

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Оренбургский государственный аграрный университет**

На правах рукописи

Коровин Григорий Сергеевич

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ
ВОДОБОРОТНОГО ЛЬДОАККУМУЛЯТОРА ДЛЯ
МОЛОЧНО-ТОВАРНЫХ ФЕРМ**

*Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства*

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
Козловцев Андрей Петрович**

Оренбург – 2015

Оглавление

Оглавление.....	2
Введение.....	4
1. Состояние проблемы использования природного холода при охлаждении молока на фермах и задачи исследования.....	10
1.1 Обзор научных исследований по использованию природного холода на фермах.....	10
1.2 Обзор достижений практики по использованию природного холода для охлаждения молока на МТФ.....	15
2. Оценка потенциальных возможностей аккумулирования и использования природного холода на МТФ Южного Урала.....	29
2.1 Природно – географические характеристики Южного Урала.....	29
2.2 Выбор и обоснование системы аккумулирования водного льда для круглогодичного использования на молочно-товарных фермах.....	31
2.3 Анализ процесса функционирования в морозный период бассейна, оборудованного термосифонами.....	36
2.3.1 Теплообменные процессы в бассейне при подводе холода сверху.....	36
2.3.2 Оценка интенсивности намораживания ледяной массы, в бассейне, оборудованным термосифонами.....	40
2.3.2.1 Намораживание льда в поверхностном слое бассейна.....	40
2.3.2.2 Намораживание льда на боковой поверхности испарителей термосифонов.....	45
2.4 Приближенные решения задачи образования льда на стенке испарителя термосифона.....	51
2.5 Функциональные особенности использования льдохранилища при охлаждении молока на молочно-товарных фермах.....	57
2.6 Анализ процесса охлаждения простейшими емкостными охладителями при использовании природного холода на малых фермах.....	62

2.7 Методика расчета теплообменных процессов во фляжном охладителе.....	63
2.8 Равновесная температура.....	64
2.9 Описание программы «Фляжный охладитель».....	74
3. Программа и методика экспериментальных исследований.....	81
3.1 Методика по определению влияния температуры атмосферы на холодопроизводительность термосифонов.....	83
3.2 Методика по определению влияния скорости ветра на холодопроизводительность термосифонов	86
3.3 Методика по интенсивности увеличения ледяного слоя в бассейне в зимний период.....	87
3.4 Методика проведения многофакторного эксперимента.....	89
3.5 Методика планирования эксперимента.....	90
3.6 Методика проведения лабораторных исследований.....	97
3.7 Методика проведения производственных исследований.....	97
4. Результаты экспериментальных исследований.....	99
4.1 Анализ получения льда при намораживании его вокруг термосифона..	99
5. Экономическая эффективность применения разработанной системы охлаждения молока с помощью естественного холода с использованием термосифонов.....	105
Общие выводы.....	112
Список литературы.....	114
Приложения.....	129

Введение

Состояние молочно-товарного комплекса РФ за последние годы характеризуются сложившейся и продолжающейся углубляться тенденцией спада производства молока и снижением численности поголовья коров. Увеличение производства молока в связи с импортозамещением – главная задача сегодняшнего времени для российских животноводов.

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. Так, например, фермер из Владимирской области Джон Каписки пожаловался В.В. Путину на то, что вот уже 15 лет он ни разу не получил доход от дойного стада в 1700 коров с годовым удоем 10000 кг/гол. Это одна из лучших молочных ферма в России! Себестоимость производства молока в проблемных регионах превышает закупочную цену от нуля до четырёх рублей за килограмм. Убыточность производства молока – главная причина сброса поголовья коров. На начало 1991 года в России было 24 млн. коров, сегодня осталось 7 млн. Решать проблему убыточности производства молока путем увеличения дотаций из госбюджета в ближайшие годы вряд ли получится из-за общей сложной экономической ситуации в стране.

Сегодня доля прибыли производителей молока от розничной цены на молоко составляет 30...34% при относительном значении 50% «накрутки» переработчиков и торговли.

Предложение фермеров об узаконивании прямых связей производителей молока с потребителями, минуя посредников, т.е. молокоперерабатывающую промышленность и торговые сети, позволил бы большинству молокопроизводителей передвинуться из убыточной зоны в прибыльную. Но это явление невозможно сделать массовым. Если даже теоретически представить, что это произойдёт, то что станет с

молокоперерабатывающей промышленностью? И какие громадные средства потребуются производителям молока, чтобы сырое молоко довести до готового к употреблению продукта (нормализация по жиру, пастеризация, охлаждение, фасовка, транспортировка и т.д.) [4,5,6,9,26,71,72,74].

По мнению большинства российских экономистов выход из этой сложной ситуации один – нужно снижать себестоимость производства молока.

Среднестатистическая структура себестоимости производства молока выглядит в РФ следующим образом:

1. Стоимость кормов – 60...65%
2. Зарплата с начислениями – 8...10%
3. Прочие расходы (электроэнергия, ГСМ, техническое обслуживание и ремонт, амортизация) – 25...32%.

Резервы снижения себестоимости за счёт кормов отсутствует. Значит, резервы нужно искать во втором и третьем разделе структуры себестоимости. Среди всех механизированных процессов обслуживания скота – кормление, поение, уборка навоза, доение, охлаждение молока. 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 70...75% всех затрат на первичную обработку молока [79,101,102,103,105,111,127,140].

В настоящее время на молочных фермах 99% свежесвыдоенного парного молока охлаждается до 4...5°C искусственным холодом, вырабатываемым холодильными машинами [7,8,44,51,57,58,100,117,118].

Холодильные машины сложны по устройству, требуют высококвалифицированные кадры для их обслуживания и ремонта, потребляют большое количество электроэнергии (3...4кВт· часов на 100 кг. молока при охлаждении с 30 до 5 °С).

Рост цен на энергоносители, в том числе на электроэнергию, имеет место во всех государствах. Рост цен - процесс объективный, так как

месторождения полезных ископаемых истощаются, добыча их уменьшается, а стоимость извлечения и доставки к местам потребления и переработки увеличивается.

И.М. Калнинь, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Холодильная и криогенная техника» Московского государственного университета инженерной экологии, в своей статье «Актуальные направления развития техники низких температур», говоря о нарастании дефицита энергии в 21 веке, утверждает: «Возрастёт использование естественного холода: наружного воздуха, аккумулярованного льда, соляных прудов для аккумуляции холода зимой и тепла летом».

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 как сегодня, так и в обозримом будущем актуальной задачей.

Цель работы.

Разработка и обоснование водооборотного льдоаккумулятора природного холода годовой потребности и способа его использования на молочно-товарных фермах

Объект исследования.

Процесс взаимодействия морозного атмосферного воздуха с водной средой бассейна, оборудованного термосифонной системой.

Предмет исследования.

Закономерности теплообменных процессов в толще водяного бассейна при подводе холода к нижним (придонным), срединным и верхним слоям воды в бассейне, оборудованном термосифонной системой.

Методика исследования.

Изучение процессов тепломассообмена в водной толще бассейна с применением методов классической механики, гидравлики, гидро- и ледотермики, математического и компьютерного моделирования. Результаты

экспериментальных исследований обрабатывались в соответствии с общепринятыми методиками планирования многофакторного эксперимента с использованием программных продуктов Microsoft Excel, Math CAD 10, Statistica 10.

Научная новизна:

- теоретически и экспериментально исследованы режимы аккумуляции естественного холода в льдохранилище, оборудованном термосифонной системой для молочных ферм в условиях Южного Урала;

- получены математические модели теплообменных процессов при намораживании льда в бассейне;

- разработан метод контроля интенсивности намораживания льда в бассейне, математические модели интенсивности намораживания льда;

- обоснован способ предохранения стен льдохранилища от разрушения при замерзании воды;

- получены математические модели процесса охлаждения молока в ёмкостных охладителях ледяной водой из льдохранилища.

