию температуры воздуха вокруг конденсатора было выявлено, что средняя холодопроизводительность термосифона за исследуемый период составит 0,344 кВт, что соответствует 29684,571 кДж/сут, средний суточный прирост массы льда при этом составит 88,876 кг.

Следует заметить, что в процессе работы термосифона, лед вокруг него намораживается неравномерно по всей длине испарительной части. Наморозка происходит в форме конуса. Первоначально ледяной слой образуется на верхней части испарительной поверхности и постепенно уменьшается ко дну бассейна. Это обусловлено тем, что конденсат хладагента, стекающий по трубе термосифона, начинает испаряться при контакте термосифона с водой, до нижней части бассейна хладагент дотекает лишь тогда, когда толщина ледяного слоя вокруг термосифона достигает 0,4 м. Однако в процессе увеличения толщины ледяного слоя, он становится цилиндрической формы и холодопроизводительность термосифона снижается. Это обусловлено низкой теплопроводностью льда. Ледяной слой, образовавшийся вокруг термосифона, не имеет пористости и представляет собой абсолютно прозрачный монолит льда. Это говорит о высоком качестве образовавшегося льда.

4.2.4 Методика и результаты исследования изменения холодопроизводительности термосифона при изменении скорости воздуха

Значимым моментом в процессе образования льда является, наряду с температурой, скорость воздушного потока. Анализируя данные Гидрометцентра мы определили, что средняя скорость ветра по Оренбургской области, в зимний период, составляет 3,2 м/с.

Для измерения основного энергетического показателя ветра - его скорости - применяются анемометры. Вспомогательными величинами при энергетических исследованиях ветра, необходимыми для введения некоторых поправок, являются атмосферное давление и температура воздуха. Однако в работе мы принимаем, что температура окружающей среды и

атмосферное давление постоянные, так как эксперимент проводился при постоянной температуре.

В качестве оборудования для определения холодопроизводительности термосифона нами использовался термосифон ТК32/5.0 М5-03, смонтированный в лаборатории кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» (рисунок 4.6).

Для проведения эксперимента испаритель термосифона был опущен в емкость с водой, а конденсатор выведен через плиту-перекрытие на этаж выше и установлен в морозильную камеру. Кроме того, часть трубы и емкость, которые находились в помещении, были утеплены пеноплексом и светоотражающей пленкой для уменьшения холодопотерь. В зоне расположения конденсатора термосифона установлены: вентилятор «VSB-20/0,18/950», с расходом воздуха до 500 м³/час; частотный преобразователь типа «ISD091M21B»; раструб и цифровой анемометр «GM-8901».

Методика проведения лабораторных испытаний следующая.

В процессе исследований на конденсатор термосифона направляется воздушный поток, создаваемый вентилятором (рисунок 4.8). Для повышения точности проводимого эксперимента воздушный поток необходимо направлять по раструбу. Скорость воздушного потока изменялась с помощью частотного преобразователя от 0,7 до 5 м/с и измерялась цифровым анемометром. Температура воздуха вокруг конденсатора при этом не изменялась (-15 °С), и устанавливалась регулятором морозильной камеры.

Снятие параметров работы термосифона проводили при каждом установившемся режиме (скорость, температура) не ранее чем через 30 минут с момента начала эксперимента. По окончании эксперимента вентилятор отключить и полученные экспериментальные данные заносили в таблицу 4.10.

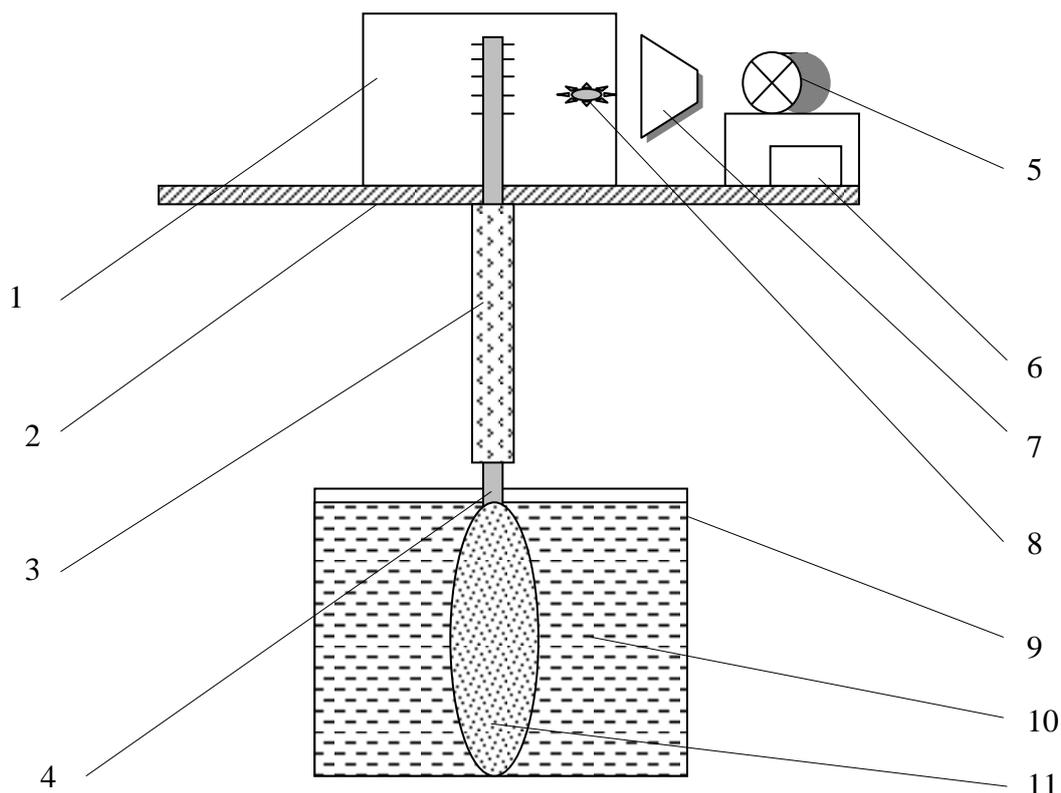


Рисунок 4.8 - Схема проведения эксперимента

1 – морозильная камера; 2 – потолочное перекрытие; 3 – теплоизолятор; 4 – термосифон; 5 – вентилятор; 6 – частотный преобразователь; 7 – раструб; 8 – анемометр; 9 – льдоаккумулятор; 10 – вода; 11 – намораживаемый лед

Таблица 4.10 – Влияние скорости воздушного потока на холодопроизводительность термосифона при температуре наружного воздуха (на конденсаторе) -15°C

№ опыта	Скорость воздушного потока $V_в$, м/с	Температура воды в емкости, $^{\circ}\text{C}$	Температура воздуха в помещении, $^{\circ}\text{C}$	Холодопроизводительность Q , кВт
1	0,7	+1	+25	0,304
2	1,4	+1	+24	0,307
3	2,1	+1	+22	0,310
4	2,8	0	+23	0,311
5	3,5	0	+22	0,312
6	4,2	0	+24	0,314
7	5	0	+25	0,315

Обработка опытных данных проводилась на ПЭВМ с комплектом программ Mikrosoft Offise 2007 (Excel) и Statistika 6.0 [105, 211, 272, 298].

По результатам опытных значений параметров построены графические зависимости изменения холодопроизводительности термосифона Q от скорости воздушного потока v_a (рисунок 4.9).

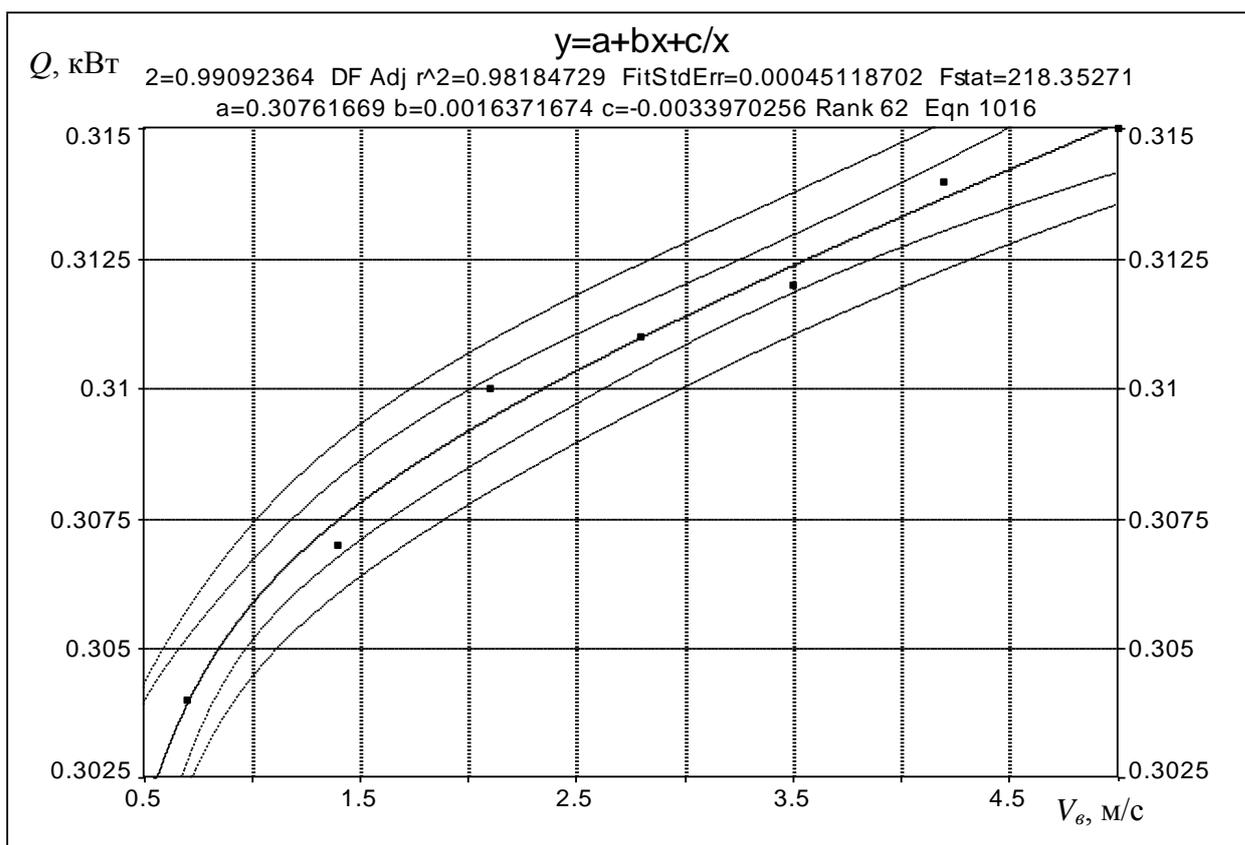


Рисунок 4.9 - Графическая функция $Q = f(v_a)$

Из графической функции $Q = f(v_a)$ видно, что зависимость между истинной величиной отклика и фактором является линейной, поэтому воспользуемся линейной регрессионной моделью первого порядка, имеющей вид:

$$Y_i = a + bx + c/x \quad (4.19)$$

где a , b , c – свободные члены и коэффициент уравнения регрессии, x – фактор (скорость воздушного потока);

Уравнение линейной регрессии, описывающее взаимосвязь холодопроизводительности термосифона и скорости воздушного потока следующее:

$$Y = 0.30761669 + 0.0016371674x + \frac{0.0033970256}{x} \quad (4.20)$$

где Y – холодопроизводительность термосифона, кВт, x – скорость воздушного потока, °С.

Экспериментальные исследования подтвердили, что оптимальное значение скорости воздушного потока, при которой наблюдается достаточная для интенсивного намораживания льда холодопроизводительность, составляет от одного м/с и выше. При увеличении скорости воздушного потока, направляемого на конденсатор термосифона, холодопроизводительность термосифона растет.

4.2.5 Методика определения и результаты распределения температур в толще льда, интенсивности его роста толщины

Основным показателем качественной работы устройств, рассмотренных ранее, является условие послойного намораживания льда в льдоаккумуляторах в зимний период (глава 2). Важный параметр, необходимый для функционирования льдоаккумуляторов, это рассчитанный объем льда для круглогодичного охлаждения молока, который зависит от интенсивности его намораживания. В связи с этим, разработана методика определения распределения температур в толще льда, интенсивности его роста и толщины, которая заключается в следующем.

Для проведения эксперимента был сооружен бассейн (рисунок 4.10), в который была залита пресная вода.



Рисунок 4.10 – Экспериментальный бассейн

При проведении предварительных испытаний было выявлено, что распределение температуры в толще льда и толщина исследуемого слоя в начальный период существенно изменяются в течение короткого времени. Температура воды в бассейне – практически не изменяется. В связи с этим в первую очередь записывались параметры распределения температуры в толще льда и толщина исследуемого слоя и затем регистрировали изменение температуры воды.

Для проведения эксперимента и получения данных использовали медь-константовую термопару ТХК05, ЭДС которой измерялась универсальным вольтметром Э8030. Тарировка термопары осуществлялась с помощью ртутного термометра с ценой деления $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Данный вид термопары выбран из-за простоты в изготовлении и достаточной чувствительности ($40\text{ мкВ}/^{\circ}\text{C}$) при измерении температур в диапазоне $-30\dots+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура воды в бассейне льдоаккумулятора контролировалась с помощью ртутного термометра «ТТ-П-4» с ценой деления $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Время замерзания слоев воды замерялось секундомером. Давление в подледной части – манометром.

Полученные профили температур слоя льда и его толщины в различные моменты времени сравнивались с расчетными величинами.

При экспериментальном определении величин в данном опыте возникли некоторые погрешности, связанные с неточностью изготовления измерительных приборов.

- При тарировке термопары, градуировка выполнялась по трем точкам: 0, 10 и 20 °С. Промежуточные значения выявляли посредством интерполяции многочленом второй степени. В пределах заданных температурных режимов термопара тарировалась с интервалом 0,5 °С при плюсовых температурах. При тарировке температура в бассейне контролировалась при помощи термометра с ценой деления 0,1 °С и погрешностью 0,04 °С при температуре 0...+10 °С.

Измерения проводились с помощью вольтметра без его регулирования после тарировки термопары, поэтому погрешность вольтметра не оказала влияние на погрешность температуры. Погрешность от работы термометра составила: $\Delta T/T \cdot 100 = 0,04/1,97 \cdot 100 = 2\%$.

Толщина слоя льда определялась по величине вмерзания в лед термопары. При условии нахождения термопары на поверхности фазового перехода его температура будет равняться 0 °С. Зная расстояние между рабочим спаем термопары, находящегося на поверхности фазового перехода и поверхностью льда, можно определить толщину его слоя. Расстояние измеряли штангельциркулем с возможной ошибкой 0,05 мм. Погрешность в данном случае составила: $\Delta h_r/h_l \cdot 100 = \sum(\Delta l/l) \cdot 100 = 0,05/3 \cdot 100 = 1,66\%$, где l – расстояние между рабочими спаями термопары.

Согласно предложенной методике для нахождения частных решений проведен эксперимент.

Контроль температуры поверхности, для упрощения эксперимента в связи с аналогичными параметрами, проводили при помощи одной термопары.

Полученные профили температур в слое льда и толщины льда в различные моменты времени сравнивались с их величинами, рассчитанными по формулам (глава 2.4). Ниже приведена обработка результатов серий экспериментов, на основе которых можно выявить влияние температур воды и поверхности льда на динамику роста льда и изменения температурных профилей в его толще.

Температура воды $t_w = 7,4$ °С; температура испарителя термосифона $t_u = -5$ °С.

Температура воды $t_w = 9,8$ °С; температура испарителя термосифона $t_u = -6$ °С.

Полученные в ходе серии экспериментов данные вносили в таблицу 4.11.

По результатам данных, полученных в ходе проведения эксперимента и расчетных параметров, построены графики зависимости толщины льда от времени (рисунок 4.11) и профиль температур в слое льда (рисунок 4.12).

Таблица 4.11 - Зависимость толщины льда от времени снятия замера

№ опыта	Время снятия замера τ ,	Толщина льда δ_l , мм	Толщина льда δ_l , мм
	мин	(эксперимент)	(расчет)
1	0	0	0
2	10	2,5	2,3
3	20	3,4	3,2
4	30	3,8	3,6
5	40	4,1	3,9
6	50	4,3	4,15
7	60	4,4	4,35
8	70	4,5	4,5
9	80	4,6	4,6
10	90	4,7	4,75
11	100	4,8	4,85
12	110	4,9	5

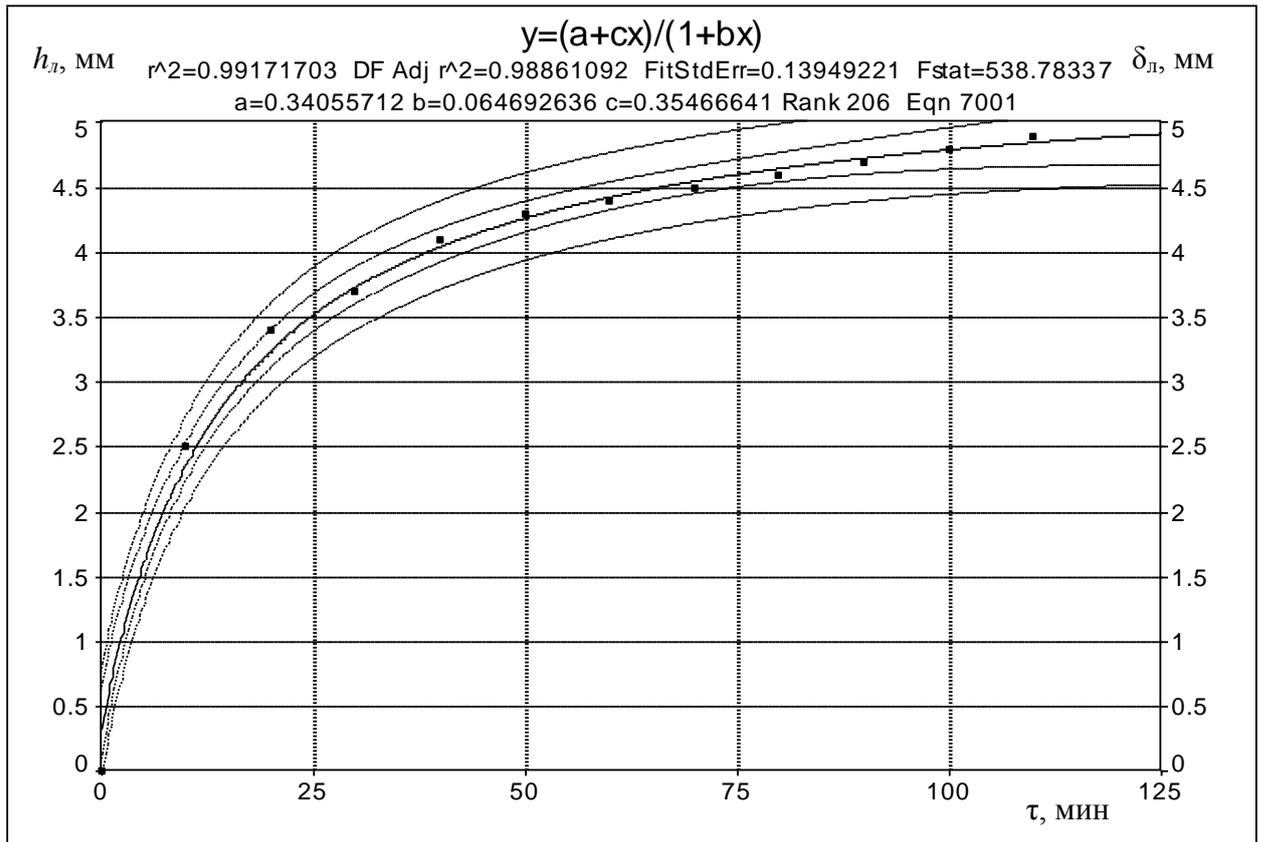


Рисунок 4.11 - Зависимость толщины льда δ_l от времени τ

Уравнение регрессии, описывающее взаимосвязь толщины льда и времени намораживания следующее:

$$Y = \frac{(0.34055 + 0.35466x)}{(1 + 0.06469x)} \quad (4.21)$$

Из графического представления видно, что полученные экспериментальным путем данные подтверждают теоретические расчеты (глава 2.4). По мере увеличения толщины слоя льда увеличивается термическое сопротивление цепочки звеньев теплопередачи: вода – лёд – наружный воздух, что приводит к уменьшению скорости нарастания со временем.

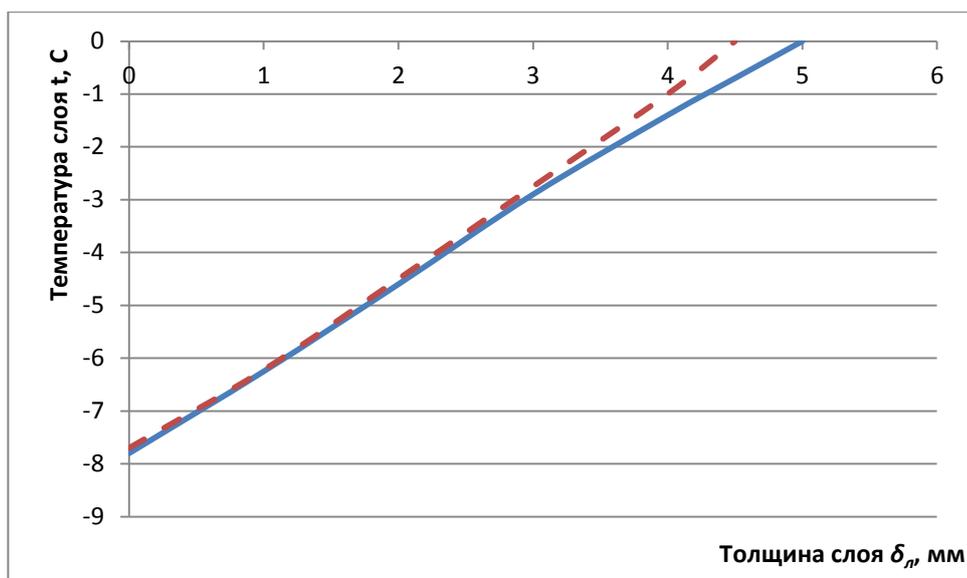


Рисунок 4.12 - Профиль температур в слое льда

- - - - - Распределение на 1ч (эксперимент)
- — — — — Распределение на 1ч (расчетная величина)

Таблица 4.12 - Распределение температуры в толще льда

Толщина льда h_l , мм	Температура слоя, t °C (эксперимент)	Температура слоя, t °C (расчет)
0	-7,8	-7,7
1	-6,25	-6,22
2	-4,6	-4,5
3	-2,9	-2,75
4	-1,4	-1
4,5	-0,7	0
5	0	

После проведения исследований был проведен срез ледяного слоя в различных частях бассейна. Срез показал (рисунок 4.13), что максимальная толщина ледяного слоя в центральной части бассейна и уменьшается по мере удаления от центра к краям бассейна.



Рисунок 4.13 – Срез льда в бассейне при намораживании
поверхностного слоя

Это обусловлено тем, что вода, которая попадает на поверхность бассейна, растекается не равномерно вследствие низкой ее температуры. Слой льда вблизи стенок бассейна такой же, как и в центре. Этот слой плавно переходит на стенки бассейна и имеет пористости вследствие того, что во время заморозки лед лопается и в подледное пространство попадает воздух.

4.2.6 Методика и результаты определения скорости стаивания льда в льдоаккумуляторе в процессе эксплуатации

Для подтверждения адекватности математической модели, необходимо изучить процесс стаивания сферического массива водного льда, составленной в пункте 2.6.

В кафедре «Механизация технологических процессов в АПК» Оренбургского ГАУ был изготовлен экспериментальный стенд, схема и общий вид которого представлены на рисунке 4.14, 4.15.

Стенд состоит из бака с водой 13, подающего насоса 7, емкости с замороженным предварительно в морозильной камере льдом 5, трубопроводов воды 1, 2, 6, 9 с механизмом регулировки подачи через кран.

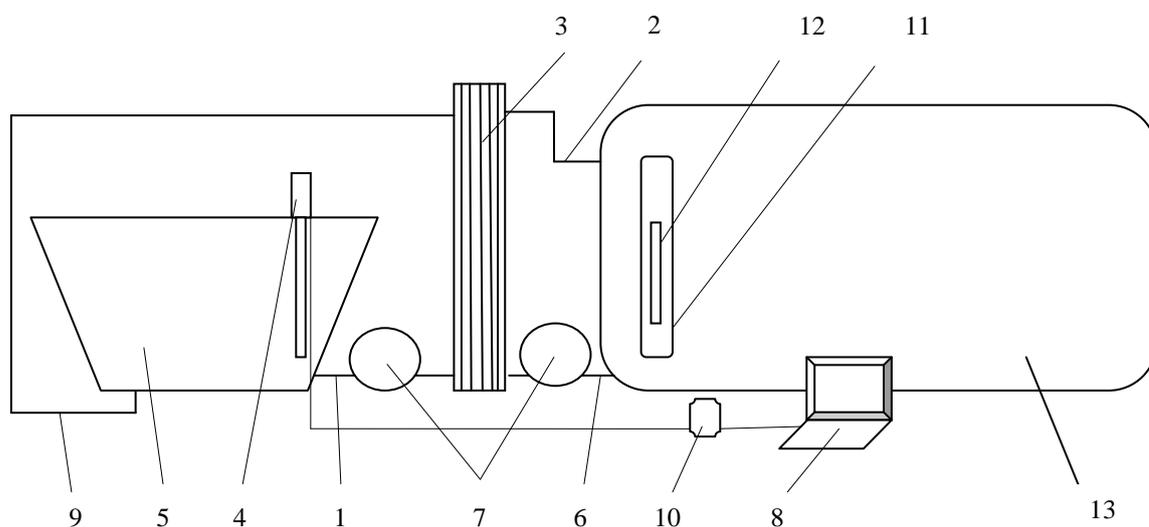


Рисунок 4.14 - Схема экспериментального стенда

1, 2, 6, 9 – шланги подачи воды; 3 – пластинчатый теплообменный аппарат; 4 – термопара; 5 – емкость со льдом; 7 – насос; 8 – ПК; 10 – цифровой приемник-преобразователь; 11 – смотровое окно; 12 – ртутный термометр; 13 – бак с водой.

Теплая вода подается из бака в подледное пространство емкости со льдом, что способствует равномерному омыванию нижней части льда для его равномерного стаивания. Регулирующим вентилем создается необходимый расход воды. Производятся замеры толщины льда до, во время ведения эксперимента и после его завершения.

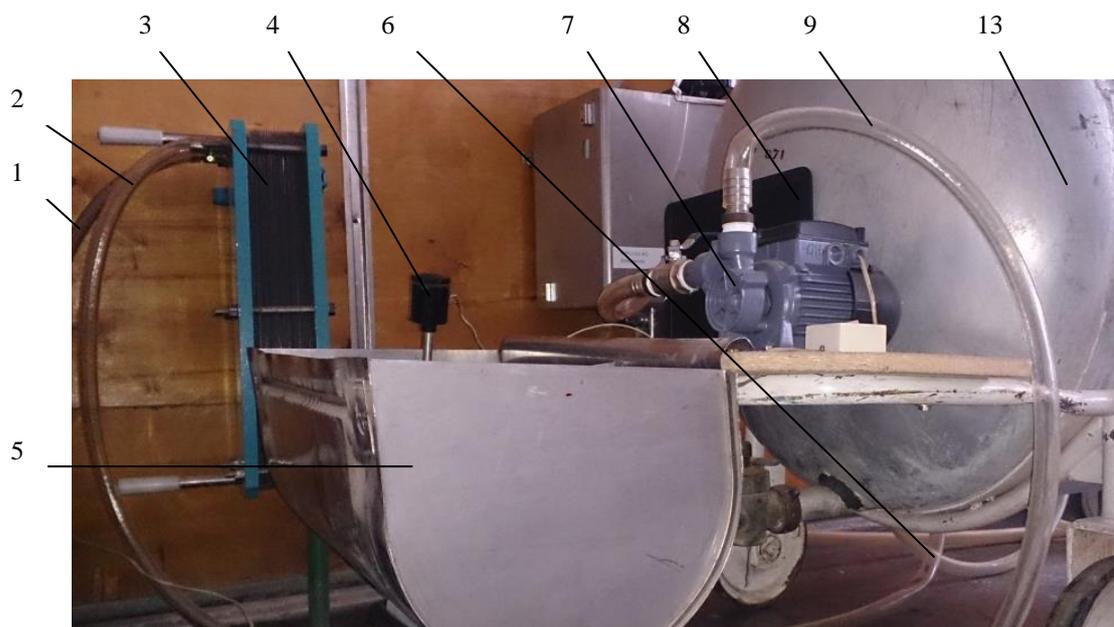


Рисунок 4.15 - Экспериментальная установка по определению скорости стаивания льда

Опыт повторялся с различным временем и скоростью подачи воды в подледное пространство. Затем проводили обработку данных.

Для проведения эксперимента и получения данных использовали медь-константовую термопару ТХК05. Температура воды в баке контролировалась с помощью ртутного термометра «ГТ-П-4» с ценой деления 0,1 °С. Для считывания информации использовали цифровой приемник преобразователь температур ОВЕН УКТ38Ц4. Время оттаивания слоев льда замерялось секундомером.

По результатам данных, полученных в ходе проведения эксперимента и расчетных параметров, построен график зависимости времени стаивания придонной части льда от его толщины (рисунок 4.16).

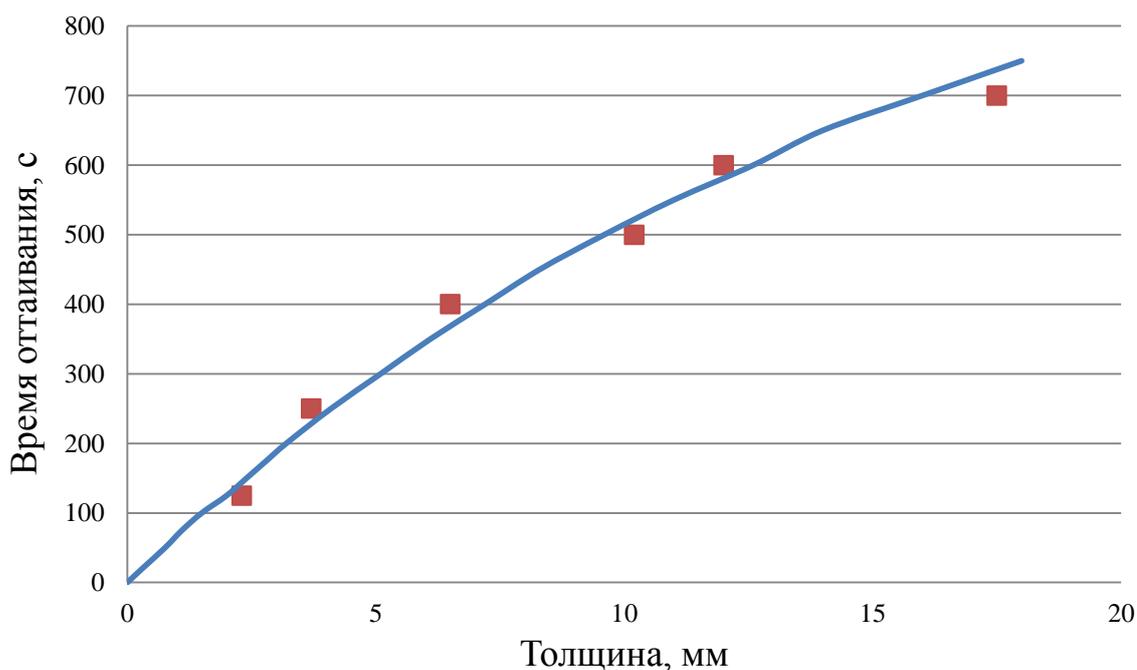


Рисунок 4.16 - Зависимость времени стаивания ледяной сферы от толщины

Результаты проведенных исследований дают возможно сделать заключение о равномерности стаивания льда под воздействием воды. Из графического представления видно, что зависимость между истинной величиной отклика и фактором является линейной. Время стаивания льда соответствует расчетным параметрам.

4.2.7 Методика проведения многофакторного эксперимента по определению холодопроизводительности термосифона

Методика проведения многофакторного эксперимента по определению холодопроизводительности термосифона предполагает построение регрессионной математической модели исходя из результатов наблюдений за объектом исследований – параметрами и режимами работы – при изменяющихся условиях эксперимента, т.е. построение регрессионной модели, описывающей поверхность отклика объекта исследования на различные воздействия в рамках проводимого эксперимента. Соответственно, необходимо выбрать такие управляемые факторы, которые оказывают основное или наибольшее влияние на параметры работы термосифона, и выбирать их возможные значения и значения, установленные опытным путем. При этом следует задаться интервалом возможных значений, определяемым как теоретически, так и опытно-эмпирическим путем [49, 51, 55, 65, 66, 69, 166, 186, 192, 219].

При использовании термосифона для замораживания воды, необходимо выбрать такие факторы, которые оказывают основное или наибольшее влияние на холодопроизводительность термосифона, задаться интервалом возможных значений. В данном случае речь идет об управляемых факторах – факторах, на которые исследователь может оказывать влияние. Исходя из того, что факторы, определяющие оптимальные параметры рассматриваемых нами процессов, происходящие при функционировании термосифона для замораживания воды, достаточно многочисленны, и время проведения экспериментальных исследований многократно увеличивается, то было признано целесообразным проведение многофакторного эксперимента. Данный многофакторный эксперимент планировался на основе известных методик планирования [60, 64, 65, 176, 184, 186, 192, 219].

Чтобы выбрать план эксперимента, необходимо сформулировать критерий оптимизации. Среди математических методов планирования эксперимента, широкое распространение получили методы построения ортогональных планов. Достоинство ортогональных планов заключается в простоте их построения, в обеспечении максимальной точности определения выборочных коэффициентов модели и в существенном уменьшении вычислительных операций [66, 69, 166, 176, 186, 219].

При проведении многофакторного эксперимента по определению холодопроизводительности термосифона, применяется ортогональное планирование эксперимента. Если представить результаты наблюдения за каждым фактором в виде координат векторов в пространстве наблюдений, то коэффициент корреляции между двумя факторами, равен косинусу угла между векторами, который будет равен нулю, если эти векторы перпендикулярны, то есть ортогональны. Условие ортогональности векторов – равенство нулю их скалярного произведения (равенство нулю коэффициентов корреляции). При построении ортогонального плана эксперимента необходимо обеспечить следующие условия ортогональности [1, 73, 74, 75, 88, 166]:

$$\sum_{i \neq j}^N X_i \cdot X_j = 0; i = 1, 2, 3 \dots, k; j = 1, 2, 3 \dots, k; \quad (4.22)$$

$$\sum_{i=1}^N X_i = 0; i = 1, 2, 3 \dots, k; \sum_{i=1}^N X_i^2 = N; i = 1, 2, 3 \dots, k,$$

где N – число опытов;

k – число факторов.

Построение ортогонального плана эксперимента базируется на формировании матрицы планирования. Для ее построения необходимы натуральные значения переменных (управляемых факторов, воздействующих на параметр оптимизации) перевести в кодированные, варьирующие на двух уровнях. Следовательно, перед планированием и построением матрицы

необходимо выбрать параметр оптимизации (отклик). В нашем случае рассматриваем только управляемые факторы, то есть только те, на значение которых мы можем оказывать непосредственное и подлежащее объективной оценке воздействие (факторы, значениями которых мы можем управлять независимо от различных условий). В силу необходимости оценки работы рассматриваемого термосифона, в качестве параметра оптимизации нами принята холодопроизводительность термосифона. Данный параметр позволяет рассматривать интенсивность работы термосифона по всей длине испарительной и конденсаторной части.

Пользуясь как собственными исследованиями, так и опытом других авторов, занимавшихся исследованием процесса работы термосифонов и исходя из математической модели, полученной нами ранее, из числа факторов, влияющих на холодопроизводительность термосифона, нами были выбраны наиболее значимые из них:

- скорость ветра (X_1);
- шаг установки ребер (X_2);
- диаметр оребрения (X_3);
- шероховатость ребер (X_4);

Уровни и интервалы варьирования названных выше факторов в натуральных переменных (в физических значениях) приведены в таблице 3.4. В спектре плана любого факторного эксперимента входят все возможные комбинации k факторов на всех уровнях их варьирования. В нашем случае все факторы изменяются на двух уровнях – этого достаточно для построения линейных регрессионных моделей. Следовательно, общее число таких комбинаций (число элементов спектра плана) равно $N=2^k$. Подобный план обозначен как ПФЭ 2^k .

В нашем случае возможны по четыре комбинации факторов на всех уровнях их варьирования, т.е. $k=4$.

Опираясь на вышеизложенное, нами было принято решение о проведении двухэтапного эксперимента:

1) В первую очередь определим влияние скорости ветра, шага установки ребер, диаметра оребрения и шероховатости поверхности термосифона.

2) Далее, из общего числа возможных вариантов режимных параметров определим те, которые оказывают наименьшее влияние на холодопроизводительность термосифона.

Для установления степени влияния управляемых факторов процесса намораживания льда и определения их оптимальных значений, воспользуемся методикой проведения многофакторного эксперимента.

Для этого зависимости холодопроизводительности термосифона от управляемых факторов процесса льдообразования представим в виде уравнения линейной регрессии, которое для 4-факторного эксперимента имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4 \quad (4.23)$$

где $y = \lg R$ – логарифмическое выражение параметра холодопроизводительности термосифона (отклик модели);

x_1 - переменный фактор в закодированном виде, соответствующий скорости ветра V_B ;

x_2 – переменный фактор в закодированном виде, соответствующий шагу установки ребер P ;

x_3 - переменный фактор в закодированном виде, соответствующий диаметру оребрения D ;

x_4 - переменный фактор в закодированном виде, соответствующий шероховатости R ;

b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 – коэффициенты регрессии при переменных факторах, являющиеся оценками их значимости;

$b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}$ – коэффициенты регрессии, учитывающие значимость взаимного влияния переменных факторов на процесс образования льда.

Кодирование факторов x_1, x_2, x_3, x_4 в уравнении регрессии (4.23) осуществляется по следующим зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(lgt_a - lgt_{amax})}{lgt_{amax} - lgt_{amin}} + 1; \\ x_2 &= \frac{2(lgV_B - lgV_{Bmax})}{lgV_{Bmax} - lgV_{Bmin}} + 1; \\ x_3 &= \frac{2(lgD - lgD_{max})}{lgD_{max} - lgD_{min}} + 1; \\ x_4 &= \frac{2(lgD - lgD_{max})}{lgD_{max} - lgD_{min}} + 1; \end{aligned} \right\} \quad (4.24)$$

Расчет коэффициентов регрессии b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 в уравнении (4.23) осуществляется с учетом знака (\pm) при переменных факторах по зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i; \\ b_i &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i x_{ij}, \end{aligned} \right\} \quad (4.25)$$

где \bar{y}_i – среднее значение логарифма радиуса ледяного слоя вокруг термосифона по четырем параллельным опытам.

Оценка значимости коэффициентов регрессии осуществляли при помощи t – критерия Стьюдента. Коэффициент регрессии b_j статистически значим, если выполняется условие:

$$b_j \geq t_{T(p, \bar{f}_i)} S_{b_j}, \quad (4.26)$$

где $t_{T(p, \bar{f}_i)}$ – табличное значение критерия Стьюдента;

S_{b_j} – среднеквадратичное отклонение коэффициентов регрессии.

Среднеквадратическое отклонение коэффициентов регрессии определяются:

$$S_{b_j} = \sqrt{\frac{S_{y_i}^2}{N}}, \quad (4.27)$$

где $S_{y_i}^2$ – оценка среднего значения дисперсии воспроизводимости опытов:

$$S_{y_i}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2, \quad (4.28)$$

где S_i^2 – дисперсии воспроизводимости параллельных опытов.

Для начала определимся с уровнями варьирования факторов.

Таблица 4.13 - Уровни варьирования переменных факторов при определении холодопроизводительности термосифона

Уровень варьирования	Скорость ветра		Шаг установки ребер		Диаметр оребрения		Шероховатость оребрения	
	V_B	X_1	P	X_2	D	X_3	R	X_4
Основной	3,1	0	4	0	70	0	1,6	0
Верхний	6	+1	8	+1	110	+1	4	+1
Нижний	3	-1	2	-1	30	-1	0	-1

Согласно методике проведения полнофакторного эксперимента с четырьмя переменными факторами на двух уровнях, нам требуется провести шестнадцать независимых опытов ($N = 2^4$). Каждый из опытов при этом должен соответствовать граничной точке экспериментирования.

Матрица плана проведения эксперимента, в которой строки отвечают проводимым опытам, а столбцы X_j – факторам независимого и их взаимного влияния представлена в приложении 10.

Для перевода факторов из натуральных значений факторов в кодированные использовали зависимость:

$$t_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta_i}, \quad (4.29)$$

где t_i – кодированное значение i -го фактора;

x_i – текущее натуральное значение i -го фактора;

x_{i0} – натуральное значение нулевого (основного) уровня i -го фактора;

Δ_i – натуральное значение интервала варьирования i -го фактора.

В нашем случае имеются четыре комбинации факторов на всех уровнях их варьирования ($k=4$).

Для достоверности полученного результата по каждому независимому опыту рекомендуется проводить не менее 3 параллельных опытов с определением каждый раз параметра холодопроизводительности и вычислением его среднеарифметического значения.

Для построения уравнения регрессии в логарифмических координатах, следует представить экспериментальным путем значения толщины ледяного слоя вокруг термосифона как логарифм ее значений с символом y_{ik} , а среднеарифметическое логарифмов как y_c .

При поиске оптимальных значений процесса намораживания льда необходимо определиться со значением выходного параметра, которое будет отвечать необходимым эксплуатационным характеристикам исследуемого процесса.

С практической точки зрения, предпочтительнее при этом получить трехмерные графики зависимостей выходного параметра от приведенных

режимов намораживания льда, чтобы их выбор в совокупности обеспечивал необходимую толщину льда для круглогодичного его использования.

Построение таких графиков возможно при наличии математической зависимости (модели) толщины льда от приведенных факторов, поверхность отклика которой можно представить как геометрическое место точек значений параметров режима, отвечающих одному конкретно заданному параметру Q холодопроизводительности термосифона.

Из выбранного диапазона значений управляемых факторов процесса льдообразования, нам необходимо выявить те значения, которые обеспечивают массу льда, которое наморозит вокруг себя термосифон за зимний период времени в 2751 кг.

Для этого, основываясь на результаты проведенного трехфакторного эксперимента, рассчитаем значения коэффициентов регрессии для последующей подстановки их в уравнение (4.26).

Расчет коэффициентов проводился по формуле (4.27).

Таблица 4.15 – Результаты эксперимента по холодопроизводительности термосифона и их обработка

Parameter Estimates (Spreadsheet) (*Zeroed predictors failed tolerance check) Sigma-restricted parameterization											
	Comment - (B/Z/P)	Var5 - Param.	Var5 - Std.Err	Var5 - t	Var5 - p	-95,00% - Cnf.Lmt	+95,00% - Cnf.Lmt	Var5 - Beta (?)	Var5 - St.Err.?	-95,00% - Cnf.Lmt	+95,00% - Cnf.Lmt
Intercept		0,9	10,04	1,55	0,18	-10,26	41,35	-	-	-	-
"Var1"		-0,9	0,26	-6,07	0,01	-2,28	-0,92	-0,93	0,15	-1,32	-0,53
"Var1"^2	Zeroed*	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
"Var2"		0,72	0,32	0,57	0,60	-0,64	0,99	0,09	0,16	-0,32	-0,49
"Var2"^2	Zeroed*	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
"Var3"		0,4	2,41	0,01	0,99	-6,17	6,20	0,01	0,12	-0,31	0,31
"Var3"^2	Zeroed*	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
"Var1"*"Var2"		0,37	0,01	0,08	0,94	-0,01	0,02	0,01	0,09	-0,23	0,25
"Var1"*"Var3"		0,55	0,06	0,51	0,64	-0,12	0,17	0,07	0,14	-0,29	0,43
"Var4"		0,6	0,9	0,2	0,3	0,4	0,02	0,9	0,45	0,67	0,87
"Var1"*"Var4"		-0,64	0,02	0,1	0,9	-0,02	0,02	0,01	0,09	-0,23	0,25
Var3"*"Var4	Zeroed*	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
"Var2"*"Var4"		0,33	0,01	0,15	0,94	-0,01	0,3	0,01	0,4	-0,5	0,25

Таблица 4.16 – Результаты расчета коэффициентов регрессии

b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_{13}	b_{14}	b_{24}
0,9	-0,9	0,73	0,4	0,6	0,55	-0,64	-0,33

С учетом оценки значимости коэффициентов, уравнение регрессии (4.23) примет вид:

$$Y = 0,9 - 0,9x_1 + 0,73x_2 + 0,4x_3 + 0,6x_4 + 0,55x_1x_3 - 0,64x_1x_4 - 0,33x_2x_4 \quad (4.30)$$

Из полученного уравнения регрессии мы видим, что факторы, взятые нами для эксперимента, выбраны верно. Об этом свидетельствуют коэффициенты регрессии. Они не должны быть больше единицы, но стремиться к ней. Чем ближе значения факторов к единице, тем теснее их связь в общей модели эксперимента.