Практическая ценность выполненных исследований:

1. - предложен новый способ накопления природного холода годовой потребности для молочной фермы;

2. - обоснованы конструктивно-технологические параметры льдохранилища с годовым запасом льда в зависимости от поголовья и продуктивности коров на ферме;

3. - разработана конструктивно-технологическая схема охлаждения молока с использованием льда, накопленного в льдохранилище;

4. - предложен способ предохранения стен бассейна от разрушения при замерзании воды в бассейне;

5. - разработано устройство хранилища для пищевых продуктов с аккумулярованием холода (патент на изобретение №2561745 РФ);

6. - разработано устройство термосифона для замораживания воды с термонасадкой (патент на изобретение № 2568753 РФ);

7. - разработан алгоритм и программа для расчёта процесса охлаждения жидкотекучих пищевых продуктов в емкостных охладителях ледяной водой из льдохранилища (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014617152).

Вклад автора в проведённое исследование.

Разработана схема конвективного перемещения воды в бассейне при подводе холода к нижним слоям воды в бассейне; получена математическая модель теплообменных процессов в системе «Вода – термосифон – атмосферный морозный воздух»; предложен и обоснован способ предохранения стен бассейна от разрушения при замерзании воды в бассейне; разработана методика оценки интенсивности намораживания льда в бассейне.

Реализация результатов исследований.

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» Оренбургского ГАУ, система аккумуляции природного холода для охлаждения молока внедрена в хозяйствах Оренбургской области: ООО «Пилюгинский АПК» Бугурусланского района и в ООО «Заилечье» Соль-Илецкого района.

Апробация. Основные положения диссертационной работы опубликованы в материалах 17-й Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и технические средства производства продукции животноводства с интеллектуальными системами управления механизированными процессами», Москва.; 2014г, международной научно-практической конференции «Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК» (Оренбург 2014,2015 гг.), а так - же были представлены технические разработки на выставках (НТТМ в г. Оренбурге 2013,2014 гг, ВДНХ в г. Москве, 2014г).

Научные положения, выносимые на защиту:

- теоретические положения по обоснованию конструктивно - режимных параметров заглубленного льдохранилища с годовым запасом льда для молочно-товарной фермы в условиях Южного Урала;
- методика расчёта интенсивности намораживания льда в бассейне;
- методика расчёта процесса охлаждения молока ледяной водой из льдохранилища в емкостных охладителях молока;
- результаты производственных испытаний термосифонной системы намораживания льда в заглубленном льдохранилище;
- результаты технико-экономического обоснования внедрения системы аккумуляции и использования природного холода годовой потребности для молочно-товарной фермы при охлаждении молока до 4...5 °С.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований по определению холодопроизводительности термосифона при замораживании воды.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 12 работ, в том числе пять в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получен патент РФ на изобретение № 2561745, патент на изобретения № 2568753 РФ и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014617152.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и предложений, списка использованных источников литературы (154 наименования) и приложений. Работа изложена на 128 страницах и включает 15 таблиц, 26 рисунков, 16 приложений.

Глава 1 Состояние проблемы использования природного холода при охлаждении молока на фермах и задачи исследования

1.1 Обзор научных исследований по использованию природного холода на фермах

Достоверно никто не знает, кто первым пришел к мысли о том, что многие продукты питания хранятся значительно дольше в охлажденном состоянии. Хотя, наверное, подсознательно это чувствовали еще в древности, естественно полагая, что жизнь и тепло – понятия если не эквивалентные, то очень близкие. Тот небольшой опыт хранения продуктов, который существовал, подсказывает, что оставленная в тени еда сохранялась дольше, чем на солнце, а зимой продукты оставались пригодными для питания существенно дольше, чем летом.

В России естественный холод для хранения пищевых продуктов начал использоваться еще в 19 веке, задолго до появления первых холодильных машин. По берегам рыбопромысловых рек (Волга, Дон), берегам Каспийского и Азовского морей строились льдохранилища и ледники. Такие же сооружения строились и на путях следования скоропортящихся продуктов (масло, мясо, рыба и др.) из районов Сибири на северо-запад [10,20,22,25,40].

Рекомендации в существовании тогда «средств массовой информации» по устройству холодильников выглядели следующим образом. «Испытанным и простейшим способом устройства ледового запаса признается следующий: навозив в одно место возов сто льда, укрыть кучу слоем в половину аршина опилок и сверху сеном, или же сделать конусообразную яму, обращенную основанием к поверхности земли, выложенную мелкой стеной (на 4 вершка). Сверху лед прикрывается той же стеной вершков на пять. Над ямой устанавливается конусообразный шатер, покрытый соломой».

В наше время интерес к использованию естественного холода в народном хозяйстве все более возрастает.

Повышение экономической эффективности и энергосбережения охлаждающих систем пищевых продуктов является одной из актуальнейших проблем нашей страны 21 века.

Естественный холод – один из важнейших возобновляемых источников энергии. Основной идеей его использования является аккумуляция низкопотенциальной энергии природного холода – родниковой воды, льда, морозного воздуха. Технические системы, установки для использования естественного холода, как правило, просты по устройству, доступны для изготовления в местных условиях, высоконадежны, исключают использование экологически опасных хладоносителей (фреоны, углекислота), значительно минимизируют расход электроэнергии по сравнению с машинами искусственного холода [47,48,49,50,75,81,82].

Большой вклад в решение проблемы использования природного холода в нашей стране внесли ученые В.А. Бобков, И.Н. Босин, В.И. Квашенников, Б.П. Коршунов, Ф.Г. Марьяхин, А.М. Мусин, А.И. Учевашкин, и многие другие.

Сегодня разработкой конструкций установок для использования природного холода занимается большое число технических специалистов и изобретателей.

Все многообразие известных сегодня аккумуляторов естественного холода, используемых для охлаждения молока, можно разделить на две группы [88,91,94,108,109,110,112,113]:

- 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 аккумуляторов машинного должны быть:

- емкость, вместимость холода (кДж, кВт·часов)

- величина зарядной хладопроизводительности (кВт), характеризующая длительность накопления холода (кДж, кВт·час), как функцию метеорологических условий окружающей среды (температура воздуха, скорость ветра).

Это позволяет легко вычислить длительность накопления холода полной или частичной емкости: стопроцентной, семидесятипроцентной, пятидесятипроцентной и т.д. в зависимости от метео-условий окружающей среды.

В современной практике известны разные виды аккумуляторов: аккумулятор электрической энергии, электрический конденсатор, гидроаккумулятор, аккумулятор кинетической энергии (маховик) [115,116,135,137,139].

От совершенства аккумулятора во многом зависит эффективность эксплуатации любой технической системы, имеющей в своем составе аккумулятор.

Эффективность системы охлаждения молока на фермах почти полностью определяется технико-экономическими показателями аккумулятора холода.

Именно по этой причине большинство научных исследований, опытно-конструкторских работ практиков направлены на совершенствование конструктивно-технологических схем аккумуляторов природного холода. Основная цель всех этих работ – добиться как можно большей длительности работы аккумулятора в течении года с сохранением своих главных характеристик – хладопроизводительности (кВт) и хладоемкости (кДж, кВт·часов) [142,143,144].

В диссертационной работе В.А. Лаврова (2006г.) «Электротехническая система охлаждения молока на фермах с использованием природного холода» рассмотрены вопросы управления комбинированной системой охлаждения молока – природный холод плюс холод машинной выработки. В

работе предложена методология и принципы построения автоматических энергосберегающих систем охлаждения молока на фермах [83].

Высокая эффективность системы охлаждения молока достигнута за счет двух основополагающих положений:

1. Использование природного холода в зимний морозный период.
2. Организация работы холодильных машин с аккумуляторами-льдонакопителями в ночные часы остального времени года в автоматическом режиме.