Проверка адекватности полученной зависимости (4.30) экспериментально полученным значениям толщины ледяного слоя при намораживании его вокруг термосифона осуществляется по F-критерию Фишера, расчетное значение которого должно быть больше (равно) его табличного значения при принятых условиях эксперимента, т.е:

$$F_p \geq F_Q(p; f_{ад}; f_{\bar{y}}) \quad (4.31)$$

При принятых в эксперименте известных $p = 0,95$, $f_{\bar{y}} = 16$ и новом условии - числе степеней свободы дисперсии адекватности, определяемом, как $f_{ад} = N - (k + 1) = 16 - (4 + 1) = 11$, табличное значение критерия Фишера составляет:

$$F_{(0,95; 4; 16)} = 3,01 \text{ (приложение 11).}$$

Расчетное значение F-критерия Фишера больше его табличного значения $F_{(0,95; 4; 16)} = 3,01$. Значит модель (4.30) адекватно описывает процесс следовательно ее можно принять (в качестве рабочей гипотезы) для описания изменения толщины льда в эксперименте.

Как указывалось ранее, значения переменных факторов x_1 , x_2 и x_3 в уравнении регрессии (4.30) находятся в закодированном виде по выражению (4.23).

По результатам экспериментов были построены поверхности отклика для определения оптимального режима работы термосифона для замораживания воды [105, 211, 272, 298].

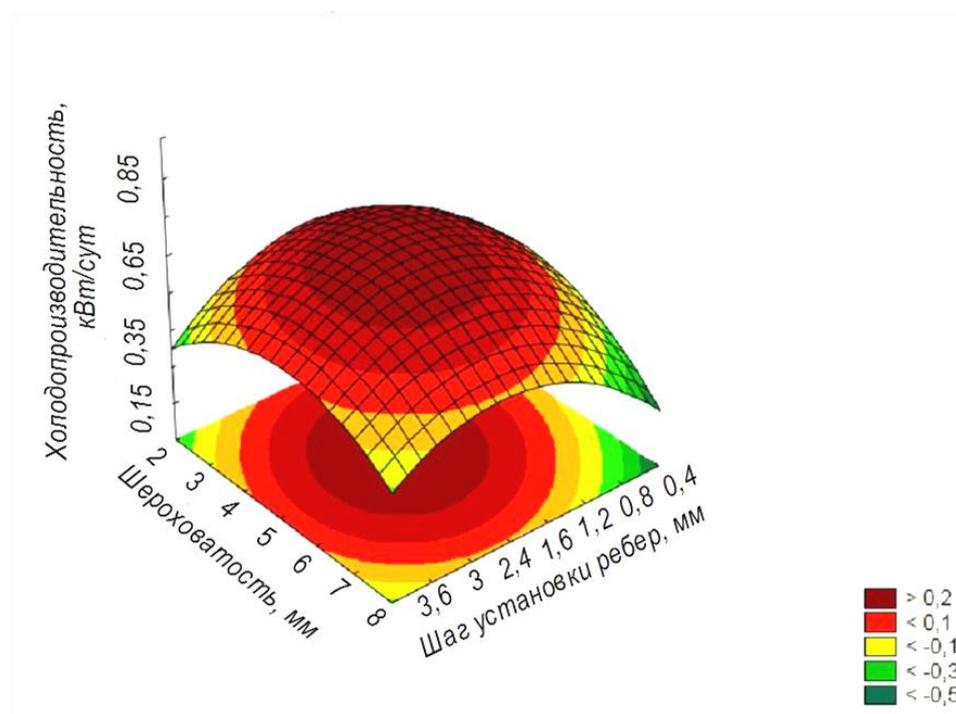


Рисунок 4.16 – Зависимость холодопроизводительности термосифона, (кВт/сут) от шероховатости R , мм и от шага установки ребер P , мм

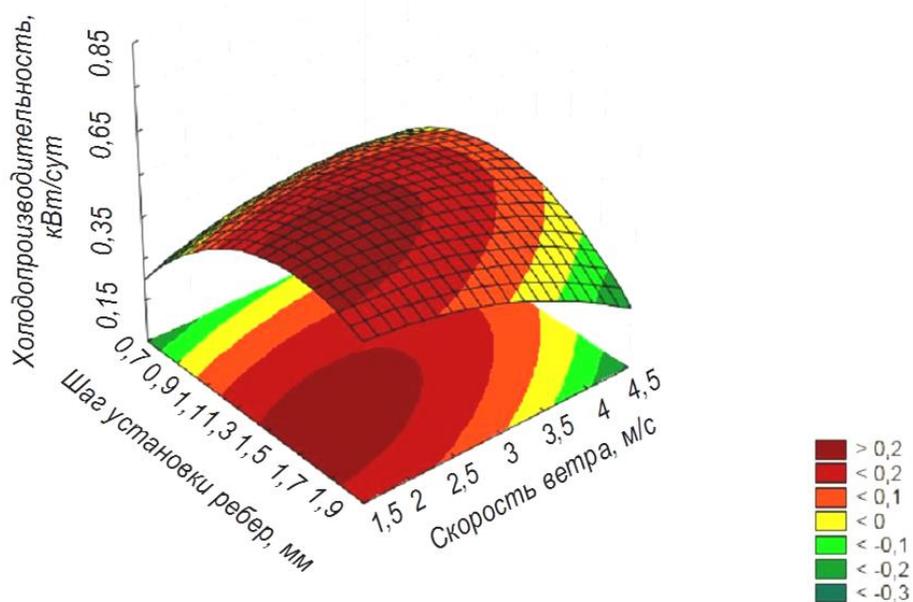


Рисунок 4.17 – Зависимость холодопроизводительности термосифона (кВт/сут) от скорости ветра V_B (м/с), и от шага установки ребер P , мм

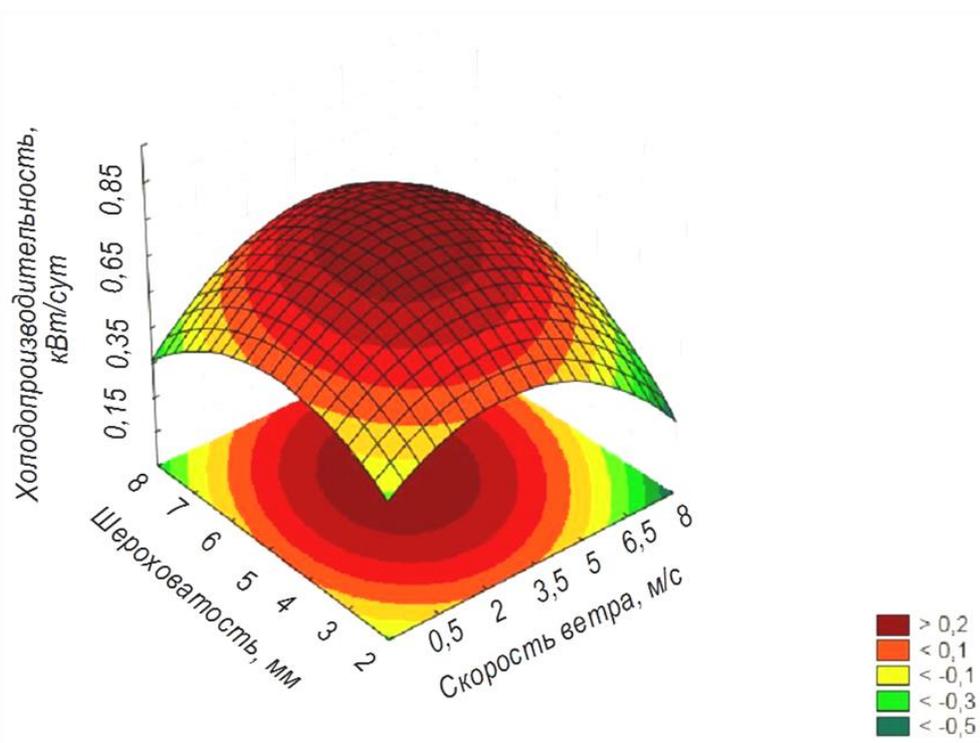


Рисунок 4.18 – Зависимость холодопроизводительности термосифона (кВт/сут) от скорости ветра V_B (м/с) и от шероховатости R , мм

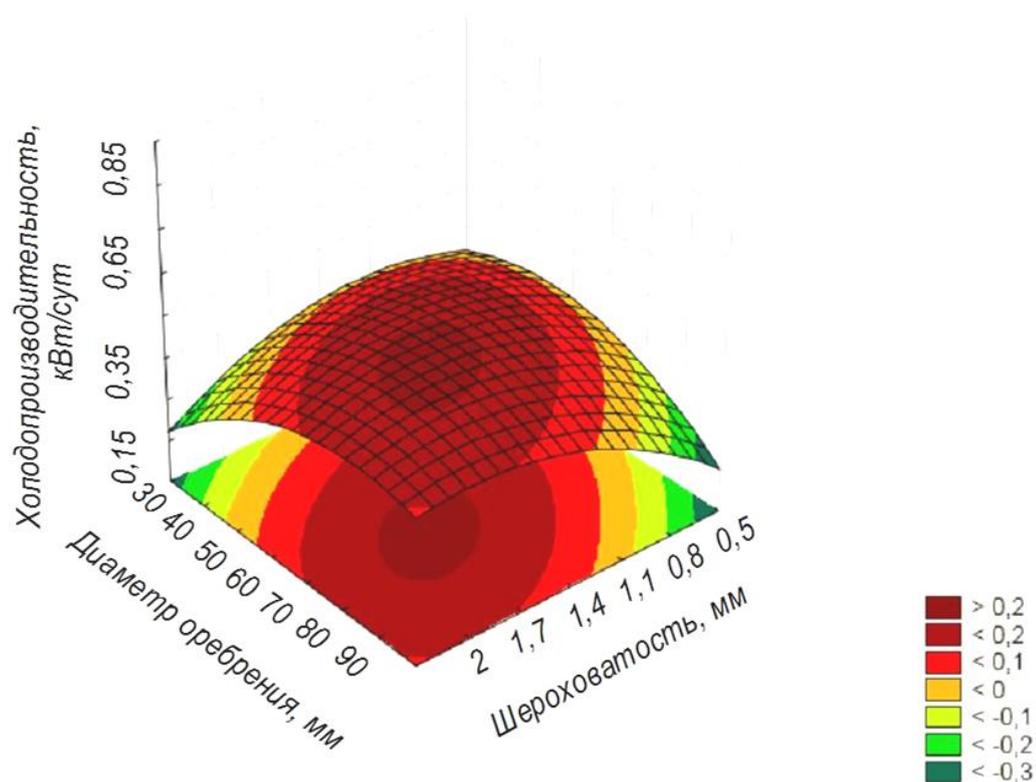


Рисунок 4.19 – Зависимость холодопроизводительности термосифона (кВт/сут) от диаметра ребрения D , мм и от шероховатости R , мм

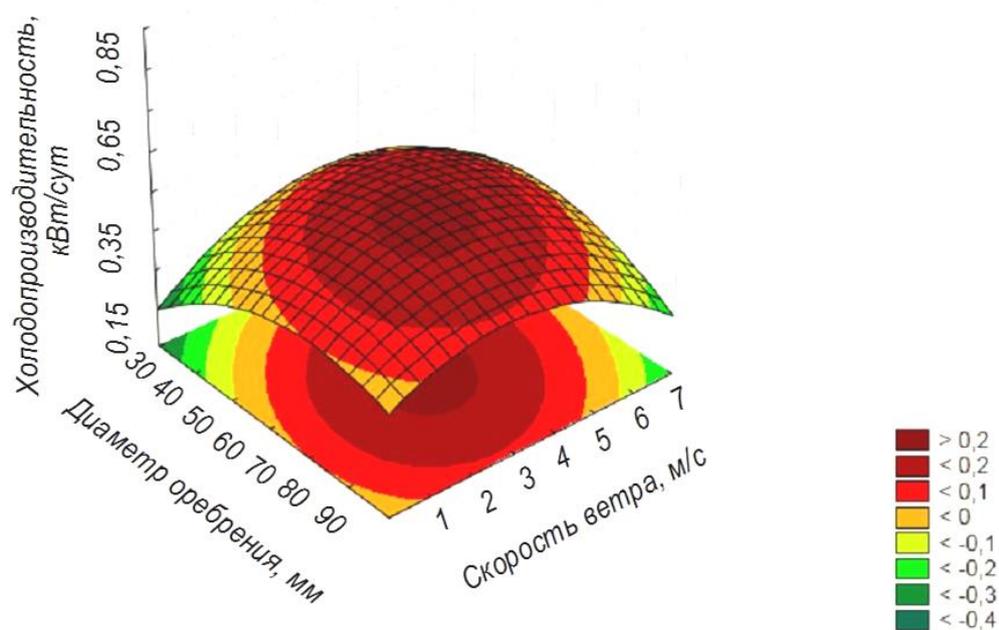


Рисунок 4.20 – Зависимость холодопроизводительности термосифона (кВт/сут) от диаметра ребрения D , мм и от скорости ветра V_v , м/с

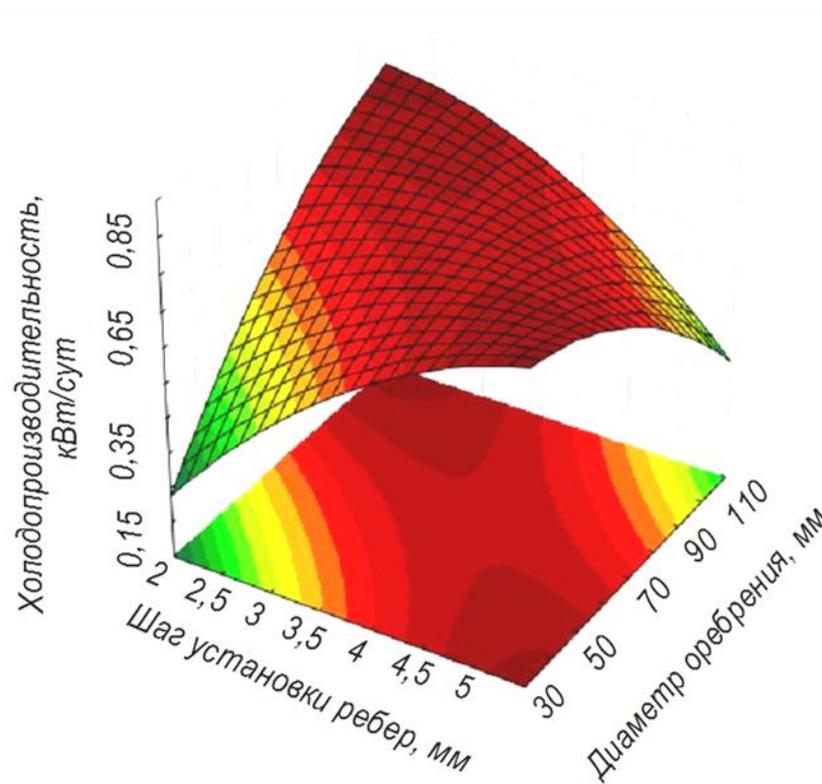


Рисунок 4.21 – Зависимость холодопроизводительности термосифона (кВт/сут) от диаметра оребрения D , мм и от шага установки ребер P , мм

Критерием оптимизации в проводимом многофакторном эксперименте являлась холодопроизводительность термосифонов Y . Анализируя полученные графические зависимости (рисунок 4.16 - 4.21) холодопроизводительности термосифонов от каждого фактора $X_1 - X_4$, были получены следующие оптимальные параметры работы термосифона при замораживания льда:

- скорость ветра $X_1 = 3,1$ м/с и выше;
- шаг установки ребер $X_2 = 4$ мм;
- диаметр оребрения $X_3 = 70$ мм;
- шероховатость $X_4 = 1,6$ мм.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили определить оптимальные параметры, соответствующие наиболее эффективной работе термосифонов.

Необходимо отметить, что лабораторный эксперимент проводился с некоторыми ограничениями. Ограничения связаны с метеоусловиями Оренбургской области. Нами был проведен анализ метеоусловий и выявлено, что средняя скорость ветра в Оренбургской области за последние 20 лет составляет 3,2 м/с, что практически соответствует оптимальной для работы термосифона скорости ветра, полученной экспериментально. Безусловно, чем выше будет скорость ветра, тем выше и холодопроизводительность термосифона. Эксперимент же нами проводился из расчета, что один термосифон наморозит вокруг себя 2751 кг. льда, что необходимо и достаточно для охлаждения молока от 200 коров с годовым удоем от одной коровы более 4000 кг/год.

4.3 Производственные исследования

Опытные образцы термосифонов для замораживания воды и установка для послойного намораживания льда с использованием одно и двух ковшовых дозаторов проходили испытания в производственных условиях, целью которых было выявить их работоспособность и провести корректировку результатов теоретических исследований, для установления окончательных параметров функционирования льдоаккумуляторов.

Исследования проводились в хозяйствах ООО «Ключевское» Пономаревского района, ООО «Пилюгинский АПК» Бугурусланского района и ООО «А7 АГРО» ОП «Благодарное» Ташлинского района, СПК (колхоз) «им. Шевченко» Грачевского района.

Основными факторами, определяющими целесообразность применения оборудования для заготовки и круглогодичного использования естественного холода для охлаждения молока, являются показатели зимних температурных режимов и энергетические характеристики ветра. В связи с этим при проектировании и внедрении разработанных систем особое внимание уделялось мониторингу местности в аспекте изучения зимних

температурных режимов, динамических характеристик и статистических закономерностей ветровых потоков с учетом климатических особенностей, ландшафтной специфики и суточных перепадов.

Исследование аэрологической специфики воздушных потоков над территорией перечисленных ранее районов показало наличие достаточного потенциала ветровых энергетических ресурсов и необходимого количества морозных дней для обеспечения эффективного функционирования льдоаккумуляторов.

При проведении производственных испытаний конструкции льдоаккумуляторов заглубленного типа монтировали под открытым небом, в непосредственной близости к пункту сбора и первичной обработки молока. Боковые стены и дно бассейна гидро и теплоизолировали материалом «Пеноплекс», толщиной 0,2 м и коэффициентом теплопроводности 0,03 Вт/(м⁰С). От придонной части бассейна прокладывали питающий и обратный трубопроводы, диаметром 32 мм, для забора ледяной воды к пластинчатому теплообменнику «ПЛН» в систему охлаждения молока с помощью водяного насоса «Grundfos» с подачей воды от 0,6 до 6 м³/ч. По окончании монтажа бассейн, размером 20х6х3 м³, во всех испытаниях на фермах, заполняли водой.

Целью производственных испытаний базового и разработанных установок для охлаждения молока являлось сравнение их эксплуатационных показателей.

В первой части эксперимента, ОАО «Ключевское» (приложение 8), в бассейн устанавливали испытываемые термосифоны, которые начали функционировать при температуре -6⁰С. Верхняя часть водной поверхности покрылась льдом при температуре -1⁰С. Образование льда на термосифонах происходило внутри замкнутого объема бассейна. Массу льда, намораживаемого в бассейне, определяли в течение четырех месяцев (ноябрь-февраль) с помощью ковшового измерителя-дозатора вместимостью 0,1 м³, количество срабатываний которого регистрировали импульсным

датчиком. За период 120 суток общая масса льда составила $2,9 \cdot 10^5$ кг, что подтвердило теоретические и лабораторные исследования.

Одно, двухковшовые и сифонные дозаторы сброса воды монтировали внутри молочного отделения в системе охлаждения молока. Забор ледяной воды обеспечивали насосом (рисунок 4.22).



Рисунок 4.22 - Подача воды из льдохранилища в систему охлаждения молока в молочном отделении

Во второй и третьей части эксперимента, ООО «Пилюгинский АПК», ООО «А7 АГРО» ОП «Благодарное», СПК (колхоз) «им. Шевченко» (приложение 6, 7, 9) исследовали одно и двух камерные водооборотные льдоаккумуляторы послойного намораживания (рисунок 4.23). Аналогично проводили монтаж теплоизолированных бассейнов рядом с молокоприемным отделением фермы, прокладывали трубопроводы, и начинали эксперимент (первый сброс воды дозатором в бассейн) при температуре от -1 °С.



Рисунок 4.23 - Общий вид льдоаккумулятора холода

Частота срабатывания сифонного дозатора, зависящая от площади водного зеркала бассейна и скорости замерзания слоя воды толщиной от 1,35 до 17,1 мм, уставлена два раза в час. В зависимости от температуры наружного воздуха и скорости ветрового потока изменяли объем дозатора и, следовательно, толщину разливаемой воды следующего намораживаемого слоя (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Результаты эксперимента по послойному намораживанию

№	Объем сбрасываемой воды, м ³	Толщина намораживаемого слоя, h_n , мм
1	0,162	1,35
2	0,258	2,15
3	0,348	2,9
4	0,438	3,4
5	0,532	4,5
6	0,63	4,7
7	0,732	6,1
8	0,82	6,8
9	0,918	7,6
10	1	8,5

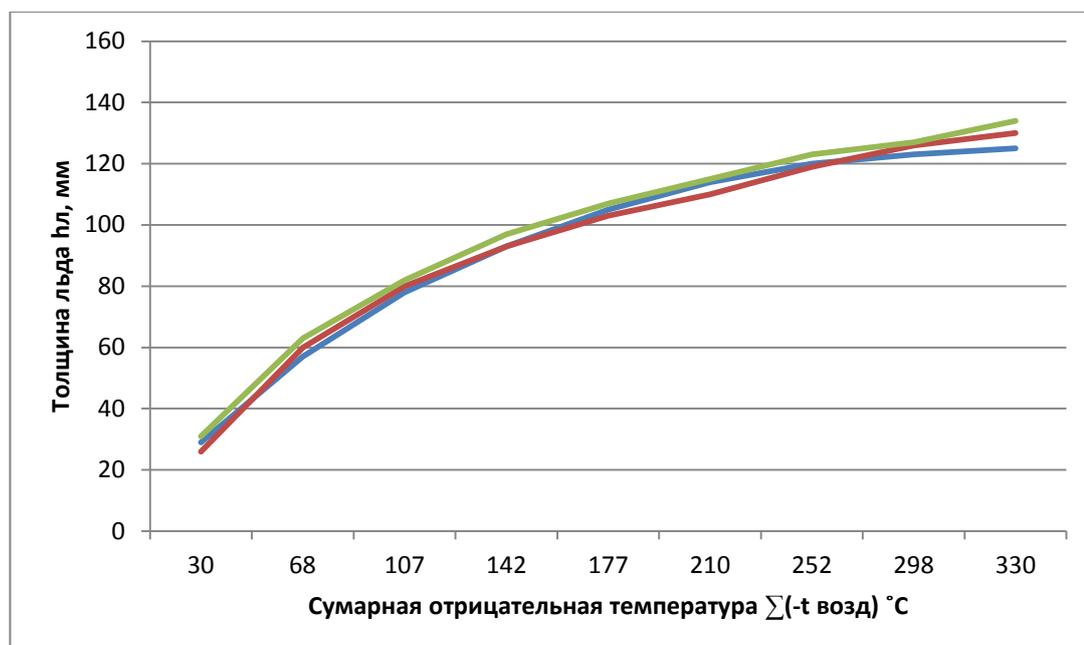


Рисунок 4.24 – Результаты замера толщины льда по районам Оренбургской области.

- Бугурусланский район
- Ташлинский район
- Грачевский район

В процессе исследований эффективность работы льдоаккумуляторов с термосифонами и льдоаккумуляторов послойного намораживания продолжительность охлаждения молока сравнивалась с эффективностью работы холодильных машин, использующихся в хозяйствах. Температура воды, подаваемой на охлаждение молока в процессе доения коров, в начальный период составляла $2,7$ °C, в конце дойки повысилась до $3,9$ °C. Качество охлаждаемого молока определялась согласно ГОСТ 52054.2003.

При проведении производственных испытаний были окончательно установлены значения эксплуатационных параметров, влияющих на холодопроизводительность устройств.

По результатам производственных испытаний и контрольных наблюдений за работой льдоаккумуляторов при замораживании льда естественным холодом и его использования в системе охлаждения молока,

комиссия признала конструкции перспективными и пришла к выводу о целесообразности их дальнейшей эксплуатации.

В течение всего периода проведения производственных испытаний оборудование не имело существенных поломок и неисправностей.

Выводы по результатам экспериментальных исследований.

1. Намеченная программа экспериментальных исследований, в ходе ее исполнения, показала состоятельность выбранных методов.

2. Лабораторные испытания разработанных систем аккумулирования холода позволили подтвердить теоретические выводы роста толщины льда при послойном намораживании, образования льда на термосифонах в среднем и придонном слоях воды в бассейне, в зависимости от конструктивных параметров оборудования и метеорологических условий. Лабораторные испытания показали их работоспособность и высокую надежность. Средняя холодопроизводительность термосифона ТК 32/6,0 составила 0,344 кВт, что соответствует 29684,571 кДж/сутки. Скорость намораживания льда при послойном намораживании увеличивается на 0,5 см/сутки при понижении температуры на каждый градус ниже 0⁰С.

3. Результаты многофакторного эксперимента позволили выявить значимые факторы, влияющие на холодопроизводительность и оптимизировать конструктивные параметры термосифона, значения которых были использованы при конструировании производственного образца для сравнительных испытаний. Шаг установки ребер составил $P = 4$ мм; диаметр оребрения $D = 70$ мм; шероховатость $R = 1,6$ мм.

4. Анализ результатов производственных исследований показал, что при охлаждении молока с помощью естественного холода с использованием послойного намораживания или термосифонной системы, значительно снижаются энергетические затраты на процесс охлаждения молока. Это связано с тем, что предлагаемые устройства во время работы абсолютно автономны и не расходуют никаких видов энергии.

5. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕННЫХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Экономическая эффективность применения и использования результатов научно-исследовательских разработок, изобретений и технологий сельскохозяйственной техники определяется по степени их влияния на конечные показатели сельскохозяйственного производства. Главными показателями принято считать прирост прибыли и повышение производительности труда за счет улучшения качества продукции, сокращения затрат труда и снижения себестоимости произведенной продукции и получаемый хозяйством годовой экономический эффект

При определении необходимости использования предлагаемых конструкций рассчитаем экономическую эффективность [168-171].

Для того чтобы получить сравнительные характеристики экономической эффективности предлагаемой системы охлаждения молока природным холодом годовой потребности мы взяли для сравнения выпускаемую серийно холодильную машину CS-1000 производства ООО «АПК Интер» г. Вологда, который в настоящее время широко применяется на молочно-товарных фермах Оренбургской области.

Для сравнения экономических характеристик предлагаемых систем охлаждения молока и выпускаемой серийно холодильной машины необходимо знать основные параметры, определяющие экономическую эффективность: холодопроизводительность; количество молока, которое нужно охладить за одну дойку; балансовую стоимость; совокупность затрат на приобретение системы охлаждения молока и дополнительных затрат на доставку и обслуживание.

Обозначим показатели, относящиеся к машине CS-1000 индексом «1» (базовый), показатели термосифонной системы намораживания льда для

охлаждения индексом «2», показатели послыной системы намораживания льда для охлаждения индексом «3».

Таблица 5.1 - Исходные данные

№ п\п	Показатели	Числовые значения		
		1	2	3
1	Балансовая стоимость оборудования, руб.	457125	320000	39000
2	Балансовая стоимость помещений, руб.	450000	1800000	1800000
3	Срок полезного использования оборудования согласно ОКОФ, лет.	7	35	10
4	Срок службы помещений	50	50	50
5	Кол-во рабочих (слесарей)	2	1	1
6	Среднемесячная зарплата, руб.	10000	10000	10000
7	Мощность электродвигателей, установленных на оборудовании, кВт.	4	-	$0,48 \cdot 10^{-3}$
8	Холодопроизводительность, кВт.	4	6,4	6,4

Расчетные показатели:

1. Расчет годовых текущих издержек (эксплуатационных затрат) 3 год.

$$Z_{год.} = Z_{пл.} + СН + Z_{эл.} + Аа.зд. + Аа.об. + Z_{то.р.} \quad (5.1)$$

где: $Z_{пл.}$ – зарплата с начислениями обслуживающего персонала;

$СН$ - Размер отчислений на социальные нужды;

$Z_{эл.}$ – затраты на электроэнергию;

$Аа.зд.$ – затраты на амортизацию здания;

$Аа.об.$ – затраты на амортизацию оборудования;

$Z_{то.р.}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание;

$$Z_{1.пл} = 15000 \text{ руб.} \cdot 12 \text{ мес.} \cdot 2 \text{ чел.} = 360000 \text{ руб./год.}$$

$$Z_{2.пл} = 15000 \text{ руб.} \cdot 12 \text{ мес.} \cdot 1 \text{ чел.} = 180000 \text{ руб./год.}$$

$$Z_{3.пл} = 180000 \text{ руб./год.}$$

Размер отчислений на социальные нужды – CH :

$$CH_1 = 180000 \cdot 0,302 \cdot 2 \text{ чел.} = 108720 \text{ руб./год.}$$

$$CH_2 = 180000 \cdot 0,302 \cdot 1 \text{ чел.} = 54360 \text{ руб./год.}$$

$$CH_3 = 54360 \text{ руб./год.}$$

где: 0,365 – коэффициент отчислений на социальные нужды.

Затраты на электроэнергию:

$$Z_{эл.1} = 3 \text{ кВт} \cdot 3467 \text{ час/год.} \cdot 6,77 \text{ руб/(кВт}\cdot\text{ч)} = 70414,77 \text{ руб/год.}$$

где: 6,77 – цена электроэнергии с учетом ежегодного подорожания в течении 7 лет (срок службы CS-1000).

$$Z_{эл.2} = 0, \text{ так как термосифоны не потребляют электроэнергию.}$$

Расход электроэнергии при послойном намораживании складывается из 2-х составляющих:

- Расход электроэнергии нагревательным проводом для отпайки ледяного пласта от стен горловины льдохранилища;
- Расход двигателем водяного насоса, установленного в льдоаккумуляторе для забора воды из подледного (придонного) слоя и подающего ее на сифонный дозатор послойного намораживания.

Нагревательный провод HEATLINE имеет мощность 3,1 кВт.

Отпайка каждого слоя замороженного льда длится 20 мин., т.е. 1/3 часа.

Толщина одного слоя льда составляет 15 см., т.е. 0,15 м. Глубина льдохранилища 5 м. Значит число слоев льда будет равно:

$$5 \text{ м.} / 0,15 \text{ м.} = 34 \text{ слоя.}$$

Общая длительность работы нагревательного провода составит:

$$34 \text{ слоя} \cdot \frac{1}{3} \text{ часа} = 11,33 \text{ часа в год.}$$

Из-за потерь тепла при отпайке ледяного пласта следует увеличить длительность работы провода на 20%. Тогда фактическая годовая длительность составит:

$$11,33 \text{ час} \cdot 1,2 = 13,6 \text{ часа за зимний сезон (т.е. за год).}$$

Расход электроэнергии нагревательным проводом будет равен:

$$13,6 \text{ часа в год} \cdot 3,1 \text{ кВт} = 42,16 \text{ кВт} \cdot \text{часа.}$$

Расход электроэнергии электродвигателем водяного насоса, подающего воду на сифонный дозатор, определим, исходя из следующих соображений. Часовая скорость намораживания слоя « h » определится по формуле В.А. Бобкова [26]:

$$H = 0,14 \cdot t \cdot (1 + 0,5 v) \quad (5.2)$$

где: t – температура морозного воздуха (принимаем -15°C);

v – скорость ветра (принимаем 1 м/с.).

Тогда:

$$h = 0,14 \cdot 15 (1 + 0,5) = 3 \text{ мм в час, т.е. } 0,003 \text{ м/час.}$$

Объем воды, разлитой на площади льдохранилища в 25 м^2 равен:

$$25 \text{ м}^2 \cdot 0,003 \text{ м} = 0,075 \text{ м}^3 \text{ или } 75 \text{ литров.}$$

Принимаем высоту подачи воды – 2 м.

Значит производительность насоса должна быть $0,075 \text{ м}^3/\text{час}$.

Потребляемая мощность в кВт:

$$N = 0,0027 \cdot Q \cdot H / \eta_H \quad (5.3)$$

где: Q – производительность насоса, $\text{м}^3/\text{час}$;

H – напор, м. вод. см;

η_H – К.П.Д. насоса, равное 0,8.

$$N = 0,0027 \cdot 0,075 \cdot 2/0,8 = 0,52 \cdot 10^{-3} \text{ кВт.}$$

Общая длительность работы насоса за сезон (90 суток) равен:

$$90 \cdot 24 \text{ ч.} = 2160 \text{ час.}$$

Расход электроэнергии за зимний сезон насосом составит:

$$0,51 \cdot 10^{-3} \cdot 2160 = 1,1 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$Z_{эл3} = (14,16 + 1,1) \text{ кВт} \cdot \text{час} \cdot 6,77 \text{ руб.} = 103,31 \text{ руб.}$$

Отчисление на амортизацию оборудования – АО:

$$AO_1 = 457215 \text{ руб.} / 7 \text{ лет} = 65303,57 \text{ руб./год.}$$

$$AO_2 = 320000 / 35 \text{ лет} = 9142,86 \text{ руб./год.}$$

$$AO_3 = 39000 / 10 \text{ лет} = 3900 \text{ руб./год.}$$

Отчисление на амортизацию зданий – Азд.:

$$Aзд_1 = 450000 \text{ руб.} / 50 \text{ лет} = 9000 \text{ руб./год.}$$

где: 450000 – балансовая стоимость помещения для размещения холодильной машины, руб.

$$Aзд_2 = 1800000 / 50 \text{ лет} = 36000 \text{ руб./год.}$$

$$Aзд_3 = 1800000 / 50 \text{ лет} = 36000 \text{ руб./год.}$$

где: 1800000 – стоимость строительства льдохранилища, руб.

Затраты на ТО ремонт – $Z_{то.p}$:

$$Z_{то.p_1} = 457125 \text{ руб.} \cdot 9,9/100 = 45255,38 \text{ руб./год.}$$

где: 9,9 – нормативный коэффициент (%) на ТО и ремонт.

$Z_{то.p_2} = 0$, так как термосифоны не требуют ТО и ремонта.

$$Z_{то.p_3} = 39000 \cdot 9,9/100 = 3861 \text{ руб./год.}$$

В итоге годовые эксплуатационные затраты равны:

$$31.год = 360000 + 108720 + 70414,77 + 65303,57 + 9000 + 45255,38 = 658693,72 \text{ руб./год.}$$

$$32.год = 180000 + 54360 + 0 + 9142,86 + 36000 + 0 = 279502,86 \text{ руб./год.}$$

$$33.год = 180000 + 54360 + 103,31 + 3900 + 36000 + 3861 = 278224,31 \text{ руб./год.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения разработанной системы охлаждения молока на нашей ферме равен:

$$\mathcal{E}_2 = 31.год - 32.год;$$

$$\mathcal{E}_2 = 658693,72 - 279502,86 = 379190,86 \text{ руб./год.}$$

$$\mathcal{E}_3 = 658693,72 - 278224,31 = 380469,41 \text{ руб./год.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений при использовании разработанных систем равен:

$$T_{2.ок} = \kappa_2 / (31.год - 32.год) = 1800000 + 320000 / 379190,86 = 5,59 \text{ года.}$$

$$T_{3.ок} = \kappa_3 / (31.год - 33.год) = 1800000 + 39000 / 380469,41 = 4,83 \text{ года.}$$

Таблица 5.2 – Расчетные показатели экономической эффективности охлаждения молока естественным холодом

Показатель		Варианты			Изменения: +экономия -перерасход	
		1 базовый	2 термосиф оны	3 послойно е	2	3
Стоимость, руб.						
1.	Помещения	450000	1800000	1800000	-1350000	-1350000
2.	Оборудования	457125	320000	39000	+137125	+418125
Эксплуатационные затраты, руб.						
1.	Зарплата с начислениями	468720	234360	234360	+234360	+234360
2.	Электроэнергия	70414,77	0	103,31	+70414,77	+70311,46
3.	Амортизация					
3.1	оборудования	65307,57	9142,86	3900	+56160,71	+61403,57
3.2	помещения	9000	36000	36000	-27000	-27000
4.	ТО и ремонт	45255,38	0	3861	+45255,38	+41394,38
5.	Удельные затраты на охлаждение, руб/т·год	315	90	83		
6.	Срок окупаемости, лет		5,59	4,83		

Анализ результатов экономической эффективности предлагаемых конструктивных разработок (таблица 5.2) и возможность применения их в условиях Южного Урала позволил сделать **следующее заключение**.

Использование естественного холода (в виде замороженного льда годовой потребности) в системах охлаждения молока на ферме 200 голов позволит:

1. Уменьшить в отделении первичной обработки молока число рабочих на 1 чел;
2. Уменьшить годовые эксплуатационные издержки за счет сокращения затрат:
 - на зарплату (во втором и третьем вариантах на 50%);
 - на электроэнергию (во втором варианте на 100%, в третьем на 99%);

- на амортизацию оборудования (во втором варианте на 86%, в третьем на 94%);
- на ТО и ремонт оборудования (во втором варианте на 100%, в третьем на 91,5%).

Сокращение затрат на охлаждение позволит снизить общую себестоимость производства молока на молочно-товарной ферме с поголовьем 200 голов и годовым удоем 4000 литров на 0,87 рублей за килограмм, при использовании льдохранилища с термосифонами, и на 0,88 рублей за килограмм при использовании льдохранилища с послойным намораживанием. Годовой экономический эффект при использовании разработанных систем составил 379190,86 и 380469,41 рублей соответственно.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Проблема сохранения качества молока при его получении является актуальной не только для крупных молочно-товарных ферм, но и для крестьянских и фермерских хозяйств. Это обосновало необходимость поиска новых решений проблемы с разработкой методологии исследований для различных жизненных циклов технического объекта, позволяющих сохранить качество молока за счет его своевременного и качественного охлаждения, гарантировать стабильность параметров системой их контроля, создать эффективный процесс круглогодичного охлаждения получаемой продукции.

2. Анализ исследований по охлаждению молока с помощью естественного холода, классификация известных технических решений создали предпосылки обоснования новых систем водооборотных льдоаккумуляторов, позволяющих снизить затраты на процесс охлаждения. Такие системы и технологии имеют большие преимущества перед существующими и являются актуальными для современного сельского хозяйства при охлаждении молока.

3. Получены математические модели процесса послойного намораживания и накопления льда вокруг испарителя термосифона. Полученные модели адекватны, что подтверждено экспериментальными исследованиями. Установлено, что один термосифон с длиной испарителя 3м за зимний период в условиях Оренбургской области намораживает массу льда 2751 кг., что достаточно для охлаждения молока годового удоя от двух коров продуктивностью более 4000 кг/год с 30 до 4 °С.

4. Определены рабочие объемы льдохранилищ при послойном намораживании льда в зависимости от годового объема молока. Разработана конструкция одноковшового дозатора воды в системе водооборотного льдоаккумулятора.

5. Закономерности, полученные в результате теоретических и экспериментальных исследований позволили обосновать конструкцию термосифона с термонасадкой для замораживания воды, увеличивающую холодопроизводительность по сравнению с серийными термосифонами.

6. Обоснованы льдохранилища для хранения пищевых продуктов, которые защищены патентами РФ. Они явились базовой платформой их дифференциации и дальнейшего совершенствования, с тем, чтобы повысить эффективность процесса охлаждения получаемой продукции. Разработанные программы для ЭВМ, защищенные свидетельствами РФ, позволяют рассчитать и подобрать оборудование для охлаждения. Изготовленные экспериментальные модели систем охлаждения молока с помощью естественного холода позволили подтвердить теоретические выводы.

7. Теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать предохранительное устройство для защиты стен льдохранилища от разрушения при намораживании льда. Данное устройство, кроме того, регистрирует объем вытесненной воды из бассейна в процессе намораживания и определяет массу намораживаемого льда за определенный период времени.

8. Разработаны частные методики и технические средства для их реализации и определения:

- тепловизионного исследования температурных режимов работы термосифона;
- расчета теплообменных процессов во фляжном охладителе;
- влияния температуры воздуха вокруг конденсатора термосифона на холодопроизводительность;
- влияния скорости воздушного потока на холодопроизводительность термосифона;
- распределения температур в толще льда, интенсивности его роста и толщины;

- скорости оттаивания льда в льдоаккумуляторе в процессе эксплуатации.

9. Многофакторный эксперимент позволил определить технологические и конструктивно-режимные параметры термосифона, влияющие на закономерности изменения параметра оптимизации (холодопроизводительности) от четырех варьируемых факторов и их значения: скорость воздушного потока 3,1 м/с, шаг установки ребер 4 мм., диаметр оребрения 70 мм., шероховатость оребренной части 1,6 мм.

10. Расчеты экономической эффективности применения предлагаемых систем охлаждения молока выполнены на основе сравнительных затрат на охлаждение молока машинным и природным холодом. Использование естественного холода (в виде льда годовой потребности) позволит уменьшить годовые эксплуатационные издержки за счет сокращения затрат: на зарплату; на электроэнергию; на амортизацию оборудования; на ТО и ремонт оборудования. Сокращение затрат на охлаждение позволит снизить общую себестоимость производства молока на молочно-товарной ферме на 0,87 рублей за килограмм продукции, при использовании льдохранилища с термосифонами, и на 0,88 рублей за килограмм при использовании льдохранилища с послойным намораживанием льда. Годовой экономический эффект при использовании разработанных систем на ферме 200 коров с годовым удоем 4000 кг составил 379190,86 и 380469,41 рублей соответственно.

Список литературы

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. - М.: Машиностроение, 1976. - 279 с.
2. Алексеев, Е.Р. Самоучитель по программированию на Free Pascal и Lazarus / Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова, Т.В.Кучер. - Донецк.: ДонНТУ, Технопарк ДонНТУ УНИТЕХ, 2009. - 503с.
3. Алексеев, С.Б. Кризис теплообмена в вертикальных парогенерирующих каналах при отсутствии циркуляции теплоносителя. Критическая мощность каналов различной формы / С.Б. Алексеев, С.В. Светлов, Ю.Н. Илюхин, В.О. Кухтевич, В.Г. Сидоров // Теплофизика высоких температур. - 2001. - № 1. - С. 132.
4. Алешкин, Б.Р. Механизация животноводства / Б.Р. Алешкин, П.М. Рощин. -М.: Агропромиздат, 1993. - 336 с.
5. Аникин, Г.В. Тепломассо-перенос в вертикальном парожидкостном термосифоне / Г.В. Аникин, Л.С. Поденко, В.Н. Феклистов. // Криосфера Земли. - 2008. - т. 8. - №3. - С. 54.
6. АПК Интер [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.apk-inter.u
7. Архангельский, И.И. Санитария производства молока / И.И. Архангельский. -М.: Колос, 1976. - 312 с.
8. Архив погоды в Центральном Федеральном округе России. URL. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.meteo-tv.ru/weather/archive/?month=3&year=2016> (дата обращения 09.05.2016).
9. Астапов, А.Ю. Обработка молока низкоинтенсивным инфракрасным излучением: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.20.02 / Андрей Юрьевич Астапов. - Мичуринск, 2013. - 16 с.
10. Атраментов, А.Г. Совершенствование первичной обработки молока / А.Г. Атраментов. -М.: ВО «Агропромиздат», 1990. - 63 с.