Диссертационная работа В.П. Мальнева «Электрифицированная система охлаждения молока с использованием естественного холода для хозяйств Центральной зоны России» посвящена проблеме совершенствования управления сложной комбинированной системы, использующей природный холод и искусственный холод, вырабатываемый холодильными машинами [92].

В работе рассмотрены вопросы использования естественного холода в хозяйствах центральной зоны России. Индекс холода для данного региона, по мнению В.П. Мальнева, не позволяет использовать естественный холод для охлаждения молока в течении 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 Мальневым В.П., представлена на рисунке 1.1.

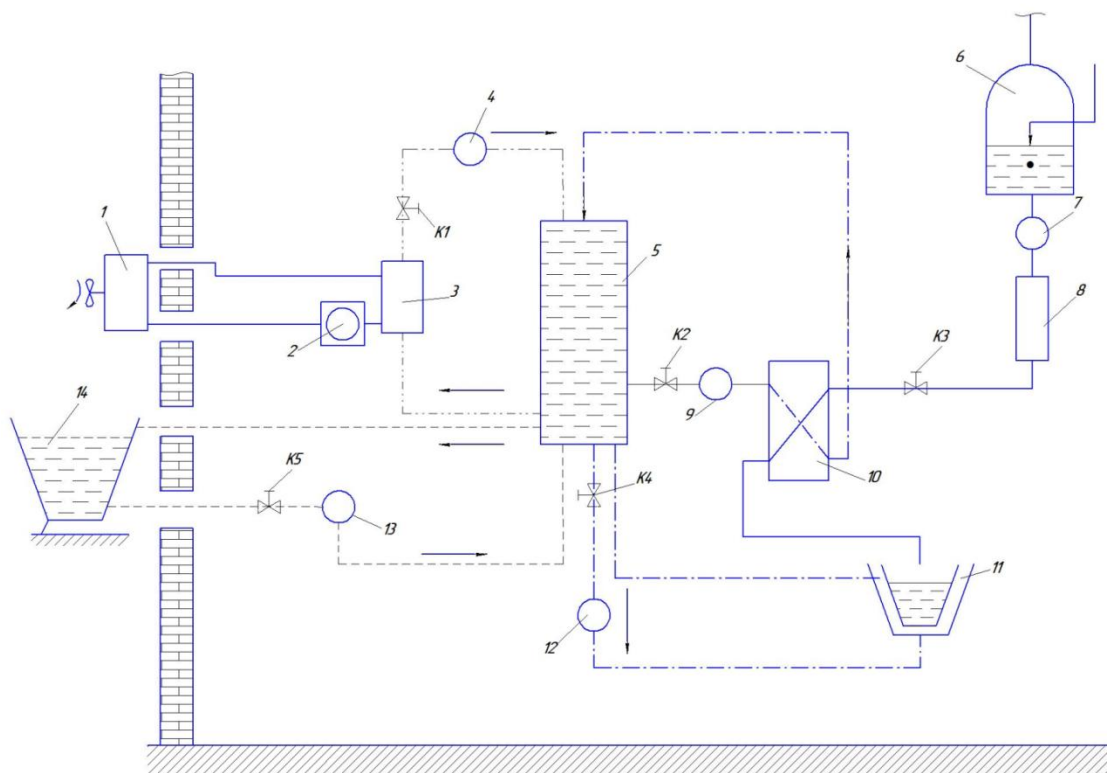


Рисунок 1.1 - Схема комбинированной системы охлаждения молока.

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

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 холода, организовав их работу либо в параллельном, либо в одиночной режиме.

1.2 Обзор достижений практики по использованию природного холода для охлаждения молока на МТФ

В настоящее время усилиями специалистов научно-исследовательских, проектно-технологических институтов, специалистов учебных ВУЗов, а иногда и просто любителей – одиночек разработано большое количество систем, аккумулирующих естественный холод с целью охлаждения жидкотекучих продуктов (молоко, квас, пиво, соки и т.д.) [88,91,94,108,109].

На рисунке 1.2 представлена технологическая схема аккумулятора естественного холода – (авторы Цой Ю.А., Мусин А.М., Марьяхин Ф.Г. и др.).

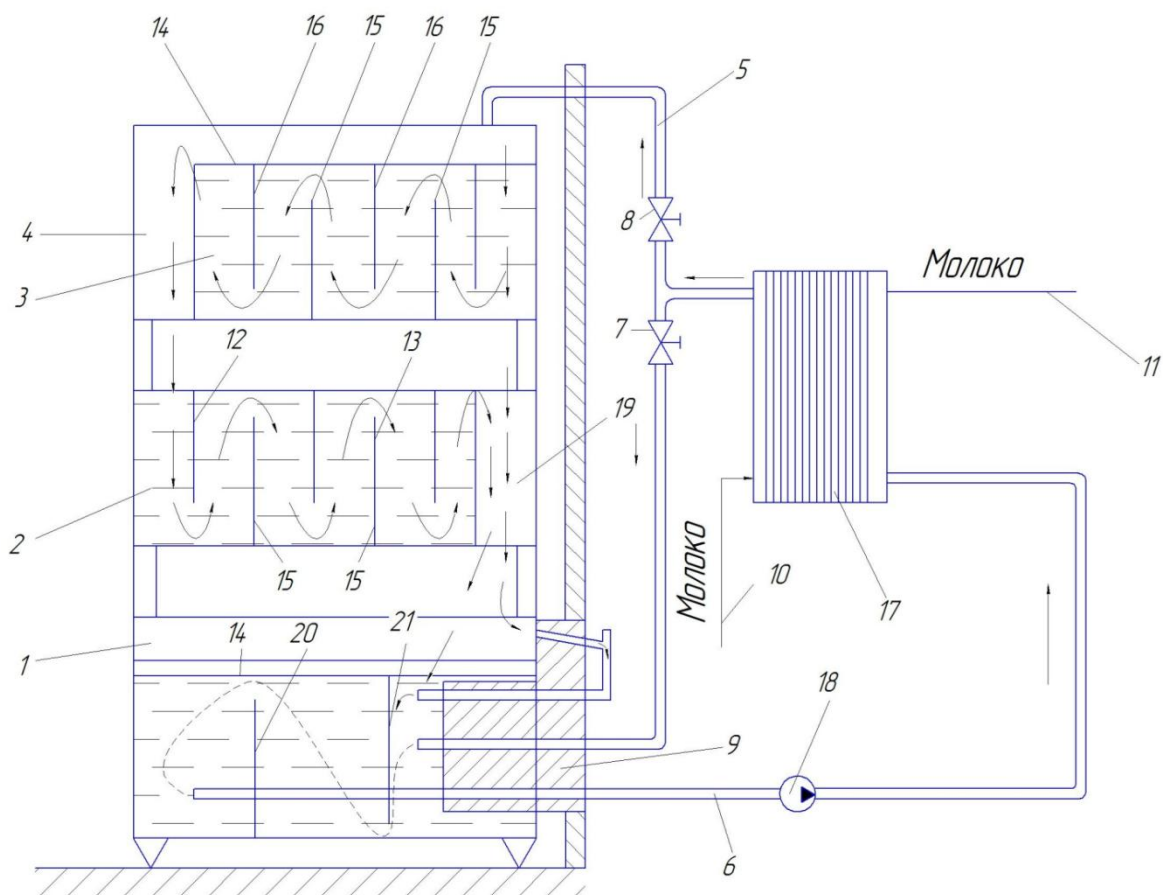


Рисунок 1.2 - Технологическая схема аккумулятора естественного холода.

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 – ввод теплого и соответственно 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.

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 на рисунке 1.2 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.

При небольших морозах 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, насос 18 снова попадает 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. Толстого слоя льда, намерзающего на водной поверхности резервуара 1, достаточно для охлаждения молока в одном цикле работы пластинчатого охладителя 17.