11. Афанасьев, Д.Е. Энергосбережение в сельском хозяйстве Якутии / Д.Е. Афанасьев. - Якутск: МГП «Полиграфист», 1995. - 221 с.
12. Ахметзянов, М.Т. Льдоаккумулятор для первичного охлаждения молока / М.Т. Ахметзянов, А.В. Надточий // Холодильная техника. - 2007. - №4. - С. 24.
13. Баатар, Д. Численное решение многопараметрической задачи на собственные значения и повышение точности разностного решения / Д. Баатар, Т.П. Пузынина, И.В. Пузынин. - Дубна: ОИЯИ, 1982. - 16 с
14. Бабкин, В.П. Механизация доения коров и первичной обработки молока / В.П. Бабкин. - М.: Агропромиздат, 1986. - 271 с.
15. Базенков, В.Ф. Практикум по механизации животноводческих ферм / В.Ф. Базенков, С.В. Мельников, П.К. Жевлаков. -Л.: Колос, 1965. - 146 с.
16. Барабанщиков, Н.В. Молочное дело: учебное пособие для студентов / Н.В. Барабанщиков. - М.: Агропромиздат, 1990. - 350 с.
17. Барабанщиков, Н.В. Обеспечение фермерского хозяйства холодом / Н.В. Барабанщиков // Молочное и мясное скотоводство. - 1995. - № 6. - С.7
18. Безродный, М.К. О верхней границе максимальной теплопередающей способности испарительных термосифонов / М.К. Безродный // Теплоэнергетика. - 1978. - № 8. - С. 63.
19. Безродный, М.К. Влияние давления промежуточного теплоносителя на критические тепловые потоки в испарительных термосифонах / М.К. Безродный М.К., Д.В. Алексеенко // Известия вузов. Энергетика. - 1977. - № 4. - С. 80.
20. Безродный, М.К. Исследование кризиса тепломассо-переноса в низкотемпературных бесфитильных тепловых трубах / М.К. Безродный, Д.В. Алексеенко // Теплофизика высоких температур. - 1977. - т. 15. - № 2. - С. 370.
21. Безродный, М.К. Двухфазные термосифоны в промышленной теплотехнике / М.К. Безродный, С.С. Волков, В.Ф. Мокляк. // Киев.: «Вища школа», 1991. - 75 с.

22. Безродный, М.К., Предельный теплоперенос в горизонтальном двухфазном термосифоне / М.К. Безродный, В.М. Подгорецкий // Инженерно-физический журнал. - 1990. - т. 58. - № 1.-С. 63
23. Безродный, М.К. Исследование максимальных тепловых потоков в наклонных испарительных термосифонах с внутренними вставками / М.К. Безродный, А.А. Сахацкий // Известия вузов СССР. Энергетика. - 1979. - № 4. - С. 76.
24. Безродный, М.К. Исследование максимальных тепловых потоков в двухфазных термосифонах с внутренними вставками / М.К. Безродный, С.Н. Файнзильберг, Н.Ю. Колоскова, А.И. Белойван // Известия вузов СССР. Энергетика. - 1976. - № 8. - С. 55.
25. Беленький, Н.Г. Санитарно-гигиеническое качество заготавливаемого молока и пути его улучшения / Н.Г. Беленький, Н.С. Королева, И.П. Даниленко, В.В. Молочников. -М.: Колос, 1980.
26. Бобков, В.А. Инструкция по заготовке и хранению естественного льда / В.А. Бобков. -М.: типолит. Министерства мясной и молочной промышленности СССР, 1947. - 32 с.
27. Бобков, В.А. Промышленная заготовка и хранение льда / В.А. Бобков. - М.: Пищепромиздат, 1947. - 96 с.
28. Бобков, В.А. Применение холода для хранения сельскохозяйственных продуктов / В.А. Бобков. -М.: Сельхозиздат, 1963. - 55 с.
29. Бобков, В.А. Производство и применение льда / В.А. Бобков. - М.: Пищевая промышленность, 1977. - 230 с.
30. Бобровский, С.И. Самоучитель программирования на языке С++ в системе Borland С++ Builder 5.0 / С.И. Бобровский. -М.: ДЕСС КОМ: I-Press, 2001. - 272 с.
31. Богородский, В.В. Лед: Физические свойства. Современные методы гляциологии / В.В. Богородский, В.П. Гаврило. -Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 384 с

32. Бородин, К.Г. Россия в условиях ВТО: аграрный аспект: монография / К.Г. Бородин, В.Д. Гончаров, С.В. Иванова, В.В. Рау, А.С. Строков. - Москва, 2015. - 279 с.
33. Бородин, И.Ф. Основные направления сбережения электрической энергии в сельском хозяйстве / И.Ф. Бородин // Энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 2-ой Международной научно-технической конференции. К 70-летию ВИЭСХ. Часть 1. -М.: ВИЭСХ, 2000. - 488 с.
34. Босин, И.Н. Охлаждение молока на комплексах и фермах / И.Н. Босин. -М.: Колос, 1993. - 46 с.
35. Босин, И.Н. Аккумулятор естественного холода / И.Н. Босин // Сельский механизатор - 1997. - № 4. - С. 32.
36. Босин, И.Н. Применение естественного холода для охлаждения молока / И.Н. Босин. - Саранск.: Мордовское областное правление ВАНТО, 1989. - 52 с.
37. Бредихин, С.А. Технология и техника переработки молока: учебное пособие / С. А. Бредихин. - 2-изд., доп. - Москва: ИНФРА-М, 2016. - 441 с.
38. Бузин, В.А. Ледовые процессы и явления на реках и водохранилищах / В.А. Бузин, А.Т. Зиновьев. - Барнаул.: ООО «Пять плюс», 2009. - 167 с.
39. Бурмакин, А.Г. Справочник по производству замороженных продуктов / А.Г. Бурмакин. - М.: Пищевая промышленность, 1970. - 464 с.
40. Буянов, О.Н. Холодильное технологическое оборудование / О.Н.Буянов, Н.Н.Воробьева. - Кемерово, 2004. - 137 с.
41. Быдин, Ф.И. Зимний режим рек и методы его изучения «Исследования рек СССР» / Ф.И. Быдин. - Л.: ГГИ, 1933. - 237 с.
42. Быдин, Ф.И. Исследование формулы инженера Порывкина по нарастанию поверхностного льда / Ф.И. Быдин, П.П. Петруничев. – Изв. НИИГ, Л, 1932. - IV т.
43. Быстров, П.И. Ламинарное течение парового потока в зоне конденсации тепловых труб / П.И. Быстров, В.С. Михайлов // Теплофизика высоких температур. - 1982. - № 2. - С. 311.

44. Быстров, П.И. Исследование характеристик тепловых труб с жидкометаллическими теплоносителями в низкотемпературных режимах / П.И. Быстров, А.Н. Попов // Теплофизика высоких температур. - 1976. - № 3. - с. 629.
45. Вагин, Б.И. Установка для первичного охлаждения молока / Б.И. Вагин, О.А. Герасимова // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых «Сельское хозяйство: проблемы и перспективы», РИО ВГСХА, 0. - 2010. - с. 196.
46. Вагин, Б.И. Лабораторный практикум по механизации животноводства / Б.И. Вагин, А.И. Чугунов, Ю.А. Мирзоянц и др. - Великие Луки.: ВГСХА, 2003. - 533 с.
47. Валунов, Б.Ф. Критические тепловые нагрузки в вертикальных трубах с заглушённым нижним торцом / Б.Ф. Валунов, Е.Л. Смирнов // Инженерно-физический журнал. - 1980. - № 5. - с. 839.
48. Варивода, В.А. Динамика инееобразования на теплообменных поверхностях холодильных аппаратов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.05 / Василий Андреевич Варивода. - Одесса, 1990. - 19 с.
49. Василенко, П.М. Программа, рабочий план и частная методика научного исследования / П.М. Василенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1967. - №11. - с. 53.
50. Васильев, Е.Н. Динамика замораживания грунта с помощью тепловых труб / Е.Н. Васильев, В.А. Деревянко, А.В. Макуха. - Труды Красноярского государственного университета. - 2005. - 233с.
51. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. -М.: Колос, 1973. - 199 с.
52. Венская конвенция о защите озонового слоя. United Nations – Treaty Series. Nations Unies – Recueil des Traités, 1985.
53. Винников, С.Д. Гидрофизика / С.Д. Винников, Б.В. Проскураков. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 248с.

54. Войтковский, К.Ф. Расчет сооружений изо льда и снега / К.Ф. Войтковский. -М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1954. - 136 с.
55. Вольф, В.Г. Статистическая обработка опытных данных / В.Г. Вольф. - М.: Колос, 1966. - 255с.
56. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. -М.: Наука, 1969 - 870 с.
57. Генераторы ледяной воды [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.molokoice.ru.
58. Герасимова, О.А. Обоснование энергосберегающей технологии и устройства для охлаждения молока при пастбищном содержании коров: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Герасимова Ольга Александровна. - СПб, 2011. - 19 с.
59. Герасимова, О.А. Использование естественного холода для охлаждения молока на пастбищах // Материалы Международной научно-практической конференции «Сельское хозяйство: проблемы и перспективы», РИО ВГСХА, 2009г. - с. 214.
60. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов / В.Е. Гмурман. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 2000. - 479 с.
61. Головкин, Н.А. Холодильная технология пищевых продуктов.: учеб. для студентов вузов / Н.А. Головкин. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. - 238 с.
62. Гольдштейн, Р.В. К измерению адгезии льда к другим материалам / Р.В. Гольдштейн, В.П. Епифанов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2011.- №2 с. 28.
63. Горбатова, К.К. Биохимия молока и молочных продуктов / К.К. Горбатова. - СПб.: ГИОРД, 2001. - 320 с.
64. Горский, В.Г. Планирование промышленных экспериментов / В.Г. Горский, Ю.П. Адлер. - М.: Металлургия, 1974 – 264 с.

65. ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. - М.: Издательство стандартов, 1980. - 18 с.
66. Грановский, В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В.А. Грановский. - Л.: Энергоатомиздат, 1990. - 288 с.
67. Грачев, А. Б. Расчет криоаккумулятора с теплопроводящей насадкой в виде оребренного стержня. / А.Б. Грачев, Е.А. Лесюк // Химическое и нефтегазовое машиностроение. -1998. - № 7. – с. 27.
68. Гуйго, Э.И. О теплообмене в льдогенераторах непрерывного действия / Э.И. Гуйго, П.П. Юшков, В.Б. Ржевская // Холодильная техника. - 1969. - № 4.
69. Гутер, Р.С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Р.С. Гутер, В.В. Овчинский. - М.: Наука, 1970. - 432 с.
70. Дегтерев, Г.П. Механизация молочных ферм и комплексов / Г.П. Дегтерев. - М.: Высшая школа, 1984. - 352 с.
71. Дегтерев, Г.П. Технология и средства механизации животноводства / Г.П. Дегтерев. - М.: Столичная ярмарка, 2010. - 384 с.
72. ДеЛаваль: двигатель прогресса в молочном производстве. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.delaval.ru.
73. Дж., Франс Математические модели в сельском хозяйстве / Дж., Франс, Дж. Х. М. Торнли; перевод с английского А.С. Каменского; под ред. Ф.И. Ерешко. - М.: Аргпромиздат, 1987. - 400 с.
74. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в науке и технике / Н. Джонсон, Ф. Лион. - М.: Мир, 1980 - 610с.
75. Доспехов, Б.А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных / Б.А. Доспехов. - М.: Колос, 1972. - 207с.
76. Ефремов, Е.М Охлаждение молока на фермах: информационный листок / Е.М. Ефремов. - Якутск: Якутский ЦНТИ, 1978. - № 46. – с. 3.
77. Завражнов, А.И. Круглогодичное использование природного холода в условиях молочно-товарных ферм Южного Урала: рекомендации /

А.И. Завражнов, А.П. Козловцев, В.И. Квашенников и др. - Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ, 2016. - 61 с.

78. Захаров, В.Ф. Морские льды и климат / В.Ф. Захаров, В.Н. Малинин. - СПб.: Гидрометеоиздат, Государственный научный центр РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, 2000. - 92 с.

79. Зверев, С.С. Холодильник-аккумулятор естественного холода в условиях Якутии / С.С. Зверев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2008. - № 10. - с. 103.

80. Зверев, С.С. Использование естественного холода в охлаждении жидких пищевых продуктов в условиях Якутии / С.С. Зверев // Зоотехния. - 2008. - № 11. - с. 25.

81. Зимницкий, Д.В. Установка комбинированного охлаждения молока / Д.В. Зимницкий // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды международной научно-технической конференции. - Москва, ГНУ ВИЭСХ, 2010 - с. 42.

82. Зубкова, Т.М. Разработка и методологии математического моделирования технологических объектов / Т.М. Зубкова // Вестник ОГУ. - 2002. - №2. - с. 209.

83. Иванов, Ю.А. Качество молока и эффективность его производства / Ю.А. Иванов // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2012. - № 2.- с. 22.

84. Иванов, Ю.Г. Энергосберегающая система принудительной вентиляции коровника для летнего периода времени / Ю.Г. Иванов, Д.А. Понизовкин // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 9-й международной научно-практической конференции (21-22 мая 2014, Москва, ГНУ ВИЭСХ). В 5-ти частях. Часть 3. Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике. - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2014. - С. 104.

85. Ильясов, В.С. Холодильная технология продуктов в мясной и молочной промышленности. / В.С. Ильясов, В.И. Полушкин, Н.Л. Васильева. - М.: «Легкая и пищевая промышленность», 1983. - 216 с.
86. Калеев, Н.Н. Сущность эффективности производства молока / Н.Н. Калеев // Вестник НГИЭИ. - 2011. - Т 1 - №2(3). - с. 52.
87. Калнинь, И.М. Актуальные направления развития техники низких температур [Электронный ресурс] / И.М. Калнинь. - «Донхолд», 2007.- Режим доступа: <http://donholod.dn.ua/index/pub/aktnap.html>.
88. Карасев, Л.И. Теория вероятностей и математическая статистика / Л.И. Карасев. - М.: Статистика, 1979. - 279 с.
89. Кармановский, Л.П. Обоснование системы технологий и машин для животноводства / Л.П. Кармановский, Н.М. Морозов, Л.М. Цой. М.: ИК «Родник», 1999. - 227 с.
90. Карнаухова, Е.В. Разработка и применение методов многопараметрической идентификации для нелинейных моделей биофизических систем: автореф. дис. ...канд. физ.-мат. наук: 03.00.02 / Карнаухова Елена Викторовна. - Пушкино: Ин-т теорет. и эксперим. биофизики РАН, 2005. - 25 с.
91. Карпов, В.Н. Введение в энергосбережение на предприятиях АПК / В.Н. Карпов. - СПб.:СПбГАУ, 1999. - 72 с.
92. Карташов, Л.П. Организация, техника и технология машинного доения коров / Л.П. Карташов, Ю.А. Цой, З.В. Макаровская, О.Л. Карташова. - Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2012 - 255 с.
93. Карташов, Л.П. Машинное доение коров / Л.П. Карташов. - М.: Колос, 1982. - 300 с.
94. Карташов, Л.П. Механизация и электрификация животноводства / Л.П. Карташов, А.А. Аверкиев, А.И. Чугунов, В.Т. Козлов. -2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1987. - 480 с.

95. Карташов, Л.П. Параметрический синтез технологических объектов на основе системного подхода и математического моделирования / Л.П. Карташов, Т.М. Зубкова. - Екатеринбург: УрО РАН, 2009. - 325 с.
96. Квашенников, В.И. Повышение эффективности машинного доения коров путем совершенствования технических средств и эксплуатации режимов работы доильных установок: автореф. дис. ...доктор техн. наук: 05.20.01 / Квашенников Василий Иванович. - Санкт-Петерб., 1998. – 44 с.
97. Квашенников, В.И. Энергосберегающий метод охлаждения молочной продукции / В.И. Квашенников, А.А. Панин, А.П. Козловцев, Г.С. Коровин // Известия ОГАУ. - 2013. - № 3. – с. 97.
98. Квашенников, В.И. Терминология при производстве и эксплуатации льдогенераторов / В.И, Квашенников, А.П. Козловцев, Г.С. Коровин, В.А, Шахов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2014. - № 2. - с. 30.
99. Квашенников, В.И. Энергосберегающая технология заготовки естественного льда на молочных фермах / В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, Г.С. Коровин, В.А. Шахов // Саратов.: Научное обозрение. - 2015. - № 4. - с. 17.
100. Квашенников, В.И. Инновационный метод охлаждения сельскохозяйственной продукции / В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, А.А. Панин. - Материалы XVI Международного симпозиума по машинному доению сельскохозяйственных животных, (Минск - Гомель, 27-29 июня 2012 г.) / Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, РУП "НЦП НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства", ОАО "Гомельагрокомплект", РУП "НПЦ НАН Беларуси по животноводству". - Минск, 2012. - с. 303.
101. Квашенников, В.И. Послойный способ накопления природного льда для малых (до 50 коров) ферм. Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции/ В.И. Квашенников, А.П. Козловцев,

- Г.С. Коровин, В.А. Шахов; под ред. Ю.А. Ушакова. - Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2015. - с. 303.
102. Кемпбелл, Дж. Р. Производство молока / Дж. Р. Кемпбелл, Р.Т. Маршалл; пер. с англ. - Москва: Колос, 1980. - 670 с.
103. Киреев, В.В. Применение естественного холода для охлаждения пищевых продуктов. На примере варёных колбасных изделий / В.В. Киреев // Вестник Международной академии холода. - 2003. - № 3. - с. 34.
104. Кирсанов, В.В. Механизация и технология животноводства / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич и др. - М.: КолосС, 2007. - 584 с.
105. Кирьянов, Д.В. Самоучитель MathCAD // Д.В. Кирьянов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2001. - 544 с.
106. Китайцев, В.А. Технология теплоизоляционных материалов // В.А. Китайцев. М.: Стройиздат, 1970. - 384 с.
107. Кишев, М.А. Снижение энергетических затрат при охлаждении молока / М.А. Кишев, М.Б. Улимбашев // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. - 2011. - №2. - с. 58.
108. Ключев, Н.И. Математическое моделирование процесса взаимодействия встречных потоков пара и жидкости в тепловых трубах / Н.И.Ключев, В.А. Бруйка // Вестник Самарского государственного университета. - 2001. - № 4. - С. 121.
109. Ключев Н.И. Математическая модель разрушения жидкой пленки в противоточном термосифоне / Н.И. Ключев, В.А. Бруйка // Известия ВУЗов. Сер. Авиационная техника. - 2003. - № 1. - С. 58.
110. Коба, В.Г. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. - М.: Колос, 2000. - 528 с.
111. Кобеко, П.П. Аморфные вещества: Физико-химические свойства простых и высокомолекулярных аморфных тел / АН СССР / П.П. Кобенко. - М.:Л.: изд-во АН СССР, 1952. - 431 с.

112. Козловцев, А.П. Методики экспериментальных исследований процессов заморозки льда в льдоаккумуляторах. / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, М.М. Константинов, И.З. Аширов, С.П. Козловцева // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции под ред. Ю.А. Ушакова – Оренбург: Издательский центр ОГАУ. - 2017. - С. 74.
113. Козловцев А.П., Льдоаккумулятор послыонного намораживания / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, М.М. Константинов, А.А. Панин, С.П. Козловцева // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции под ред. Ю.А. Ушакова – Оренбург: Издательский центр ОГАУ. - 2017. - С. 95.
114. Козловцев А.П. Альтернативные источники энергии в системе охлаждения пищевой продукции / А.П. Козловцев, М.М. Константинов, И.З. Аширов, И.В. Герасименко, С.П. Козловцев // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции под ред. Ю.А. Ушакова – Оренбург: Издательский центр ОГАУ. - 2017. - с. 99.
115. Козловцев, А.П. Теоретические основы промерзания воды при послыонном намораживании льда в льдоаккумуляторах / А.П. Козловцев - Оренбург: Издательский центр ОГАУ. - 2017.- №2.
116. Козловцев, А.П. Результаты экспериментальных исследований тепломассообменных процессов при использовании естественного холода / А.П. Козловцев - Оренбург: Издательский центр ОГАУ. - 2017. №3.
117. Козловцев, А.П. Система охлаждения молока с помощью естественного холода: 17-я Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии и технические средства производства продукции животноводства с интеллектуальными системами управления механизированными процессами» / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, Г.С. Коровин. - Москва, 2014.

118. Козловцев, А.П. Энергосберегающий метод охлаждения с.х. продукции. Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, Г.С. Коровин. - Оренбург: Издательский центр ОГАУ. - 2014. - с.128.
119. Козловцев, А.П. Практикум по моделированию первичной переработки сельскохозяйственной продукции / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, С.П. Суздалев. - Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2012. - 52 с.
120. Козловцев, А.П. Обоснование способа контроля внутренней поверхности молокопровода. Агроинженерная наука - сельскохозяйственному производству: Сборник докладов международной научно-практической конференции / А.П. Козловцев, А.А. Панин. – ЦелинНИИМЭСХ, Костанай, 2012. – с. 49.
121. Козловцев, А.П. Обоснование оптоэлектронного способа контроля качества промывки внутренней поверхности молокопровода. Проблемы и перспективы повышения продуктивных и племенных качеств сельскохозяйственных животных: международная научно-практическая конференция / А.П. Козловцев, А.А. Панин. - Ставрополь: АГРУС, 2012.
122. Козловцев, А.П. Автоматические системы контроля качества промывки внутренних поверхностей молокопроводных систем: материалы XVI Международного симпозиума по машинному доению сельскохозяйственных животных / А.П. Козловцев, Л.П. Карташов, А.А. Панин. - Минск.: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. - с. 200.
123. Козловцев, А.П. Интенсификация промывки молокопроводов доильных установок. «Роль науки в инновационном развитии АПК»: Всероссийская конференция / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, А.А. Панин, С.Н. Окунев - Уфа, 2012. – с. 177.
124. Козловцев, А.П. Совершенствование контроля качества промывки внутренней поверхности молокопровода доильной установки «Роль науки в

инновационном развитии АПК»: Всероссийская конференция / А.П. Козловцев, А.А. Панин. - Уфа, 2012. – с. 209.

125. Козловцев, А.П. Охлаждение молока на молочных фермах: монография / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, В.А. Шахов. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2016. - 190 с.

126. Козловцев, А.П. Вычисление изменений температурных режимов в простейших емкостных охладителях молока на малых фермах / В.И. Квашенников, В.А. Шахов, А.П. Козловцев, и др. // Известия ОГАУ. - 2016. - № 1. - с. 47.

127. Козловцев, А.П. Секционный аккумулятор природного холода для охлаждения молока на фермах / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, М.М. Константинов, С.П. Козловцева. – Известия Самарской ГСХА. - 2016. - Т.1 - №4. - с. 43.

128. Козловцев, А.П. Предпосылки использования естественного холода в системах охлаждения молока в условиях Оренбургской области / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, В.А.Шахов и др. // Известия Оренбургского ГАУ. Оренбург: Издательский центр ОГАУ. - 2016 г. - № 4 – с. 89.

129. Козловцев, А.П. Разработка двухемкостного водооборотного льдогенератора. / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, А.А. Панин, М.А. Карякина, И.В. Герасименко, М.И. Попова, С.П. Козловцева // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции/ под ред. Ю.А. Ушакова. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ. - 2016. с. 171.

130. Козловцев, А.П. Состояние и перспективы развития систем охлаждения молока. / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, А.А. Панин, М.А. Карякина, И.В. Герасименко, М.И. Попова, С.П. Козловцева // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК:

материалы международной научно-практической конференции/ под ред. Ю.А. Ушакова. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ. - 2016. с. 175.

131. Козловцев, А.П. Природный холод – приоритетное направление при охлаждении молока / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, В.А. Шахов, А.А. Панин Г.С. Коровин, М.И. Попова // Известия Оренбургского ГАУ. Теоретический и научно-практический журнал. Оренбург: Издательский центр ОГАУ. - 2015. - № 6 (56) - с. 90.

132. Козловцев, А.П. К вопросу использования энергосберегающих технологий в системе охлаждения молока. / А.П. Козловцев, А.А. Панин, В.А. Урбан, М.И. Попова // Международная научно-практическая конференция «Молодёжный форум: Технические и математические науки» Воронеж. - 2015. - с. 375.

133. Козловцев, А.П. Теоретические предпосылки процесса намораживания льда в замкнутом водном объеме. / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, Г.С. Коровин, М.И. Попова // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции под ред. Ю.А. Ушакова – Оренбург: Издательский центр ОГАУ. - 2015. - с. 64.

134. Козловцев, А.П. Инженерно-технологические основы адаптации высокопродуктивного стада при адресном обслуживании животных. /В.Д. Поздняков, Н.К. Комарова, А.П. Козловцев, Г.Ш. Мухамеджанова // Известия Оренбургского ГАУ. - 2011. - № 4 - с. 96.

135. Козловцев, А.П. Научно-технические аспекты создания гибких производственных систем обслуживания животных. / З.В. Макароская, В.Д. Поздняков, А.П. Козловцев, А.А. Панин // Сборник научных трудов. Научно-технический прогресс в животноводстве – инновационные технологии и модернизация в отрасли. Том 22 часть 1. ГНУ ВНИИМЖ. - Подольск. 2011. - С 269.

136. Конюхов, С.Н. Многопараметрическая оптимизация и моделирование сложных технологических процессов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.16 / Конюхов Сергей Николаевич . - Москва, 1994. - 108 с.

137. Кормановский, Л.П. Энергосбережение – первостепенная задача в предстоящем столетии / Л.П. Кормановский // Техника в сельском хозяйстве. - 2005. - № 4. - С. 2.
138. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1968. - 720с.
139. Коршунов, Б.П. Повышение эффективности систем охлаждения и хранения молока на фермах / Б.П. Коршунов, А.И. Учеваткин, Ф.Г. Марьяхин, А.Б. Коршунов, А.А. Мультиан // Техника в сельском хозяйстве. - 2010. - №2. - С. 6.
140. Коршунов, Б.П. Экологичное энергосберегающее оборудование для охлаждения молока / Б.П. Коршунов, А.И. Учеваткин, Ф.Г. Марьяхин, А.А. Мультиан // Техника и оборудование для села. - 2011. - №4 - С. 29.
141. Краснов, С.А. Энергосберегающая технология охлаждения молока / С.А. Краснов, П.С. Орлов, Е.В. Шешунова // Сельский механизатор. - 2010. - №9 - С. 24.
142. Критерий климатического районирования страны в целях использования естественного холода в картофеле и овощехранилищах / В.З. Жадан и др. // Холодильная техника. - 1986 - № 6. - С. 5.
143. Крылов, М.М. Холодильные склады изо льда и мерзлого грунта / М.М. Крылов. - М.: Изд-во АН СССР, 1940. - 78 с.
144. Крылов, М.М. Ледяные изотермические склады / М.М. Крылов. - М.: АН СССР, 1951. - 88 с.
145. Крылов, М.М. Ледяные склады-холодильники в торговле / М.М. Крылов, С.Л. Казанский. - М.: Госторгиздат, 1953. - 100 с.
146. Кубулашвили, Ш.С. Холодильная техника / Ш.С. Кубулашвили, Э.З. Бухтер. - М.: Колос, 1993. - 543 с.
147. Кудрин, М.Р. Организация экономически эффективного производства молока на основе современных технологий / М.Р. Кудрин, С.Н. Ижболдина, Н.Н. Новых // Вестник Ижевской ГСХА. - 2014. - №2(39). - С. 8.

148. Кудряшов, Н.Т. Механизация намораживания льда. / Н.Т. Кудряшов. - М., ЦИНТИПищепром, 1960. - 56 с.
149. Кузин, Ф.А. Кандидатская диссертация. Методика написания, правила оформления и порядок защиты. Практическое пособие для аспирантов и соискателей ученой степени / Ф.А. Кузин. - М.: Ось-89, 2000. - 224 с.
150. Купреенко, А.И. Разработка метода оптимизации энергосберегающих технологий и средств механизации приготовления кормов: автореф. дис. ... доктор техн. наук: 05.20.01 / Купреенко Алексей Иванович. - Рязань, 2006. - 34 с.
151. Курочкин, А.А. Технологическое оборудование для переработки продукции животноводства / А.А.Курочкин, В.В.Ляшенко; под ред. В.М. Баутина. - М.: Колос, 2001. - 440 с.
152. Курылев, Е.С. Холодильные установки / Е.С. Курылев, В.В. Оносовский, Ю.Д. Румянцев. - СПб.: Политехника, 1999. - 576 с.
153. Кутателадзе С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С. Кутателадзе, М.А. Стырикович. - М.: Энергия, 1976. - 296 С.
154. Лавров, В.А. Электротехническая система охлаждения молока на фермах с использованием природного холода: автореф. дис. ... канд. Техн. наук:05.20.02, 05.20.01 / Лавров Виктор Александрович. - Москва, 2006. -18 с.
155. Лавров, В.В. Деформация и прочность льда / В.В. Лавров. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 206 с.
156. Лачуга, Ю.Ф. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года / Ю.Ф.Лачуга и др. - М.: ФГНУ «Росинфорагротех», 2009. - 80 с.
157. Левитан, М.М. Основы теории и расчета тепловых труб / М.М Левитан, Т.Л Перельман // Журнал технической физики. - 1974. - № 8. - с. 156.
158. Лихтенштейн, Э.Л. Получение качественного искусственного льда для спортивных целей / Э.Л. Лихтенштейн // Холодильная техника. - 1988. - №10.
159. Малаханов, В. Ледник соперник холодильника: из истории науки и техники / В.Малаханов // Наука и жизнь. - 1992 - № 5. - с. 101.

160. Мальнев, В.П. Электрифицированная система охлаждения молока с использованием естественного холода для хозяйств центральной зоны России: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / В.П. Мальнев Виктор Петрович. - Москва, 2004. - 128 с.
161. Маринюк, Б.Т. Льдообразование и инеевыпадение на элементах низкотемпературного оборудования. Обзорная информация / Б.Т. Маринюк. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. - 41 с.
162. Марьяхин, Ф.Г. Изготовление и использование установок естественного холода для охлаждения молока. Рекомендации / Ф.Г. Марьяхин, А.М. Мусин, А.И. Учеваткин, А.В. Марков. - М.: Росагропромиздат, 2001 - №7. - 28 с.
163. Медведев, Д.А. Российскому мясу и молоку все труднее проложить дорогу на рынок / Д.А. Медведев // Экономика сельского хозяйства России. - 2007. - № 6. - С. 4.
164. Медведева, Л.Б. Необходимость государственного регулирования рынка молока и молочной продукции / Л.Б. Медведева // Вестник ГАУСЗ. - 2013. - №3(22). - С. 88.
165. Меженный, О.А. Turbo Pascal. Самоучитель / О.А. Меженный. - Издательство Вильямс, Диалектика, 2008. - 336 с.
166. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. - Л.: Колос, 1972. - 200 с.
167. Мельников, С.В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов / С.В. Мельников. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Агропромиздат, 1985. - 640 с.
168. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. - М.: Энергия, 1998. - 89 с.
169. Методика определения экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в машиностроении для животноводства и кормопроизводства. - М.: Колос, 1978. - 160 с.

170. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. - М.: Колос, 1980. - 232 с.
171. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений; под рук. академика ВАСХНИЛ Г.М. Лозы. - М.: Колос, 1980. - 112 с.
172. Мирзоянц, Ю.А. Механизация производства продукции животноводства / Ю.А. Мирзоянц. - Великие Луки, 2000. - 164 с.
173. Миронов, Н.Г. Строительство и эксплуатация подземных холодильников. Север и Северо-Восток Советского Союза / Н.Г. Миронов. - М.: «Наука», 1967. - 71 с.
174. Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. - 16 сентября 1987.
175. Морозов, Н.М. Методические рекомендации по реконструкции и техническому перевооружению животноводческих ферм / Н.М. Морозов, П.И. Гриднев и др. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. - 228 с.
176. Морозов, В.В. Основные понятия о математическом планировании и подготовке к проведению многофакторных экспериментов. Методическое пособие (часть 1) / В.В. Морозов, И.Б. Зимин, Д.В. Гуляев. - Великие Луки.: РИЦ ВГСХА, 2005. - 63 с.
177. Морозов, Н.М. Программа и методика проведения исследований по разработке систем машин для комплексной механизации животноводства / Н.М. Морозов. - М.: ИК «Родник», 1999. - 228 с.
178. Морозов, Н.М. Резервы энергосбережения в животноводстве. Энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 2-ой Международной научно-технической конференции / Н.М. Морозов, Л.М. Цой; ч. 1. - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2000. - с. 35.

179. Морозов, Н.М. Энергоемкость эффективного производства продукции животноводства. [Электронный ресурс] / Н.М. Морозов. - Режим доступа: <http://agroportal.ru>.
180. Москвин Ю.В. Тепловые трубы / Ю.В. Москвин, Ю.Н. Филлипов // Теплофизика высоких температур. - 1969. - т. 7. - № 4. - с. 766.
181. Мусин, А.М. Изготовление и использование установок естественного холода для охлаждения молока. Рекомендации / А.М. Мусин, Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, А.Я. Бойко, А.В. Марков. - М.: Росагропромиздат, 1991. – 28 с.
182. Мусин, А.М. Анализ энергетических режимов работы систем электрооборудования технологических линий обработки молока / А.М. Мусин, Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин // НТБ ВИЭСХ. - 1984. - №3(52). - С. 3.
183. Мурусидзе, Д.Н. Технология производства продукции животноводства / Д.Н. Мурусидзе, А.Б. Левин. - М.: ВО «Агропромиздат», 1992. - 222 с.
184. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. - М.: Наука, 1965. – 340 с.
185. Недужий, И.А. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. пособие для студентов / И.А. Недужий, А.Н. Алабовский. - Киев: «Вища школа», 1978. - 224 с.
186. Новик, Ф.С. Оптимизация процессов технологии методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик. - М.: Машиностроение, 1980. – 69 с.
187. Новикова, Г.В. Установка для обеззараживания молока комплексным воздействием электрофизических факторов: монография / Г.В. Новикова, М.В. Белова, А.В. Родионова. - Чебоксары: ФГБОУ ВПО «Чувашский ГУ им. И.Н. Ульянова», 2014. - 140 с.
188. Новикова, Г.В. Установка для обеззараживания молока в электромагнитном поле сверхвысокой частоты: монография / Г.В. Новикова,

М.В. Белова, А.Н. Пономарев. - Чебоксары: ФГБОУ ВПО «Чувашский ГУ им. И.Н. Ульянова», 2014. - 166 с.

189. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: [федер. закон: принят Гос. Думой 23 ноябр. 2009 г. (ред. от 03.07.2016) № 261]. - Собрание законодательства РФ. - 2009. - №48. - Ст. 5711.

190. О развитии сельского хозяйства (с изменениями и дополнениями): [федер. закон: принят Гос. Думой 22 дек. 2006, № 264-ФЗ].

191. Опыт охлаждения молока на фермах // Тематическая подборка. - Якутск: Якутский ЦНТИ, 1988. - №682-88. - 57 с.

192. Основы планирования эксперимента в сельскохозяйственных машинах. ВИСХОМ. Руководящий технический материал. - М., 1974. – 107 с.

193. Охладитель молока Текст.: авт.св. 667788 Советский Союз: МКИЗ А 011 9/04 // В.И.Степанов; заявитель и патентообладатель ОКПТБ ЯНИИСХ. № 2567929/29-06; заявл. 04.01.78; опубл. 25.06.79, Бюл. № 22.- с. 2.

194. Охладитель молока Текст.: авт.св. 860732 Советский Союз: МКИЗ А 011 9/04 // В.И. Степанов; заявитель и патентообладатель ОКПТБ ЯНИИСХ. - № 2737102128-13; заявл. 07.03.79; опубл. 07.09.81, Бюл. № 33.-с. 2.

195. Палкин, Г.Г. Техника и технология получения молока на фермах будущего / Г.Г. Палкин // Техника и оборудование для села. - 2003. - Апрель. - с. 29.

196. Панин, А.А. Совершенствование системы промывки и контроля состояния внутренней поверхности молокопровода доильной установки: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Панин Александр Александрович. - Оренбург, 2012. - 21 с.

197. Патент 2201565 РФ, МПК F 25 Д 3/02 Холодильник-аккумулятор зимнего холода / А.Ф. Абрамов, И.Г. Буслаев, С.С. Зверев; заявитель и

патентообладатель ЯНИИСХ СО РАСХН. № 2000127365; заявл. 31.10.00; опубл. 27.03.03, Бюл. №9-3 с.

198. Патент № 2561745 РФ. Хранилище для пищевых продуктов с акумулированием холода/ А.П. Козловцев, Г.С. Коровин, В.И. Квашенников, В.А. Шахов, А.А. Панин, И.В. Герасименко; опуб. 2015. Бюл. № 08.

199. Патент № 2568753 РФ. Термосифон для замораживания воды с термонасадкой/ В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, А.А. Панин, И.В. Герасименко, Г.С. Коровин. Опуб. 20.11.2015.

200. Патент на изобретение № 2185578 РФ. Устройство для охлаждения сельскохозяйственной продукции естественным холодом грунта / В.П. Мальнев, Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, А.М. Мусин, Б.П. Коршунов и др. //БИ. 2002. №20.

201. Патент на изобретение № 2185055 РФ. Холодильная установка с использованием естественного холода для ферм / В.П. Мальнев., Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, А.М. Мусин, Б.П. Коршунов. и др. //БИ. 2002. №20.

202. Патент на изобретение № 2202894 РФ. Устройство для охлаждения и пастеризации молока на животноводческих фермах / В.П. Мальнев., Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, Б.П. Коршунов и др. //БИ. 2003. № 12.

203. Патент на изобретение № 2147716 РФ. Приемник аккумулятор естественного холода для сельхозобъектов / Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, Б.П. Коршунов. и др. //БИ. 2000. № 11.

204. Патент на изобретение № 2153134 РФ. Приемник естественного холода с водоежекторным распылителем / Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, Б.П. Коршунов и др. //БИ. 2000. № 20.

205. Патент на изобретение № 2092038 РФ. Водоохлаждающая установка для ферм / Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, Б.П. Коршунов и др. //БИ. 1997. № 28.

206. Патент СССР на изобретение № 2092038 РФ. Водоохлаждающая установка для ферм / Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, Б.П. Коршунов и др. //БИ. 1997. № 28.
207. Патент на изобретение № 2013719 РФ. Установка для намораживания льда в льдоаккумуляторе / А.М. Мусин, Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин и др. //БИ. 1994. № 10.
208. Патент на изобретение № 2086113 РФ. Устройство для охлаждения молока и других жидких сельскохозяйственных продуктов / Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, Б.П. Коршунов и др. //БИ. 1997. № 22.
209. Пехович, А.И. Основы гидроледотермики / А.И. Пехович. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 200 с.
210. Пиотрович, В.В. Расчеты толщины ледяного покрова на водохранилище по метеорологическим данным / В.В. Пиотрович. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 186 с.
211. Плис, А.И. MathCAD 2000. Математический практикум для экономистов и инженеров: учеб. пособие / А.И. Плис, Н.А. Сливина. - М.: Финансы и статистика, 2000. - 656 с.
212. Повышение качества молока на фермах и комплексах: тематическая подборка. Якутск, Якутский ЦНТИ, 1989. - № 1363-89. - 50 с.
213. Попель, О.С. Возобновляемые источники энергии: состояние и перспективы использования / О.С. Попель, В.Л. Туманов // Альтернативная энергетика и экология. - 2007. - №2. - с. 135.
214. Попов, С.Н. Интенсификация нарастания толщины ледяного покрова на реках для создания ледяных переправ / С.Н. Попов, Н.П. Старостин // Наука и образование. - 2008. - №1. - с.18.
215. Попченко, С.Н. Справочник по гидроизоляции сооружений / С.Н. Попченко. - Л.: Стройиздат, 1975. - 232 с.
216. Проектирование холодильных сооружений / Справочник. - М.: Пищевая промышленность, 1998 - 233 с.

217. Прокопенко, Г.В. Генераторы ледяной воды / Г.В. Прокопенко // Молочная промышленность. - 2010. - № 8. - с. 21.
218. Прудовская, О.А. Современные решения в системах охлаждения молока / О.А. Прудовская, С.М. Семенчук // Молочная промышленность. - 2010. - № 8. - С.8
219. Рашиков, В.И. Численные методы решения физических задач: учебное пособие / В.И. Рашиков, А.С. Рошаль. - СПб.: Издательство «Лань», 2005. - 208 с.
220. Регистр технологий и техники для молочного животноводства Ленинградской области. - СПб.: ГНУ САНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2007. - 97 с.
221. Рекомендации по производству молока в личных подсобных и крестьянских (фермерских) хозяйствах. - М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2006.
222. Рекомендации по проектированию холодильных установок пищевых производств малых объемов; под ред. проф. Л.С. Тимофеевского. - Санкт-Петербург-Владивосток: Международная академия холода, 1996. - 95 с.
223. Рекомендации по термическому расчету водохранилищ: П 78-79. - Л.:ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1986. - 39с.
224. Романовский, Н.В. Резервы повышения эффективности систем охлаждения молока для сельскохозяйственных предприятий и фермерских хозяйств / Н.В. Романовский, Ю.Б. Пржетишевский, А.Б. Коршунов, А.И. Учеваткин, Ф.Г. Марьяхин, Б.П. Коршунов // Холодильная техника. - 2007. - №10. - С. 32.
225. Российская федерация: Федеральный закон. Технический регламент на молоко и молочную продукцию:[федер. закон: принят Гос. Думой 12 июня 2008 г. № 88-ФЗ]. – М.: СПС «Гарант».
226. Российская федерация. Федеральный закон о внесении изменений в федеральный закон. Технический регламент на молоко и молочную

продукцию: [федер. закон: принят Гос. Думой 22 июля 2010 г. № 163-ФЗ]. – М.: СПС «Гарант».

227. Руководство по гидрологическим расчетам при проектировании водохранилищ. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. - С 190.

228. Рымша, В.А. Исследования и расчеты замерзания рек и водохранилищ / В.А. Рымша, Р.В. Донченко. - Труды ГГИ, Л.: 1965. - вып. 129.

229. Саввинов, Д.Д. Гидротермический режим почв в зоне многолетней мерзлоты / Д.Д. Саввинов. - Новосибирск: «Наука», 1976. - 254 с.

230. Савченков Г.А., Кунаков В.Г. Исследование кризиса теплопереноса в низкотемпературных испарительных термосифонах / Г.А. Савченков, В.Г. Кунаков // Инженерно-физический журнал. - 1979. - т. 37. - № 2. - С. 214.

231. Сапожников, В.Б. Молоку – надежный холод / В.Б. Сапожников // Молочная промышленность. - 2004. - №7 - С. 26.

232. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014617152 РФ. Фляжный охладитель/ В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, В.А. Шахов, В.Г. Солдатов.

233. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017610885 РФ. Оценка интенсивности намораживания ледяной массы в бассейне, оборудованным термосифонами / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, С.П. Козловцева, А.Н. Кондрашов, Г.С. Коровин.

234. Севернев, М.Н. Использование естественного холода на фермах / М.Н. Севернев, О.Н. Буляк // Техника в сельском хозяйстве. - 1999. №4. - С. 35.

235. Сельскохозяйственная техника: каталог. Т.4. Техника для животноводства / Мин-во сел. Хоз-ва Рос. Федерации, Федер. Гос. науч. учреждение «Рос. науч. исслед. Ин-т информации и техн. экон. исслед. по инженер.-техн. обеспечению агропром. комплекса» (ФГНУ «Росинформагротех»)/ редкол. В.Ф. Федоренко (гл.ред.) [и др.] – М.: Росинформагротех, 2005-2008. - 335 с.

236. Семена М.Г. Максимальная теплопередающая способность вертикальных двухфазных термосифонов / М.Г. Семена // Инженерно-физический журнал. -1978. - т. 35. -№ 3. - С. 397.
237. Семена М.Г., Жук С.К. Исследование процессов гидродинамики фаз в бесфитильных тепловых трубах на воде / М.Г. Семена, С.К. Жук // Теплоэнергетика. - 1976. -№ 3. -С. 82.
238. Семенюк, В.А. Термоэлектрическое охлаждение: проблемы и перспективы / В.А. Семенюк // Вестник международной академии холода. - 1999. - № 4. - С. 20.
239. Серeda, Ю.С. Прикладные многопараметрические обратные задачи: монография / Ю.С. Серeda. - Н. Новгород: Тип. Нижегород. гуманит. центра, 2005. – 412 с.
240. Секунов, Н. Самоучитель Visual C++6: [Визуал. среда программирования. Основы Visual C++6. Концепция Док. / Представление. Расшир. возможности Visual C++6. Разработка справочной системы. Справ. по кл. и функциям Visual C++6] / Н. Секунов. - СПб. И до.: ВHV, 1999. – 941 с.
241. Соловьев, С.А. Основы моделирования функциональных элементов исполнительных механизмов биотехнической системы: учебное пособие / С.А. Соловьев, Е.М. Асманкин, А.М. Асманкин. - Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2003. - 59 с.
242. Состояние молочного скотоводства в Российской Федерации. – М.: Росинформагротех: МСХ РФ, 2006.
243. Способ намораживания льда в аккумуляторах холода: авт. св. 1244444 А1 (50 4 F 25 С 1 02 F 25 D 3 00. 1 00 (54) / А. М. Мусин, Ф. Г. Марьяхин, А. И. Учеваткин, Л. Ф. Волканович, А. Н. Дормидонтов, В. С. Горбачев, А. И. Зеленцов, А. В. Павлов, М. М. Лешин, Д. М. Анбиндер, Г. И. Алергант и В. Р. Данилов. - 3856449/28-13 (22); заявлено 13.02.85 (46); опубл. 15.07.86, Бюл. № 26.

244. Справочник по общестроительным работам. Земляные работы // А.П. Дегтярев и др. - М.: Стройиздат, 1975. - 263 с.
245. Статистические материалы и результаты исследований развития агропромышленного производства России / Отдел. экономики и земель. отношений Россельхозакадемии. - М.: РАСХН, 2007.
246. Стребков, Д.С. Проблемы энергосбережения в сельском хозяйстве / Д.С. Стребков, А.В. Тихомиров // Энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 2-ой Международной научно-технической конференции. Часть 2. - М.: ВИЭСХ, 2000. - С. 8.
247. Стрекозов, Н.И. Состояние и перспективы развития животноводства в Российской Федерации / Н.И.Стрекозов, Г.П. Легошин, Ю.И.Шмаков [и др.] // Зоотехния. - 2007. - № 1. - С. 2.
248. Тарифы на электроэнергию [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://newtariffs.ru>.
249. Телевной, А.А. Установка с аккумулятором холода для первичного охлаждения молока / А.А. Телевной, А.В. Гольденфанг // Холодильная техника. - 1989. - № 6.
250. Телегин А.С. Тепло - массоперенос / Телегин А.С., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г. М.: Металлургия, 1995. - 400 с.
251. Тепловые трубы для систем термостабилизации / Под ред. И.Г. Шекриладзе. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 176 с.
252. Техническая термодинамика с основами теплопередачи и гидравлики: учебное пособие для учащихся техникумов по специальности «Холодильно-компрессорные машины и установки» / Н.Г. Лашутина и др. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1988. - 336 с.
253. Тимошенко, А.Т. Теплоустойчивость многослойных ограждающих конструкций зданий / А.Т. Тимошенко, С.С. Ефимов, Г.Г. Попов. - Якутск, ЯНЦ СО АН СССР, 1990. - 176 с.
254. Тихонов, А. П. Уравнения математической физики / А.П. Тихонов, А.А. Самарский. - М.: Наука, - 1977. - 735 с

255. Трухачев, В.И. Технологическое и техническое обеспечение процессов машинного доения коров, обработки и переработки молока: учебное пособие / В.И. Трухачев, И.В. Капустин, В.И. Будков, Д.И. Грицай. - 2-е изд., стер. - СПб.: Издательство «Лань», 2013. - 304 с.
256. Туваев, В.Н. Охлаждение молока с использованием естественного холода / В.Н. Туваев, А.А. Прозоров, Ю.Ю. Пустынная, А.А. Шутов // Молочная промышленность. - 2009. - №5. - С. 77.
257. Туников, Г.М. Рекомендации по производству молока соответствующего ГОСТу Р 52054-2003 Молоко натуральное - коровье – сырье: монография / Туников Г.М. - Рязань, 2006. - 132 с.
258. Уве, Кафтун. Здоровое вымя, оптимальные условия и правильная первичная обработка молока - основы для высокого качества молока / Кафтун Уве // Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: труды международной научно-практической конференции. – Казань: Казанский ГАУ, 2014. - С. 207.
259. Увеличение производства молока на основе современных технологий – важнейшее направление реализации приоритетного национального проекта «Развитие АПК»: тез. выступ. Министра сельского хозяйства РФ А.В. Гордеева на совещании в г. Казани, 28 июня 2006 года. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.mex.ru.
260. Ужик, В.Ф. Аспекты математического моделирования в молочном скотоводстве: монография / В.Ф. Ужик, О.В. Ужик, Я.В. Ужик. - Белгород: Издательство ФГБОУ ВПО Белгородская ГСХА им. В.Я. Горина, 2012. – 303 с.
261. Урал Холод [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.uralholod.ru
262. Усаковский, В.М. Возобновляющиеся источники энергии / В.М. Усаковский. - М.: Россельхозиздат, 1986. - 126 с.
263. Устройство для охлаждения молока: авт.св. 1329696 Советский Союз: МКИЗ А 01 J 9/04 // В.Г. Гизатулин; заявитель и патентообладатель

В.Г. Гизатулин.- № 3857458/30-13; заявл. 27.02.85; опубл. 15.08.87, Бюл. № 30,- 3 с:

264. Учеваткин, А.И. Автоматизированные энергосберегающие технологии и система электрооборудования линий первичной обработки молока на 125 фермах: автореф. дис. ..д-ра техн. наук: 05.20.02 / Учеваткин Александр Иванович. Москва, 1998. - 43 с.

265. Учеваткин, А.И. Система комбинированного охлаждения молока на фермах круглогодичного действия / А.И. Учеваткин, Т.А. Ноздрин // Вестник ФГБОУ ВПО МГАУ им . В.П. Горячкина. - 2008. - №2. - С. 58.

266. Федоренко И.Я. Оборудование для доения коров и первичной обработки молока: учеб. пособие / И.Я. Федоренко [и др.] - Барнаул, 2005. - 235 с.

267. Федоренко, И.Я. Ресурсосберегающие технологии и оборудование в животноводстве / И.Я. Федоренко, В.В. Садов. - СПб.: Издательство Лань, 2012. - 304 с.

268. Федотова, О.Б. Повышение качества молочной продукции / О.Б. Федотова, Е. В. Шепелева // Молочная промышленность. - 2004. - № 2. - С. 39.

269. Физический энциклопедический словарь / под ред. А.М. Прохорова. - М.:БСЭ, 1995. - 928 с.

270. Хазанов Е.Е. Рекомендации по модернизации и техническому перевооружению молочных ферм / Е.Е. Хазанов [и др.] - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. - 128 с.

271. Хазанов, Е.Е. Технология и механизация молочного животноводства. / Е.Е. Хазанов, В.В. Гордеев, В.Е. Хазанов. - СПб.: Издательство Лань, 2010. - 352 с.

272. Халафян, А.А. СТАТИСТИКА 6. Статистический анализ данных: учебник / А.А. Халафян.-3-е изд. - М.: ООО «Бином-Пресс», 2007.- 512 с.

273. Хилькевич, С.С. Физика вокруг нас / С.С. Хилькевич. - М.: Наука; 1985. - 159 с.

274. Холодильные установки / под ред. И.Г. Чумака. - М.: Агропромиздат, 1991. - 495 с.
275. Цуранов, О.А. Холодильная техника и технология / О.А. Цуранов, А.Г. Крысин; под ред. проф. В.А. Гуляева. - СПб.: Лидер, 2004. - 448 с.
276. Ченг, К.С. Экспериментальное исследование нарастания льда вокруг изотермически охлаждаемого цилиндра в поперечном потоке / К.С. Ченг, Х. Инаба, Р.Р. Гилпин // Теплопередача. - 1981. - т. 103. - №4.
277. Чи, С. Тепловые трубы. Теория и практика / С. Чи. - М.: Машиностроение, 1981. - 207с.
278. Чугунов, А.И. Проектирование и расчет поточных технологических линий доения коров и обработки молока: методические указания по курсовому проектированию) / А.И. Чугунов, В.В. Кирсанов, Л.П. Ерохина, В.Н. Еремин. - М.: МГАУ, 2000. - 45 с.
279. Чижов, Г.Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов / Г.Б. Чижов. - М.: Пищевая промышленность, 1979. - 272 с.
280. Чижов, А.Н. Формирование ледяного покрова и пространственное распределение его толщины / А.Н. Чижов. - Л.: Гидрометеиздат, 1990. - 127 с.
281. Чуклин, С.Г. Намораживание льда на плоской стенке в воде переменной температуры /С.Г. Чуклин, Э.Г. Парцхаладзе // Холодильная техника и технология: Респ. межвед. науч.-техн. сб., Киев: Техніка. - 1970. - вып. 5.
282. Чумаченко, А. Д. Исследование процесса охлаждения воды в холодоаккумуляторе / А.Д. Чумаченко // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 1998. - № 1.
283. Шамаров, М.В. Моделирование аккумулятора холода на базе тепловых труб / М.В. Шамаров // Известия вузов. Пищевые технологии. - 2010. - №1. - С. 80.

284. Швыдкий, В.С. Элементы теории систем и численные методы моделирования процессов тепломассопереноса / А.С. Телегин, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко, Н.А. Спирин, М.Г. Ладыгичев. - М.: Интермент инжиниринг, 1999. - 520 с.
285. Шилин, В.А. Использование естественного холода как охлаждающего агента для молока / В.А. Шилин, О.А. Герасимова, А.В. Лобачев // Вестник ВНИИМЖ. - 2012. - № 2. - С. 195.
286. Шуляковский, Л.Г. К методике расчета толщины ледяного покрова на водохранилищах / Л.Г. Шуляковский. - М.: Труды Гидрометцентра СССР, 1972. - вып 112. - С. 50.
287. Экологическое сельское хозяйство: опыт и перспективы. - М.: ФГНУ «Росинформагротех». - 2007.
288. Юхин, Г.П. Алгоритмическое и программное обеспечение для расчетов параметров средств механизации животноводческих ферм / Г.П. Юхин. - Уфа: Издательство БГАУ, 2002. - 188 с.
289. Юшков, П. П. Намораживание слоя льда заданной толщины при натекании жидкости на охлажденную цилиндрическую поверхность / П.П. Юшков, В.Б. Ржевская // ИФЖ. - 1974. - т. 27. - № 4.
290. Blackburn, C. Apparatus for measuring the adhesion force of a this ice sheet on a substrate / C. Blackburn, C. Laforte, J.L. Laforte // For presentation at the Ninth International Workshop of Atmospheric Icing of Structures. - 2000. - June 5-8. - P. 1.
291. Dainty, R.H. Chemical/biochemical detection of spoilage / R.H. Dainty // International Journal of Food Microbiology. - 1996. - № 33. - P. 19.
292. Lapadula, C, Mueller W. K. Heat conduction with solidification and a convective boundary conduction at the freezing front / C. Lapadula, W.K. Mueller // Int. J. Heat and Mass Transfer. - 1966. - Vol. 9 - №7.
293. Lyyra, M. Adhesive strength of spray accreted ice on materials and coatings / M. Lyyra, M. Jantti, J. Launiainen // International Offshore and Navigation Conference and Exhibition. - 1986. - P.484.

294. Matsumoto, K. Fundamental study on adhesion of ice to cooling solid surface / K. Matsumoto, T. Kobayashi / International Journal of Refrigeration. - 2007. - Vol. 30. - P. 851.
295. Melken, A.A. Kuhlen futtem entmisten aufstallen / A.A. Melken // Alfa-Laval Komplett. - 1991. - P. 36.
296. Raraty, L.E. The adhesion and strength properties of ice / L.E. Raraty, D. Tabor // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. - 1958. - Vol.245. - No. 1241. - P. 184.
297. Rmderwelt. Eisspeicher - muchkuhlung bringt vorteile / Rmderwelt. - 1994. - Bd.19. - № 5. - P. 29.
298. StatSoft.Inc. (2001) Электронный учебник по статистике. [Электронный ресурс]. - М.: StatSoft.WEB: - Режим доступа: <http://www.StatSoft.ru/home/textbook/default.html>.
299. Freezing process improves food quality // J. Food Eng. Int. - 1990. - V. 15.- №2. - P. 60.
300. Fullwood modern milking // Dairy Farmer. - 1994. - Vol.41. - № 6.-P.01- 06.
301. Williams, G.P. Adhesion of frazil ice to underwater structures / G.P. William / Reprinted from Proceedings Twenty-Fourth Annual Eastern SnowConference. - 1967. - February. - P.82.

ПРИЛОЖЕНИЯ

«ФСА - прогноз» - компьютерное моделирование искусственного замораживания грунтов.

На современном этапе при проектировании оснований и фундаментов, возводимых в сложных геотехнических условиях с применением технологии искусственного замораживания грунтов, требуется применение компьютерного моделирования для прогнозирования температурных полей и механических свойств грунтов. При выполнении теплотехнических расчетов грунтов необходимо учитывать замерзание и оттаивание грунтов с расчетом конвективной теплопередачи, миграции влаги к фронту промерзания, а также работу охлаждающих устройств.

Для компьютерного моделирования искусственного замораживания грунтов в НПО «Фундаментстройаркос» используется специализированное программное обеспечение - «ФСА - прогноз» (на базе программы «Frost 3D Universal»). На сегодняшний день данная программа является самой современной и точной из всех существующих аналогов.

«ФСА – прогноз» позволяет при помощи расчётных методов оценить, как поведут себя вечномёрзлые грунты в основании здания, газовой скважины, опоры трубопровода и др. в реальных условиях эксплуатации. Моделирование помогает убедиться в эффективности и надежности принятых проектных решений с минимальными временными и материальными затратами.

Возможности программы:

- создание трехмерной расчетной области с учетом рельефа местности и строения грунтов;
- учет содержания незамерзшей воды в грунте и фазового перехода вода-лед;

Продолжение приложения 1

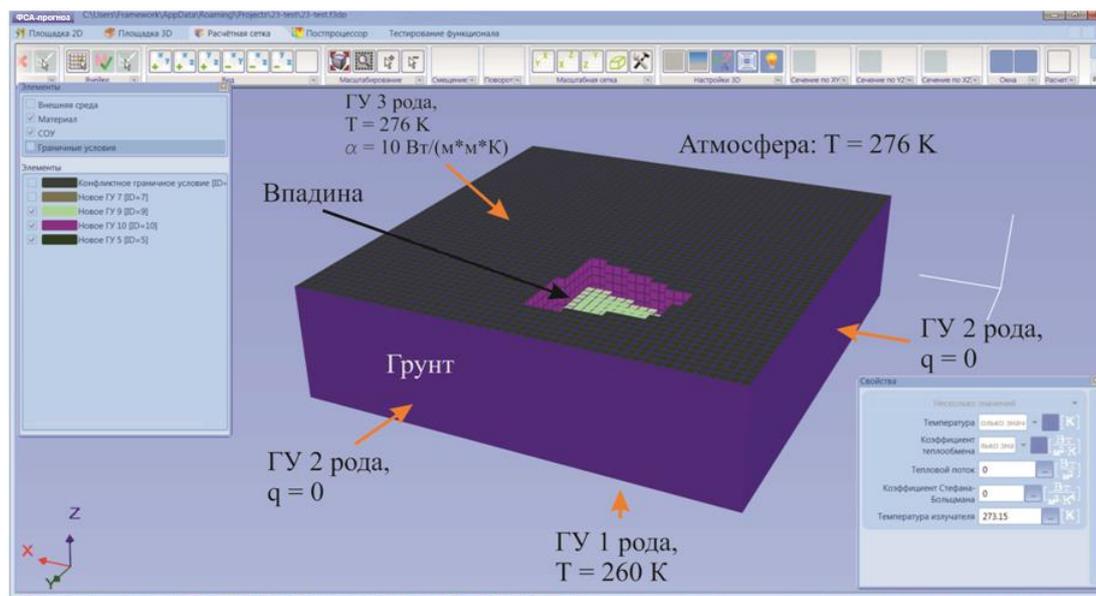
- возможность учета конвективного переноса тепла при заданной постоянной скорости фильтрации в грунте;
- учет влияния толщины снежного покрова;
- возможность учета работы охлаждающих устройств – термостабилизаторов, глубинных СОУ, систем ГЕТ и ВЕТ;
- учет влияния внешних тепловых воздействий – солнца или газового факела.

В программе «ФСА-прогноз» можно проводить многолетнее прогнозирование состояния вечномёрзлых пород в основании зданий и сооружений с учетом изменения множества факторов, таких как техногенное воздействие, изменение климата и условий эксплуатации.

Техническая информация о программе «ФСА-прогноз»

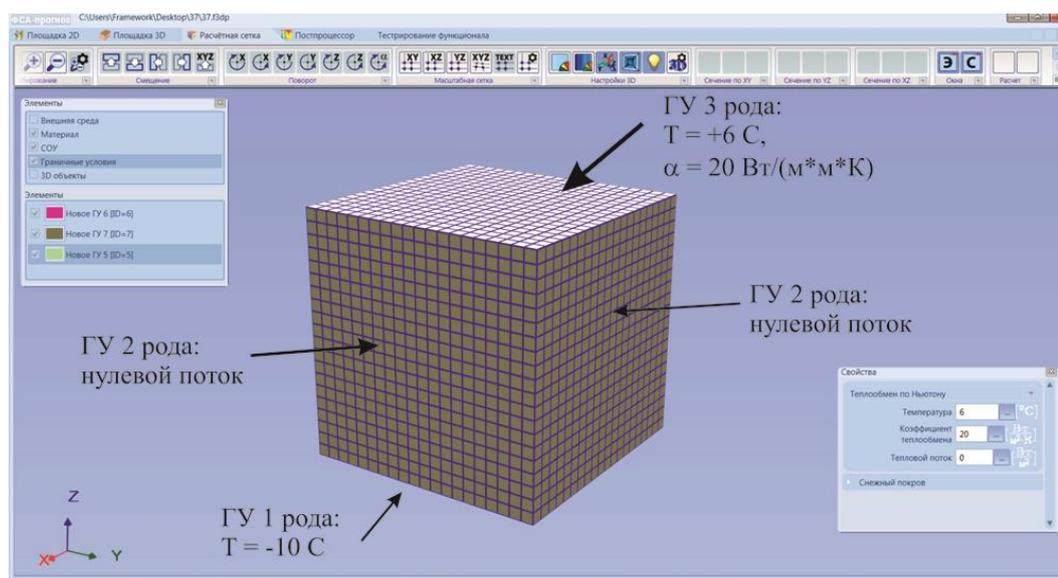
Область моделирования состоит из неоднородных слоев грунта, с различными теплофизическими свойствами – теплоемкостью, теплопроводностью, плотностью и влагосодержанием. В связи с этим для компьютерного моделирования искусственного замораживания грунтов необходимо построение трехмерной области моделирования, в которой учтено реальное распределение слоев грунта с различными теплофизическими свойствами. Такое распределение слоев грунта строится на основании данных, полученных по инженерно-геологическим скважинам.

Продолжение приложения 1



Задание граничных условий в программе «ФСА-прогноз»

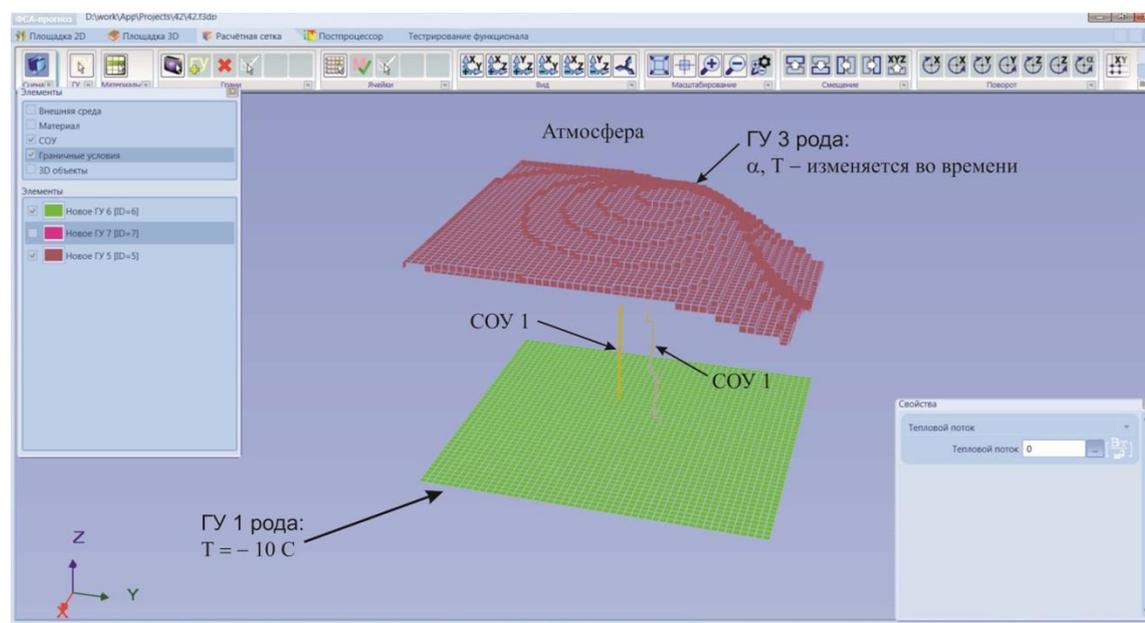
За верхнюю границу области моделирования, как правило, принимают поверхность земли, а нижнюю границу располагают на достаточно большой глубине, чтобы минимизировать её влияние на тепловые процессы в интересующей проектировщика области.



Граничные условия

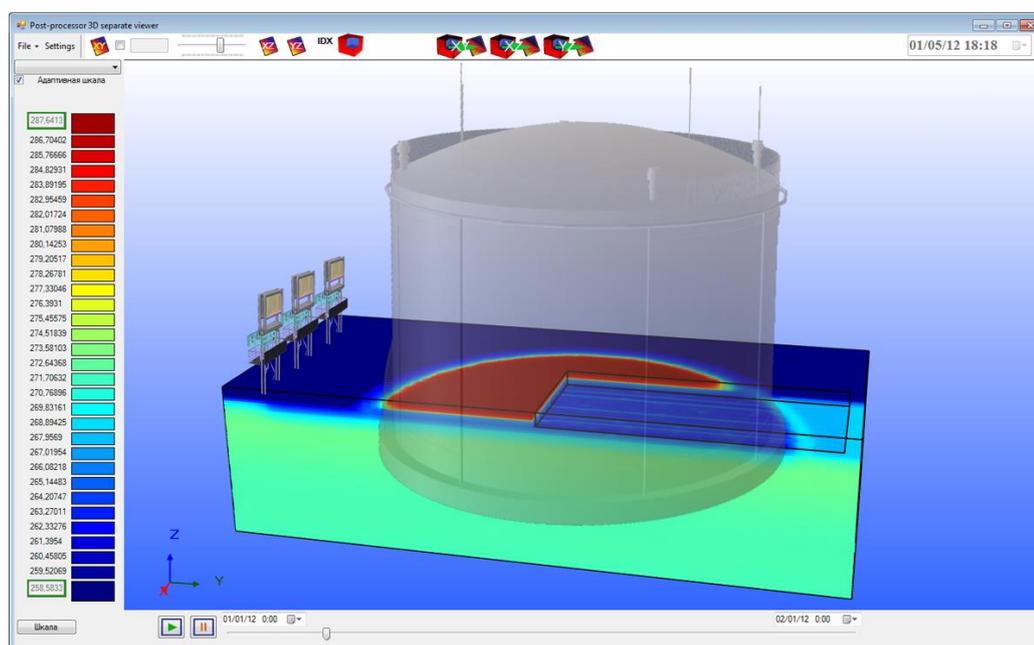
На верхней границе области моделирования задаются условия теплообмена с окружающей средой, которые определяются температурой воздуха и коэффициентом теплообмена. При наличии источников теплового излучения, например, факела сжигания попутного газа, дополнительно задается температура источника излучения и степень черноты поверхности грунта. Учет влияния снегового покрова на теплообмен поверхности грунта осуществляется путем задания изменения во времени толщины снежного покрова и его теплопроводности.

На нижней границе области моделирования задается температура грунта согласно термометрическим данным. На боковой поверхности области моделирования, как правило, задается нулевой тепловой поток. При этом боковые границы области моделирования должны быть расположены достаточно далеко от интересующего проектировщика участка, чтобы они не оказывали влияние на расчет тепловых процессов.



Дискретизация элементов

После задания всех входных данных осуществляется расчет компьютерной модели на необходимый период времени. Таким образом, проектировщики получают в свое распоряжение полную информацию о динамике трехмерного температурного поля в грунте на интересующий промежуток времени.



Результаты расчета в программе «ФСА-прогноз»

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

НПО «ФУНДАМЕНТСТРОЙАРКОС»

ФГБОУ ВО

ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОРЕНБУРГ

ЛЬДОХРАНИЛИЩЕ

Прогноз температурного режима грунтов основания

Оренбург, Тюмень, 2012 г.

Продолжение приложения 2

Исходные данные для расчета.

Льдохранилище габаритами в плане 20,0 х 6,0 (м), глубиной 3,0 м находится в земле и наполнено водой.

Теплоизоляция из пеноплекса толщиной 200 мм выполнена по контуру всего сооружения.

Для замораживания воды поставлены с шагом 1х1 (м) термостабилизаторы ТК32/6,0 без муфты.

Термостабилизаторы начинают работать в первый год с 25 ноября, в последующие года с 1 декабря по март месяц.

Прогнозный расчет приведен в графической форме. На рисунке 1 приведена расчетная область в плане габаритами льдохранилища 10,0х3,0 м. Прогнозные расчеты температурных полей приведены на рисунках 3-6. Согласно прогнозным расчетам, при работе термостабилизаторов, за один зимний период вода превращается в лед и сохраняется в мерзлом состоянии весь летний период и далее до декабря месяца.

Исходные данные – кафедра МТП в АПК Оренбургского государственного аграрного университета (Козловцев А.П., Коровин Г.С.).

Термостабилизатор ТК32/6,0 без муфты.

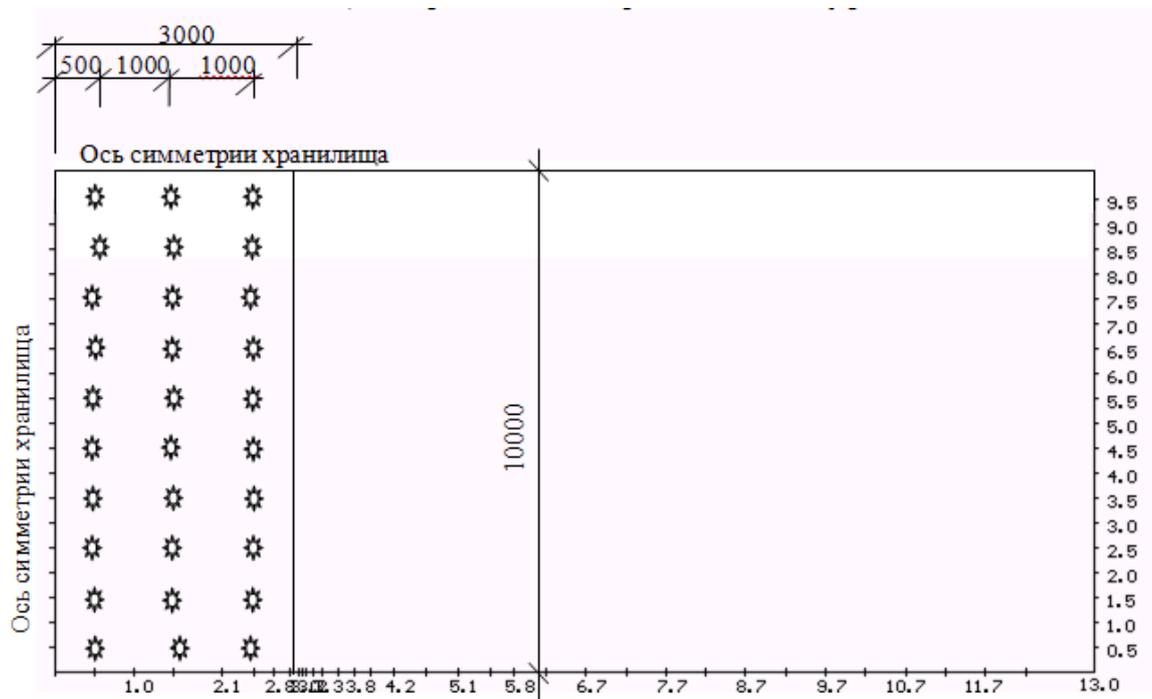


Рисунок 1 – Расчетная область в плане.

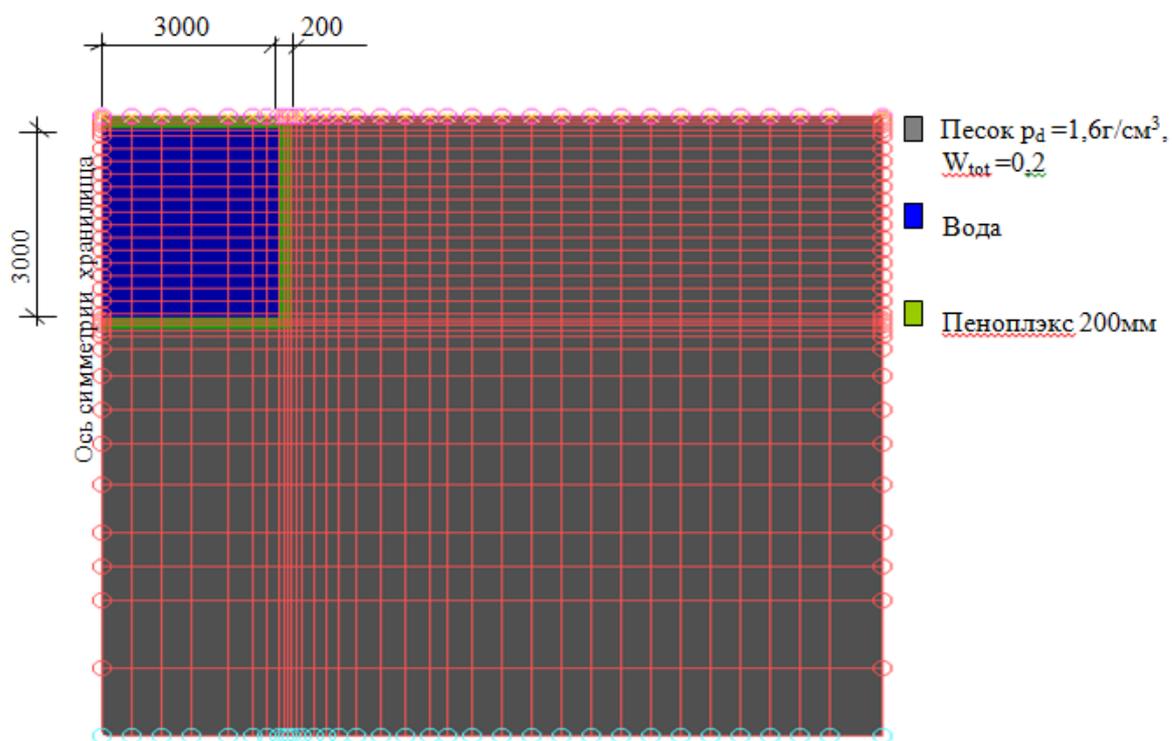


Рисунок 2 - Расчетная область.

Продолжение приложения 2

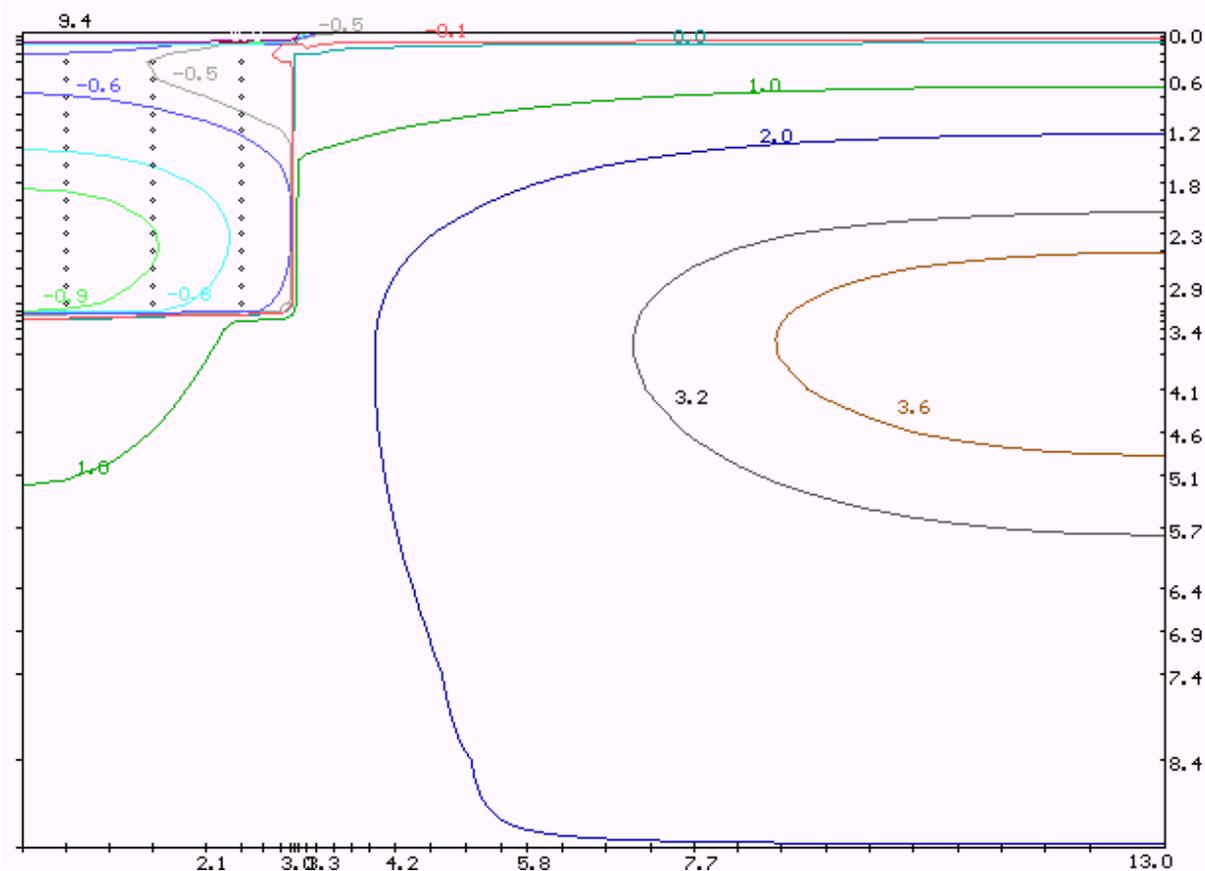


Рисунок 3 - Температурное поле перед началом работы термостабилизаторов (30 октября).

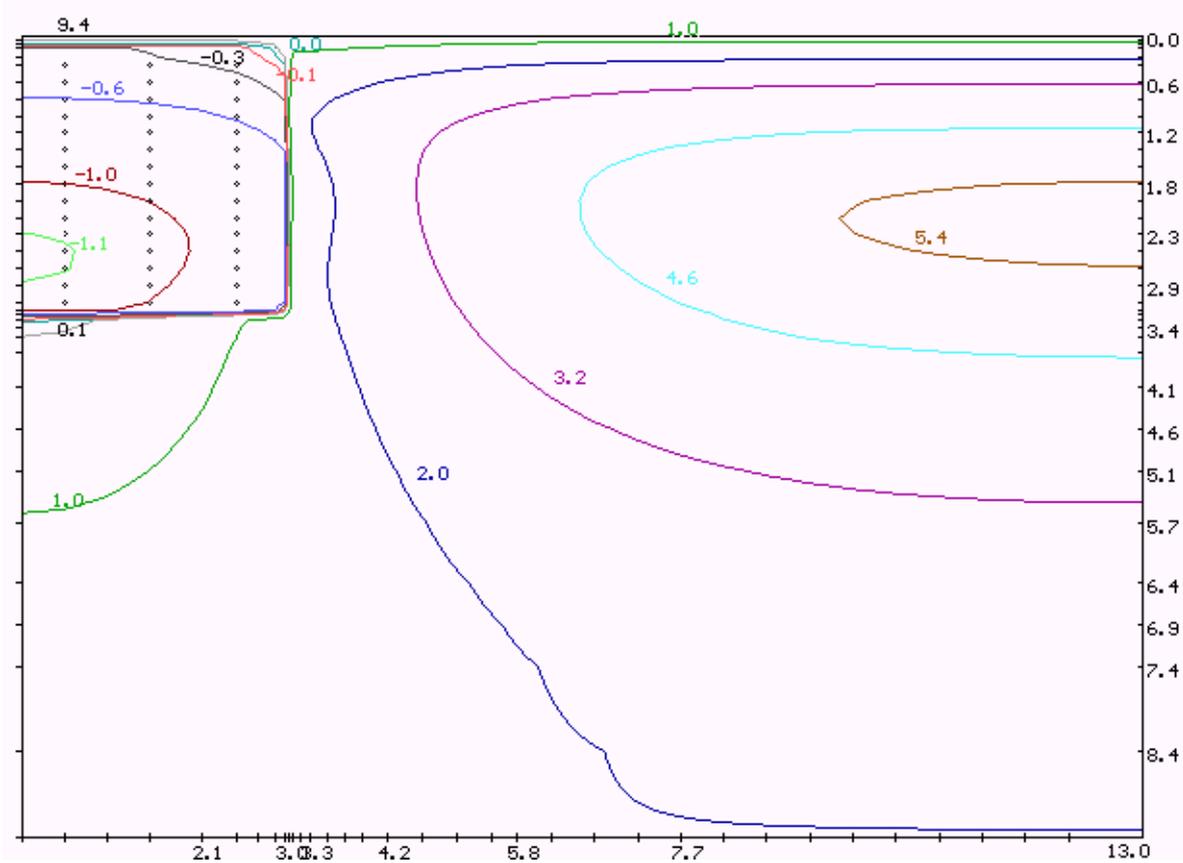


Рисунок 4 - Температурное поле на конец первой зимы работы ТК (15 марта).

Продолжение приложения 2

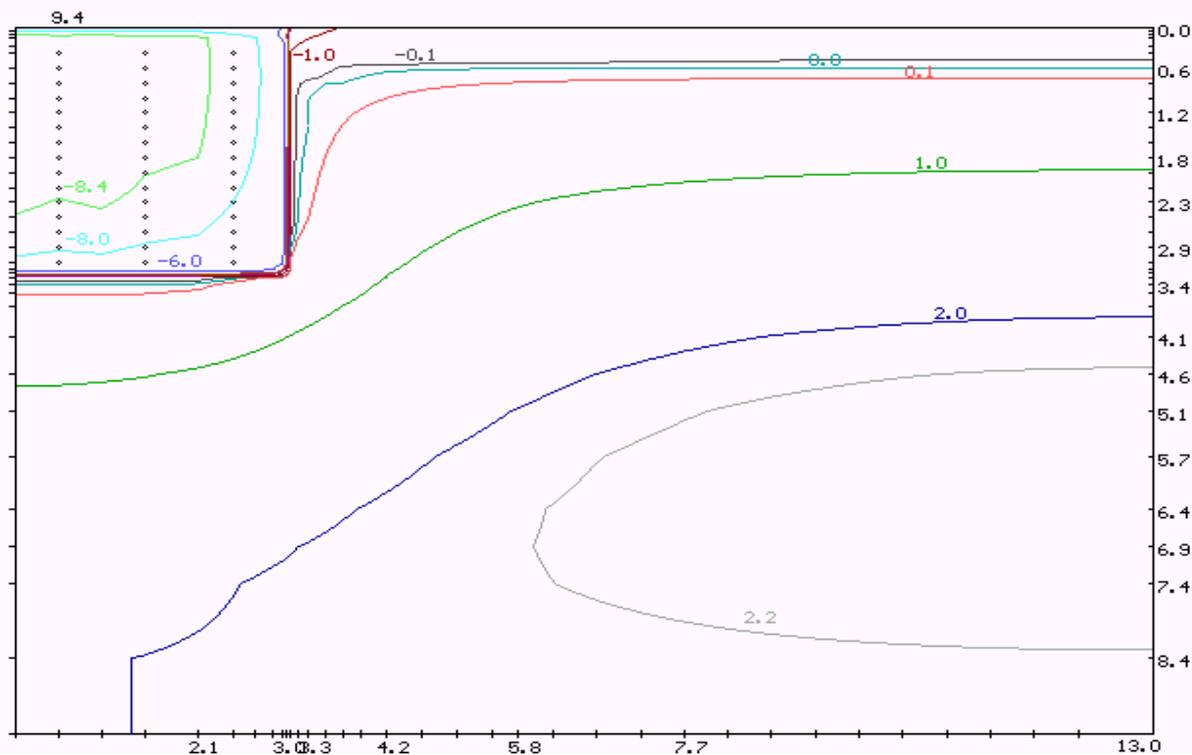


Рисунок 5 - Температурное поле на конец первого лета (30 октября).

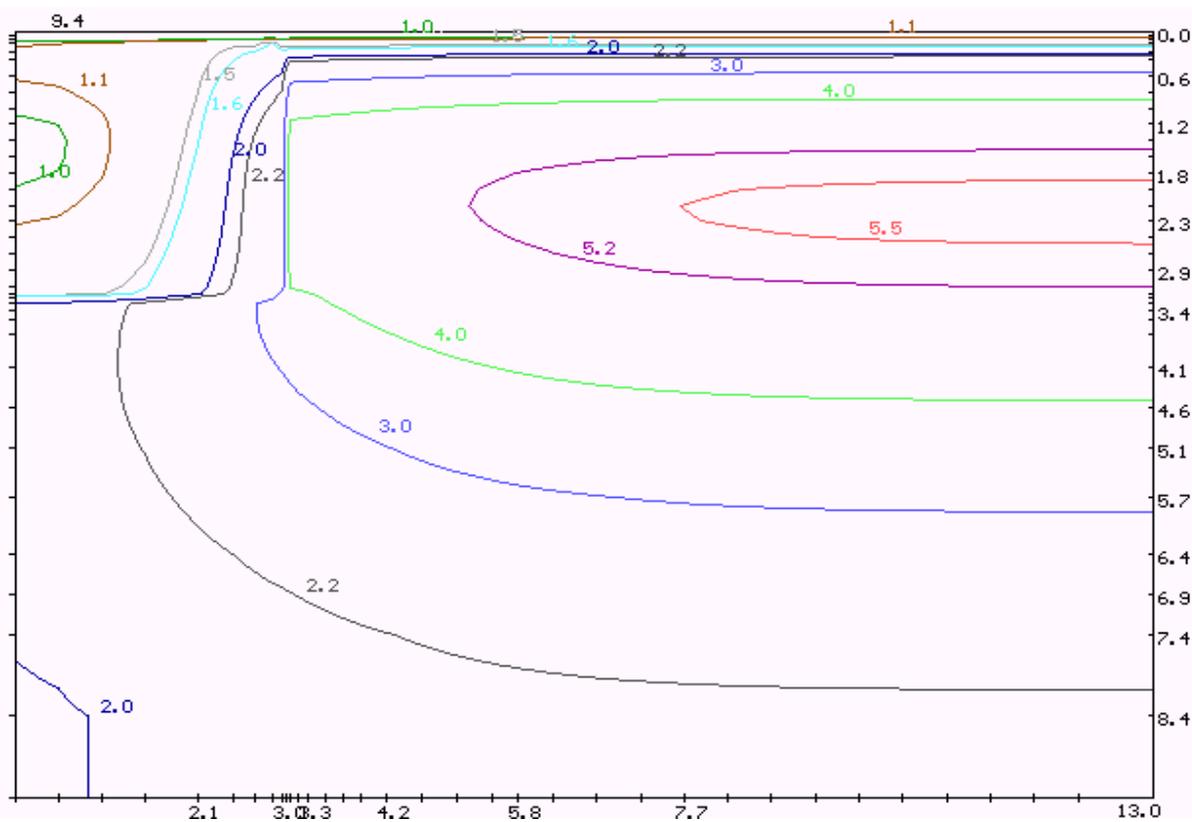


Рисунок 6 - Температурное поле на 1 декабря

Приложение 3
Свидетельство на ПО

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2014617152
Флижный окладитель.