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

В литературе описаны еще несколько схем аккумуляторов, подобных описанной. Различия заключаются лишь в количестве резервуаров и формы перегородок в резервуарах, что можно проследить на рисунках 1.3 и 1.4.

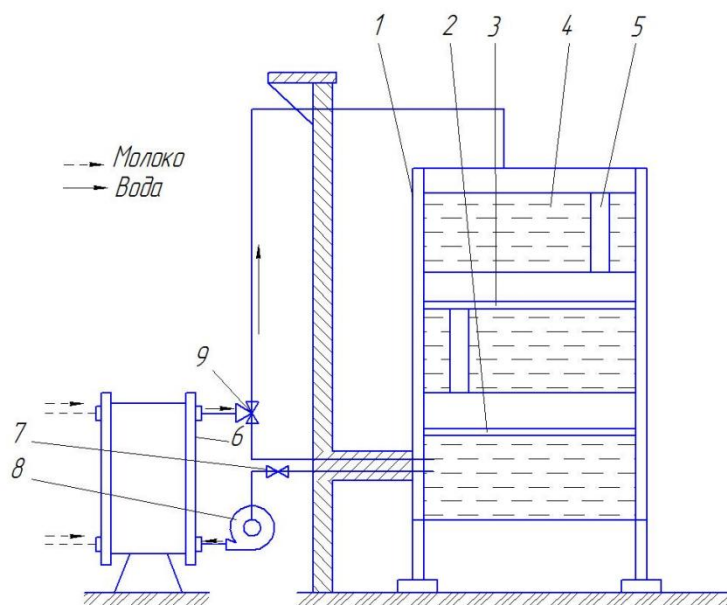


Рисунок 1.3 - Секционный аккумулятор естественного холода.

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

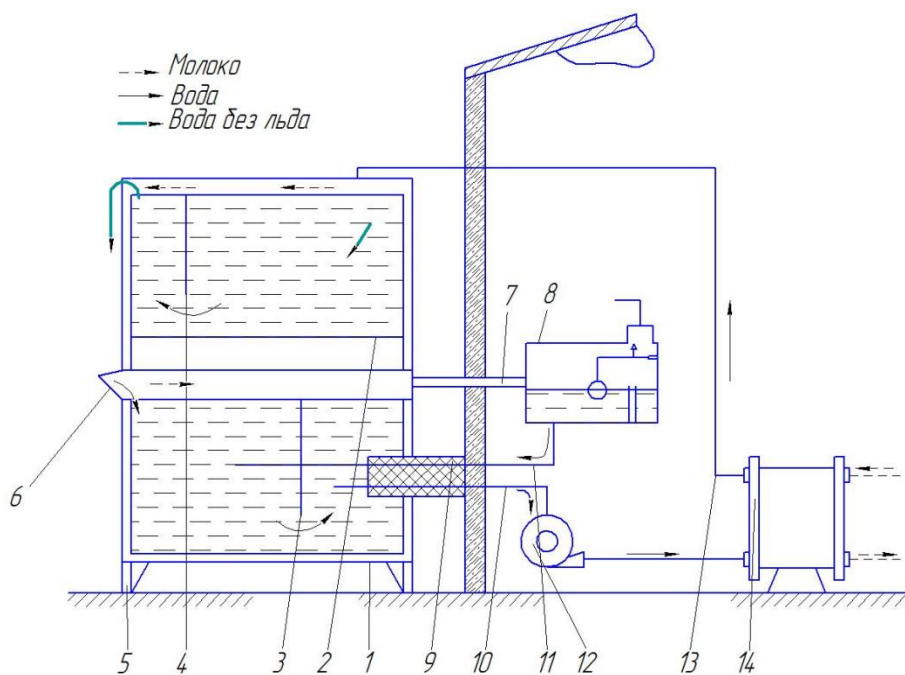


Рисунок 1.4 - Схема двухсекционного аккумулятора естественного холода.

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.

На кафедре «Механизация животноводства» Мордовского государственного университета разработаны две конструкции: аккумулятор естественного холода А-15 и малогабаритный аккумулятор А-5.

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.

Аккумулятор А-15 имеет стальную горизонтальную емкость 1 (рисунок 1.5), 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 осевым вентилятором 6 (В-06-300 №8), центробежной форсункой 7 и оросительной насадкой 8. емкость соединена с насосами и водозаборной трубой 13, герметично приваренной к краям отверстия дна, заглубленного вовнутрь емкости стакана 10. Труба защищена кожухом 11 с термоизоляцией 12 и снабжена сетчатым фильтром 21. На трубопроводах установлены манометры 14, 15 и вентили 16...19.

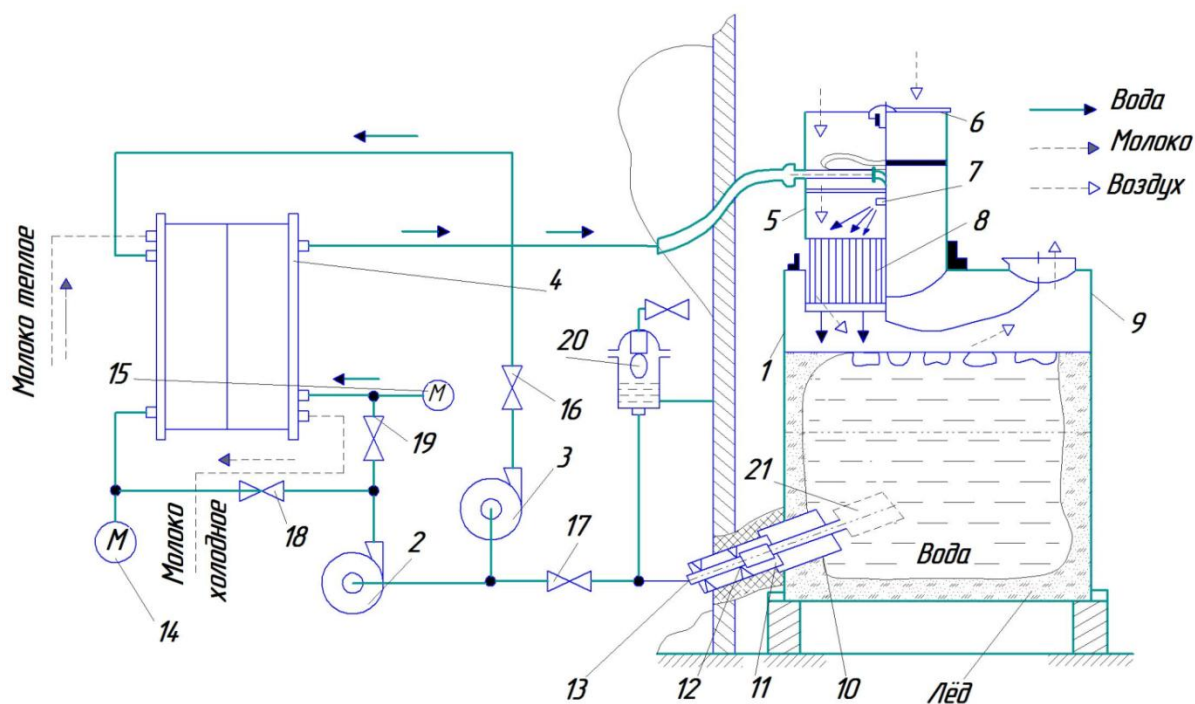


Рисунок 1.5 - Аккумулятор естественного холода А-15.

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.

На торцевой стенке емкости вырезано отверстие 9, нижний край которого находится на расстоянии 0,5 м от верхней точки стенки. Аккумулятор снабжен бачком 20 с поплавковым клапаном для поддержания заданного уровня воды, соединенным с водопроводной сетью.