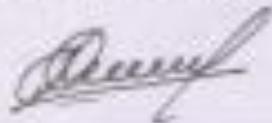
Приниматель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)

Авторы: Козлова Андрей Петрович (RU), Кошеников Василий Викторович (RU), Шахов Владимир Александрович (RU), Салдатов Виктор Геннадьевич (RU), Короман Григорий Сергеевич (RU)

Заявка № 2014614800
Дата поступления 22 мая 2014 г.
Дата государственной регистрации
в Реестре программы для ЭВМ 14 июля 2014 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



К.П. Скольников

Продолжение приложения 3

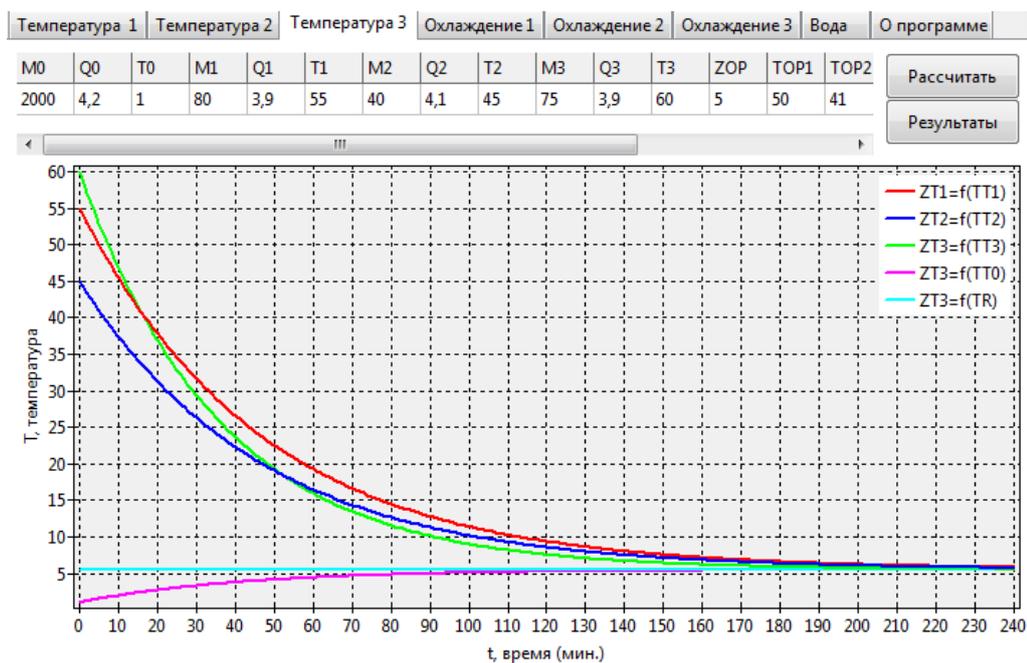


Рисунок 1 - Вид окна с условными обозначениями исходных данных ($M_0, Q_0, T_0; M_1 \dots$), числовыми значениями исходных данных (2000; 4,2; 1; 80; 3,9...), названиями вкладок (Температура 1; Температура 2...) и кнопками (Рассчитать и Результаты)

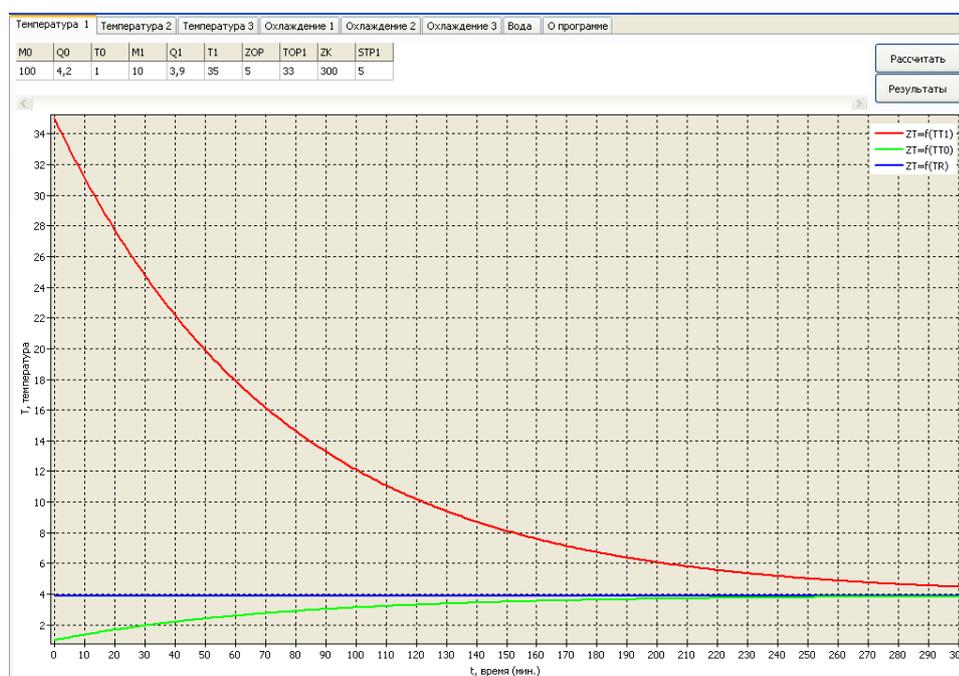


Рисунок 2 - Расчет численного значения температуры одного продукта за заданное время

Продолжение приложения 3

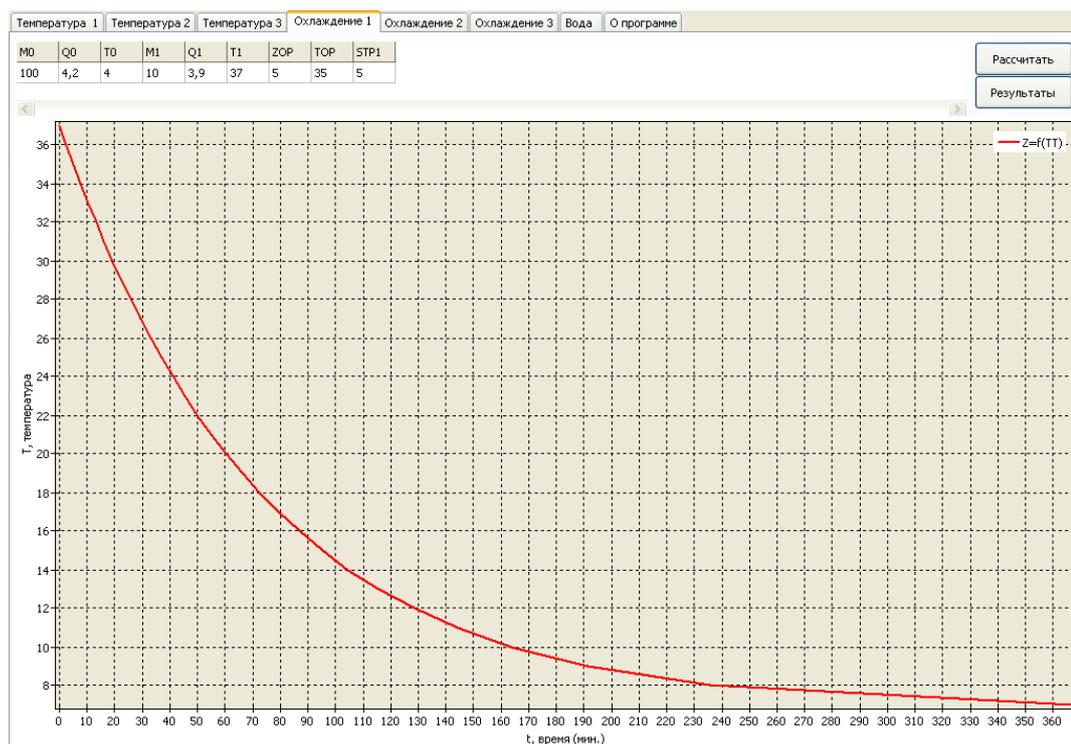


Рисунок 3 - Расчет длительности охлаждения одного продукта до данной температуры

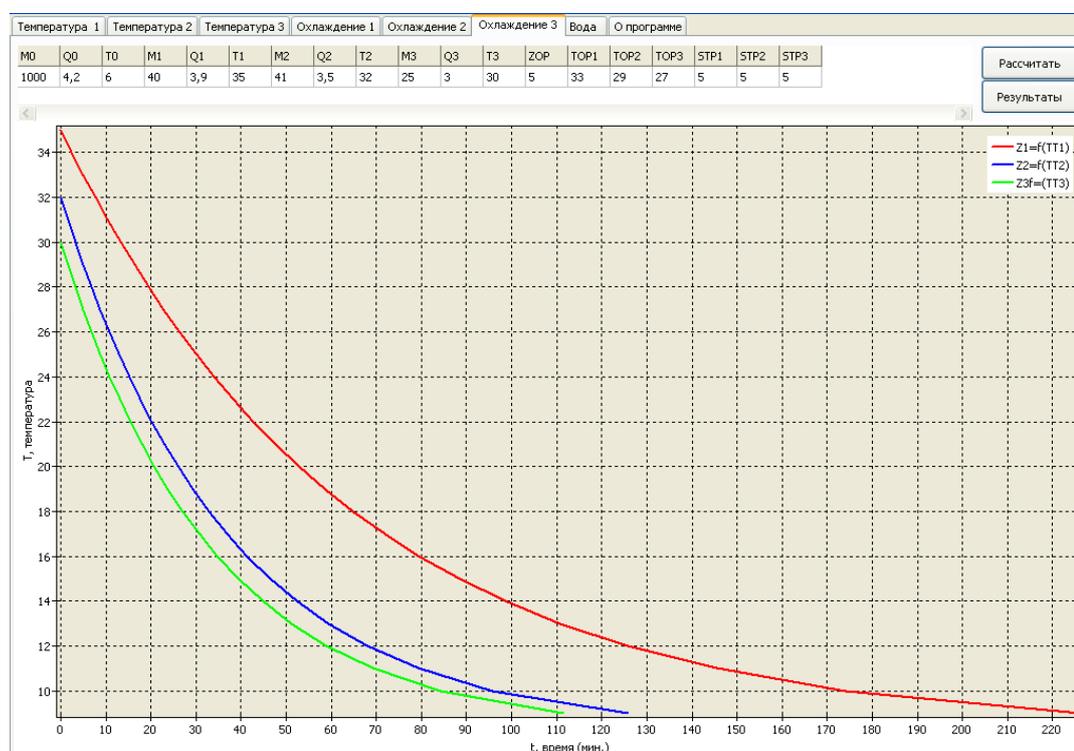


Рисунок 4 – Расчет длительности охлаждения каждого из 3-х продуктов до данной температуры

Продолжение приложения 3

```

unit Unit1;
{$mode objfpc}{$H+}
interface
uses
  Classes, SysUtils, FileUtil, TAgGraph, TAsSeries, Forms, Controls, Graphics,
  Dialogs, ComCtrls, Grids, StdCtrls, ExtCtrls, types;
type
  { TForm1 }
  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Button10: TButton;
    Button11: TButton;
    Button12: TButton;
    Button13: TButton;
    Button14: TButton;
    Button2: TButton;
    Button3: TButton;
    Button4: TButton;
    Button5: TButton;
    Button6: TButton;
    Button7: TButton;
    Button8: TButton;
    Button9: TButton;
    Chart1: TChart;
    Chart1LineSeries1: TLineSeries;
    Chart1LineSeries2: TLineSeries;
    Chart1LineSeries3: TLineSeries;
    Chart2: TChart;
    Chart2LineSeries1: TLineSeries;
    Chart2LineSeries2: TLineSeries;
    Chart2LineSeries3: TLineSeries;
    Chart2LineSeries4: TLineSeries;
    Chart3: TChart;
    Chart3LineSeries1: TLineSeries;
    Chart3LineSeries2: TLineSeries;
    Chart3LineSeries3: TLineSeries;
    Chart3LineSeries4: TLineSeries;
    Chart3LineSeries5: TLineSeries;
    Chart4: TChart;
    Chart4LineSeries1: TLineSeries;
    Chart5: TChart;
    Chart5LineSeries1: TLineSeries;
    Chart5LineSeries2: TLineSeries;
    Chart6: TChart;
    Chart6LineSeries1: TLineSeries;
    Chart6LineSeries2: TLineSeries;
    Chart6LineSeries3: TLineSeries;
    Chart7: TChart;
    Chart7LineSeries1: TLineSeries;
    Chart7LineSeries2: TLineSeries;
    Chart7LineSeries3: TLineSeries;
    Label1: TLabel;
    Memo1: TMemo;
    PageControl1: TPageControl;
    Panel1: TPanel;
    Panel2: TPanel;
    Panel3: TPanel;
    Panel4: TPanel;
    Panel5: TPanel;
    Panel6: TPanel;
    Panel7: TPanel;
    StringGrid1: TStringGrid;
    StringGrid2: TStringGrid;
    StringGrid3: TStringGrid;
    StringGrid4: TStringGrid;
    StringGrid5: TStringGrid;
    StringGrid6: TStringGrid;
    StringGrid7: TStringGrid;
    TabSheet1: TTabSheet;
    TabSheet2: TTabSheet;
    TabSheet3: TTabSheet;
    TabSheet4: TTabSheet;
    TabSheet5: TTabSheet;
    TabSheet6: TTabSheet;
  end;
end.

```

Продолжение приложения 3

```

TabSheet7: TTabSheet;
TabSheet8: TTabSheet;
procedure Button10Click(Sender: TObject);
procedure Button11Click(Sender: TObject);
procedure Button12Click(Sender: TObject);
procedure Button13Click(Sender: TObject);
procedure Button14Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure FormShow(Sender: TObject);
procedure TabSheet1Show(Sender: TObject);
procedure TabSheet2Show(Sender: TObject);
procedure Calculate1;
procedure Calculate2;
procedure Calculate3;
procedure Calculate4;
procedure Calculate5;
procedure Calculate6;
procedure Calculate7;
procedure TabSheet4ContextPopup(Sender: TObject; MousePos: TPoint;
  var Handled: boolean);
procedure TabSheet5ContextPopup(Sender: TObject; MousePos: TPoint;
  var Handled: boolean);
private
  { private declarations }
public
  { public declarations }
end;
var
  Form1: TForm1;
implementation
uses Unit2;
{$R *.lfm}
{ TForm1 }

procedure TForm1.Calculate1;
var
  M0, Q0, T0, M1, Q1, T1, ZOP, TOP1, ZK: extended;
var
  TR, C1, K1, TT1, TT0, D1: extended;
var
  ZT, STP1: integer;
begin
  // Получение значений из таблицы
  M0 := StrToFloat(StringGrid1.Cells[0, 1]);
  Q0 := StrToFloat(StringGrid1.Cells[1, 1]);
  T0 := StrToFloat(StringGrid1.Cells[2, 1]);
  M1 := StrToFloat(StringGrid1.Cells[3, 1]);
  Q1 := StrToFloat(StringGrid1.Cells[4, 1]);
  T1 := StrToFloat(StringGrid1.Cells[5, 1]);
  ZOP := StrToFloat(StringGrid1.Cells[6, 1]);
  TOP1 := StrToFloat(StringGrid1.Cells[7, 1]);
  ZK := StrToFloat(StringGrid1.Cells[8, 1]);
  STP1 := StrToInt(StringGrid1.Cells[9, 1]);
  TR := (M0 * Q0 * T0 + M1 * Q1 * T1) / (M0 * Q0 + M1 * Q1);
  D1 := M1 * Q1 / (M0 * Q0);
  C1 := T1 - TR;
  K1 := ln(C1 / (TOP1 - TR)) / ZOP;
  Chart1LineSeries1.Clear;
  Chart1LineSeries2.Clear;
  Chart1LineSeries3.Clear;
  form2.Memo1.Clear;
  form2.Memo1.Lines.Add(' TR = ' + FloatToStr(TR));
  ZT := 0;
  while ZT <= ZK do
  begin
    TT1 := TR + C1 / EXP(K1 * ZT);

```

Продолжение приложения 3

```

TT0 := D1 * (T1 - TT1) + T0;
Chart1LineSeries1.AddXY(ZT, TT1);
Chart1LineSeries2.AddXY(ZT, TT0);
Chart1LineSeries3.AddXY(ZT, TR);
if ZT mod STP1 = 0 then
  form2.Memo1.Lines.Add(' ZT = ' + FloatToStr(ZT) +
    ' TT1 = ' + FloatToStr(TT1) +
    ' TT0 = ' + FloatToStr(TT0));
  ZT := ZT + 1;
end;
end;
procedure TForm1.Calculate2;
var
  M0, Q0, T0, M1, Q1, T1, M2, Q2, T2, ZOP, TOP1, TOP2, ZK: extended;
var
  TR, C1, C2, K1, K2, TT1, TT2, TT0, D1, D2: extended;
var
  STP1, STP2, ZT: integer;
begin
  // Получение значений из таблицы
  M0 := StrToFloat(StringGrid2.Cells[0, 1]);
  Q0 := StrToFloat(StringGrid2.Cells[1, 1]);
  T0 := StrToFloat(StringGrid2.Cells[2, 1]);
  M1 := StrToFloat(StringGrid2.Cells[3, 1]);
  Q1 := StrToFloat(StringGrid2.Cells[4, 1]);
  T1 := StrToFloat(StringGrid2.Cells[5, 1]);
  M2 := StrToFloat(StringGrid2.Cells[6, 1]);
  Q2 := StrToFloat(StringGrid2.Cells[7, 1]);
  T2 := StrToFloat(StringGrid2.Cells[8, 1]);
  ZOP := StrToFloat(StringGrid2.Cells[9, 1]);
  TOP1 := StrToFloat(StringGrid2.Cells[10, 1]);
  TOP2 := StrToFloat(StringGrid2.Cells[11, 1]);
  ZK := StrToFloat(StringGrid2.Cells[12, 1]);
  STP1 := StrToInt(StringGrid2.Cells[13, 1]);
  STP2 := StrToInt(StringGrid2.Cells[14, 1]);
  TR := (M0 * Q0 * T0 + M1 * Q1 * T1 + M2 * Q2 * T2) / (M0 * Q0 + M1 * Q1 + M2 * Q2);
  D1 := M1 * Q1 / (M0 * Q0);
  D2 := M2 * Q2 / (M0 * Q0);
  C1 := T1 - TR;
  C2 := T2 - TR;
  K1 := Ln(C1 / (TOP1 - TR)) / ZOP;
  K2 := Ln(C2 / (TOP2 - TR)) / ZOP;
  Chart2LineSeries1.Clear;
  Chart2LineSeries2.Clear;
  Chart2LineSeries3.Clear;
  Chart2LineSeries4.Clear;
  form2.Memo1.Clear;
  form2.Memo1.Lines.Add(' TR = ' + FloatToStr(TR));
  ZT := 0;
  while ZT <= ZK do
    begin
      TT1 := TR + C1 / EXP(K1 * ZT);
      TT2 := TR + C2 / EXP(K2 * ZT);
      TT0 := D1 * (T1 - TT1) + D2 * (T2 - TT2) + T0;
      Chart2LineSeries1.AddXY(ZT, TT1);
      Chart2LineSeries2.AddXY(ZT, TT2);
      Chart2LineSeries3.AddXY(ZT, TT0);
      Chart2LineSeries4.AddXY(ZT, TR);
      if ZT mod STP1 = 0 then
        form2.Memo1.Lines.Add(' ZT = ' + FloatToStr(ZT) +
          ' TT1 = ' + FloatToStr(TT1) +
          ' TT2 = ' + FloatToStr(TT2) +
          ' TT0 = ' + FloatToStr(TT0));
        ZT := ZT + 1;
      end;
    end;
end;
procedure TForm1.Calculate3;
var
  M0, Q0, T0, M1, Q1, T1, M2, Q2, T2, M3, Q3, T3, ZOP, TOP1, TOP2, TOP3, ZK: extended;
  TR, C1, C2, C3, K1, K2, K3, TT1, TT2, TT3, TT0, D1, D2, D3: extended;
var
  STP1, STP2, STP3, ZT: integer;
begin
  // Получение значений из таблицы

```

Продолжение приложения 3

```

M0 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[0, 1]);
Q0 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[1, 1]);
T0 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[2, 1]);
M1 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[3, 1]);
Q1 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[4, 1]);
T1 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[5, 1]);
M2 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[6, 1]);
Q2 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[7, 1]);
T2 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[8, 1]);
M3 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[9, 1]);
Q3 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[10, 1]);
T3 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[11, 1]);
ZOP := StrToFloat(StringGrid3.Cells[12, 1]);
TOP1 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[13, 1]);
TOP2 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[14, 1]);
TOP3 := StrToFloat(StringGrid3.Cells[15, 1]);
ZK := StrToFloat(StringGrid3.Cells[16, 1]);
STP1 := StrToInt(StringGrid3.Cells[17, 1]);
STP2 := StrToInt(StringGrid3.Cells[18, 1]);
STP3 := StrToInt(StringGrid3.Cells[19, 1]);
TR := (M0 * Q0 * T0 + M1 * Q1 * T1 + M2 * Q2 * T2 + M3 * Q3 * T3) /
  (M0 * Q0 + M1 * Q1 + M2 * Q2 + M3 * Q3);
D1 := M1 * Q1 / (M0 * Q0);
D2 := M2 * Q2 / (M0 * Q0);
D3 := M3 * Q3 / (M0 * Q0);
C1 := T1 - TR;
C2 := T2 - TR;
C3 := T3 - TR;
K1 := Ln(C1 / (TOP1 - TR)) / ZOP;
K2 := Ln(C2 / (TOP2 - TR)) / ZOP;
K3 := Ln(C3 / (TOP3 - TR)) / ZOP;
Chart3LineSeries1.Clear;
Chart3LineSeries2.Clear;
Chart3LineSeries3.Clear;
Chart3LineSeries4.Clear;
Chart3LineSeries5.Clear;
form2.Memo1.Clear;
form2.Memo1.Lines.Add(' TR = ' + FloatToStr(TR));
ZT := 0;
while ZT <= ZK do
begin
  TT1 := TR + C1 / EXP(K1 * ZT);
  TT2 := TR + C2 / EXP(K2 * ZT);
  TT3 := TR + C3 / EXP(K3 * ZT);
  TT0 := D1 * (T1 - TT1) + D2 * (T2 - TT2) + D3 * (T3 - TT3) + T0;
  Chart3LineSeries1.AddXY(ZT, TT1);
  Chart3LineSeries2.AddXY(ZT, TT2);
  Chart3LineSeries3.AddXY(ZT, TT3);
  Chart3LineSeries4.AddXY(ZT, TT0);
  Chart3LineSeries5.AddXY(ZT, TR);
  if ZT mod STP1 = 0 then
    form2.Memo1.Lines.Add(' ZT = ' + FloatToStr(ZT) +
      ' TT1 = ' + FloatToStr(TT1) +
      ' TT2 = ' + FloatToStr(TT2) +
      ' TT3 = ' + FloatToStr(TT3) +
      ' TT0 = ' + FloatToStr(TT0));
  ZT := ZT + 1;
end;
end;
procedure TForm1.Calculate4;
var
  M0, Q0, T0, M1, Q1, ZOP, TOP1: extended;
var
  C, K, TT, T1, TR, Z: extended;
var
  STP1: integer;
begin
  // Получение значений из таблицы
  M0 := StrToFloat(StringGrid4.Cells[0, 1]);
  Q0 := StrToFloat(StringGrid4.Cells[1, 1]);
  T0 := StrToFloat(StringGrid4.Cells[2, 1]);
  M1 := StrToFloat(StringGrid4.Cells[3, 1]);
  Q1 := StrToFloat(StringGrid4.Cells[4, 1]);
  T1 := StrToFloat(StringGrid4.Cells[5, 1]);

```

Продолжение приложения 3

```

ZOP := StrToFloat(StringGrid4.Cells[6, 1]);
TOP1 := StrToFloat(StringGrid4.Cells[7, 1]);
STP1 := StrToInt(StringGrid4.Cells[8, 1]);
TR := (M0 * Q0 * T0 + M1 * Q1 * T1) / (M0 * Q0 + M1 * Q1);
C := T1 - TR;
K := Ln(C / (TOP1 - TR)) / ZOP;
Chart4LineSeries1.Clear;
form2.Memo1.Clear;
form2.Memo1.Lines.Add('Z1=f(TT)');
TT := T1;
while TT > TR do
begin
  Z := Ln(C / (TT - TR)) / K;
  Chart4LineSeries1.AddXY(Z, TT);
  if Trunc(TT) mod STP1 = 0 then
    form2.Memo1.Lines.Add(FloatToStr(Z) + ' ' + FloatToStr(TT));
  TT := TT - 1;
end;
end;
procedure TForm1.Calculate5;
var
  M0, Q0, T0, M1, Q1, T1, M2, Q2, T2, ZOP, TOP1, TOP2: extended;
var
  TR, C1, C2, K1, K2, TT1, TT2, Z1, Z2: extended;
var
  STP1, STP2: integer;
begin
  // Получение значений из таблицы
  M0 := StrToFloat(StringGrid5.Cells[0, 1]);
  Q0 := StrToFloat(StringGrid5.Cells[1, 1]);
  T0 := StrToFloat(StringGrid5.Cells[2, 1]);
  M1 := StrToFloat(StringGrid5.Cells[3, 1]);
  Q1 := StrToFloat(StringGrid5.Cells[4, 1]);
  T1 := StrToFloat(StringGrid5.Cells[5, 1]);
  M2 := StrToFloat(StringGrid5.Cells[6, 1]);
  Q2 := StrToFloat(StringGrid5.Cells[7, 1]);
  T2 := StrToFloat(StringGrid5.Cells[8, 1]);
  ZOP := StrToFloat(StringGrid5.Cells[9, 1]);
  TOP1 := StrToFloat(StringGrid5.Cells[10, 1]);
  TOP2 := StrToFloat(StringGrid5.Cells[11, 1]);
  STP1 := StrToInt(StringGrid5.Cells[12, 1]);
  STP2 := StrToInt(StringGrid5.Cells[13, 1]);
  TR := (M0 * Q0 * T0 + M1 * Q1 * T1 + M2 * Q2 * T2) / (M0 * Q0 + M1 * Q1 + M2 * Q2);
  C1 := T1 - TR;
  C2 := T2 - TR;
  K1 := Ln(C1 / (TOP1 - TR)) / ZOP;
  K2 := Ln(C2 / (TOP2 - TR)) / ZOP;

  Chart5LineSeries1.Clear;
  Chart5LineSeries2.Clear;
  form2.Memo1.Clear;
  form2.Memo1.Lines.Add('Z1=f(TT1)');
  TT1 := T1;
  while TT1 > TR do
  begin
    Z1 := Ln(C1 / (TT1 - TR)) / K1;
    Chart5LineSeries1.AddXY(Z1, TT1);
    if Round(TT1) mod STP1 = 0 then
      form2.Memo1.Lines.Add(FloatToStr(Z1) + ' ' + FloatToStr(TT1));
    TT1 := TT1 - 1;
  end;
  form2.Memo1.Lines.Add('Z2=f(TT2)');
  TT2 := T2;
  while TT2 > TR do
  begin
    Z2 := Ln(C2 / (TT2 - TR)) / K2;
    Chart5LineSeries2.AddXY(Z2, TT2);
    if Trunc(TT2) mod STP2 = 0 then
      form2.Memo1.Lines.Add(FloatToStr(Z2) + ' ' + FloatToStr(TT2));
    TT2 := TT2 - 1;
  end;
end;
end;
procedure TForm1.Calculate6;
var

```

Продолжение приложения 3

```

M0, Q0, T0, M1, Q1, T1, M2, Q2, T2, M3, Q3, T3, ZOP, TOP1, TOP2, TOP3: extended;
var
  TR, C1, C2, C3, K1, K2, K3, TT1, TT2, TT3, Z1, Z2, Z3: extended;
var
  STP1, STP2, STP3: integer;
begin
  // Получение значений из таблицы
  M0 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[0, 1]);
  Q0 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[1, 1]);
  T0 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[2, 1]);
  M1 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[3, 1]);
  Q1 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[4, 1]);
  T1 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[5, 1]);
  M2 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[6, 1]);
  Q2 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[7, 1]);
  T2 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[8, 1]);
  M3 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[9, 1]);
  Q3 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[10, 1]);
  T3 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[11, 1]);
  ZOP := StrToFloat(StringGrid6.Cells[12, 1]);
  TOP1 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[13, 1]);
  TOP2 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[14, 1]);
  TOP3 := StrToFloat(StringGrid6.Cells[15, 1]);
  //ZK := StrToFloat(StringGrid3.Cells[16,1]);
  STP1 := StrToInt(StringGrid6.Cells[16, 1]);
  STP2 := StrToInt(StringGrid6.Cells[17, 1]);
  STP3 := StrToInt(StringGrid6.Cells[18, 1]);
  TR := (M0 * Q0 * T0 + M1 * Q1 * T1 + M2 * Q2 * T2 + M3 * Q3 * T3) /
    (M0 * Q0 + M1 * Q1 + M2 * Q2 + M3 * Q3);
  C1 := T1 - TR;
  C2 := T2 - TR;
  C3 := T3 - TR;
  K1 := Ln(C1 / (TOP1 - TR)) / ZOP;
  K2 := Ln(C2 / (TOP2 - TR)) / ZOP;
  K3 := Ln(C3 / (TOP3 - TR)) / ZOP;

  Chart6LineSeries1.Clear;
  Chart6LineSeries2.Clear;
  Chart6LineSeries3.Clear;
  form2.Memo1.Clear;
  form2.Memo1.Lines.Add('Z1=f(TT1)');
  TT1 := T1;
  while TT1 > TR do
  begin
    Z1 := Ln(C1 / (TT1 - TR)) / K1;
    Chart6LineSeries1.AddXY(Z1, TT1);
    if Trunc(TT1) mod STP1 = 0 then
      form2.Memo1.Lines.Add(FloatToStr(Z1) + ' ' + FloatToStr(TT1));
    TT1 := TT1 - 1;
  end;
  form2.Memo1.Lines.Add('Z2=f(TT2)');
  TT2 := T2;
  while TT2 > TR do
  begin
    Z2 := Ln(C2 / (TT2 - TR)) / K2;
    Chart6LineSeries2.AddXY(Z2, TT2);
    if Trunc(TT2) mod STP2 = 0 then
      form2.Memo1.Lines.Add(FloatToStr(Z2) + ' ' + FloatToStr(TT2));
    TT2 := TT2 - 1;
  end;
  form2.Memo1.Lines.Add('Z3=f(TT3)');
  TT3 := T3;
  while TT3 > TR do
  begin
    Z3 := Ln(C3 / (TT3 - TR)) / K3;
    Chart6LineSeries3.AddXY(Z3, TT3);
    if Trunc(TT3) mod STP3 = 0 then
      form2.Memo1.Lines.Add(FloatToStr(Z3) + ' ' + FloatToStr(TT3));
    TT3 := TT3 - 1;
  end;
end;
end;
procedure TForm1.Calculate7;
var
  M0, Q0, T0, M1, Q1, ZOP, TOP1: extended;

```

Продолжение приложения 3

```

var
  C0, C1, K, TT, T1, TR, Z, D, ZT, ZK, TT1, TT0, RT: extended;
var
  STP1, STP2, STP3: integer;
begin
  // Получение значений из таблицы
  M0 := StrToFloat(StringGrid7.Cells[0, 1]);
  Q0 := StrToFloat(StringGrid7.Cells[1, 1]);
  T0 := StrToFloat(StringGrid7.Cells[2, 1]);
  M1 := StrToFloat(StringGrid7.Cells[3, 1]);
  Q1 := StrToFloat(StringGrid7.Cells[4, 1]);
  T1 := StrToFloat(StringGrid7.Cells[5, 1]);
  ZOP := StrToFloat(StringGrid7.Cells[6, 1]);
  TOP1 := StrToFloat(StringGrid7.Cells[7, 1]);
  ZK := StrToFloat(StringGrid7.Cells[8, 1]);
  STP1 := StrToInt(StringGrid7.Cells[9, 1]);
  STP2 := StrToInt(StringGrid7.Cells[10, 1]);
  STP3 := StrToInt(StringGrid7.Cells[11, 1]);

  TR := (M0 * Q0 * T0 + M1 * Q1 * T1) / (M0 * Q0 + M1 * Q1);
  C0 := TR - T0;
  C1 := T1 - TR;
  K := ln(C1 / (TOP1 - TR)) / ZOP;
  Chart7LineSeries1.Clear;
  Chart7LineSeries2.Clear;
  Chart7LineSeries3.Clear;
  form2.Memo1.Clear;
  form2.Memo1.Lines.Add('ZT=f(TT1)');
  ZT := 0;
  while ZT < ZK do
  begin
    TT1 := TR + C1 / EXP(K * ZT);
    Chart7LineSeries1.AddXY(ZT, TT1);
    if Trunc(ZT) mod STP1 = 0 then
      form2.Memo1.Lines.Add(FloatToStr(ZT) + ' ' + FloatToStr(TT1));
    ZT := ZT + 1;
  end;
  form2.Memo1.Lines.Add('ZT=f(TT0)');
  ZT := 0;
  while ZT < ZK do
  begin
    TT0 := TR - C0 / EXP(K * ZT);
    Chart7LineSeries2.AddXY(ZT, TT0);
    if Trunc(ZT) mod STP2 = 0 then
      form2.Memo1.Lines.Add(FloatToStr(ZT) + ' ' + FloatToStr(TT0));
    ZT := ZT + 1;
  end;
  { form2.Memo1.Lines.Add('ZT=f(RT)');
  ZT := 0;
  while ZT < ZK do
  begin
    RT := (C1 + C0) / EXP(K * ZT);
    Chart7LineSeries3.AddXY(ZT, RT);
    IF Trunc(ZT) mod STP3=0 then
      form2.Memo1.Lines.Add(FloatToStr(ZT)+' ' +FloatToStr(Round(RT)));
    ZT := ZT + 1;
  end;}
  form2.Memo1.Lines.Add('Z=f(D)');
  D := 1;
  while D < (T1 - T0) do
  begin
    Z := ln((T1 - T0) / D) / K;
    Chart7LineSeries3.AddXY(Z, D);
    if Trunc(Z) mod STP3 = 0 then
      form2.Memo1.Lines.Add(FloatToStr(Z) + ' ' + FloatToStr(D));
    D := D + 1;
  end;
end;
procedure TForm1.TabSheet4ContextPopup(Sender: TObject; MousePos: TPoint;
var Handled: boolean);
begin
end;
procedure TForm1.TabSheet5ContextPopup(Sender: TObject; MousePos: TPoint;

```

Продолжение приложения 3

```
    var Handled: boolean);
begin
end;

procedure TForm1.TabSheet1Show(Sender: TObject);
begin
end;
procedure TForm1.TabSheet2Show(Sender: TObject);
begin
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate1;
end;
procedure TForm1.Button10Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate5;
    Form2.Show;
end;
procedure TForm1.Button11Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate6;
end;
procedure TForm1.Button12Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate6;
    Form2.Show;
end;
procedure TForm1.Button13Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate7;
end;

procedure TForm1.Button14Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate7;
    Form2.Show;
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate1;
    Form2.Show;
end;
procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate2;
end;
procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate2;
    Form2.Show;
end;
procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate3;
end;
procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate3;
    Form2.Show;
end;

procedure TForm1.Button7Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate4;
end;
procedure TForm1.Button8Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate4;
    Form2.Show;
end;
procedure TForm1.Button9Click(Sender: TObject);
begin
    Calculate5;
```

Продолжение приложения 3

```

end;
procedure TForm1.FormShow(Sender: TObject);
begin
  // Calculate2
  StringGrid1.Cells[0, 0] := 'M0';
  StringGrid1.Cells[1, 0] := 'Q0';
  StringGrid1.Cells[2, 0] := 'T0';
  StringGrid1.Cells[3, 0] := 'M1';
  StringGrid1.Cells[4, 0] := 'Q1';
  StringGrid1.Cells[5, 0] := 'T1';
  StringGrid1.Cells[6, 0] := 'ZOP';
  StringGrid1.Cells[7, 0] := 'TOP1';
  StringGrid1.Cells[8, 0] := 'ZK';
  StringGrid1.Cells[9, 0] := 'STP1';

  StringGrid1.Cells[0, 1] := '100';
  StringGrid1.Cells[1, 1] := '4,2';
  StringGrid1.Cells[2, 1] := '1';
  StringGrid1.Cells[3, 1] := '10';
  StringGrid1.Cells[4, 1] := '3,9';
  StringGrid1.Cells[5, 1] := '35';
  StringGrid1.Cells[6, 1] := '5';
  StringGrid1.Cells[7, 1] := '33';
  StringGrid1.Cells[8, 1] := '300';
  StringGrid1.Cells[9, 1] := '5';
  Calculate1;
  // Calculate2
  StringGrid2.Cells[0, 0] := 'M0';
  StringGrid2.Cells[1, 0] := 'Q0';
  StringGrid2.Cells[2, 0] := 'T0';
  StringGrid2.Cells[3, 0] := 'M1';
  StringGrid2.Cells[4, 0] := 'Q1';
  StringGrid2.Cells[5, 0] := 'T1';
  StringGrid2.Cells[6, 0] := 'M2';
  StringGrid2.Cells[7, 0] := 'Q2';
  StringGrid2.Cells[8, 0] := 'T2';
  StringGrid2.Cells[9, 0] := 'ZOP';
  StringGrid2.Cells[10, 0] := 'TOP1';
  StringGrid2.Cells[11, 0] := 'TOP2';
  StringGrid2.Cells[12, 0] := 'ZK';
  StringGrid2.Cells[13, 0] := 'STP1';
  StringGrid2.Cells[14, 0] := 'STP4';
  StringGrid2.Cells[0, 1] := '2000';
  StringGrid2.Cells[1, 1] := '4,2';
  StringGrid2.Cells[2, 1] := '1';
  StringGrid2.Cells[3, 1] := '80';
  StringGrid2.Cells[4, 1] := '3,9';
  StringGrid2.Cells[5, 1] := '55';
  StringGrid2.Cells[6, 1] := '40';
  StringGrid2.Cells[7, 1] := '4,1';
  StringGrid2.Cells[8, 1] := '45';
  StringGrid2.Cells[9, 1] := '10';
  StringGrid2.Cells[10, 1] := '50';
  StringGrid2.Cells[11, 1] := '43';
  StringGrid2.Cells[12, 1] := '300';
  StringGrid2.Cells[13, 1] := '5';
  StringGrid2.Cells[14, 1] := '5';
  Calculate2;
  // Calculate3
  StringGrid3.Cells[0, 0] := 'M0';
  StringGrid3.Cells[1, 0] := 'Q0';
  StringGrid3.Cells[2, 0] := 'T0';
  StringGrid3.Cells[3, 0] := 'M1';
  StringGrid3.Cells[4, 0] := 'Q1';
  StringGrid3.Cells[5, 0] := 'T1';
  StringGrid3.Cells[6, 0] := 'M2';
  StringGrid3.Cells[7, 0] := 'Q2';
  StringGrid3.Cells[8, 0] := 'T2';
  StringGrid3.Cells[9, 0] := 'M3';
  StringGrid3.Cells[10, 0] := 'Q3';
  StringGrid3.Cells[11, 0] := 'T3';
  StringGrid3.Cells[12, 0] := 'ZOP';
  StringGrid3.Cells[13, 0] := 'TOP1';
  StringGrid3.Cells[14, 0] := 'TOP2';

```

Продолжение приложения 3

```

StringGrid3.Cells[15, 0] := 'TOP3';
StringGrid3.Cells[16, 0] := 'ZK';
StringGrid3.Cells[17, 0] := 'STP1';
StringGrid3.Cells[18, 0] := 'STP2';
StringGrid3.Cells[19, 0] := 'STP3';
StringGrid3.Cells[0, 1] := '2000';
StringGrid3.Cells[1, 1] := '4,2';
StringGrid3.Cells[2, 1] := '1';
StringGrid3.Cells[3, 1] := '80';
StringGrid3.Cells[4, 1] := '3,9';
StringGrid3.Cells[5, 1] := '55';
StringGrid3.Cells[6, 1] := '40';
StringGrid3.Cells[7, 1] := '4,1';
StringGrid3.Cells[8, 1] := '45';
StringGrid3.Cells[9, 1] := '75';
StringGrid3.Cells[10, 1] := '3,9';
StringGrid3.Cells[11, 1] := '60';
StringGrid3.Cells[12, 1] := '5';
StringGrid3.Cells[13, 1] := '50';
StringGrid3.Cells[14, 1] := '41';
StringGrid3.Cells[15, 1] := '53';
StringGrid3.Cells[16, 1] := '240';
StringGrid3.Cells[17, 1] := '5';
StringGrid3.Cells[18, 1] := '5';
StringGrid3.Cells[19, 1] := '5';
Calculate3;
// Calculate4
StringGrid4.Cells[0, 0] := 'M0';
StringGrid4.Cells[1, 0] := 'Q0';
StringGrid4.Cells[2, 0] := 'T0';
StringGrid4.Cells[3, 0] := 'M1';
StringGrid4.Cells[4, 0] := 'Q1';
StringGrid4.Cells[5, 0] := 'T1';
StringGrid4.Cells[6, 0] := 'ZOP';
StringGrid4.Cells[7, 0] := 'TOP';
//StringGrid4.Cells[8,0]='ZK';
StringGrid4.Cells[8, 0] := 'STP1';
StringGrid4.Cells[0, 1] := '100';
StringGrid4.Cells[1, 1] := '4,2';
StringGrid4.Cells[2, 1] := '4';
StringGrid4.Cells[3, 1] := '10';
StringGrid4.Cells[4, 1] := '3,9';
StringGrid4.Cells[5, 1] := '37';
StringGrid4.Cells[6, 1] := '5';
StringGrid4.Cells[7, 1] := '35';
//StringGrid4.Cells[8,1]='300';
StringGrid4.Cells[8, 1] := '5';
Calculate4; // Calculate5
StringGrid5.Cells[0, 0] := 'M0';
StringGrid5.Cells[1, 0] := 'Q0';
StringGrid5.Cells[2, 0] := 'T0';
StringGrid5.Cells[3, 0] := 'M1';
StringGrid5.Cells[4, 0] := 'Q1';
StringGrid5.Cells[5, 0] := 'T1';
StringGrid5.Cells[6, 0] := 'M2';
StringGrid5.Cells[7, 0] := 'Q2';
StringGrid5.Cells[8, 0] := 'T2';
StringGrid5.Cells[9, 0] := 'ZOP';
StringGrid5.Cells[10, 0] := 'TOP1';
StringGrid5.Cells[11, 0] := 'TOP2';
//StringGrid5.Cells[12,0]='ZK';
StringGrid5.Cells[12, 0] := 'STP1';
StringGrid5.Cells[13, 0] := 'STP2';
StringGrid5.Cells[0, 1] := '100';
StringGrid5.Cells[1, 1] := '4,2';
StringGrid5.Cells[2, 1] := '4';
StringGrid5.Cells[3, 1] := '10';
StringGrid5.Cells[4, 1] := '3,9';
StringGrid5.Cells[5, 1] := '40';
StringGrid5.Cells[6, 1] := '20';
StringGrid5.Cells[7, 1] := '3,5';
StringGrid5.Cells[8, 1] := '31';
StringGrid5.Cells[9, 1] := '8';

```

Продолжение приложения 3

```

StringGrid5.Cells[10, 1] := '35';
StringGrid5.Cells[11, 1] := '28';
//StringGrid5.Cells[12,1]:='300';
StringGrid5.Cells[12, 1] := '5';
StringGrid5.Cells[13, 1] := '5';
Calculate5;
// Calculate6
StringGrid6.Cells[0, 0] := 'M0';
StringGrid6.Cells[1, 0] := 'Q0';
StringGrid6.Cells[2, 0] := 'T0';
StringGrid6.Cells[3, 0] := 'M1';
StringGrid6.Cells[4, 0] := 'Q1';
StringGrid6.Cells[5, 0] := 'T1';
StringGrid6.Cells[6, 0] := 'M2';
StringGrid6.Cells[7, 0] := 'Q2';
StringGrid6.Cells[8, 0] := 'T2';
StringGrid6.Cells[9, 0] := 'M3';
StringGrid6.Cells[10, 0] := 'Q3';
StringGrid6.Cells[11, 0] := 'T3';
StringGrid6.Cells[12, 0] := 'ZOP';
StringGrid6.Cells[13, 0] := 'TOP1';
StringGrid6.Cells[14, 0] := 'TOP2';
StringGrid6.Cells[15, 0] := 'TOP3';
//StringGrid6.Cells[16,0]:='ZK';
StringGrid6.Cells[16, 0] := 'STP1';
StringGrid6.Cells[17, 0] := 'STP2';
StringGrid6.Cells[18, 0] := 'STP3';
StringGrid6.Cells[0, 1] := '1000';
StringGrid6.Cells[1, 1] := '4,2';
StringGrid6.Cells[2, 1] := '6';
StringGrid6.Cells[3, 1] := '40';
StringGrid6.Cells[4, 1] := '3,9';
StringGrid6.Cells[5, 1] := '35';
StringGrid6.Cells[6, 1] := '41';
StringGrid6.Cells[7, 1] := '3,5';
StringGrid6.Cells[8, 1] := '32';
StringGrid6.Cells[9, 1] := '25';
StringGrid6.Cells[10, 1] := '3';
StringGrid6.Cells[11, 1] := '30';
StringGrid6.Cells[12, 1] := '5';
StringGrid6.Cells[13, 1] := '33';
StringGrid6.Cells[14, 1] := '29';
StringGrid6.Cells[15, 1] := '27';
//StringGrid6.Cells[16,1]:='240';
StringGrid6.Cells[16, 1] := '5';
StringGrid6.Cells[17, 1] := '5';
StringGrid6.Cells[18, 1] := '5';
Calculate6; // Calculate7
StringGrid7.Cells[0, 0] := 'M0';
StringGrid7.Cells[1, 0] := 'Q0';
StringGrid7.Cells[2, 0] := 'T0';
StringGrid7.Cells[3, 0] := 'M1';
StringGrid7.Cells[4, 0] := 'Q1';
StringGrid7.Cells[5, 0] := 'T1';
StringGrid7.Cells[6, 0] := 'ZOP';
StringGrid7.Cells[7, 0] := 'TOP1';
StringGrid7.Cells[8, 0] := 'ZK';
StringGrid7.Cells[9, 0] := 'STP1';
StringGrid7.Cells[10, 0] := 'STP2';
StringGrid7.Cells[11, 0] := 'STP2';
StringGrid7.Cells[0, 1] := '100';
StringGrid7.Cells[1, 1] := '4,2';
StringGrid7.Cells[2, 1] := '1';
StringGrid7.Cells[3, 1] := '10';
StringGrid7.Cells[4, 1] := '3,9';
StringGrid7.Cells[5, 1] := '35';
StringGrid7.Cells[6, 1] := '10';
StringGrid7.Cells[7, 1] := '31';
StringGrid7.Cells[8, 1] := '240';
StringGrid7.Cells[9, 1] := '5';
StringGrid7.Cells[10, 1] := '5';
StringGrid7.Cells[11, 1] := '5';
Calculate7;
TabSheet1.Show; end;