Перед пуском в работу емкость заполняют водопроводной водой до нижнего края отверстия 9 (8,5 м³). При минусовых температурах наружного воздуха в емкости аккумулируется естественный холод в виде ледяной воды. В зависимости от температуры наружного воздуха аккумулярование холода в паузе до очередного доения коров осуществляют активным или пассивным способом. При температуре воздуха минус 5°С и ниже все электропотребители выключают и накопление холода ведут пассивным способом через нетеплоизолированные стенки емкости. На поверхности воды и на стенках, контактирующих с водой, намораживается лед. С целью

предотвращения образования ледяной пробки в водозаборной трубе 13 предусмотрено воздушное пространство вокруг этой трубы, образованное стаканом 10 и кожухом 11. Для конвективного теплообмена кольцевое пространство сообщено с помещением молочного блока.

Перед очередным доением коров включают вентилятор 6, а затем насос 2, открывают вентили 18,19, а вентиль 16 закрывают (вентиль 17 открыт постоянно). Насосом 2 вода подается по замкнутому контуру: емкость 1- насос 2- параллельным потоком обе секции охладителя 4- форсунка 7 – оросительная насадка 8 – емкость 1. Одновременно парное молоко насосом подается в охладитель 4, откуда в охлажденном до 4...6°C виде поступает в емкость для временного хранения или в молоковоз для отправки на молочный комбинат. Температура воды на входе в охладитель молока обычно составляет 0,5...2°C, а на выходе из него 10...12°C. При температуре наружного воздуха минус 20°C и ниже охлаждение молока ведут без включения вентилятора 6.

В период оттепелей, когда температура наружного воздуха близка к 0°C, аккумулярование холода в паузе до очередного доения коров, особенно в ночное время, ведут активным способом: включают в работу вентилятор 6 и малый насос 3, открывают вентиль 16, а вентили 18 и 19 закрывают. При этом вода движется по замкнутому контуру: емкость 1 – насос 3 – форсунка 7 – оросительная насадка 8 – емкость 1. Вода, разбрызганная форсункой, тонкой пленкой стекает вниз по поверхности навитых в спираль плоской и гофрированной лентой оросительной насадки и охлаждается потоком наружного воздуха, нагнетаемого вентилятором в емкость. Воздух, отделившись от капель воды, вытесняется через горловину емкости 1 в дополнительное отверстие 9. Такое прямоточное движение воздуха с водой, в отличие от противотока в вентиляторных градирнях, предотвращает оледенение вентилятора при низких температурах и не требует специального каплеотделителя.

Перед охлаждением молока насос 3 выключают, вентиль 16 закрывают, вентили 18 и 19 открывают, предварительно включив главный насос 2. Далее происходит процесс охлаждения молока по описанной выше технологии.

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

Аккумулятор естественного холода А-15 можно агрегатировать с емкостями для охлаждения ТО-2, РПО-2,5.

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

В период между доением коров, вода, залитая в поддон 2 до уровня отверстия сливной трубы 7 (0,9 м³), охлаждается при отрицательной температуре воздуха с образованием льда на поверхности и стенках поддона 2. Пропорционально увеличению объема воды со льдом сжимается компенсатор 9, что предотвращает разрушение не только стенок поддона 2, но и ледяного покрытия на поверхности воды. Таким способом защищается сливная труба 7 от образования в ней ледяной пробки. Кроме того, наличие компенсатора 9 с эластичными стенками, полость которого прямооточно соединена трубами 11 и 12 с окружающим воздухом, способствует дополнительному охлаждению воды в поддоне 2 за счет конвективного теплообмена между воздухом и стенками компенсатора 9.

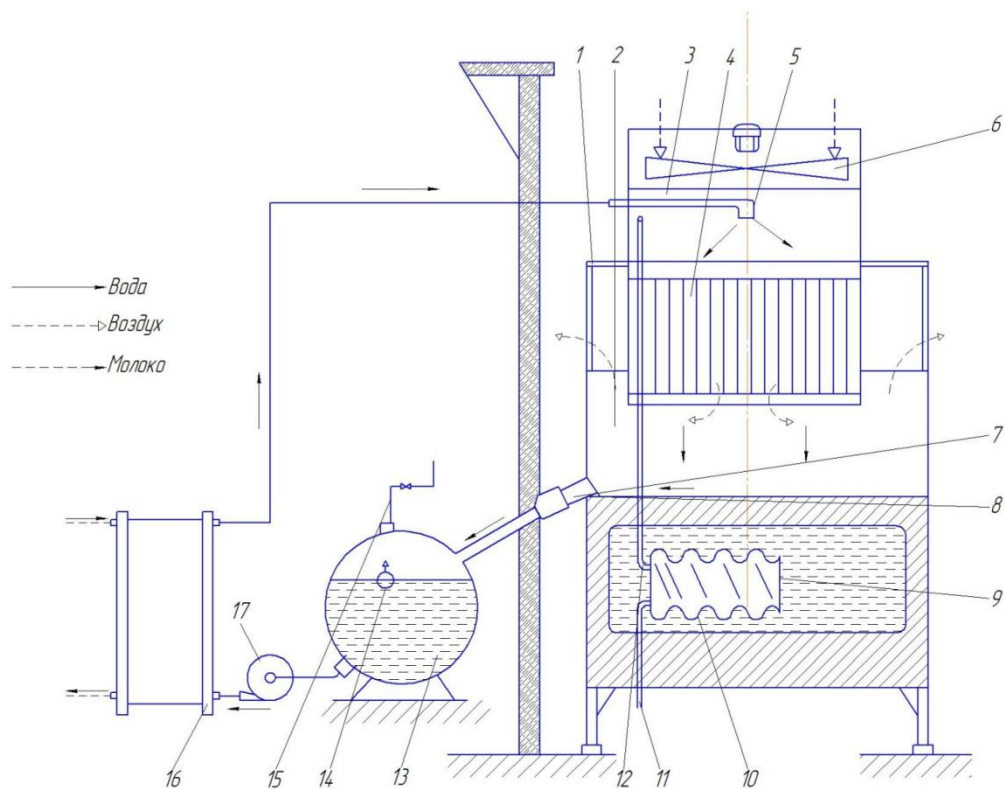


Рисунок 1.6 - Малогабаритный аккумулятор естественного холода А-5.

1 – каркас; 2 – поддон; 3 – корпус теплообменника; 4 – оросительная насадка; 5 – форсунка; 6 – осевой вентилятор; 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.

При доении коров в молокопровод включают вентилятор 6 и насос 17. Молоко охлаждается в пластинчатом охладителе 16 за счет циркуляции воды по замкнутому контуру: накопитель 13 – насос 17 – пластинчатый охладитель 16 – форсунка 5 – оросительная насадка 4 – поддон 2 – накопитель 13.

Накопитель имеет вместимость 200 л. Вентилятор 6 нагнетает холодный воздух через оросительную насадку 4 в поддон 2. Здесь воздух отделяется от капель и вытесняется наружу. Вода охлаждается главным образом на пластинах оросительной насадки, двигаясь по ним тонким слоем,

а в поддоне от контакта со льдом доохлаждается до 1...2 °С и стекает в накопитель 13. Активно охлаждаясь, вода частично испаряется, ее уровень в накопителе снижается, и поплавковый клапан 14 обеспечивает автоматическую подпитку накопителя до заданного уровня.

После окончания доения и охлаждения молока электропотребители выключают, естественный холод вновь пассивно накапливается в поддоне для очередного доения. Таким образом, повышение цикловой (при каждом доении) производительности А-5 обеспечивается за счет накопления льда в поддоне. Это позволяет агрегатировать А-5 с пластинчатым охладителем молока доильной установки производительностью до 1,5 т/ч.

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

Суточная производительность А-5 до 5т молока, охлажденного от 30 до 5°С при температуре наружного воздуха минус 10°С. 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. Обслуживается оператором молочного блока.

Герасимова О.А., Лобачев А.В. (Великолукская ГСХА) разработали аккумулятор естественного холода, имеющий три отличительных особенности от описанных ранее (рисунок 1.7):

- 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.

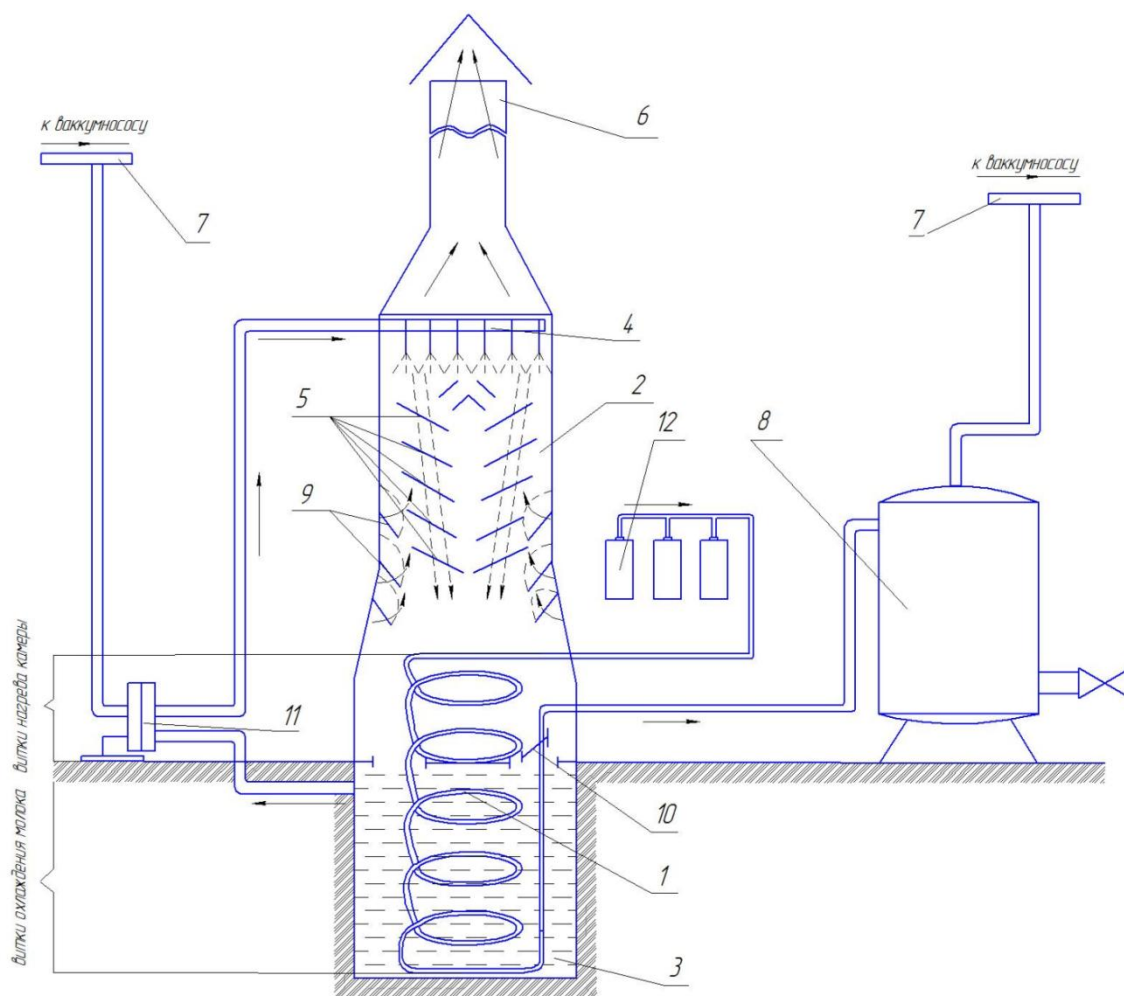


Рисунок 1.7 - Схема аккумулятора естественного холода.

1 – змеевик; 2 – теплообменная камера; 3 – аккумулятор холодной воды; 4 – распыляющее устройство; 5 – наклонные стоки; 6 – труба; 7 – вакуумпривод; 8 – резервуар для охлаждения молока; 9 – жалюзи; 10 – перегородка; 11 – мембранный вакуумнасос; 12 – фляги с молоком.

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 распыляющее устройство 4. Распыленная вода стекает по наклонным стокам 5. На камеру установлена труба 6. За счет 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 струя 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 бокам камеры 2 имеются щели, перекрывающиеся жалюзями 9, которые обеспечивают изменение размера прохладного сечения для регулирования интенсивности воздушного потока. Секция воздушно-водяного теплообмена камеры 2 отделяется от резервуара с холодной водой перегородкой 10, которая одновременно является воронкой для слива холодной воды в резервуар. Подача в распылитель 4 осуществляется с помощью мембранного вакуумнасоса 11. Вода забирается из резервуара 3.

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

На основании обзора научных и опытно-конструкторских работ по использованию естественного холода можно сделать следующие заключения:

- известные сегодня конструкции аккумуляторов природного холода позволяют, в зависимости от величины индекса холода, уменьшить удельный расход электроэнергии на охлаждение молока в холодный период года;
- аккумуляторы природного 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, существующих аккумуляторов естественного холода не лишены недостатков. Главные из них:

- известные конструкции и технологии являются сезонными охлаждающими устройствами (СОУ). Они не позволяют накопление естественного холода годовой потребности молочно-товарной фермы (МТФ) для охлаждения молока до 4...5°C;

- 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 природного холода:

- числового значения емкости аккумуляционной установки природного холода – кДж, кВт часов, либо кг. льда;

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

Отсутствие этих сведений не позволяет выбирать СОУ для конкретной фермы с известным поголовьем и продуктивностью коров.

Круглогодичное использование природного холода можно осуществить только путем накопления его в форме льда в льдохранилищах (бунтах). Эти технологии хорошо известны. Лед годовой потребности можно заготовить либо выпиливанием (выкалыванием) ледяных глыб на поверхности водоемов, либо послойным намораживанием на специально оборудованных площадках, располагающихся вблизи места потребления холода [18,19,21,23,24,36,54].

Однако трудоемкость и стоимость заготовки льда по данным технологиям с учетом способов использования такого льда (выкалывание в льдохранилище кусков льда, доставка в молочное отделение фермы, погрузка в ящик-фригатор и т. д.) делает эти способы в разы дороже холода машинной выработки. Кроме того, талая вода, в процессе охлаждения молока, либо

сливается в канализацию, либо разливается по территории фермы, ухудшая экологическую обстановку и еще более удорожая процесс охлаждения молока [55,66,73,76,77,78,80].

Анализируя многочисленные литературные источники (средства массовой информации, научные и научно-популярные издания, интернет) нам не удалось обнаружить молочно-товарную ферму, в которой для охлаждения молока до 4...5°C круглогодично использовался бы природный холод [86,89,90,107,128,134,136,145,146,148].

Таким образом решение проблемы круглогодичного использования природного холода для охлаждения молока до низких (4...5°C) температур с меньшими, чем на машинный холод затратами является весьма и весьма актуальной задачей.

В связи со сказанным **задачами** научного исследования являются:

1. На основе анализа известных схем накопления и использования природного холода обосновать и разработать новую схему системы круглогодичного охлаждения молока на МТФ до 4...5°C с применением природного холода.

2. Обосновать выбор зарядного устройства для аккумулятора природного холода годовой потребности МТФ и разработать математическую модель аккумуляции льда в предложенной схеме аккумулятора.

3. Разработать и обосновать способ защиты стен льдохранилища от разрушения при замерзании воды в нем и метод учета динамики намораживания льда в льдохранилище.

4. Выполнить экспериментальные исследования по проверке основных теоретических положений функционирования льдохранилища с годовой потребностью холода.

5. Определить расчетный экономический эффект использования предлагаемой системы охлаждения молока на МТФ.

Глава 2 Оценка потенциальных возможностей аккумуляции и использования природного холода на МТФ Южного Урала

2.1 Природно-географические характеристики Южного Урала

Территория Южного Урала располагается между 48...56 градусов северной широты и 48...72 градуса восточной долготы.