```

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017610885

Оценка интенсивности намораживания ледяной массы в бассейне, оборудованном термосифонамиПравообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*Авторы: *Козловцев Андрей Петрович (RU), Кващенко Василий Иванович (RU), Козловцева Светлана Петровна (RU), Кондрашов Алексей Николаевич (RU), Коровин Григорий Сергеевич (RU)*Заявка № **2016662630**Дата поступления **22 ноября 2016 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **18 января 2017 г.**Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Продолжение приложения 4

```

unit Unit1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Menus;
type
  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    MainMenu1: TMainMenu;
    N1: TMenuItem;
    N2: TMenuItem;
    N3: TMenuItem;
    N4: TMenuItem;
    N5: TMenuItem;
    Label1: TLabel;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Button2: TButton;
    Label7: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    Label8: TLabel;
    Edit4: TEdit;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    N6: TMenuItem;
    Label13: TLabel;
    Label14: TLabel;
    Edit5: TEdit;
    Edit6: TEdit;
    Edit7: TEdit;
    Button3: TButton;
    Label15: TLabel;
    Label16: TLabel;
    Label17: TLabel;
    Label18: TLabel;
    procedure N1Click(Sender: TObject);
    procedure N3Click(Sender: TObject);
    procedure N4Click(Sender: TObject);
    procedure N5Click(Sender: TObject);
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure N6Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
const strok=31;
    stolb=5;
var
  Form1: TForm1;
  MasS,MasT: array [1..100,1..100] of integer;
  hl,s:real;
  i,j: byte;
implementation
uses Unit2, Unit3, Unit4;
  {$R *.dfm}
  procedure TForm1.N1Click(Sender: TObject);

begin
  MessageDLG ('Постановка задачи: ',mtInformation,[mbOK],0);
end;
  procedure TForm1.N3Click(Sender: TObject);
begin
  Form2.ShowModal;
end;
  procedure TForm1.N4Click(Sender: TObject);

```

Продолжение приложения 4

```

begin
Form3.ShowModal;
end;
procedure TForm1.N5Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var C,n: real;
begin
for i:=1 to Strook do
begin
MasT[i,1]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Январь'];
MasT[i,2]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Февраль'];
MasT[i,3]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Март'];
MasT[i,4]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Ноябрь'];
MasT[i,5]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Декабрь'];
Form2.ADOTable1.Next;
end;
s:=0;
for i:=1 to Strook do
for j:=1 to Stolb do
s:=s+MasT[i,j];
C:=StrToFloat(Edit1.Text);
n:=StrToFloat(Edit2.Text);
hl:=C*exp(n*ln(-s));
Label5.Caption:=FloatToStr(hl);
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var c, n, R1,R2:real;
begin
for i:=1 to Strook do
begin
MasT[i,1]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Январь'];
MasT[i,2]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Февраль'];
MasT[i,3]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Март'];
MasT[i,4]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Ноябрь'];
MasT[i,5]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Декабрь'];
Form2.ADOTable1.Next;
end;
s:=0;
for i:=1 to Strook do
for j:=1 to Stolb do
s:=s+MasT[i,j];
C:=StrToFloat(Edit1.Text);
n:=StrToFloat(Edit2.Text);
hl:=C*exp(n*ln(-s));
R1:=-s*6E-8;
R2:=6E-8*StrToFloat(Edit3.Text)*hl/StrToFloat(Edit4.Text);
label10.Caption:=FloatToStr(R1);
Label11.Caption:=FloatToStr(R2);
end;
procedure TForm1.N6Click(Sender: TObject);
begin
Form4.ShowModal;
end;
procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
var c, n, R1,R2,he:real;
begin
for i:=1 to Strook do
begin
MasT[i,1]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Январь'];
MasT[i,2]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Февраль'];
MasT[i,3]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Март'];
MasT[i,4]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Ноябрь'];
MasT[i,5]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Декабрь'];
Form2.ADOTable1.Next;
end;
s:=0;
for i:=1 to Strook do
for j:=1 to Stolb do
s:=s+MasT[i,j];
C:=StrToFloat(Edit1.Text);
n:=StrToFloat(Edit2.Text);
hl:=C*exp(n*ln(-s));
he:=hl+(StrToFloat(Edit5.Text)/StrToFloat(Edit6.Text))*StrToFloat(Edit7.Text);

```

Продолжение приложения 4

```

label14.Caption:=FloatToStr(he);
end;
end.
unit Unit2;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, Grids, DBGrids, DB, ADODB, ExtCtrls, DBCtrls;
type
TForm2 = class(TForm)
  ADOConnection1: TADOConnection;
  DataSource1: TDataSource;
  DBGrid1: TDBGrid;
  ADOTable1: TADOTable;
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form2: TForm2;
implementation
{$R *.dfm}
end.
unit Unit3;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, ExtCtrls, DBCtrls, DB, ADODB, Grids, DBGrids;
type
TForm3 = class(TForm)
  DBGrid1: TDBGrid;
  DataSource1: TDataSource;
  ADOConnection1: TADOConnection;
  ADOTable1: TADOTable;
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form3: TForm3;
implementation
{$R *.dfm}
end.
unit Unit4;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Grids;
type
TForm4 = class(TForm)
  Label1: TLabel;
  Button1: TButton;
  Label3: TLabel;
  Button2: TButton;
  StringGrid1: TStringGrid;
  Label2: TLabel;
  Label4: TLabel;
  Button3: TButton;
  Label5: TLabel;
  Label6: TLabel;
  Button4: TButton;
  Label7: TLabel;
  Label8: TLabel;
  Label9: TLabel;
  Button5: TButton;
  Label10: TLabel;
  Label11: TLabel;
  Label12: TLabel;
  Button6: TButton;
  Label13: TLabel;
  Label14: TLabel;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);

```

Продолжение приложения 4

```

procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
const strok=31;
      stolb=5;
var
  Form4: TForm4;
  MasT, MasS: array [1..100,1..100] of integer;
  i,j: integer;
implementation
uses Unit2, Unit3;
{$R *.dfm}
procedure TForm4.Button1Click(Sender: TObject);
var w:real;
i,j: integer;
begin
for i:=1 to StroK do
begin
MasT[i,1]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Январь'];
MasT[i,2]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Февраль'];
MasT[i,3]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Март'];
MasT[i,4]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Ноябрь'];
MasT[i,5]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Декабрь'];
Form2.ADOTable1.Next;
MasS[i,1]:=Form3.ADOTable1.FieldValues ['Январь'];
MasS[i,2]:=Form3.ADOTable1.FieldValues ['Февраль'];
MasS[i,3]:=Form3.ADOTable1.FieldValues ['Март'];
MasS[i,4]:=Form3.ADOTable1.FieldValues ['Ноябрь'];
MasS[i,5]:=Form3.ADOTable1.FieldValues ['Декабрь'];
Form3.ADOTable1.Next;
end;
for i:=1 to StroK do
for j:=1 to Stolb do
begin
w:=-14*MasT[i,j]*(1+0.5*MasS[i,j]);
StringGrid1.Cells[j,i]:= FloatToStr(w);
end;
for j:=1 to 31 do
StringGrid1.Cells[0,j]:= floatToStr(j);
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'Январь';
StringGrid1.Cells[2,0]:= 'Февраль';
StringGrid1.Cells[3,0]:= 'Март';
StringGrid1.Cells[4,0]:= 'Ноябрь';
StringGrid1.Cells[5,0]:= 'Декабрь';
end;
procedure TForm4.Button2Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
procedure TForm4.Button3Click(Sender: TObject);
var s, hl:real;
begin
for i:=1 to StroK do
begin
MasT[i,1]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Январь'];
MasT[i,2]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Февраль'];
MasT[i,3]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Март'];
MasT[i,4]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Ноябрь'];
MasT[i,5]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Декабрь'];
Form2.ADOTable1.Next;
end;
s:=0;
for i:=1 to StroK do
for j:=1 to Stolb do
if MasT[i,j]<0 then s:=s+MasT[i,j];
hl:=2*sqrt(-s);
Label5.Caption:=FloatToStr(hl);
end;
procedure TForm4.Button4Click(Sender: TObject);
var s, hl:real;
begin

```

Продолжение приложения 4

```

for i:=1 to Strok do
begin
MasT[i,1]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Январь'];
MasT[i,2]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Февраль'];
MasT[i,3]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Март'];
MasT[i,4]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Ноябрь'];
MasT[i,5]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Декабрь'];
Form2.ADOTable1.Next;
end;
s:=0;
for i:=1 to Strok do
for j:=1 to Stolb do
if MasT[i,j]<0 then s:=s+MasT[i,j];
hl:=2.7*sqrt(-s);
Label7.Caption:=FloatToStr(hl);
end;
procedure TForm4.Button5Click(Sender: TObject);
var s,hl: real;
begin
for i:=1 to Strok do
begin
MasT[i,1]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Январь'];
MasT[i,2]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Февраль'];
MasT[i,3]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Март'];
MasT[i,4]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Ноябрь'];
MasT[i,5]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Декабрь'];
Form2.ADOTable1.Next;
end;
s:=0;
for i:=1 to Strok do
for j:=1 to Stolb do
s:=s+MasT[i,j];
hl:=exp(0.695*ln(-s));
Label10.Caption:=FloatToStr(hl);
end;
procedure TForm4.Button6Click(Sender: TObject);
var s, hl:real;
begin
for i:=1 to Strok do
begin
MasT[i,1]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Январь'];
MasT[i,2]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Февраль'];
MasT[i,3]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Март'];
MasT[i,4]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Ноябрь'];
MasT[i,5]:=Form2.ADOTable1.FieldValues ['Декабрь'];
Form2.ADOTable1.Next;
end;
s:=0;
for i:=1 to Strok do
for j:=1 to Stolb do
if MasT[i,j]<0 then s:=s+MasT[i,j];
hl:=2.704*sqrt(-s);
Label13.Caption:=FloatToStr(hl);
end;
end.

```

Приложение 5
Свидетельство на ПО

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017614224

Охладители молока

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Авторы: *Козловцев Андрей Петрович (RU), Попова Мария Игоревна (RU), Герасименко Игорь Владимирович (RU), Урбан Владимир Александрович (RU), Квашенников Василий Иванович (RU), Козловцева Светлана Петровна (RU), Кондрашов Алексей Николаевич (RU)*

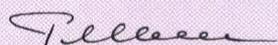
Заявка № 2017611543

Дата поступления 22 февраля 2017 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 10 апреля 2017 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

Продолжение приложения 5

```

unit Unit1;
interface uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, Menus, StdCtrls, ComCtrls;
type
  TForm1 = class(TForm)
    MainMenu1: TMainMenu;
    N1: TMenuItem;
    N2: TMenuItem;
    N3: TMenuItem;
    N4: TMenuItem;
    N5: TMenuItem;
    N6: TMenuItem;
    N7: TMenuItem;
    N8: TMenuItem;
    N121: TMenuItem;
    N9: TMenuItem;
    N10: TMenuItem;
    GroupBox1: TGroupBox;
    Button1: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    Label4: TLabel;
    Edit4: TEdit;
    Label5: TLabel;
    Edit5: TEdit;
    Label6: TLabel;
    Edit6: TEdit;
    Edit7: TEdit;
    Label7: TLabel;
    ComboBox1: TComboBox;
    ComboBox2: TComboBox;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Button2: TButton;
    ComboBox3: TComboBox;
    GroupBox2: TGroupBox;
    Label10: TLabel;
    Edit2: TEdit;
    UpDown1: TUpDown;
    Edit8: TEdit;
    UpDown2: TUpDown;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Edit9: TEdit;
    Button3: TButton;
    Button4: TButton;
    Button5: TButton;
    Button6: TButton;
    Edit10: TEdit;
    Label13: TLabel;
    Label14: TLabel;
    Edit11: TEdit;
    Label15: TLabel;
    Edit12: TEdit;
    Edit13: TEdit;
    Label16: TLabel;
    Edit14: TEdit;
    Label17: TLabel;
    Label18: TLabel;
    Edit15: TEdit;
    Label19: TLabel;
    Label20: TLabel;
    Edit16: TEdit;
    Label21: TLabel;
    Edit17: TEdit;
    Label22: TLabel;
    Edit18: TEdit;
    Label23: TLabel;
    Edit19: TEdit;
    UpDown3: TUpDown;
    UpDown4: TUpDown;
  end;

```

Продолжение приложения 5

```

Label24: TLabel;
Edit20: TEdit;
Label25: TLabel;
Edit21: TEdit;
Edit22: TEdit;
Edit23: TEdit;
Label26: TLabel;
Label27: TLabel;
Button7: TButton;
Label28: TLabel;
Label29: TLabel;
Edit24: TEdit;
Button8: TButton;
N11: TMenuItem;
N12: TMenuItem;
Button9: TButton;
Label30: TLabel;
Edit25: TEdit;
Label31: TLabel;
N13: TMenuItem;
procedure N2Click(Sender: TObject);
procedure N4Click(Sender: TObject);
procedure N5Click(Sender: TObject);
procedure N6Click(Sender: TObject);
procedure N7Click(Sender: TObject);
procedure N8Click(Sender: TObject);
procedure N121Click(Sender: TObject);
procedure N9Click(Sender: TObject);
procedure N10Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
procedure ComboBox2Change(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox3Change(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure UpDown1Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
procedure UpDown2Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure UpDown3Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
procedure UpDown4Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure N12Click(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure N13Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  F: single;
  { Public declarations }
end;
const t=3;
var
  Form1: TForm1;
implementation
uses Unit2, Unit3, Unit4, Unit5, Unit6, Unit7, Unit8, Unit9, Unit10,
  Unit11;
{$R *.dfm}
procedure TForm1.N2Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
procedure TForm1.N4Click(Sender: TObject);
begin
Form2.ShowModal;
end;
procedure TForm1.N5Click(Sender: TObject);
begin
Form3.ShowModal;
end;
procedure TForm1.N6Click(Sender: TObject);
begin
Form4.ShowModal;

```

Продолжение приложения 5

```

end;
procedure TForm1.N7Click(Sender: TObject);
Form5.ShowModal;
end;
procedure TForm1.N8Click(Sender: TObject);
begin
Form6.ShowModal;
end;
procedure TForm1.N121Click(Sender: TObject);
begin
Form7.ShowModal;
end;
procedure TForm1.N9Click(Sender: TObject);
begin
Form8.ShowModal;
end;
procedure TForm1.N10Click(Sender: TObject);
begin
Form9.ShowModal;
end;
procedure TForm1.ComboBox1Change(Sender: TObject);
var n:integer;
begin
if ComboBox1.Text = '2' then n:=2 else n:=3;
end;
procedure TForm1.ComboBox2Change(Sender: TObject);
var k:integer;
begin
if ComboBox2.Text = 'для оросительных на воде' then k:=1000
else if ComboBox2.Text = 'для оросительных на рассоле' then k:=700
else if ComboBox2.Text = 'для пластинчатых на воде' then k:=1500 else k:=1000;
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var c,cv,tn,t0,Mc:single;
var n,k:integer;
begin
Edit1.clear;
ComboBox1.OnChange(Form1);
ComboBox2.OnChange(Form1);
c:= strtofloat(Edit3.Text);
cv:= strtofloat(Edit4.Text);
tn:= strtofloat(Edit5.Text);
t0:= strtofloat(Edit6.Text);
F:=Mc/k*(n*cv/(n*cv-c))*ln((n*cv-c)*(tn-t0)+c*t/(n*cv*t));
Edit1.Text:=FloatToStr(F);
Edit13.Text:=Edit1.Text;
end;
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
var k:integer;
begin
Form1.Label7.Caption := #116;
Form1.Label20.Caption := #97;
Edit7.Text:=IntToStr(t);
k:=1000+700+1500+1000;
Edit11.Text:=IntToStr(k);
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
Edit1.clear;
Edit3.clear;
Edit4.clear;
Edit5.clear;
Edit6.clear;
Edit7.clear;
ComboBox1.Text:=' ';
ComboBox2.Text:=' ';
ComboBox3.Text:=' ';
Edit7.Text:=IntToStr(t);
end;
procedure TForm1.ComboBox3Change(Sender: TObject);
const r=1.03;
var Mc: single;
begin
if ComboBox3.Text = 'Вакуумный ВИСХОМ' then Mc:=350*r else
if ComboBox3.Text = 'ПОХ-1000' then Mc:=1000*r else
if ComboBox3.Text = 'ПОХ-2000' then Mc:=2000*r else

```

Продолжение приложения 5

```

if ComboBox3.Text = 'OM-400' then Mc:=400*r else
if ComboBox3.Text = 'OOT-M' then Mc:=3000*r else
if ComboBox3.Text = 'OOY-M' then Mc:=5000*r else
if (ComboBox3.Text = 'OOM-1000A')or(ComboBox3.Text = 'OM-1') then Mc:=1000*r;
end;
procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
var i,tn,tk:integer;
Q1,G: single;
begin
tn:=StrToInt(Edit2.Text);
tk:=StrToInt(Edit8.Text);
G:=StrToFloat(Edit10.Text);
Q1:=0;
for i:=tn to tk do
Q1:=Q1+G*(tn-tk);
Edit9.Text:=FloatToStr(Q1);
end;
procedure TForm1.UpDown1Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
Edit2.Text := IntToStr(UpDown1.Position);
end;
procedure TForm1.UpDown2Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
Edit8.Text := IntToStr(UpDown2.Position);
end;
procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
var Q2,Q21,Q22,Q23,P,z,B,a:single;
t1,t2,t,k,i,i1,i2: integer;
begin
k:=1000+700+1500+1000;
t1:=StrToInt(Edit22.Text);
t2:=StrToInt(Edit23.Text);
t:=t1-t2;
Q21:=24*k*F*t;
P:=StrToFloat(Edit14.Text);
z:=StrToFloat(Edit15.Text);
Q22:=860*P*z;
a:=StrToFloat(Edit16.Text);
B:=StrToFloat(Edit17.Text);
i1:=StrToInt(Edit18.Text);
i2:=StrToInt(Edit19.Text);
Q23:=a*B*(i1-i2);
Q2:=Q21+Q22+Q23;
Edit12.Text:=FloatToStr(Q2);
end;
procedure TForm1.UpDown3Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
Edit18.Text := IntToStr(UpDown3.Position);
end;
procedure TForm1.UpDown4Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
Edit19.Text := IntToStr(UpDown4.Position);
end;
procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
var Q3,Q1: single;
begin
Q1:=StrToFloat(Edit9.Text);
Q3:=(0.1/0.4)*Q1;
Edit20.Text:=FloatToStr(Q3);
end;
procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
var Qct,Q1,Q2,Q3:single;
begin
Q1:=StrToFloat(Edit9.Text);
Q2:=StrToFloat(Edit12.Text);
Q3:=StrToFloat(Edit20.Text);
Qct:=Q1+Q2+Q3;
Edit21.Text:=FloatToStr(Qct);
end;
procedure TForm1.Button7Click(Sender: TObject);
begin
Edit2.clear;
Edit8.clear;
Edit9.clear;
Edit10.clear;
Edit12.clear;

```

Продолжение приложения 5

```

Edit14.clear;
Edit15.clear;
Edit16.clear;
Edit17.clear;
Edit18.clear;
Edit19.clear;
Edit20.clear;
Edit21.clear;
Edit22.clear;
Edit23.clear;
end;
procedure TForm1.Button8Click(Sender: TObject);
var Qct,Qp,z:single;
begin
z:=StrToFloat(Edit15.Text);
Qct:=StrToFloat(Edit21.Text);
Qp:=Qct/z;
Edit24.Text:=FloatToStr(Qp);
end;
procedure TForm1.N12Click(Sender: TObject);
begin
Form10.ShowModal;
end;
procedure TForm1.Button9Click(Sender: TObject);
var Qp,q0: single; Q00:double;
begin
Qp:=StrToFloat(Edit24.Text);
q0:=StrToFloat(Form10.Memo1.Lines[0]);
Q00:=Qp*q0*1;
Edit25.Text:=FloatToStr(Q00);
end;
procedure TForm1.N13Click(Sender: TObject);
begin
Form11.ShowModal;
end;
end.
unit Unit2;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Grids, DB, ADODB, DBGrids;
type
  TForm2 = class(TForm)
    GroupBox1: TGroupBox;
    ComboBox1: TComboBox;
    Button1: TButton;
    Label5: TLabel;
    StringGrid1: TStringGrid;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);

    procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  var
    Form2: TForm2;
  implementation
    {$R *.dfm}
    procedure TForm2.Button1Click(Sender: TObject);
    begin
    close;
    end;
    procedure TForm2.ComboBox1Change(Sender: TObject);
    var i,j:integer;
    begin
    if ComboBox1.Text = 'оросительный' then
    begin
    for i:=1 to 3 do
    StringGrid1.Cells[1,0]:= 'Вакуумный ВИСХОМ';
    StringGrid1.Cells[2,0]:= 'ПЮХ-1000';
    StringGrid1.Cells[3,0]:= 'ПЮХ-2000';
    StringGrid1.Cells[1,1]:= '350';
    StringGrid1.Cells[2,1]:= '1000';
    StringGrid1.Cells[3,1]:= '2000';
    
```

Продолжение приложения 5

```

StringGrid1.Cells[1,2]:= '0.85';
StringGrid1.Cells[2,2]:= '3.92';
StringGrid1.Cells[3,2]:= '9.59';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '480x875';
StringGrid1.Cells[2,3]:= '1650x465x1335';
StringGrid1.Cells[3,3]:= '2175x465x2214';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '25';
StringGrid1.Cells[2,4]:= '316';
StringGrid1.Cells[3,4]:= '510';
end
else
begin
for i:=1 to 3 do
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'OM-400';
StringGrid1.Cells[2,0]:= 'OOT-M';
StringGrid1.Cells[3,0]:= 'OOY-M';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '400';
StringGrid1.Cells[2,1]:= '3000';
StringGrid1.Cells[3,1]:= '5000';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '1.2';
StringGrid1.Cells[2,2]:= '6.5';
StringGrid1.Cells[3,2]:= '11.2';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '417x250x610';
StringGrid1.Cells[2,3]:= '1300x738x1330';
StringGrid1.Cells[3,3]:= '1510x738x1330';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '30';
StringGrid1.Cells[2,4]:= '350';
StringGrid1.Cells[3,4]:= '450';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end;
for j:=1 to 4 do
StringGrid1.Cells[0,1]:= 'Производительность при охлаждении парного молока, л/ч';
StringGrid1.Cells[0,2]:= 'Рабочая поверхность, м2';
StringGrid1.Cells[0,3]:= 'Габаритные размеры, мм';
StringGrid1.Cells[0,4]:= 'Масса, кг';
StringGrid1.ColWidths[0] := 400;
end;
end.
unit Unit3;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Grids;
type
  TForm3 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    StringGrid1: TStringGrid;
    Button2: TButton;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Form3: TForm3;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm3.Button1Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
procedure TForm3.Button2Click(Sender: TObject);
var j: integer;
begin
for j:=1 to 3 do
begin
StringGrid1.Cells[0,1]:= 'Рабочая емкость, л';
StringGrid1.Cells[0,2]:= 'Габариты, мм';
StringGrid1.Cells[0,3]:= 'Масса, кг';
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'PMBЦ-2';
StringGrid1.Cells[2,0]:= 'PMBЦ-4';
StringGrid1.Cells[3,0]:= 'PMBЦ-6';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '2000';
StringGrid1.Cells[2,1]:= '4000';

```

Продолжение приложения 5

```

StringGrid1.Cells[3,1]:= '6000';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '1648x1650x2260';
StringGrid1.Cells[2,2]:= '3025x1600x1926';
StringGrid1.Cells[3,2]:= '3050x1900x2180';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '544';
StringGrid1.Cells[2,3]:= '763';
StringGrid1.Cells[3,3]:= '880';
end;
StringGrid1.ColWidths[0] := 200;
StringGrid1.ColWidths[1] := 150;
StringGrid1.ColWidths[2] := 150;
StringGrid1.ColWidths[3] := 150;
end;
end.
unit Unit4;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Grids;
type
  TForm4 = class(TForm)
    GroupBox1: TGroupBox;
    ComboBox1: TComboBox;
    StringGrid1: TStringGrid;
    Label1: TLabel;
    Button1: TButton;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Form4: TForm4;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm4.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  close;
end;
procedure TForm4.ComboBox1Change(Sender: TObject);
var i,j:integer;
begin
  if ComboBox1.Text = 'TOB-1' then
  begin
    for i:=1 to 8 do
      StringGrid1.Cells[1,0]:= 'TOB-1';
      StringGrid1.Cells[1,1]:= '1000';
      StringGrid1.Cells[1,2]:= 'MXY-8C';
      StringGrid1.Cells[1,3]:= '1,5-2,7';
      StringGrid1.Cells[1,4]:= 'AOJ2-41-2CX;' + ' AOJ2-21-2BMC;' + ' AOJ2-11-4BMC;' + ' AOJ2-21-4';
      StringGrid1.Cells[1,5]:= '5,5+1,5+0,6+0,27';
      StringGrid1.Cells[1,6]:= '1460x1270x2030';
      StringGrid1.Cells[1,7]:= '1270';
      StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
    end
  else if ComboBox1.Text = 'TO-2' then
  begin
    for i:=1 to 8 do
      StringGrid1.Cells[1,0]:= 'TO-2';
      StringGrid1.Cells[1,1]:= '2000';
      StringGrid1.Cells[1,2]:= 'MXY-8C';
      StringGrid1.Cells[1,3]:= '2-3,5';
      StringGrid1.Cells[1,4]:= 'AOJ2-11-4BJIK;' + ' AOJ2-21-4';
      StringGrid1.Cells[1,5]:= '0,6+0,27';
      StringGrid1.Cells[1,6]:= '2820x1350x1550';
      StringGrid1.Cells[1,7]:= '808';
      StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
    end
  else if ComboBox1.Text = 'TOM-2A' then
  begin
    for i:=1 to 8 do
      StringGrid1.Cells[1,0]:= 'TOM-2A';
      StringGrid1.Cells[1,1]:= '1800';
      StringGrid1.Cells[1,2]:= 'MXY-12T';

```

Продолжение приложения 5

```

StringGrid1.Cells[1,3]:= '2,5-3,5';
StringGrid1.Cells[1,4]:= 'АО2-41-2СХ;' + ' АОЛ2-21-2ВМС;' + ' АОЛ2-11-4ВМС;' + ' АОЛ2-21-4';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '5,5+1,5+0,6+0,27';
StringGrid1.Cells[1,6]:= '4037x1667x1754';
StringGrid1.Cells[1,7]:= '1570';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end
else if ComboBox1.Text = 'АХУ-1000' then
begin
for i:=1 to 8 do
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'АХУ-1000';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '500x2';
StringGrid1.Cells[1,2]:= 'ИФ-56';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '2-3,5';
StringGrid1.Cells[1,4]:= 'АО2-32-6СХ;' + ' АОЛ2-11-4ВМС;' + ' АОЛ2-12-4';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '3,0+0,6+0,18+0,18';
StringGrid1.Cells[1,6]:= '1530x1220x1200';
StringGrid1.Cells[1,7]:= '610';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end;
for j:=1 to 7 do
begin
StringGrid1.Cells[0,1]:= 'Рабочая емкость, л';
StringGrid1.Cells[0,2]:= 'Источник холода';
StringGrid1.Cells[0,3]:= 'Время охлаждения молока с 36 до 4-7 С';
StringGrid1.Cells[0,4]:= 'Тип электродвигателей, кВт';
StringGrid1.Cells[0,5]:= 'Мощность установленных электродвигателей, кВт';
StringGrid1.Cells[0,6]:= 'Габаритные размеры, мм';
StringGrid1.Cells[0,7]:= 'Масса, кг';
StringGrid1.ColWidths[0] := 320;
StringGrid1.ColWidths[1] := 400;
end;
end;
end.
unit Unit5;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Grids;
type
  TForm5 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    GroupBox1: TGroupBox;
    StringGrid1: TStringGrid;
    ComboBox1: TComboBox;
    Label1: TLabel;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Form5: TForm5;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm5.Button1Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
procedure TForm5.ComboBox1Change(Sender: TObject);
var i,j:integer;
begin
if ComboBox1.Text = 'МХУ-12' then
begin
for i:=1 to 6 do
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'МХУ-12';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '12000';
StringGrid1.Cells[1,2]:= 'А-42-2;' + ' А31-4;' + ' Работает от насоса охладителя';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '4,5+0,6';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '1540x1365x1510';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '715';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end
else if ComboBox1.Text = 'МХУ-8II' then

```

Продолжение приложения 5

```

begin
for i:=1 to 6 do
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'МХУ-8П';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '8000';
StringGrid1.Cells[1,2]:= 'A-42-2;'+ ' A31-4;'+ ' A32-2';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '4,5+0,6+1,7';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '1670x840x1310';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '640';
end
else if ComboBox1.Text = 'МХУ-8' then
begin
for i:=1 to 6 do
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'МХУ-8';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '12000';
StringGrid1.Cells[1,2]:= 'АО2-41-2СХ;'+ ' АОЛ2-11-4ВМС;'+ ' АОЛ2-11-2ВМС';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '5,5+0,6+1,5';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '1720x1130x1610';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '690';
end
else if ComboBox1.Text = 'ИФ-56' then
begin
for i:=1 to 6 do
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'ИФ-56';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '3000';
StringGrid1.Cells[1,2]:= 'АО2-32-4;'+ ' АОЛ2-114ВМС;'+ ' АО2-11-4ВМС';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '3,0+0,6';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '920+670+600';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '240';
end
else if ComboBox1.Text = 'ХМ-ФУ40П' then
begin
for i:=1 to 6 do
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'ХМ-ФУ40П';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '28000';
StringGrid1.Cells[1,2]:= 'АО2-42-2СХ;'+ ' АОЛ2-72-6СХ;';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '7,5+2,2';
StringGrid1.Cells[1,4]:= ' - ';
StringGrid1.Cells[1,5]:= ' - ';
end;
for j:=1 to 5 do
begin
StringGrid1.Cells[0,1]:= 'Холодопроизводительность, ккал/ч';
StringGrid1.Cells[0,2]:= 'Тип электродвигателей: компрессора вентилятора насоса';
StringGrid1.Cells[0,3]:= 'Мощность установленных электродвигателей, кВт';
StringGrid1.Cells[0,4]:= 'Габаритные размеры, мм';
StringGrid1.Cells[0,5]:= 'Масса, кг';
StringGrid1.ColWidths[0] := 400;
StringGrid1.ColWidths[1] := 300;
end;
end;
end.
unit Unit6;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Grids;
type
  TForm6 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    GroupBox1: TGroupBox;
    ComboBox1: TComboBox;
    StringGrid1: TStringGrid;
    Label1: TLabel;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Form6: TForm6;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm6.Button1Click(Sender: TObject);
begin

```

Продолжение приложения 5

```

close;
end;
procedure TForm6.ComboBox1Change(Sender: TObject);
var i,j:integer;
begin
if ComboBox1.Text = 'OOM-1000A' then
begin
for i:=1 to 6 do
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'OOM-1000A';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '1000';
StringGrid1.Cells[1,2]:= 'AO2-12-2';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '1,1';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '1035x570x1235';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '535';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end
else
for i:=1 to 6 do
begin
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'OM-1';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '1000';
StringGrid1.Cells[1,2]:= 'АОЛ2-21-4';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '1,1';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '1210x500x750';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '200';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end;
for j:=1 to 5 do
begin
StringGrid1.Cells[0,1]:= 'Производительность, л/ч';
StringGrid1.Cells[0,2]:= 'Тип электродвигателя';
StringGrid1.Cells[0,3]:= 'Мощность электродвигателя';
StringGrid1.Cells[0,4]:= 'Габариты, мм';
StringGrid1.Cells[0,5]:= 'Масса, кг';
StringGrid1.ColWidths[0] := 400;
StringGrid1.ColWidths[1] := 300;
end;
end;
end.
unit Unit7;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Grids;
type
TForm7 = class(TForm)
  Button1: TButton;
  GroupBox1: TGroupBox;
  ComboBox1: TComboBox;
  Label1: TLabel;
  StringGrid1: TStringGrid;
  procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form7: TForm7;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm7.ComboBox1Change(Sender: TObject);
var i,j:integer;
begin
if ComboBox1.Text = '10' then
begin
for i:=1 to 6 do
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'Температура переохлаждения Tn 10 C';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '725';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '613';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '515';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '430';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '357';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end

```

Продолжение приложения 5

```

else if ComboBox1.Text = '15' then
for i:=1 to 6 do
begin
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'Температура переохлаждения Tn 15 C';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '702';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '592';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '498';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '415';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '344';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end
else if ComboBox1.Text = '20' then
for i:=1 to 6 do
begin
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'Температура переохлаждения Tn 20 C';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '678';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '572';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '480';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '400';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '331';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end
else if ComboBox1.Text = '25' then
for i:=1 to 6 do
begin
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'Температура переохлаждения Tn 25 C';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '653';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '551';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '462';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '385';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '318';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end
else if ComboBox1.Text = '30' then
for i:=1 to 6 do
begin
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'Температура переохлаждения Tn 30 C';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '629';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '530';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '445';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '370';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '306';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end
else if ComboBox1.Text = '35' then
for i:=1 to 6 do
begin
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'Температура переохлаждения Tn 35 C';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '604';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '508';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '426';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '355';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '292';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end;
for j:=1 to 5 do
begin
StringGrid1.Cells[0,0]:= 'Температура испарения (Tu), C';
StringGrid1.Cells[0,1]:= '5';
StringGrid1.Cells[0,2]:= '0';
StringGrid1.Cells[0,3]:= '-5';
StringGrid1.Cells[0,4]:= '-10';
StringGrid1.Cells[0,5]:= '-15';
StringGrid1.ColWidths[0] := 200;
StringGrid1.ColWidths[1] := 400;
end;
end;
procedure TForm7.Button1Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
end.
unit Unit8;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,

```

Продолжение приложения 5

```

Dialogs, StdCtrls, Grids;
type
TForm8 = class(TForm)
  GroupBox1: TGroupBox;
  Button1: TButton;
  ComboBox1: TComboBox;
  StringGrid1: TStringGrid;
  Label1: TLabel;
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
  procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form8: TForm8;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm8.Button1Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
procedure TForm8.ComboBox1Change(Sender: TObject);
var i,j:integer;
begin
if ComboBox1.Text = 'Конденсации, Tk' then
begin
for i:=1 to 3 do
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'Конденсации, Tk';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '+25';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '+30';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '+35';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end
else if ComboBox1.Text = 'Переохлаждения, Tn' then
for i:=1 to 3 do
begin
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'Переохлаждения, Tn';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '+15';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '+25';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '+30';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end
else if ComboBox1.Text = 'Испарения, Tu' then
for i:=1 to 3 do
begin
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'Испарения, Tu';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '-10';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '-15';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '+5';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end;
for j:=1 to 3 do
begin
StringGrid1.Cells[0,1]:= 'Для технологических целей: нормальные условия';
StringGrid1.Cells[0,2]:= 'Для технологических целей: стандартные';
StringGrid1.Cells[0,3]:= 'Кондиционирование воздуха';
StringGrid1.ColWidths[0] := 400;
StringGrid1.ColWidths[1] := 400;
end;
end;
end.
unit Unit9;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Grids;
type
TForm9 = class(TForm)
  Button1: TButton;
  GroupBox1: TGroupBox;
  StringGrid1: TStringGrid;
  Label1: TLabel;
  ComboBox1: TComboBox;
  procedure Button1Click(Sender: TObject);

```

Продолжение приложения 5

```

procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;var
  Form9: TForm9;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm9.Button1Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
proedure TForm9.ComboBox1Change(Sender: TObject);
var i,j:integer;
begin
if ComboBox1.Text = 'Аммиак' then
begin
for i:=1 to 10 do
StringGrid1.Cells[2,0]:= '-10';
StringGrid1.Cells[3,0]:= '-15';
StringGrid1.Cells[4,0]:= '-20';
StringGrid1.Cells[0,1]:= '20';
StringGrid1.Cells[0,2]:= '20';
StringGrid1.Cells[0,3]:= '20';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '10';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '15';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '20';
StringGrid1.Cells[2,1]:= '6939';
StringGrid1.Cells[3,1]:= '5711';
StringGrid1.Cells[4,1]:= '4794';
StringGrid1.Cells[2,2]:= '6804';
StringGrid1.Cells[3,2]:= '5599';
StringGrid1.Cells[4,2]:= '4700';
StringGrid1.Cells[2,3]:= '6668';
StringGrid1.Cells[3,3]:= '5488';
StringGrid1.Cells[4,3]:= '4605';
StringGrid1.Cells[0,4]:= '25';
StringGrid1.Cells[0,5]:= '25';
StringGrid1.Cells[0,6]:= '25';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '15';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '20';
StringGrid1.Cells[1,6]:= '25';
StringGrid1.Cells[2,4]:= '5836';
StringGrid1.Cells[3,4]:= '4901';
StringGrid1.Cells[4,4]:= '4179';
StringGrid1.Cells[2,5]:= '5719';
StringGrid1.Cells[3,5]:= '4804';
StringGrid1.Cells[4,5]:= '4095';
StringGrid1.Cells[2,6]:= '5602';
StringGrid1.Cells[3,6]:= '4704';
StringGrid1.Cells[4,6]:= '4009';
StringGrid1.Cells[0,7]:= '30';
StringGrid1.Cells[0,8]:= '30';
StringGrid1.Cells[0,9]:= '30';
StringGrid1.Cells[1,7]:= '20';
StringGrid1.Cells[1,8]:= '25';
StringGrid1.Cells[1,9]:= '30';
StringGrid1.Cells[2,7]:= '5010';
StringGrid1.Cells[3,7]:= '4274';
StringGrid1.Cells[4,7]:= '3688';
StringGrid1.Cells[2,8]:= '4907';
StringGrid1.Cells[3,8]:= '4186';
StringGrid1.Cells[4,8]:= '3612';
StringGrid1.Cells[2,9]:= '4804';
StringGrid1.Cells[3,9]:= '4098';
StringGrid1.Cells[4,9]:= '3535';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end
else
begin
for i:=1 to 10 do
StringGrid1.Cells[2,0]:= '-10';
StringGrid1.Cells[3,0]:= '-15';
StringGrid1.Cells[4,0]:= '-20';
StringGrid1.Cells[0,1]:= '20';

```

Продолжение приложения 5

```

StringGrid1.Cells[0,2]:= '20';
StringGrid1.Cells[0,3]:= '20';
StringGrid1.Cells[1,1]:= '10';
StringGrid1.Cells[1,2]:= '15';
StringGrid1.Cells[1,3]:= '20';
StringGrid1.Cells[2,1]:= '6570';
StringGrid1.Cells[3,1]:= '5370';
StringGrid1.Cells[4,1]:= '4900';
StringGrid1.Cells[2,2]:= '6350';
StringGrid1.Cells[3,2]:= '5150';
StringGrid1.Cells[4,2]:= '4720';
StringGrid1.Cells[2,3]:= '6100';
StringGrid1.Cells[3,3]:= '4995';
StringGrid1.Cells[4,3]:= '4550';
StringGrid1.Cells[0,4]:= '25';
StringGrid1.Cells[0,5]:= '25';
StringGrid1.Cells[0,6]:= '25';
StringGrid1.Cells[1,4]:= '15';
StringGrid1.Cells[1,5]:= '20';
StringGrid1.Cells[1,6]:= '25';
StringGrid1.Cells[2,4]:= '5940';
StringGrid1.Cells[3,4]:= '4870';
StringGrid1.Cells[4,4]:= '4200';
StringGrid1.Cells[2,5]:= '5720';
StringGrid1.Cells[3,5]:= '4680';
StringGrid1.Cells[4,5]:= '4060';
StringGrid1.Cells[2,6]:= '5510';
StringGrid1.Cells[3,6]:= '4515';
StringGrid1.Cells[4,6]:= '3890';
StringGrid1.Cells[0,7]:= '30';
StringGrid1.Cells[0,8]:= '30';
StringGrid1.Cells[0,9]:= '30';
StringGrid1.Cells[1,7]:= '20';
StringGrid1.Cells[1,8]:= '25';
StringGrid1.Cells[1,9]:= '30';
StringGrid1.Cells[2,7]:= '5070';
StringGrid1.Cells[3,7]:= '4265';
StringGrid1.Cells[4,7]:= '3710';
StringGrid1.Cells[2,8]:= '4890';
StringGrid1.Cells[3,8]:= '4105';
StringGrid1.Cells[4,8]:= '3560';
StringGrid1.Cells[2,9]:= '4700';
StringGrid1.Cells[3,9]:= '3935';
StringGrid1.Cells[4,9]:= '3415';
StringGrid1.Options:=StringGrid1.Options+[goEditing];
end;
for j:=1 to 3 do
begin
StringGrid1.Cells[0,0]:= 'конденсации';
StringGrid1.Cells[1,0]:= 'переохлаждения';
StringGrid1.ColWidths[0] := 150;
StringGrid1.ColWidths[1] := 150;
end;
end;
end.
unit Unit10;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, ExtCtrls, StdCtrls;
type
TForm10 = class(TForm)
  Memo1: TMemo;
  ListBox1: TListBox;
  Button1: TButton;
  Edit1: TEdit;
  Label1: TLabel;
  Label2: TLabel;
  Button2: TButton;
  Edit2: TEdit;
  Button3: TButton;
  Label3: TLabel;
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
  procedure Button3Click(Sender: TObject);
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
  procedure Button2Click(Sender: TObject);

```

Продолжение приложения 5

```

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form10: TForm10;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm10.Button1Click(Sender: TObject);
var i:integer; s:string;
begin
  Memo1.Clear;
  for i:=ListBox1.count-1 downto 0 do
  begin
  If ListBox1.Selected[i] then
  begin
  s:=ListBox1.Items[i];
  Delete (s,1,13);
  Memo1.Lines.Add (s);
  ListBox1.Items.Delete(i);
  end;
  end;
  end;
  procedure TForm10.Button3Click(Sender: TObject);
  begin
  close;
  end;
  procedure TForm10.FormCreate(Sender: TObject);
  begin
  ListBox1.Items [0]:=Tu=5, Tn=10 '+' 725';
  ListBox1.Items [1]:=Tu=5, Tn=15 '+' 702';
  ListBox1.Items [2]:=Tu=5, Tn=20 '+' 678';
  ListBox1.Items [3]:=Tu=5, Tn=25 '+' 653';
  ListBox1.Items [4]:=Tu=5, Tn=30 '+' 629';
  ListBox1.Items [5]:=Tu=5, Tn=35 '+' 604';
  ListBox1.Items [6]:=Tu=0, Tn=10 '+' 613';
  ListBox1.Items [7]:=Tu=0, Tn=15 '+' 592';
  ListBox1.Items [8]:=Tu=0, Tn=20 '+' 572';
  ListBox1.Items [9]:=Tu=0, Tn=25 '+' 551';
  ListBox1.Items [10]:=Tu=0, Tn=30 '+' 530';
  ListBox1.Items [11]:=Tu=0, Tn=35 '+' 508';
  ListBox1.Items [12]:=Tu=-5, Tn=10 '+' 515';
  ListBox1.Items [13]:=Tu=-5, Tn=15 '+' 498';
  ListBox1.Items [14]:=Tu=-5, Tn=20 '+' 480';
  ListBox1.Items [15]:=Tu=-5, Tn=25 '+' 462';
  ListBox1.Items [16]:=Tu=-5, Tn=30 '+' 445';
  ListBox1.Items [17]:=Tu=-5, Tn=35 '+' 426';
  ListBox1.Items [18]:=Tu=-10, Tn=10 '+' 430';
  ListBox1.Items [19]:=Tu=-10, Tn=15 '+' 415';
  ListBox1.Items [20]:=Tu=-10, Tn=20 '+' 400';
  ListBox1.Items [21]:=Tu=-10, Tn=25 '+' 385';
  ListBox1.Items [22]:=Tu=-10, Tn=30 '+' 370';
  ListBox1.Items [23]:=Tu=-10, Tn=35 '+' 355';
  ListBox1.Items [24]:=Tu=-15, Tn=10 '+' 357';
  ListBox1.Items [25]:=Tu=-15, Tn=15 '+' 344';
  ListBox1.Items [26]:=Tu=-15, Tn=20 '+' 331';
  ListBox1.Items [27]:=Tu=-15, Tn=25 '+' 318';
  ListBox1.Items [28]:=Tu=-15, Tn=30 '+' 306';
  ListBox1.Items [29]:=Tu=-15, Tn=35 '+' 292';
  end;
  procedure TForm10.Button2Click(Sender: TObject);
  var Q,L,q0: single;
  begin
  L:=StrToFloat(Edit1.Text);
  q0:=StrToFloat(Memo1.Lines[0]);
  Q:=L*q0;
  Edit2.Text:=FloatToStr(Q);
  end;
  end.
unit Unit11;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls;

```

Продолжение приложения 5

```

type
  TForm11 = class(TForm)
    Memo1: TMemo;
    ListBox1: TListBox;
    Button1: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    Button2: TButton;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Button3: TButton;
    Label7: TLabel;
    Edit6: TEdit;
    Button4: TButton;
    Label8: TLabel;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button4Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Form11: TForm11;
implementation
uses Unit1;
{$R *.dfm}
procedure TForm11.Button1Click(Sender: TObject);
var i:integer; s:string;
begin
Memo1.Clear;
for i:=ListBox1.count-1 downto 0 do
begin
If ListBox1.Selected[i] then
begin
s:=ListBox1.Items[i];
Delete (s,1,76);
Memo1.Lines.Add (s);
ListBox1.Items.Delete(i);
end;
end;
end;
procedure TForm11.FormCreate(Sender: TObject);
const nm=0.9;
begin
ListBox1.Items [0]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 10 '+' t испарения аммиака = -10' + ' Кт = 6939';
ListBox1.Items [1]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 10 '+' t испарения аммиака = -15' + ' Кт = 5711';
ListBox1.Items [2]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 10 '+' t испарения аммиака = -20' + ' Кт = 4794';
ListBox1.Items [3]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 10 '+' t испарения Фреон-12 = -10' + ' Кт = 6570';
ListBox1.Items [4]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 10 '+' t испарения Фреон-12 = -15' + ' Кт = 5370';
ListBox1.Items [5]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 10 '+' t испарения Фреон-12 = -20' + ' Кт = 4900';
ListBox1.Items [6]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения аммиака = -10' + ' Кт = 6804';
ListBox1.Items [7]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения аммиака = -15' + ' Кт = 5599';
ListBox1.Items [8]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения аммиака = -20' + ' Кт = 4700';
ListBox1.Items [9]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения Фреон-12 = -10' + ' Кт = 6350';
ListBox1.Items [10]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения Фреон-12 = -15' + ' Кт = 5150';
ListBox1.Items [11]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения Фреон-12 = -20' + ' Кт = 4720';
ListBox1.Items [12]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения аммиака = -10' + ' Кт = 6668';
ListBox1.Items [13]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения аммиака = -15' + ' Кт = 5488';
ListBox1.Items [14]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения аммиака = -20' + ' Кт = 4605';
ListBox1.Items [15]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения Фреон-12 = -10' + ' Кт = 6100';
ListBox1.Items [16]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения Фреон-12 = -15' + ' Кт = 4995';
ListBox1.Items [17]:=t конденсации = 20 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения Фреон-12 = -20' + ' Кт = 4550';
ListBox1.Items [18]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения аммиака = -10' + ' Кт = 5836';
ListBox1.Items [19]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения аммиака = -15' + ' Кт = 4901';
ListBox1.Items [20]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения аммиака = -20' + ' Кт = 4179';

```

Продолжение приложения 5

```

ListBox1.Items [21]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения Фреон-12 = -10' + ' Kт = 5940';
ListBox1.Items [22]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения Фреон-12 = -15' + ' Kт = 4870';
ListBox1.Items [23]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 15 '+' t испарения Фреон-12 = -20' + ' Kт = 4200';
ListBox1.Items [24]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения аммиака = -10' + ' Kт = 5719';
ListBox1.Items [25]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения аммиака = -15' + ' Kт = 4804';
ListBox1.Items [26]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения аммиака = -20' + ' Kт = 4095';
ListBox1.Items [27]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения Фреон-12 = -10' + ' Kт = 5720';
ListBox1.Items [28]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения Фреон-12 = -15' + ' Kт = 4680';
ListBox1.Items [29]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения Фреон-12 = -20' + ' Kт = 4060';
ListBox1.Items [30]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения аммиака = -10' + ' Kт = 5602';
ListBox1.Items [31]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения аммиака = -15' + ' Kт = 4704';
ListBox1.Items [32]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения аммиака = -20' + ' Kт = 4009';
ListBox1.Items [33]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения Фреон-12 = -10' + ' Kт = 5510';
ListBox1.Items [34]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения Фреон-12 = -15' + ' Kт = 4515';
ListBox1.Items [35]:=t конденсации = 25 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения Фреон-12 = -20' + ' Kт = 3890';
ListBox1.Items [36]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения аммиака = -10' + ' Kт = 5010';
ListBox1.Items [37]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения аммиака = -15' + ' Kт = 4274';
ListBox1.Items [38]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения аммиака = -20' + ' Kт = 3688';
ListBox1.Items [39]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения Фреон-12 = -10' + ' Kт = 5070';
ListBox1.Items [40]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения Фреон-12 = -15' + ' Kт = 4265';
ListBox1.Items [41]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 20 '+' t испарения Фреон-12 = -20' + ' Kт = 3710';
ListBox1.Items [42]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения аммиака = -10' + ' Kт = 4907';
ListBox1.Items [43]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения аммиака = -15' + ' Kт = 4186';
ListBox1.Items [44]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения аммиака = -20' + ' Kт = 3612';
ListBox1.Items [45]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения Фреон-12 = -10' + ' Kт = 4890';
ListBox1.Items [46]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения Фреон-12 = -15' + ' Kт = 4105';
ListBox1.Items [47]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 25 '+' t испарения Фреон-12 = -20' + ' Kт = 3560';
ListBox1.Items [48]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 30 '+' t испарения аммиака = -10' + ' Kт = 4804';
ListBox1.Items [49]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 30 '+' t испарения аммиака = -15' + ' Kт = 4098';
ListBox1.Items [50]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 30 '+' t испарения аммиака = -20' + ' Kт = 3535';
ListBox1.Items [51]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 30 '+' t испарения Фреон-12 = -10' + ' Kт = 4700';
ListBox1.Items [52]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 30 '+' t испарения Фреон-12 = -15' + ' Kт = 3935';
ListBox1.Items [53]:=t конденсации = 30 '+' t переохлаждения = 30 '+' t испарения Фреон-12 = -20' + ' Kт = 3415';
Edit2.Text:=FloatToStr(nm);
end;
procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var P,Qp,Kt,ni,nm,ne,nn:single;
begin
ni:=StrToFloat(Edit1.Text);
ne:=StrToFloat(Edit3.Text);
nn:=StrToFloat(Edit4.Text);
nm:=StrToFloat(Edit2.Text);
Qp:=StrToFloat(Form1.Edit24.Text);
Kt:=StrToFloat(Memo1.Lines[0]);
P:=Qp/(Kt*ni*nm*ne*nn);
Edit5.Text:=FloatToStr(P);
end;
procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
var P,Qp,Kt:single;
begin
Qp:=StrToFloat(Form1.Edit24.Text);
Kt:=StrToFloat(Memo1.Lines[0]);
P:=1.4*(Qp/Kt);
Edit6.Text:=FloatToStr(P);
end;
end.

```



УТВЕРЖДАЮ
Председатель ООО
«Пилюгинский АПК»
« 11 » _____ 2015

Акт внедрения

результатов научно – исследовательских, опытно – конструкторских и
технологических работ в высших учебных заведениях

Заказчик ООО «Пилюгинский АПК», Бугурусланского района, Оренбургской области

Председатель _____
(наименование организации)
Будилько Д.В.
(Ф.И.О. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы

«Разработка и обоснование системы охлаждения молока с помощью
(наименование темы, № государственной регистрации)

естественного холода с использованием термосифонов»

выполненной в Оренбургском государственном аграрном университете

(наименование ВУЗа, ИИИ)

выполненной в 2012 – 2015 г.

(указать дату выполнения)

Внедрены в ООО «Пилюгинский АПК», Бугурусланского района,

(наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

Оренбургской области

1. Вид внедренных результатов эксплуатация системы охлаждения молока
с помощью естественного холода.

2. Характеристика масштаба внедрения _____ единичное
(уникальное, единичное, парти, массовое, серийное)

3. Новизна результатов научно - исследовательских работ качественно новые
(новые, качественно новые, модификации, модификация старых разработок)

4. Опытно – промышленная проверка акт хозяйственных испытаний
(указать номер и дату испытаний)

системы охлаждения молока

в ООО «Пилюгинский АПК» декабрь – май 2014-2015г.

Члены комиссии:
от ВУЗа

к.т.н., доцент
инженер

Козловцев А.П.
Коровин Г.С.

от предприятия
Председатель ООО «Пилюгинский АПК» _____ / Будилько Д.В. /
Главный инженер _____ / Коровин Г.С. /

УТВЕРЖДАЮ.
 Председатель ООО «А7 АГРО»
 ОП «Благодарное»
Мозалевский С.В.

« 22 » марта 2016 г.



Акт внедрения
 научно-исследовательской работы

Разработка и обоснование системы охлаждения молока природным холодом
наименование работы

« 22 » марта 2016 г. Комиссия в составе: представителя хозяйства ООО «А7 АГРО»
ОП «Благодарное» Мозалевского С.В. и инженера Солохина В.В.
должность, фамилия, имя, отчество

и представителей ФГБОУ ВО Оренбургского государственного аграрного университета кандидата технических наук, доцента Козловцева А.П., аспирантов Поповой М.И. и Козловцевой С.П.

составила настоящий акт в том, что в ООО «А7 АГРО» ОП «Благодарное» Ташлинского района Оренбургской области.
наименование предприятия, хозяйства

внедрен «системы охлаждения молока природным холодом»
наименование процесса, материала, машины и т.д.

1. В процессе внедрения выполнены следующие работы
 В 2016 году на базе молочно-товарной фермы ООО «А7 АГРО» ОП «Благодарное» внедрена система охлаждения молока природным холодом, которая включает в себя аккумулятор холода, дозирующее устройство, теплообменный аппарат.

2. Техничко-экономическте показатели внедрения

При проведении производственных испытаний были окончательно установлены значения эксплуатационных параметров, влияющих на холодопроизводитель-

Продолжение приложения 7

ность устройств. В процессе исследований эффективность работы льдоаккумулято-
ров с термосифонами и льдоаккумуляторов послойного намораживания продолжи

Продолжение приложения 7

тельность охлаждения молока сравнивалась с эффективностью работы холодильных
машин, использующихся в хозяйствах.

Использование естественного холода в форме льда годовой потребности по-
зволяет:

1. Уменьшить число рабочих на 1 чел;
2. Уменьшить годовые эксплуатационные издержки за счет сокращения затрат:
 - на зарплату;
 - на электроэнергию;
 - на амортизацию оборудования;
 - на ТО и ремонт оборудования.

3. Предложения о дальнейшем внедрении работы и др. замечания:

Данное конструкторское решение предлагается для более широкого внедрения в хо-
зяйствах районов.

Представители
ФГБОУ ВО ОГАУ



/А.П.Козловцев/
/М.И. Попова/
/С.П. Козловцева/

Представители
ООО «А7 АГРО» ООП «Благодарное»

/С.В.Мозалевский/
/В.В.Солохин/

Приложение 8

Утверждаю

Директор ОАО «Ключевское»

Мурзин Н.И.

**АКТ ВНЕДРЕНИЯ**

результатов научно-исследовательских,
опытно-конструкторских и технологических
работ в высших учебных заведениях

Заказчик ОАО «Ключевское» Пономаревского района, Оренбургской области

Директор Мурзин Николай Иванович

Выполненной ФГБОУ ВО Оренбургским государственным аграрным университетом

Выполняемой с 2014 по 2015 гг.

Вид внедрения результатов Внедрение установки для охлаждения молока природным холодом

Характеристика масштаба внедрения Единичный экземпляр

Новизна результатов научно – исследовательских работ Модернизация старых разработок

Члены комиссии:

гл. инженер

гл. зоотехник

доцент

аспирант

зав. лабораториями

Чегодаев Л.Я.

Солтанов И.С.

Козловцев А.П.

Попова М.И.

Козловцева С.П.

Продолжение приложения 9

производства молока на молочно-товарной ферме на на 0,88 рублей за килограмм при использовании льдохранилища с послойным намораживанием льда

3. *Предложения о дальнейшем внедрении работы и др. замечания:*

Данное конструкторское решение предлагается для более широкого внедрения в хозяйствах Оренбургской области.

Представители
ФГБОУ ВО ОГАУ



/В.А. Шахов/
/А.П.Козловцев/
/М.И. Попова/

Представитель
СПК (колхоз) им. Шевченко



/ Шестаков Е.В./

Матрица плана трехфакторного эксперимента $N = 2^4$

№ опыта,	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4
1	+	-	-	-	-
2	+	+	-	-	-
3	+	-	+	-	-
4	+	-	-	+	-
5	+	+	+	+	-
6	+	+	-	+	-
7	+	-	+	+	-
8	+	+	+	+	-
9	+	-	-	-	+
10	+	+	-	-	+
11	+	-	+	-	+
12	+	-	-	+	+
13	+	+	+	+	+
14	+	+	-	+	+
15	+	-	+	+	+
16	+	+	-	+	+

Таблица значений критерия Фишера (F критерия)

	f_1										
f_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	245.95
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.20

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2561745

ХРАНИЛИЩЕ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С
АККУМУЛИРОВАНИЕМ ХОЛОДА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014115170

Приоритет изобретения 15 апреля 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 05 августа 2015 г.

Срок действия патента истекает 15 апреля 2034 г.

Заместитель руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



Продолжение приложения 12

Изобретение относится к средствам для хранения пищевых продуктов.

Известно хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода, принятое за прототип [1]. Оно представляет собой подземное сооружение, имеющее камеру для размещения продуктов и содержащее емкость с жидкостью для аккумулярования холода, а также средство для охлаждения этой жидкости в виде гравитационной тепловой трубы, которая имеет заправленный хладагентом герметичный корпус, содержащий последовательно соединенные части, являющиеся зоной испарения, транспортной зоной и зоной конденсации, находящейся над поверхностью грунта. Камера для хранения продуктов на части ее пола выполнена с углублением, в котором размещена указанная емкость с жидкостью для аккумулярования холода, эта емкость выполнена из эластичного материала с запасом по объему для расширения указанной жидкости при переходе ее в твердую фазу и заключена в открытый сверху жесткий защитный кожух с возможностью прилегания к его внутренней поверхности. Корпус гравитационной тепловой трубы в зоне испарения выполнен из легкодеформируемого металла и изогнут по винтовой линии, охватывающей емкость с жидкостью для аккумулярования холода вместе с жестким защитным кожухом, в которой эта емкость заключена, по его периметру и высоте, при этом часть гравитационной тепловой трубы, являющаяся ее транспортной зоной, проходит вертикально через указанную камеру и находящийся над ней слой грунта до соединения с частью, являющейся зоной конденсации.

Недостатком данного хранилища для пищевых продуктов с аккумулярованием холода являются малая площадь контакта емкости с жидкостью для аккумулярования холода, отсутствие контроля температурного режима и состояния льда в емкости для аккумулярования холода.

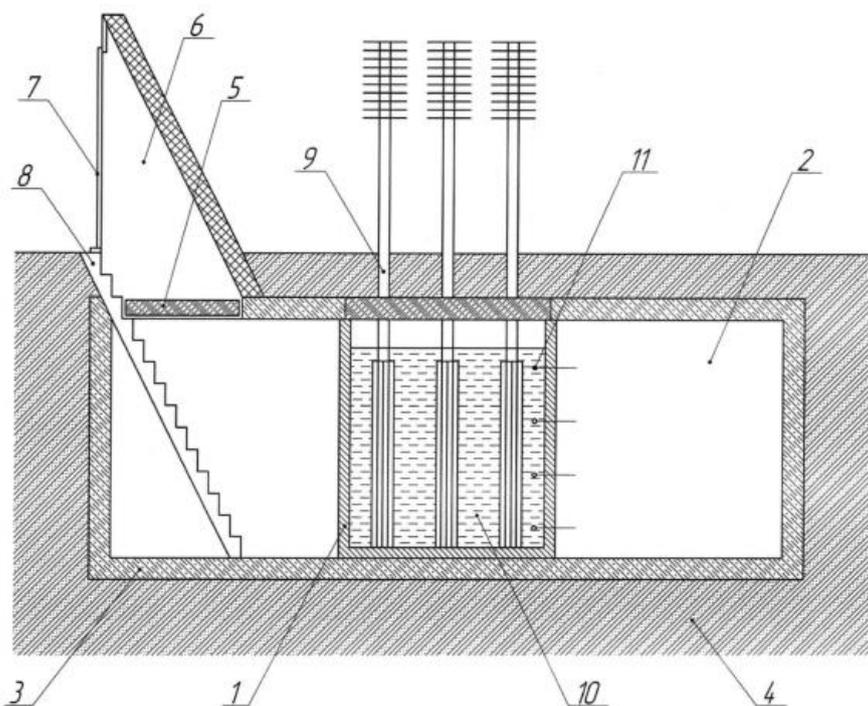
Продолжение приложения 12

Задача изобретения - увеличение площади контакта емкости для аккумуляции холода и контроль состояния льда.

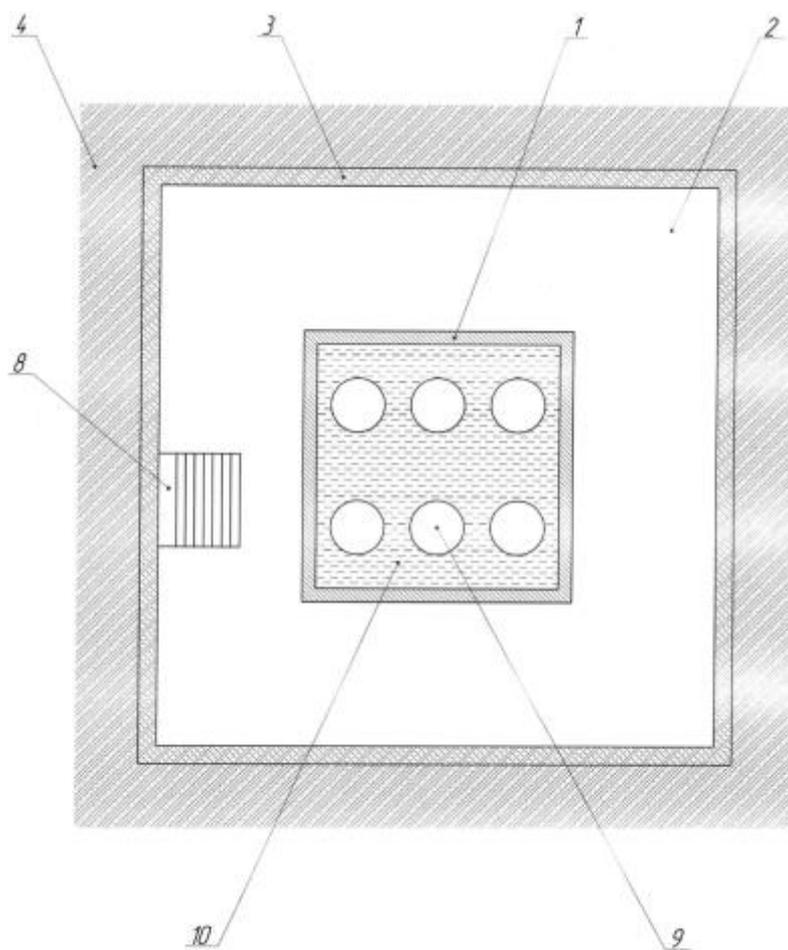
Технический результат достигается за счет того, что емкость для аккумуляции холода располагается внутри в центральной части воздушной холодильной камеры, увеличивая тем самым площадь теплопередачи и сокращая время охлаждения продуктов. Емкость для аккумуляции холода выполнена из теплопроводящего материала с запасом по объему для расширения жидкости при переходе ее из жидкой фазы в твердую. Для контроля состояния льда по всей глубине емкости через определенное расстояние устанавливаются датчики температуры.

Предлагаемое изобретение иллюстрируется чертежами, на которых показаны:

- на фиг. 1 - общий вид хранилища для пищевых продуктов с аккумуляцией холода,
- на фиг. 2 - вид сверху хранилища для пищевых продуктов с аккумуляцией холода.



Фиг. 1



Фиг. 2

Предлагаемое хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода представляет собой (фиг. 1) подземное сооружение, содержащее емкость для аккумулярования холода 1, воздушную холодильную камеру 2, имеющую стену 3 контактирующую с грунтом 4, пол и потолочное покрытие с люком 5. Доступ к люку 5 в показанном на фиг. 1 частном случае выполнения хранилища осуществляется через наклонный тамбур 6 с дверью 7 и лестницей 8, которая продолжается до пола воздушной холодильной камеры 2. Вместо наклонного тамбура 6 с дверью 7 может быть использована вертикальная шахта, имеющая вместо двери 7 горизонтальный люк на уровне поверхности грунта. В емкости для аккумулярования холода 1 установлены термосифоны 9, содержащие последовательно соединенные части, являющиеся зоной испарения, транспортной зоной и зоной конденсации,

Продолжение приложения 12

находящейся над поверхностью грунта, которые охлаждают воду 10, а температура контролируется датчиками 11.

Работает устройство следующим образом.

Емкость для аккумуляции холода 1 наполняется водой 10. Внутри трубы термосифона 9 закачивают хладагент (фреон, аммиак, углекислоту), температура кипения которого варьируется от -15°C до -30°C в зависимости от давления. Термосифон 9 испарительной частью помещается в емкость для аккумуляции холода 1. При температуре окружающего воздуха ниже -5°C он начинает функционировать. Хладагент в испарителе, окруженном водой с температурой $+1\div+4^{\circ}\text{C}$, начинает интенсивно кипеть, отнимая теплоту от воды 10 по всей толще емкости для аккумуляции холода 1. Пары хладагента поднимаются вверх и, соприкасаясь с внутренней замороженной до температуры наружного воздуха поверхностью, конденсируются, отдавая теплоту стенкам конденсатора. Капли хладагента по стенкам термосифона 9 под действием силы тяжести стекают вниз, в испаритель, где снова испаряются. Таким образом, идет непрерывный процесс перекачивания теплоты от всей толщи воды 10, от нижних придонных до верхних слоев.

Емкость для аккумуляции холода 1 располагается внутри в центральной части воздушной холодильной камеры 2 (это показано на фиг. 2), обеспечивая тем самым увеличение площади теплопередачи.

Для контроля состояния льда по всей глубине емкости для аккумуляции холода 1 через определенное расстояние устанавливаются датчики температуры 11.

Грунт 4, контактирующий со стеной 3, охлаждается в холодный период года и играет роль дополнительного аккумулятора холода в воздушной холодильной камере 2.

Продолжение приложения 12

В теплое время года, когда температура воздуха над поверхностью грунта становится выше окружающей температуры в зоне испарения, циркуляция хладагента прекращается.

Источники информации

1. Патент РФ на изобретение №2495339, опубл. 10.10.2013.

Хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода, выполненное в виде подземного сооружения, имеющего камеру для размещения продуктов и содержащего емкость с жидкостью для аккумулярования холода, а также средство для охлаждения этой жидкости, заправленное хладагентом, содержащее последовательно соединенные части, являющиеся зоной испарения, транспортной зоной и зоной конденсации, находящейся над поверхностью грунта, отличающееся тем, что емкость для аккумулярования холода располагается внутри в центральной части воздушной холодильной камеры, а контроль состояния льда по всей глубине емкости для аккумулярования холода осуществляется датчиками температуры, установленными через определенное расстояние по всей глубине.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2568753

ТЕРМОСИФОН ДЛЯ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ВОДЫ С
ТЕРМОНАСАДКОЙ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014121902

Приоритет изобретения 29 мая 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 21 октября 2015 г.

Срок действия патента истекает 29 мая 2034 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев Г.П. Излиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 568 753** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
F25D 3/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014121902/13, 29.05.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.05.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.05.2014

(45) Опубликовано: 20.11.2015 Бюл. № 32

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU1659690A1, 30.06.1991. SU176320A1,
23.02.1992. RU2023384C1, 30.11.1994.
US4757690A, 19.07.1988. US5357761A, 25.10.1994.

Адрес для переписки:

460014, г.Оренбург, ул. Челюскинцев, 18, ФГБОУ
ВПО ОГАУ

(72) Автор(ы):

Козловцев Андрей Петрович (RU),
Герасименко Игорь Владимирович (RU),
Коровин Григорий Сергеевич (RU),
Квашенников Василий Иванович (RU),
Панин Александр Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Оренбургский государственный аграрный
университет" (RU)

(54) ТЕРМОСИФОН ДЛЯ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ВОДЫ С ТЕРМОНАСАДКОЙ

(57) Реферат:

Термосифон для замораживания воды с термонасадкой содержит вертикальную тонкостенную трубу с заглушенными концами, выполненную из нержавеющей стали, верхняя часть которой является конденсатором с ребрами, а нижняя испарителем хладагента 2 с

термонасадкой. Термонасадка содержит центральную трубу, периферийные трубы, теплоизолирующую стенку и заливные штуцеры. Использование данного изобретения обеспечивает увеличение площади теплопередачи для повышения холодопроизводительности. 1 ил.

RU 2 5 6 8 7 5 3 C 1

RU 2 5 6 8 7 5 3 C 1

RU 2 568 753 C1

Изобретение относится к области сельского хозяйства, в частности к устройствам для интенсивного перекачивания теплоты от тел с более высокой к телам с более низкой температурой без затрат каких-либо видов энергии (электрической, механической и т.д.).

5 Известно устройство (Теплоперенос в вертикальном парожидкостном термосифоне // Новосибирск: Научный журнал «Криосфера земли» №3, т. XIII, 2009 г., с. 54-58), состоящее из испарителя, конденсатора и ребер конденсатора, используемое в зимний период времени года в районах вечной мерзлоты для промораживания грунтов до более низких температур, выбранное в качестве прототипа.

10 Недостатком данного устройства является малая площадь испарения хладагента из-за невозможности использования термонасадки, так как он используется на твердых грунтах, вследствие чего имеют малую холодопроизводительность.

Задача изобретения - увеличение площади теплопередачи между водой термосифоном, предназначенным для промораживания водоемов, бассейнов на большие глубины - до 15 10...15 метров без затрат каких-либо видов энергии.

Технический результат достигается за счет того, что испаритель термосифона оборудован термонасадкой, что позволяет увеличить площадь теплопередачи, тем самым увеличивается холодопроизводительность.

20 Сущность изобретения поясняется чертежом, на котором изображен термосифон для замораживания воды с термонасадкой.

Термосифон для замораживания воды с термонасадкой представляет собой вертикальную тонкостенную трубу с заглушенными концами, выполненную из нержавеющей стали, верхняя часть которой является конденсатором 1 с ребрами конденсатора, а нижняя - испарителем хладагента 2 с термонасадкой, состоящей из 25 центральной трубы 3, периферийных труб 4, теплоизолирующей стенки 5 и заливных штуцеров 6.

Работает устройство следующим образом.

Внутри термосифона закачивают хладагент (фреон, аммиак, углекислоту), температура кипения которого варьирует от -5°C до -30°C в зависимости от давления. 30 Термосифон испарительной частью 2, с закрепленной на ней термонасадкой длиной 5...10 м, помещается в бассейн аналогичной глубины. При температуре окружающего воздуха ниже -5°C он начинает функционировать. Хладагент в испарителе 2, окруженном незамерзающей жидкостью с температурой $-5, -15^{\circ}\text{C}$, начинает интенсивно кипеть, отнимая теплоту от незамерзающей жидкости по всей длине периферийных 35 труб 4 термонасадки. Незамерзающая жидкость за счет разницы плотностей между центральной 3 и периферийными трубами 4 начинает циркулировать по всей длине термонасадки, отнимая тем самым теплоту у воды в бассейне, и передает ее хладагенту. Пары хладагента поднимаются вверх и, соприкасаясь с внутренней замороженной до температуры наружного воздуха поверхностью, конденсируются, отдавая теплоту 40 стенкам конденсатора 1. Капли хладагента по стенкам термосифона под действием силы тяжести стекают вниз, в испаритель 2, где снова испаряются. Таким образом идет непрерывный процесс перекачивания теплоты от всей толщи воды, от нижних придонных до верхних слоев.

45 **Формула изобретения**

Термосифон для замораживания воды с термонасадкой, содержащий испаритель, конденсатор, ребра конденсатора, отличающийся тем, что испаритель термосифона оснащен термонасадкой, состоящей из центральной трубы, периферийных труб,

Продолжение приложения 13

RU 2 568 753 C1

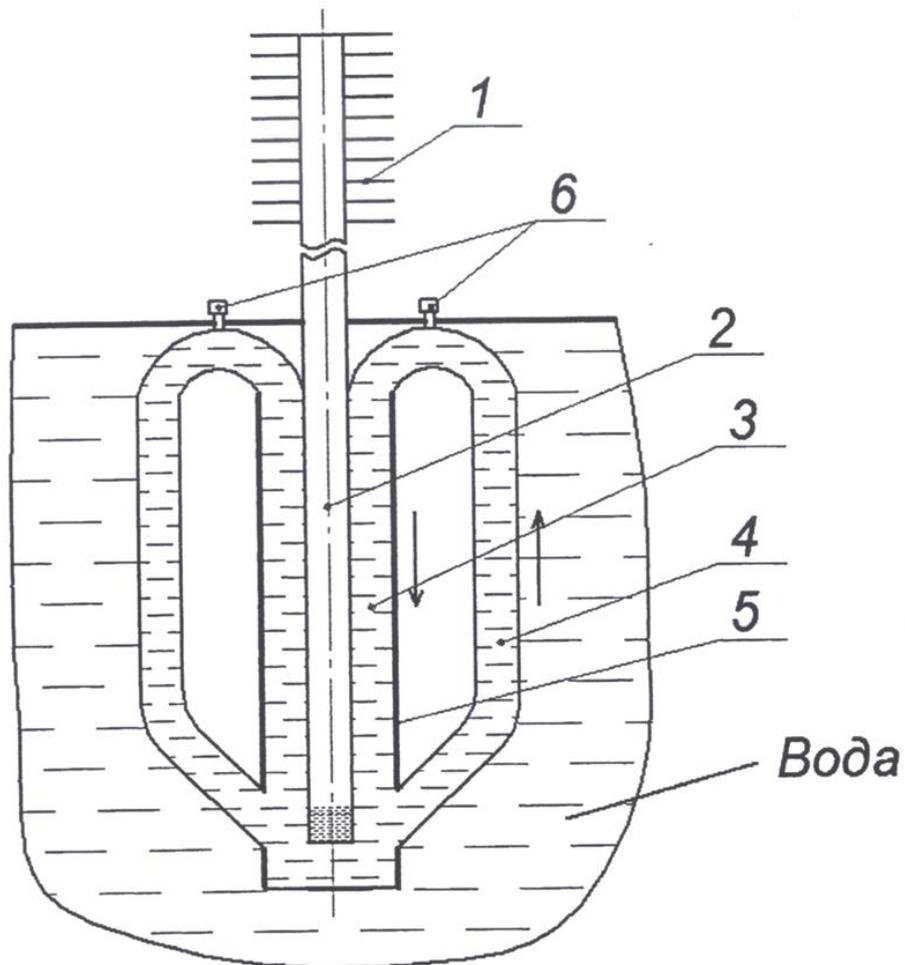
теплоизолирующей стенки и заливных штуцеров.

5
10
15
20
25
30
35
40
45



Продолжение приложения 13

RU 2 568 753 C1



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2627570

**ХРАНИЛИЩЕ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С
АККУМУЛИРОВАНИЕМ ХОЛОДА**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Авторы: *Герасименко Игорь Владимирович (RU), Козловцев Андрей Петрович (RU), Потешкин Константин Сергеевич (RU)*

Заявка № 2016102736

Приоритет изобретения 27 января 2016 г.

Дата государственной регистрации в

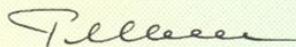
Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 08 августа 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 27 января 2036 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 627 570** (13) **C2**(51) МПК
F25D 3/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2016102736, 27.01.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.01.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.01.2016

(43) Дата публикации заявки: 28.07.2017 Бюл. № 22

(45) Опубликовано: 08.08.2017 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18,
ФГБОУ ВО ОГАУ

(72) Автор(ы):

Герасименко Игорь Владимирович (RU),
Козловцев Андрей Петрович (RU),
Потешкин Константин Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Оренбургский
государственный аграрный университет"
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2561745 C1, 10.09.2015. RU
2201565 C2, 27.03.2003. US 5509462 A,
23.04.1996.**(54) ХРАНИЛИЩЕ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С АККУМУЛИРОВАНИЕМ ХОЛОДА****(57) Формула изобретения**

Хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода, выполненное в виде подземного сооружения, содержащего емкость для аккумулярования холода, термосифоны, содержащие последовательно соединенные части, являющиеся зоной испарения, транспортной зоной и зоной конденсации, находящейся над поверхностью грунта, которые охлаждают воду, температура которой контролируется датчиками, воздушную холодильную камеру, имеющую стену, контактирующую с грунтом, пол и потолочное покрытие с люком, наклонный тамбур с дверью и лестницей, отличающееся тем, что наружные стенки емкости для аккумулярования холода имеют ребра охлаждения с установленными на них вентиляторами, включение которых осуществляется регулируемым автоматическими включателями, расположенными внутри воздушной холодильной камеры.

RU 2 6 2 7 5 7 0 C 2

RU 2 6 2 7 5 7 0 C 2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 627 570** (13) **C2**(51) МПК
F25D 3/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016102736, 27.01.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.01.2016Дата регистрации:
08.08.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.01.2016

(43) Дата публикации заявки: 28.07.2017 Бюл. № 22

(45) Опубликовано: 08.08.2017 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18,
ФГБОУ ВО ОГАУ

(72) Автор(ы):

Герасименко Игорь Владимирович (RU),
Козловцев Андрей Петрович (RU),
Потешкин Константин Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Оренбургский
государственный аграрный университет"
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2561745 C1, 10.09.2015. RU
2201565 C2, 27.03.2003. US 5509462 A,
23.04.1996.

(54) ХРАНИЛИЩЕ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С АККУМУЛИРОВАНИЕМ ХОЛОДА

(57) Реферат:

Хранилище для пищевых продуктов с аккумуляцией холода выполнено в виде подземного сооружения, которое содержит емкость для аккумуляции холода, термосифоны, воздушную холодильную камеру, которая имеет стену, пол и потолочное покрытие с люком, наклонный тамбур с дверью и лестницей. Термосифоны содержат зону испарения, транспортную зону и зону конденсации.

Наружные стенки емкости для аккумуляции холода имеют ребра охлаждения, на которых установлены вентиляторы с регулируемым автоматическими выключателями, которые расположены внутри холодильной камеры. Использование данного изобретения обеспечивает повышение скорости охлаждения холодильной камеры. 2 ил.

RU 2 6 2 7 5 7 0 C 2

RU 2 6 2 7 5 7 0 C 2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** (11) **2 627 570**⁽¹³⁾ **C2**(51) Int. Cl.
F25D 3/02 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2016102736, 27.01.2016

(24) Effective date for property rights:
27.01.2016Registration date:
08.08.2017Priority:
(22) Date of filing: 27.01.2016

(43) Application published: 28.07.2017 Bull. № 22

(45) Date of publication: 08.08.2017 Bull. № 22

Mail address:
460014, g. Orenburg, ul. Chelyuskintsev, 18, FGBOU
VO OGAU

(72) Inventor(s):

Gerasimenko Igor Vladimirovich (RU),
Kozlovtssev Andrej Petrovich (RU),
Poteshkin Konstantin Sergeevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Orenburgskij gosudarstvennyj
agrarnyj universitet" (RU)(54) **STORAGE FOR FOOD PRODUCTS WITH ACCUMULATION OF COLD**

(57) Abstract:

FIELD: food industry.

SUBSTANCE: food storage with accumulation of cold is made in the form of an underground structure, which contains a vessel for accumulating cold, thermosiphons, an air refrigerating chamber, which has a wall, a floor and a ceiling coating with a hatch, a sloping vestibule with a door and a staircase. The thermosiphons contain the evaporation area, the

transport area and the condensation area. The outer wall of the vessel for accumulating cold have cooling ribs on which fans with adjustable automatic switches located inside the refrigerating chamber are installed.

EFFECT: increasing the refrigerating chamber cooling speed.

2 dwg

RU 2 6 2 7 5 7 0 C 2

RU 2 6 2 7 5 7 0 C 2

RU 2 627 570 C2

Изобретение относится к средствам для хранения пищевых продуктов.

Известно хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода, выполненное в виде подземного сооружения, содержащего емкость для аккумулярования холода, термосифоны, содержащие последовательно соединенные части, являющиеся зоной испарения, транспортной зоной и зоной конденсации, находящейся над поверхностью грунта, которые охлаждают воду, температура которой контролируется датчиками, воздушную холодильную камеру, имеющую стену, контактирующую с грунтом, пол и потолочное покрытие с люком, наклонный тамбур с дверью и лестницей [1].

Недостатком данного хранилища для пищевых продуктов с аккумулярованием холода являются малая площадь теплопередачи емкости для аккумулярования холода и малая скорость охлаждения воздушной холодильной камеры.

Задача изобретения - увеличение площади теплопередачи емкости для аккумулярования холода и повышение скорости охлаждения воздушной холодильной камеры.

Технический результат достигается за счет того, что хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода, выполненное в виде подземного сооружения, содержащего емкость для аккумулярования холода, термосифоны, содержащие последовательно соединенные части, являющиеся зоной испарения, транспортной зоной и зоной конденсации, находящейся над поверхностью грунта, которые охлаждают воду, температура которой контролируется датчиками, воздушную холодильную камеру, имеющую стену, контактирующую с грунтом, пол и потолочное покрытие с люком, наклонный тамбур с дверью и лестницей, отличается тем, что наружные стенки емкости для аккумулярования холода имеют ребра охлаждения с установленными на них вентиляторами, включение которых осуществляется регулирующими автоматическими включателями, расположенными внутри воздушной холодильной камеры.

Сущность изобретения поясняется чертежами:

- фиг. 1 - общий вид хранилища для пищевых продуктов с аккумулярованием холода,
- фиг. 2 - вид сверху хранилища для пищевых продуктов с аккумулярованием холода.

Предлагаемое хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода представляет собой (фиг. 1) подземное сооружение, содержащее емкость для аккумулярования холода 1 с ребрами охлаждения 2 и установленными на них вентиляторами 3, включаемыми регулирующими автоматическими включателями 4, воздушную холодильную камеру 5, имеющую стену 6, контактирующую с грунтом 7, пол и потолочное покрытие с люком 8. Доступ к люку 8 в показанном на фиг. 1 частном случае выполнения хранилища осуществляется через наклонный тамбур 9 с дверью 10 и лестницей 11, которая продолжается до пола воздушной холодильной камеры 5. Вместо наклонного тамбура 9 с дверью 10 может быть использована вертикальная шахта, имеющая вместо двери 10 горизонтальный люк на уровне поверхности грунта. В емкости для аккумулярования холода 1 установлены термосифоны 12, содержащие последовательно соединенные части, являющиеся зоной испарения, транспортной зоной и зоной конденсации, находящейся над поверхностью грунта, которые охлаждают воду 13, а температура контролируется датчиками 14.

Работает устройство следующим образом.

Емкость для аккумулярования холода 1 с ребрами охлаждения 2 и установленными на них вентиляторами 3, включаемыми регулирующими автоматическими включателями 4, наполняется водой 13. Внутри трубы термосифона 12 закачивают хладагент (фреон, аммиак, уголекислоту), температура кипения которого варьирует от -15°C до -30°C в

RU 2 627 570 C2

зависимости от давления. Термосифон 12 испарительной частью помещается в емкость для аккумуляции холода 1 с ребрами охлаждения 2 и установленными на них вентиляторами 3, включаемыми регулирующими автоматическими выключателями 4. При температуре окружающего воздуха ниже -5°C он начинает функционировать.

5 Хладагент в испарителе, окруженном водой с температурой $+1, +4^{\circ}\text{C}$, начинает интенсивно кипеть, отнимая теплоту от воды 13 по всей толщине емкости для аккумуляции холода 1 с ребрами охлаждения 2 и установленными на них вентиляторами 3, включаемыми регулирующими автоматическими выключателями 4.

10 Пары хладагента поднимаются вверх и, соприкасаясь с внутренней замороженной до температуры наружного воздуха поверхностью, конденсируются, отдавая теплоту стенкам конденсатора. Капли хладагента по стенкам термосифона 12 под действием силы тяжести стекают вниз, в испаритель, где снова испаряются. Таким образом, идет непрерывный процесс перекачивания теплоты от всей толщи воды 13, от нижних придонных до верхних слоев.

15 Емкость для аккумуляции холода 1 с ребрами охлаждения 2 и установленными на них вентиляторами 3, включаемыми регулирующими автоматическими выключателями 4, располагается внутри в центральной части воздушной холодильной камеры 5 (это показано на фиг. 2), обеспечивая тем самым увеличение площади теплопередачи и скорости охлаждения воздушной холодильной камеры 5. Регулируемые автоматические

20 выключатели 4 настроены на определенную необходимую величину температуры в воздушной холодильной камере 5, при достижении которой работа вентиляторов 3 прекращается. При повышении температуры в воздушной холодильной камере 5 выше установленной, сигнал, полученный от регулируемых автоматических выключателей 4, передается на вентиляторы 3, и они запускаются в работу. Также вентиляторы 3 могут

25 включаться принудительно.

Для контроля состояния льда по всей глубине емкости для аккумуляции холода 1 через определенное расстояние устанавливаются датчики температуры 14.

Грунт 7, контактирующий со стеной 6, охлаждается в холодный период года и играет роль дополнительного аккумулятора холода в воздушной холодильной камере 5.

30 В теплое время года, когда температура воздуха над поверхностью грунта становится выше окружающей температуры в зоне испарения, циркуляция хладагента прекращается.

Источники информации

1. Патент РФ на изобретение №2561745, опубл. 10.09.2015.