Географически территория Урала формируется Восточно-Европейской (Предуралье) и Западно-Сибирской (Зауралье) равнинами и разделяющими их горами Уральского каменного пояса.

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.

Климат Южного Урала резкоконтинентальный: холодная зима, жаркое лето. На формирование климата существенно влияют Уральские горы – препятствие на пути движения воздушных масс. Зимой погоду определяет Азиатский антициклон, вторгающейся из Сибири, а летом приходят арктические воздушные массы с Баренцева и Карского морей, а также тропические ветры из Казахстана и Средней Азии.

Континентальность климата возрастает с северо-запада на юго-восток. Средняя температура января -15...-18 °С. Годовая амплитуда температур может достигать 50...70 °С. Отрицательные температуры воздуха во всем регионе держатся в течении 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-конденсационных систем высокоэффективно в областях, где индекс холода больше 400 градусосуток.

Индекс холода вычисляется по формуле:

$$Q = \sum(t_i \times D_i) \quad 1.1$$

где t_i - среднесуточная температура окружающего воздуха в зимний период времени, град;

D_i – количество дней в году с температурой ниже нуля.

Суровые зимы Южного Урала предполагают высокое значение индекса холода. По данным Росгидромета средне многолетние значения температур и вычисленные по ним индексы холода в областях Южного Урала и прилегающих к ним соседних областях представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Средне-многолетние значения отрицательных температур и индекс холода в областях Южного Урала и прилегающих областях.

№ п/п	Областной центр	Январь 31 сут	Февраль 28 сут	Март 31 сут	Ноябрь 30 сут	Декабрь 31 сут	Индекс холода, градусосуток
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

Продолжение таблицы 2.1

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

Из данных таблицы 2.1 видно, что среди всех областей Южного Урала почти самый низкий 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. На основании данных таблицы 2.1 можно сделать вывод – во всех областях Южного Урала возможно использование испарительно-конденсационных систем для аккумулирования природного холода в форме водного льда.

2.2 Выбор и обоснование системы аккумулирования водного льда для круглогодичного использования на молочно-товарных фермах

Использование природного холода для охлаждения и хранения пищевых продуктов насчитывает более, чем 200 – летнюю историю. За это время разработано множество технологий, способов, приемов использования холода. Но самым эффективным способом накопления природного холода является заготовка водного льда. Однако, все известные сегодня способы его заготовки на молочных фермах не приемлемы ни по экономическим, ни по экологическим соображениям.

В 1987 году японские ученые Fukuda M., Tsuchiya F предложили для аккумулирования природного холода использовать новейшие разработки в области теплообменных устройств – тепловые трубы, термосифоны [2,3,11,12,13,14,15,16,17,28].

Тепловая труба была изобретена в 1942 г. Гоглером из американской фирмы General Motors Corporation. Позднее, в 1963г., Гровер независимо от Гоглера разработал и получил патент на идентичное устройство, названное

им «тепловая труба». В последнее время во многих странах (в первую очередь в США и России) ведутся интенсивные разработки конструкций тепловых труб, являющихся высокоэффективными теплопередающими устройствами [29,30,33,52,53,69,70,98].

Классическая тепловая труба представляет собой вытянутый в длину герметичный, как правило, тонкостенный металлический сосуд, которая может работать как в горизонтальном, так и вертикальном положении. 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 среду, например, в воду с температурой 0°C , а верхняя ребренная часть будет находится в морозном воздухе, то жидкий фреон в испарителе будет интенсивно кипеть, забирая тепло из окружающей его среды (воды). 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 набор) не станет минимальной (5°C). Такие трубы получили название термосифоны.

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 воды в окружающий морозный воздух, вода замерзает. 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 - 20...50 мм. Длина испарителей – 5...11 м. и более [99,119,120,122,123,130,131,132,147,150].

Трубы изготавливаются из нержавеющей стали или алюминия. Теплопроводность современных термосифонов в 2...3 тысячи раз превышает теплопроводность медных стержней равных габаритов. А медь, как известно, имеет самый высокий коэффициент теплопроводности – 390 Вт/м·град.

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.

Все испарительно-конденсационные системы, выпускаемые компаниями «Ньюфрост», «Проектстройстабилизатор», «Фундаментсеверпроект», именуются «сезонными охлаждающими устройствами – СОУ». «Фундаментстройаркос» выпускает три вида СОУ:

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

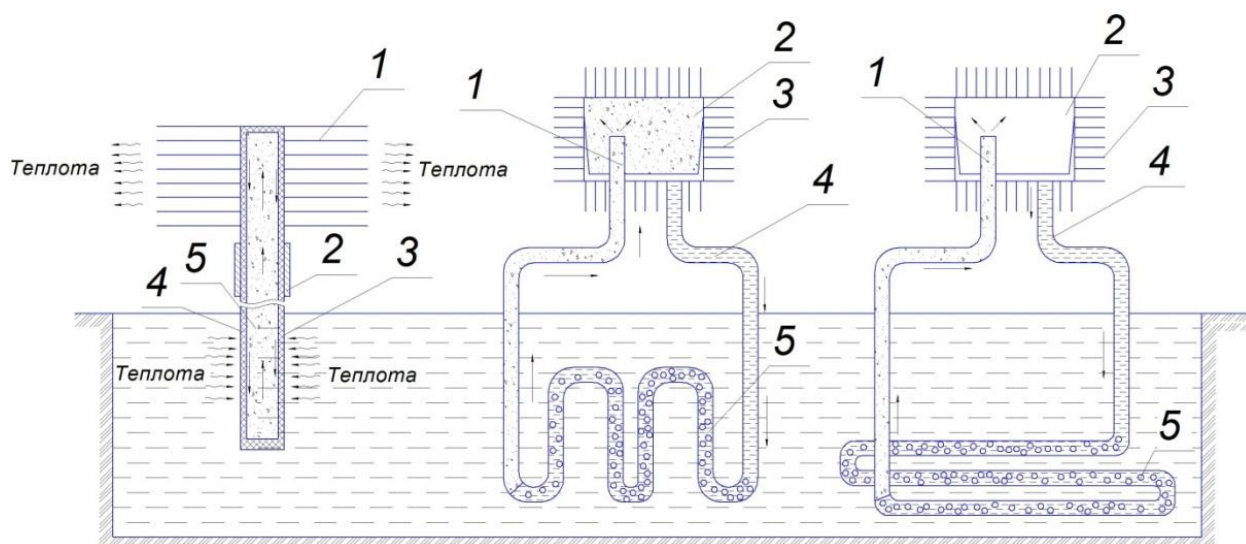


Рисунок 2.1 - Виды термосифонных систем.

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.

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

Некоторые типы СОУ, выпускаемые НПО «Фундаментстройаркос», способны промораживать грунт на глубину до 100 метров. Учитывая опыт по замораживанию грунтов можно предположить, что термосифоны в зимний период с успехом можно использовать в регионах с резко-континентальным климатом для замораживания воды в бассейнах, сооруженных рядом с молокоперерабатывающим отделением МТФ, таких как Урал, Сибирь, Алтай и др.

Термосифоны в морозный период функционируют круглосуточно. Они не потребляют электроэнергию [114], 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.