35

(57) Формула изобретения

Хранилище для пищевых продуктов с аккумуляцией холода, выполненное в виде подземного сооружения, содержащего емкость для аккумуляции холода, термосифоны, содержащие последовательно соединенные части, являющиеся зоной

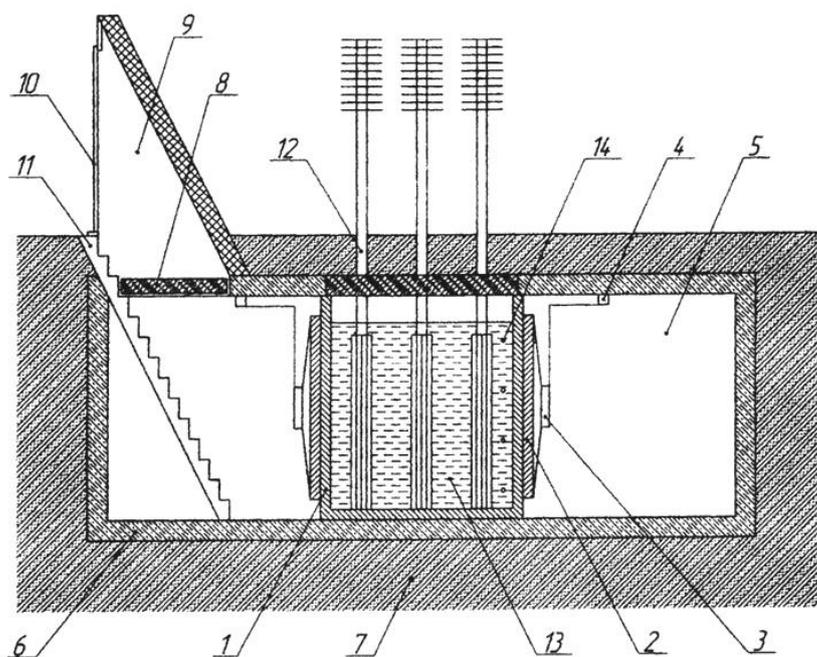
40 испарения, транспортной зоной и зоной конденсации, находящейся над поверхностью грунта, которые охлаждают воду, температура которой контролируется датчиками, воздушную холодильную камеру, имеющую стену, контактирующую с грунтом, пол и потолочное покрытие с люком, наклонный тамбур с дверью и лестницей, отличающееся тем, что наружные стенки емкости для аккумуляции холода имеют ребра

45 охлаждения с установленными на них вентиляторами, включение которых осуществляется регулирующими автоматическими выключателями, расположенными внутри воздушной холодильной камеры.

RU 2 627 570 C2

1

Хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода

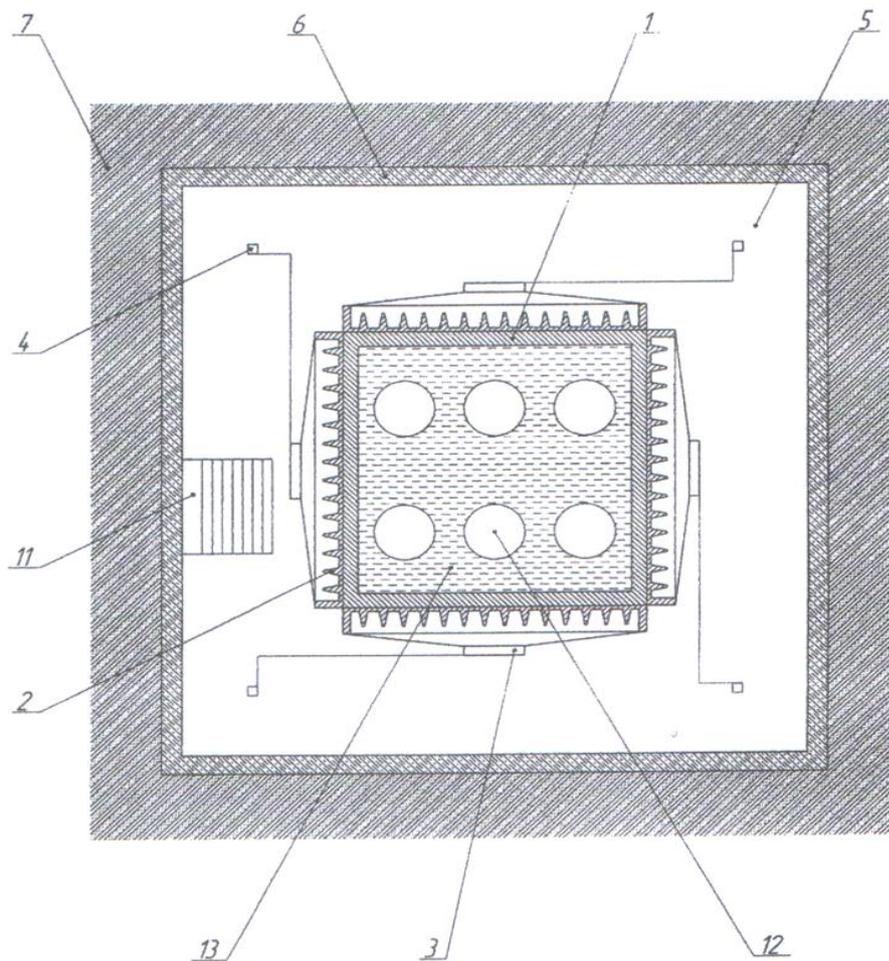


Фиг. 1

2

RU 2 627 570 C2

Хранилище для пищевых продуктов с аккумуляцией холода



Фиг. 2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2627574

**УСТАНОВКА ДЛЯ ПОСЛОЙНОГО НАМОРАЖИВАНИЯ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ЛЬДА ПРИ
ОХЛАЖДЕНИИ МОЛОКА**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Авторы: *Квашенников Василий Иванович (RU), Козловцев Андрей Петрович (RU), Шахов Владимир Александрович (RU), Попова Мария Игоревна (RU), Герасименко Игорь Владимирович (RU)*

Заявка № 2015154887

Приоритет изобретения 21 декабря 2015 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 08 августа 2017 г.Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 21 декабря 2035 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 627 574** (13) **C2**(51) МПК
F25C 1/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2015154887, 21.12.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.12.2015Дата регистрации:
08.08.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.12.2015

(43) Дата публикации заявки: 26.06.2017 Бюл. № 18

(45) Опубликовано: 08.08.2017 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18,
ФГБОУ ВО ОГАУ

(72) Автор(ы):

Квашенников Василий Иванович (RU),
Козловцев Андрей Петрович (RU),
Шахов Владимир Александрович (RU),
Попова Мария Игоревна (RU),
Герасименко Игорь Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Оренбургский
государственный аграрный университет"
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2013719 C1, 30.05.1994. RU
2154375 C1, 20.08.2000. WO 19820000748 A1,
18.03.1982.(54) **УСТАНОВКА ДЛЯ ПОСЛОЙНОГО НАМОРАЖИВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО
ЛЬДА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ МОЛОКА**

(57) Формула изобретения

Установка для послойного намораживания и использования природного льда при охлаждении молока, содержащая теплоизолированный резервуар, водяной насос, водопроводную систему, отличающаяся тем, что придонная часть заглубленного льдохранилища снабжена ограничительной решеткой, не позволяющей полностью заполнять льдом весь объем льдохранилища, а верхняя часть имеет горловину с закрепленной на ней саморегулирующейся нагревательной лентой для оттайки ледяных пластов от стен горловины, а для затопления оттаянных пластов льда имеется гидрораспределитель с гидроцилиндром, закрепленным на дугообразной опоре, четыре стойки-швеллера с закрепленными на них пластинчатыми фиксаторами для фиксации затопленных ледяных пластов, сифонный бак-дозатор для формирования доз воды для послойного намораживания, частоту срабатывания которого регулируют расходным краном и длиной сифона.

RU 2 6 2 7 5 7 4 C 2

RU 2 6 2 7 5 7 4 C 2

Продолжение приложения 15

Установка для послойного намораживания и использования природного льда при охлаждении молока

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к устройствам для намораживания и использования природного льда при охлаждении жидкотекучих пищевых продуктов, например, молока.

Известен способ намораживания льда в аккумуляторах холода [1], предусматривающий подачу воды на основание с коническими выступами, расположенными в льдохранилище, при отрицательных температурах окружающего воздуха, и контроль замерзания воды путем измерения электросопротивления наносимого слоя.

Недостатками способа являются:

1. Незащищенность стен льдохранилища от разрушения при замерзании воды;
2. Невозможность механизации работ при выемке и использования льда. Лед необходимо вручную выкалывать и доставлять к месту использования;
3. Талая вода, получаемая при плавлении льда во время охлаждения, не используется повторно для замораживания, а сливается в канализацию;
4. Уменьшается полезный объем льдохранилища за счет расположения в нем конических выступов;
5. Сложность, следовательно, низкая надежность и дороговизна оборудования.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является установка для намораживания льда в льдоаккумуляторе (прототип) [2], содержащая заглубленную теплоизолированную бетонированную систему и запорные краны, водяной насос, гидроаккумулятор, сифонный бак-дозатор воды, пластинчатый теплообменник-охладитель молока, гидронасос, гидроцилиндр.

Недостатками этой установки являются:

1. Дороговизна, сложность и, следовательно, низкая надежность;
2. Невозможность механизации транспортировки льда как в период намораживания, так и по окончании морозного периода, так как лед в резервуаре необходимо вручную выкалывать или выпиливать, доставлять к месту использования, дробить и загружать в ящики-фригаторы, где лед превращается в ледяную воду;
3. Талая вода не используется повторно для намораживания льда, а сливается в канализацию;
4. При выкалывании (выпиливании) нельзя разрушать лед вблизи электродов, так как велика вероятность их повреждения, потому что лед примерзает к электродам. Электроды остаются в слое льда и, значит, их функционирование при последующих циклах намораживания невозможно;
5. Теплоизолированный резервуар не имеет защиты от разрушения (размораживания), так как вода при замерзании увеличивается в объеме на 9%, в результате чего может произойти разрушение стен резервуара.

Задачей изобретения является увеличение скорости намораживания льда, исключение ручного труда при использовании замороженного льда для охлаждения молока, экономия воды, так как отработанная ледяная вода не сливается в канализацию, а возвращается в льдохранилище, где в морозный период она снова превращается в лед.

Технический результат при использовании предложенного устройства достигается за счет того, что водооборотная схема использования льда не позволяет замораживать все сто процентов объема воды в льдохранилище, что предохраняет стены от разрушения.

Сущность изобретения поясняется чертежом.

На чертеже представлено льдохранилище заглубленного типа 1, в котором расположены стойки швеллеров 2 с закрепленными на них фиксаторами ледяных пластов

Продолжение приложения 15

3 и ограничительной решеткой 4 в нижней части, а в верхней части в обшивке горловины 5 установлен саморегулирующийся нагревательный элемент 6. Обшивка горловины покрыта теплоизоляционным слоем 7.

Заполнение льдохранилища водой осуществляется с помощью бака-дозатора 8 с установленным в него сифоном 9, поплавковым устройством 10 и краном 11.

Для обеспечения утолщения льда в зимний период предусмотрена схема, содержащая гидроцилиндр 12, гидрораспределитель 13, закрепленные на дугообразной опоре 14. Гидравлическая схема, позволяющая производить охлаждение молока содержит обратный клапан 15, установленный в льдохранилище, всасывающую трубу 16, насос 17, счетчики расхода воды 18, гидроаккумулятор 19, реле давления 20, манометр 21, расходный кран 22, трехходовой кран 23, теплообменник-охладитель 24, напорную магистраль 25 и возвратный трубопровод 26.

Рабочий процесс осуществляется следующим образом. Перед наступлением морозного периода льдохранилище 1 заполняется водой до верхнего уровня обшивки горловины 5. При замерзании первого слоя до толщины 1...2 см оператор включает в работу бак-дозатор 8, который периодически накапливает и сбрасывает дозу соответствующего объема на замороженную поверхность льдохранилища 1, осуществляя тем самым намораживание льда слоями в 1...2 мм. После намораживания суммарной толщины 10...12 см, оператор включает саморегулирующийся нагревательный элемент 6 на 20...30 минут. За этот период времени ледяной пласт надежно подплавляется по всему периметру горловины. Затем в работу включается гидросистема, перемещающая ледяной пласт (10...12 см) ниже фиксаторов 3. После перемещения (затопления пласта, шток гидроцилиндра под действием пружины возвращается в исходное положение, а пласт от всплытия удерживается четырьмя фиксаторами 3. После затопления первого ледяного пласта в работе гидросистемы наступает пауза – ожидание намораживания второго пласта. Далее процесс циклически повторяется со вторым, третьим и так далее пластом. К концу морозного периода, а возможно и ранее, льдохранилище будет заполнено слоеным льдом до ограничительной решетки 4 в объеме 80...90 м³. В этом случае выталкивающая (архимедова) сила льда равна 80...90 тонн. Вес всего объема льда составит $90 \text{ м}^3 \times 917 \text{ кг/м}^3 = 82530 \text{ кг}$, где 917 кг/м^3 – плотность льда. Равнодействующая архимедовой силы и силы тяжести льда равна $90\text{т} - 82,53\text{т} = 7,47\text{т}$. Именно такое или большее усилие должен развивать гидроцилиндр 12 при затоплении последних пластов, а фиксаторы 3 выдерживать такую нагрузку.

Рабочая жидкость в гидроцилиндр 12 подается по шлангу от гидрораспределителя 13 под давлением насоса 17, смонтированного вместе с баком рабочей жидкости. В придонном слое воды льдохранилища 1 располагается обратный клапан 15 с сетчатым фильтром, накрученный на конец всасывающей трубы 16. Насос 17 подает воду в напорную магистраль 25, из которой вода поступает в гидроаккумулятор 19 и к расходному крану 22 и трехходовому крану 23. Расходный кран 22 регулирует подачу воды в бак-дозатор 8, устанавливая тем самым длительность его наполнения и, следовательно, частоту сброса воды на поверхность льдохранилища. Трехходовой кран 23 подает воду в теплообменник-охладитель 24 или на слив в канализацию.

При достижении уровня воды в баке-дозаторе 8 максимума запускается сифон 9 и вся доза воды, накопленная в баке, сбрасывается на верхнюю замороженную часть льдохранилища 1, разливаясь тонким слоем 1...2 мм в зависимости от настройки сифонного дозатора. Периодичность срабатывания сифонного дозатора устанавливается так, чтобы предыдущая доза, разлитая по поверхности ранее намороженного льда успела промерзнуть. Регулировка периодичности устанавливается расходным краном 8. Для автоматического запуска сифона предусмотрено дополнительное поплавковое устройство

Продолжение приложения 15

10, обеспечивающее открытие крана 11.

Насос 17 управляется с помощью реле давления 20. При давлении $2,1 \text{ кг/см}^2$ насос выключается, при $1,1 \text{ кг/см}^2$ включается.

После многократных циклов работы сифонного устройства и механизма затопления пластов в течение морозного периода большая часть воды в льдохранилище 1 превратится в многослойный ледяной массив.

Однако доводить промораживание до дна емкости нельзя, так как нижний придонный слой воды используется для ее подачи в теплообменник-охладитель 24 через трехходовой кран 23 с последующим возвратом теплой, отработанной воды по возвратному трубопроводу 26 снова в придонный слой, где она охлаждается за счет таяния нижних слоев льда. Именно для этой цели служит ограничительная решетка 4.

Расход воды и, соответственно, объем замороженного льда определяется по показаниям счетчика расхода воды 18.

Экономический эффект при использовании предложенного устройства достигается за счет того, что в отличие от существующих в настоящее время аналогичных устройств, оно обладает следующими положительными свойствами:

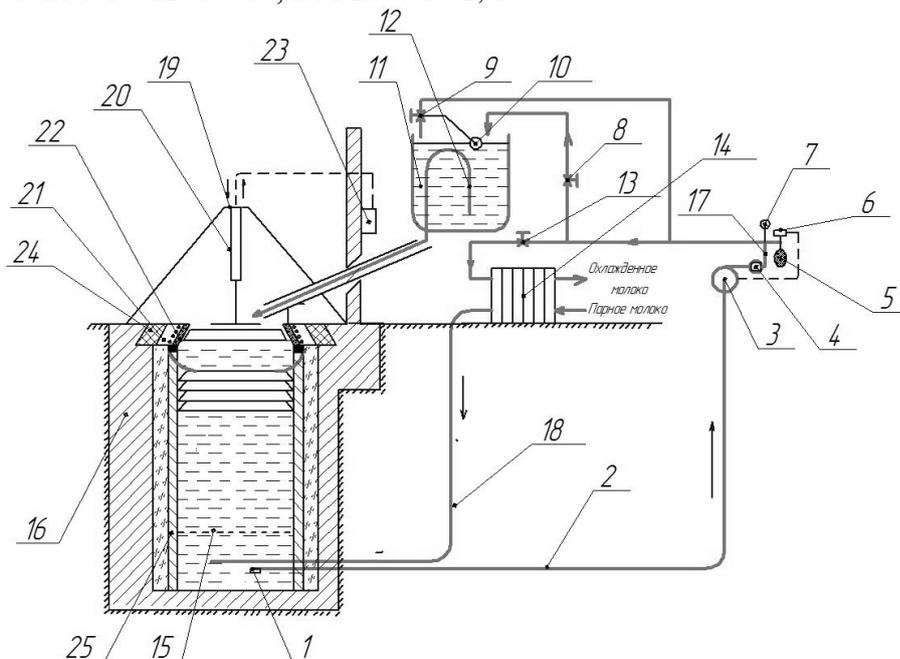
Комплексно решает проблему охлаждения молока естественным холодом

Экономит воду за счет того, что для послойного намораживания воду забирает не из водоснабжающей системы (водопровода), а из нижних придонных слоев льдохранилища, а отработанную воду после теплообмена с охлаждаемым молоком не сливает в канализацию, а направляет в льдохранилище, где она, контактируя со льдом, снова охлаждается, т.е. предлагаемое устройство использует водооборотную схему

Не требуется выколка или выпиливание кусков льда для доставки их к местам использования, что полностью ликвидирует затраты живого труда при использовании льдохранилища.

Источники информации:

1. Авторское свидетельство SU 1244444 А1
2. Патент РФ №2013719, кл. F25 С 1/02, 1994.



Установка для послойного намораживания и использования природного льда при охлаждении молока

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2450507

**СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ МОЛОКА
И МОЮЩЕГО РАСТВОРА НА ВНУТРЕНнюю
ПОВЕРХНОСТЬ КРИВОЛИНЕЙНОГО УЧАСТКА
МОЛОКОПРОВОДА**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное
образовательное учреждение высшего профессионального
образования "Оренбургский государственный аграрный
университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2010111538

Приоритет изобретения 25 марта 2010 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 20 мая 2012 г.

Срок действия патента истекает 25 марта 2030 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 450 507**⁽¹³⁾ **C2**(51) МПК
A01J 7/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010111538/13, 25.03.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.03.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.03.2010

(43) Дата публикации заявки: 27.09.2011 Бюл. № 27

(45) Опубликовано: 20.05.2012 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2321773 C1, 10.04.2008. SU 1174831 A,
23.08.1985. RU 2222800 C1, 27.01.2004. JP
3196847 A, 28.08.1991.

Адрес для переписки:

460795, г.Оренбург, ул. Челюскинцев, 18,
ФГОУ ВПО ОГАУ

(72) Автор(ы):

Карташов Лев Петрович (RU),
Ушаков Юрий Андреевич (RU),
Василевский Георгий Петрович (RU),
Козловцев Андрей Петрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Оренбургский государственный аграрный
университет" (RU)(54) СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ МОЛОКА И МОЮЩЕГО РАСТВОРА НА
ВНУТРЕННЮЮ ПОВЕРХНОСТЬ КРИВОЛИНЕЙНОГО УЧАСТКА МОЛОКОПРОВОДА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельского хозяйства. Предложенный стенд содержит емкость, трубопровод, насос, регистрирующее устройство с датчиками давления, перепада давления, температуры и устройство для моделирования криволинейного участка молокопровода, которое позволяет выполнить модель поворота молокопровода с различными радиусами кривизны: постоянным, переменным, с постоянно

увеличивающимся радиусом и постоянно уменьшающимся. Стеклопанная поверхность устройства моделирования криволинейного участка молокопровода позволяет наблюдать за движением жидкости при заданных конструктивно-режимных параметрах, а также проводить скоростную фото- и видеосъемку. Изобретение обеспечивает легкость применения, точность результатов исследований. 2 ил.

RU 2 4 5 0 5 0 7 C 2

RU 2 4 5 0 5 0 7 C 2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 450 507** ⁽¹³⁾ **C2**(51) Int. Cl.
A01J 7/02 (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2010111538/13, 25.03.2010

(24) Effective date for property rights:
25.03.2010

Priority:

(22) Date of filing: 25.03.2010

(43) Application published: 27.09.2011 Bull. 27

(45) Date of publication: 20.05.2012 Bull. 14

Mail address:

460795, g.Orenburg, ul. Cheljuskintsev, 18, FGOU
VPO OGAU

(72) Inventor(s):

Kartashov Lev Petrovich (RU),
Ushakov Jurij Andreevich (RU),
Vasilevskij Georgij Petrovich (RU),
Kozlovtssev Andrej Petrovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe obrazovatel'noe
uchrezhdenie vysshego professional'nogo
obrazovanija "Orenburgskij gosudarstvennyj
agrarnyj universitet" (RU)**(54) STAND FOR STUDY OF EFFECTS OF MILK AND CLEANING SOLUTION ON INNER SURFACE OF CURVED PORTION OF MILK LINE**

(57) Abstract:

FIELD: agriculture.

SUBSTANCE: invention relates to agriculture. The proposed stand comprises a container, a pipe line, a pump, a recording device with sensors of pressure, differential pressure, temperature, and device for modeling of a curved portion of the milk line, which enables to make a model of turning the milk line with different radii of curvature,

constant, variable, with an ever-increasing radius, and a constantly diminishing. The glass surface of the device of modeling of the milk line curved portion enables to monitor the movement of fluid under the given structural and mode parameters, and conduct high-speed photography and video shooting.

EFFECT: invention provides ease of use, accuracy of research results.

2 dwg

RU 2 4 5 0 5 0 7 C 2

RU 2 4 5 0 5 0 7 C 2

RU 2 450 507 C2

Изобретение относится к области сельского хозяйства, в частности к устройствам для исследования молокопроводов доильных установок.

Известен Стенд для испытания молочного насоса (патент RU 2321773, 10.04.2008, бюл. №10), содержащий емкость, трубопровод, насос, регистрирующее устройство с датчиками давления, перепада давления температуры.

Стенд для испытания молочного насоса является наиболее близким по своей сущности, поэтому и выбран за прототип.

Недостатком выше отмеченного стенда является невозможность его использования для исследования чистоты промывки молочной линии, в частности для исследования воздействий молока и моющего раствора на внутреннюю поверхность криволинейного участка молокопровода.

Задача изобретения - изучение закономерностей воздействий молока и моющего раствора на внутреннюю поверхность криволинейных участков молокопровода, с целью получения возможности для оптимизации их геометрических параметров и режимов промывки, что обеспечит улучшение санитарно-гигиенического состояния молокопровода доильной установки и, как следствие, приведет к повышению качества молока.

Технический результат достигается тем, что в стенд для исследования молокопровода доильной установки вмонтировано устройство для моделирования криволинейного участка молокопровода, признаки и конструктивные особенности которого позволяют установить закономерности воздействий молока и моющего раствора на внутреннюю поверхность непрямолинейных участков молокопровода, а именно:

- возможность легко выполнить модель поворота молокопровода с различным радиусом кривизны: постоянным, переменным, с постоянно увеличивающимся радиусом и постоянно уменьшающимся, это позволяет определить при каких геометрических параметрах криволинейного участка молокопровода, в частности радиуса кривизны, будет обеспечиваться его наилучшее санитарно гигиеническое состояние;

- стеклянная поверхность устройства позволяет визуально наблюдать за движением жидкости при заданных конструктивно-режимных параметрах, а также проводить скоростную фото- и видеосъемку, что необходимо для того, чтобы определить характер движения жидкости на конкретном участке поворота, например ламинарное движение или турбулентное, а также возможность проведения скоростной фото- и видеосъемки позволяет точно определять место и интенсивность образования загрязнения на криволинейном участке, к тому же делает процесс изучения и оптимизации более наглядным и легким к восприятию.

На фиг.1 представлена структурная схема стенда;

На фиг.2 представлена конструкция, устройства для моделирования криволинейного участка молокопровода.

Стенд для исследования воздействий молока и моющего раствора на внутреннюю поверхность криволинейного участка молокопровода представляет собой закольцованную систему молокопровода, содержащую последовательно соединенные емкость 1 (фиг.1), молокопроводы 2, которые соединены с кранами 3, 4 и 5, тройники 6 и 7. За тройником 6 установлено загрузочное устройство 8 с краном 9. Здесь же установлен диафрагменный элемент (регистрирующее устройство) 10 с датчиками давления, перепада давления, температуры.

Далее на участке молокопровода смонтировано устройство 11 для моделирования

Продолжение приложения 16

RU 2 450 507 C2

криволинейного участка молокопровода, выход которого соединен с приемной емкостью 12, снабженной датчиком уровня жидкости 13. При наполнении емкости 12 датчик 13 подает сигнал через пульт управления на молочный насос 14, который включается в работу и выводит жидкость в емкость 1. Сигналы датчиков передаются в измерительный блок 15, полученные данные обрабатываются персональным компьютером 16. Кран 17 служит для слива жидкости из системы.

Устройство 11 содержит пенопластовый квадрат 18 (фиг.2), вырезанный в нем по траектории поворота канал 19 является моделью криволинейного участка молокопровода. На грани разреза обеих частей наклеен уплотнитель 20; на внутреннюю поверхность канала наклеены две пластиковые ленты 21, получившийся канал накрывается сверху и снизу двумя листами стекла 22. Для того чтобы канал был герметичным и не допускал утечек жидкости через уплотнители, стекла прижимают к пенопласту струбцинами 23. Для подачи и отвода жидкости устройство снабжено двумя штуцерами 24. Для определения скоростных характеристик движения жидкости через криволинейный участок молокопровода в пенопластовом квадрате 18 выполнены каналы 25, обеспечивающие установку измерительной аппаратуры.

Стенд работает следующим образом.

Как известно, жидкость по молокопроводу во время эксплуатации протекает в двух режимах:

- 1 - режим транспортировки молока по молокопроводу;
- 2 - режим прохождения моющего раствора по молокопроводу в процессе мойки.

Стенд тоже может работать в двух режимах, моделируя оба варианта.

Для исследования первого режима движения жидкости открывают на стенде краны 3 и 4, а кран 5 закрывают, движение происходит по большому кругу обращения.

Жидкость из емкости 1 проходит по молокопроводу 2, через кран 3, диафрагменный элемент (регистрирующее устройство) 10, устройство 11 и попадает в емкость 12. При определенном уровне жидкости в емкости 12 срабатывает датчик 13 и включает насос 14, он вновь подает жидкость в емкость 1.

При втором варианте движения жидкости краны 3 и 4 закрыты, а кран 5 открыт. В данном случае датчик 13 отключают, насос работает постоянно, и жидкость из емкости 12 подается под давлением, создаваемым насосом 14, по малому кругу - от насоса через кран 5, диафрагменный элемент (регистрирующее устройство) 10, устройство 11, в емкость 12 и т.д.

Суть экспериментов сводится к тому, чтобы определить закономерности воздействий молока и моющего раствора на внутреннюю поверхность непрямолинейных участков молокопровода при определенных конструктивно-режимных параметрах и найти зоны, в которых:

- при первом режиме циркуляции: поток молока более интенсивно воздействует на стенки поворота, а значит, его структурные составляющие травмируются и, как следствие, подчиняясь искомому закону, откладываются в виде сложноудалимых загрязнений на пластиковых лентах 21 (фиг.2), устройства 11 (фиг.1), загрязняя их, затем, определив эти закономерности и зоны отложения загрязнений, с помощью возможностей устройства для моделирования криволинейных участков молокопровода задавать повороту разный радиус кривизны, корректируют геометрическую форму криволинейного участка молокопровода, чтобы добиться такой конфигурации, при которой отложения загрязнений минимальны, а чистота пластин максимальна;

- при втором режиме циркуляции задача сводится к определению законов

RU 2 450 507 C2

наибольшего воздействия моющего раствора на стенки поворота, а значит, наилучшей очистки этой зоны, после чего с помощью разных режимов работы насоса оптимизируют режим движения промывочной жидкости по молокопроводу таким образом, чтобы положительный эффект от промывки криволинейного участка и чистота пластиковых лент были максимальными.

Установить описанные законы воздействий и оптимизировать геометрическую форму и режим промывки поворота молокопроводящих путей с целью улучшения санитарно-гигиенического состояния рассматриваемых зон и, как следствие, повышения качества молока нам позволяют конструктивные особенности устройства для моделирования криволинейного участка молокопровода 11 (фиг.1).

В пенопластовом квадрате 18 (фиг.2) имеется канал - модель поворота, который изготавливают для каждого опыта с различным радиусом кривизны: постоянным, переменным, с постоянно увеличивающимся радиусом и постоянно уменьшающимся. Если исследуется воздействие молока и моющего раствора на внутреннюю поверхность канала переменного радиуса, например, постоянно возрастающего по какому-либо закону, то для исследования канала с постоянно уменьшающимся по тому же закону радиусом достаточно перевернуть конструкцию устройства, т.е. поменять вход и выход местами. В этом случае получается, что жидкость через устройство будет двигаться в направлении, обратном предыдущему. Эти свойства нашего устройства необходимы для изменения и оптимизации геометрических параметров криволинейного участка таким образом, чтобы количество загрязнений в нем было минимальным, а во время промывки он очищался максимально. Это позволит значительно улучшить санитарно-гигиеническое состояние молокопровода, что в свою очередь приведет к повышению качества молока.

Исследование облегчается тем, что конструкция устройства для моделирования криволинейного участка молокопровода позволяет легко снять пластиковые ленты и более детально изучить картину воздействия жидкости на стенки канала под микроскопом и проверить пластиковые ленты на наличие и количество загрязнений. Стеклопанель 22 устройства позволяет визуально наблюдать за движением жидкости при заданных конструктивно-режимных параметрах, а также проводить скоростную фото- и видеосъемку, что необходимо для того, чтобы определить характер движения жидкости на конкретном участке поворота, например ламинарное движение или турбулентное, а также возможность проведения скоростной фото- и видеосъемки позволяет точно определять место и интенсивность образования загрязнения на криволинейном участке, к тому же делает процесс изучения и оптимизации более наглядным и легким к восприятию.

При помощи насоса меняют и оптимизируют режимы движения промывочной жидкости, которые фиксируются приборами, расположенными на измерительном блоке 15 стенда (фиг.1).

Формула изобретения

Стенд для исследования воздействий молока и моющего раствора на внутреннюю поверхность криволинейного участка молокопровода, содержащий емкости, трубопровод, насос, регистрирующее устройство с датчиками давления, перепада давления, температуры, отличающийся тем, что стенд оснащен устройством для моделирования криволинейного участка молокопровода, позволяющим выполнить модель поворота молокопровода с различным радиусом кривизны: постоянным, переменным, с постоянно увеличивающимся радиусом и постоянно уменьшающимся,

Продолжение приложения 16

RU 2 450 507 C2

а стеклянная поверхность устройства позволяет визуально наблюдать за движением жидкости при заданных конструктивно-режимных параметрах, а также проводить скоростную фото и видеосъемку.

5

10

15

20

25

30

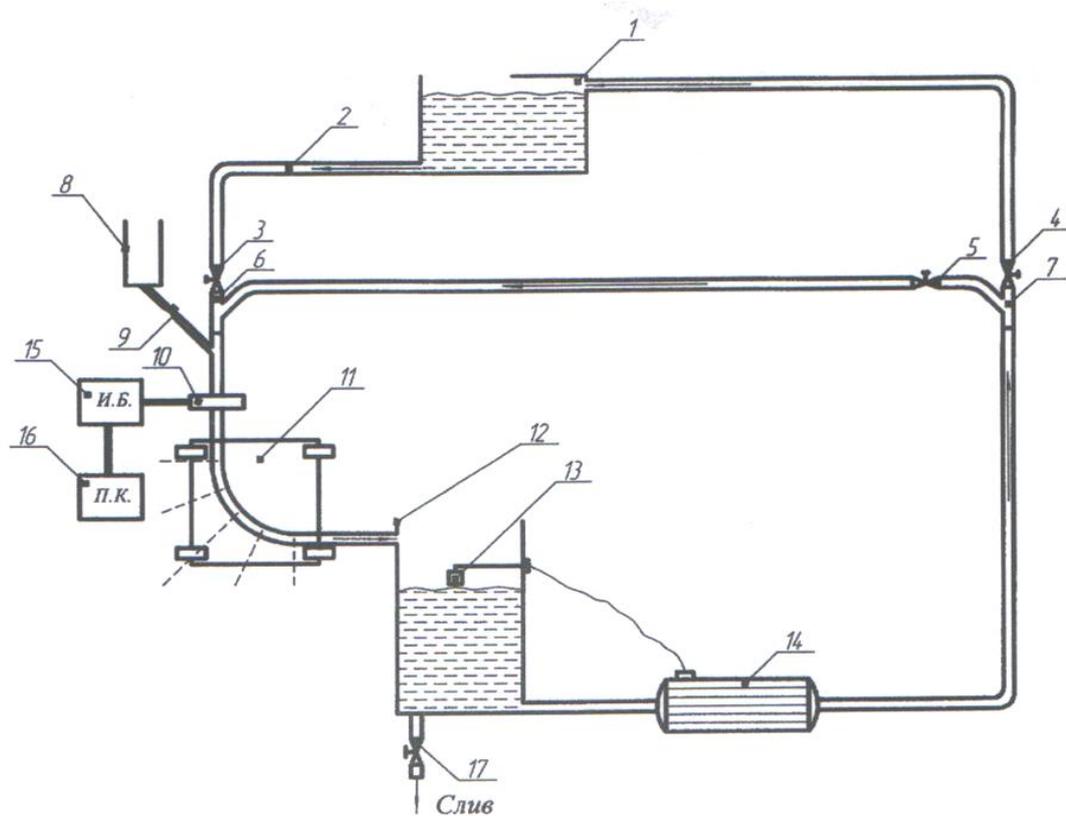
35

40

45

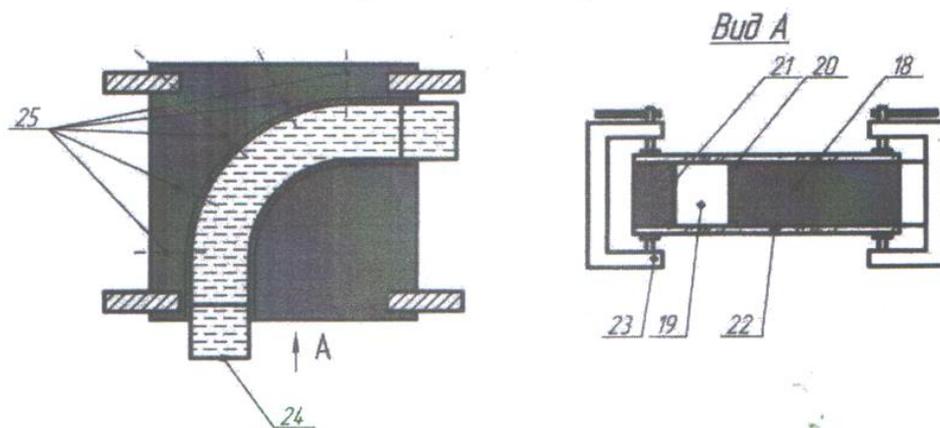
50

RU 2 450 507 C2



Фиг. 1

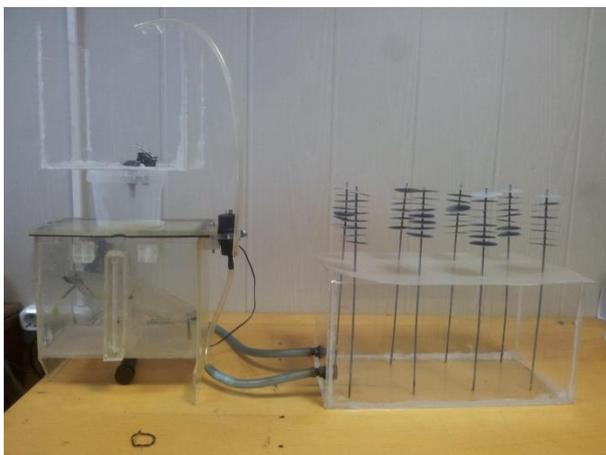
Устройство для моделирования криволинейного участка молокопровода



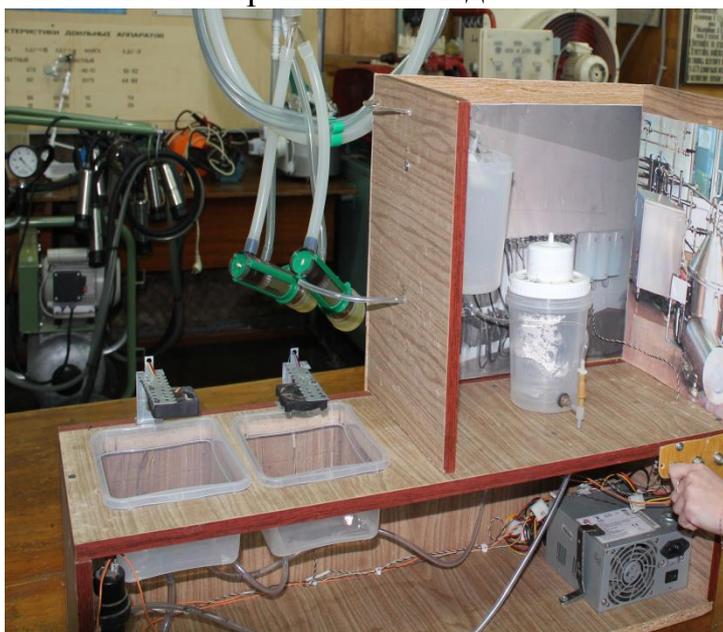
Фиг. 2

Приложение 17

Макет установки для круглогодичного охлаждения льда с помощью
естественного холода с использованием термосифонов



Макет установки для послойного намораживания льда



Продолжение приложения 17

Дозирующее устройство



Двух и одноковшовый дозатор



Продолжение приложения 17
Проведение замеров по толщине ледяного слоя и однородности льда при
послойном намораживании



Продолжение приложения 17

Проведение замеров по толщине ледяного слоя и однородности льда при послойном намораживании



Продолжение приложения 17
Проведение лабораторных исследований по холодопроизводительности
термосифона



Общий вид исследуемого термосифона.



Продолжение приложения 17
Общий вид лабораторной установки.





Правительство Оренбургской области

ДИПЛОМ

награждается

**ФГБОУ ВО Оренбургский
государственный аграрный университет,
кафедра механизации
технологических процессов
в АПК**

за активное участие
в X Специализированной выставке
«ПРОМЭНЕРГО»

Министр экономического развития,
промышленной политики и торговли
Оренбургской области

Н.В. Безбородова

г. Оренбург, 2015 г.





ДИПЛОМ

победителя областной выставки
научно-технического творчества молодежи
«НТТМ-2014»
награждается

КОРОВИН ГРИГОРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный
университет»**

*За проект
«Установка для круглогодичного охлаждения молока»*

Научный руководитель
КОЗЛОВЦЕВ АНДРЕЙ ПЕТРОВИЧ

Министр образования
Оренбургской области



Лабузов
г. Оренбург
2014 г.

В.А. ЛАБУЗОВ





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

ДИПЛОМ

победителя областной выставки
научно-технического творчества молодежи
«НТТМ»
награждается

ПОПОВА МАРИЯ ИГОРЕВНА

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»

За проект

«Установка для охлаждения молока»

Научные руководители

КОЗЛОВЦЕВ АНДРЕЙ ПЕТРОВИЧ

ШАХОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ

Министр



В. А. ЛАБУЗОВ

г. Оренбург
2015 г.

СЕРТИФИКАТ

УЧАСТНИКА



КОЗЛОВЦЕВУ

Андрею Петровичу

*кандидату технических наук, заведующему кафедрой
механизации технологических процессов в АПК
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный
аграрный университет»*

*за качественную подготовку проектов, посвященных
ресурсосберегающей технологии охлаждения молока,
на выставку научно-технического творчества «Наукоград»
в рамках международного образовательного форума «Евразия»*

Руководитель Федерального
агентства по делам молодежи
С. В. Поспелов

Секретарь общественной палаты
Российской Федерации
А.В. Бречалов



РОСПАТРИОТ
центр



Общественная
палата
Российской
Федерации



Правительство
Оренбургской
области



МЕЖДУНАРОДНЫЙ
МОЛОДЕЖНЫЙ
ЦЕНТР

г. Оренбург, Оренбургская область, Российская Федерация, 7-11 сентября 2016 г.









СЕРТИФИКАТ

УЧАСТНИКА



Подтверждает, что

КОЗЛОВЦЕВ
Андрей Петрович

принял(а) участие в работе панельной сессии
«Информационно-просветительский проект «Наука»
в евразийском пространстве: Космос»

Руководитель Федерального
агентства по делам молодежи
С. В. Поспелов

Секретарь общественной палаты
Российской Федерации
А.В. Бречалов



РОСПАТРИОТ
центр



МЕЖДУНАРОДНЫЙ
МОЛОДЕЖНЫЙ
ЦЕНТР



Оренбургский
государственный
аграрный университет

г. Оренбург, Оренбургская область, Российская Федерация, 25 ноября 2016 г.





ДИПЛОМ

*лауреата премии
Губернатора Оренбургской области
в сфере науки и техники
за 2016 год*

*за работу
«Инновационные системы и технологии
охлаждения пищевой продукции»*

НАГРАЖДАЕТСЯ
КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ

ФГБОУ ВО
«Оренбургский государственный аграрный университет»

КОЗЛОВЦЕВ Андрей Петрович – заведующий кафедрой
ШАХОВ Владимир Александрович – профессор

Губернатор
Оренбургской области

Ю.А. Берг

г. Оренбург

Указ Губернатора Оренбургской области от 16 января 2017 года № 16-ук



Справка

о внедрении учебно-методической работы, выполненной коллективом авторов под руководством А.П. Козловцева, в учебный процесс университета

Дана А.П. Козловцеву в том, что разработанная под его руководством сотрудниками Оренбургского государственного аграрного университета, монография по проблемам совершенствования технологий и машин для охлаждения молока: Козловцев, А.П. Охлаждение молока на молочных фермах: монография / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, В.А. Шахов. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2016. - 190 с., используются в учебном процессе подготовки бакалавров по направлению 35.03.06. «Агроинженерия», бакалавров и магистров по направлению 19.04.03. «Продукты питания животного происхождения».

Зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности и технологического оборудования

ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, к.б.н., доцент



Латыпова Г.Ф.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ)
460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18
тел./ факс: (3532) 77-52-30,
e-mail: ogau@esoo.ru, http://www.orensau.ru
ОКПО 00493422, ОГРН 1025601020521
ИНН/КПП 5610042441 / 561001001

от 01.09.2016 № 06/04/1073
на _____ от _____

Справка

о внедрении учебно-методической работы, выполненной коллективом авторов под руководством А.П. Козловцева, в учебный процесс университета

Дана А.П. Козловцеву в том, что разработанная под его руководством сотрудниками Оренбургского государственного аграрного университета, монография по проблемам совершенствования технологий и машин для охлаждения молока, используются в учебном процессе подготовки специалистов для АПК и в научно-исследовательской работе аспирантов:

Козловцев, А.П. Охлаждение молока на молочных фермах: монография / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, В.А. Шахов. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2016. - 190 с.

Указанные методические материалы используются при подготовке бакалавров, специалистов, магистров и в научно-исследовательской работе аспирантов и докторантов Оренбургского ГАУ.

И.о. первого проректора-проректора
по учебной работе, к.б.н., доцент



[Handwritten signature]
А.Г. Гончаров

100000

Справка

о внедрении учебно-методических работ, выполненных авторами
А.И. Завражнов, А.П. Козловцев, В.А. Шахов и др., в учебный процесс
университета

Дана А.П. Козловцеву в том, что разработанные коллективом авторов, сотрудников Мичуринского государственного аграрного университета и Оренбургского государственного аграрного университета, рекомендации, учебное пособие и монография по проблемам совершенствования технологий и машин сельскохозяйственного производства и, в первую очередь, по вопросам охлаждения молока, используются в учебном процессе подготовки специалистов для АПК и в научно-исследовательской работе аспирантов:

1) Завражнов, А.И. Круглогодичное использование природного холода в условиях молочно-товарных ферм Южного Урала: Рекомендации / А.И. Завражнов, А.П. Козловцев, В.И. Квашенников и др. - Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ, 2016. - 61 с.;

2) Козловцев, А.П. Практикум по моделированию первичной переработки сельскохозяйственной продукции / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, С.П. Суздаев. - Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2012. - 52 с.

3) Козловцев, А.П. Охлаждение молока на молочных фермах: монография / А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, В.А. Шахов. - Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2016. - 190 с.

Указанные учебные пособия и методические материалы используются при подготовке бакалавров, специалистов, магистров и в научно-исследовательской работе аспирантов и докторантов.

Проректор по учебной работе,

к.с.х.н., доцент



Тарова З.Н.