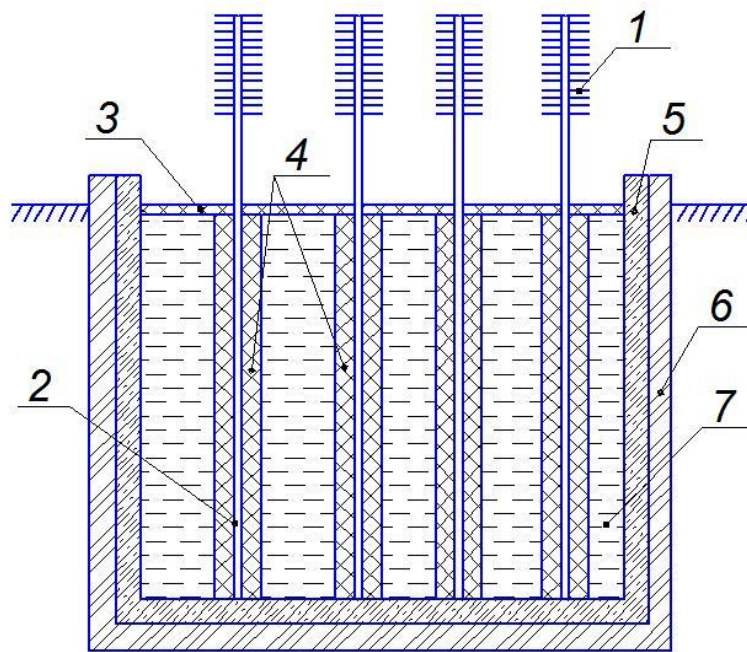


Рисунок 2.2 – Технологическая схема намораживания в льдохранилище, оборудованном термосифонами.

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.

2.3 Анализ процесса функционирования в морозный период бассейна, оборудованного термосифонами

2.3.1 Теплообменные процессы в бассейне при подводе холода сверху

По окончании строительства и монтажа оборудования льдохранилища бассейн заполняется водой. Обычно такие работы производятся в летний период. Термосифоны, установленные в бассейне, не могут функционировать до наступления морозных дней [68,84,85,106,121].

Бассейны должны иметь хорошую теплоизоляцию стен и дна. Обычно это лучший утеплительный материал-пеноплекс. Коэффициент теплопроводности его равен 0,029 Вт/м·к. Толщина слоя утеплителя 200...300 мм [124,125,126,133].

Теплообменные процессы в таких бассейнах будут существенно отличаться от процессов в природных непроточных водоемах. При расчете теплового баланса такого бассейна теплотери через боковую и донную поверхность будут весьма малыми по сравнению с теплообменом открытой водной поверхности бассейна и ими можно пренебречь.

Еще одной особенностью бассейна является наличие навеса для защиты открытой поверхности бассейна от энергии солнечных лучей и образования снежного покрова. В летнее время на боковые стене под навесом монтируют легкоъемные утеплительные плиты.

Сумма тепловых потоков S_{Σ} поступающих в бассейн, уходящих из него и определяющих тепловой баланс, может быть представлена 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 Вт;

S_{k1} – тепловой поток за счет конвекции при подводе холода сверху
Вт;

S_{k2} – тепловой поток при подводе холода снизу за счет работы термосифонов Вт.

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

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).

При охлаждении воды сверху конвективный процесс протекает следующим образом: при температуре воды охладившиеся более 4 °С, и, следовательно, более тяжелые частицы воды начнут опускаться вниз и вытеснять вверх более теплые, следовательно, более легкие частицы. Конвективный процесс может распространиться на всю глубину или погаситься на некоторой глубине.

Конвективные ветви, идущие сверху вниз в этом случае называют активными, а вытесняемые ветви, идущие снизу вверх – реактивными (рисунок 2.3).

Благодаря наличию конвективного течения происходит перемешивание слоев воды, что способствует более активному теплообмену между слоями и, следовательно, выравниванию температуры воды по всей глубине бассейна.

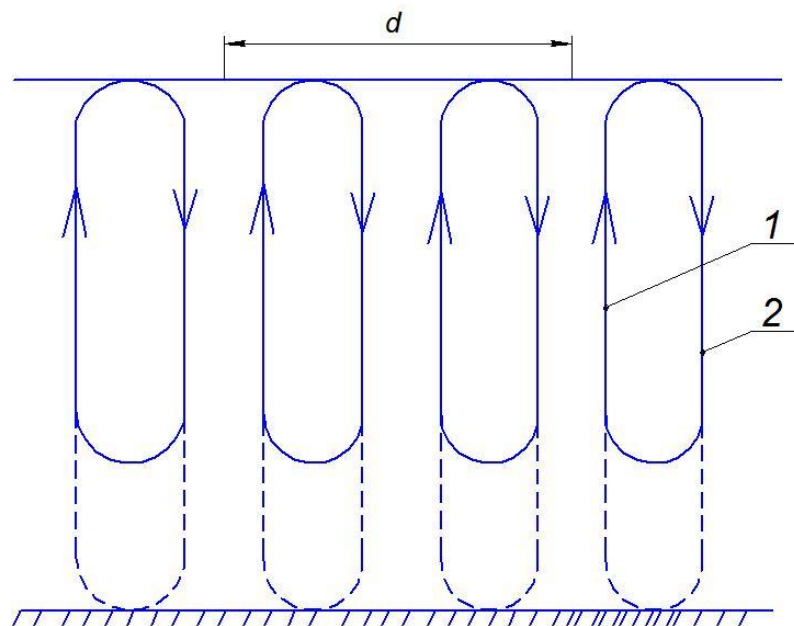


Рисунок 2.3 - Схема конвективного перемешивания воды в бассейне при охлаждении ее сверху при температурах выше 4°C .

1 – активная струя; 2 – реактивная струя.

Изложенная схема конвективного перемещения воды в бассейне при охлаждении ее сверху нарушается аномалией температуры наибольшей плотности при 4°C . При дальнейшем охлаждении воды сверху (ниже 4°C) конвекция прекращается и более холодные частицы жидкости (но более легкие) остаются на поверхности (рисунок 2.4).

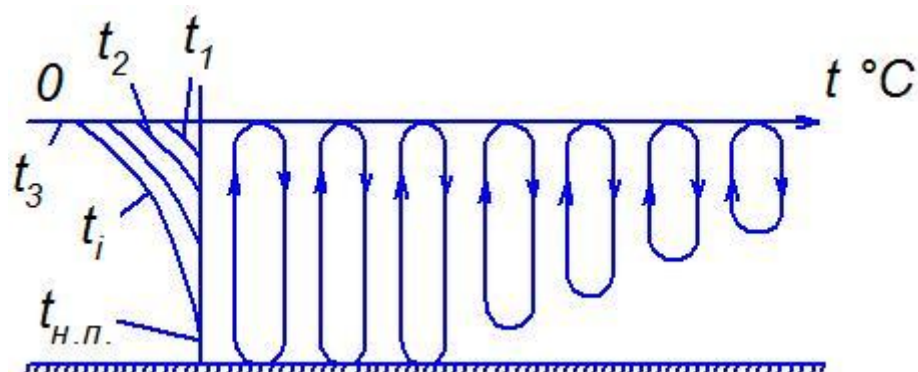


Рисунок 2.4 – Процесс охлаждения воды сверху до момента льдообразования (по Козлову Д.В.).

$t_{н.п.}$ - температура наибольшей плотности $^{\circ}\text{C}$; t_3 – температура замерзания $^{\circ}\text{C}$;

t_1, t_2 - 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 выросла бы: чем холоднее вода, тем она тяжелее [27,35].

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, выравнивающее ее температуру по всему объему. А раз происходило бы выравнивание температуры, то процесс образования льда начинался бы не на поверхности, а 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.

В природе, вблизи плотин, водостоков, водопадов действительно наблюдаются случаи образования льда не на поверхности воды, а на дне водоема, так как в этом случае процесс перемешивания воды продолжается, несмотря на то, что температура воды ниже 4 °С.

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 снизу.

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 °С, 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 соответствующих условий, сразу во всем объеме бассейна, подобно застыванию бетонного раствора.

2.3.2 Оценка интенсивности намораживания ледяной массы, в бассейне, оборудованном термосифонами

2.3.2.1 Намораживание льда в поверхностном слое бассейна

В бассейне оборудованном термосифонами, намораживание ледяной массы происходит двумя способами [105]:

- 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 → конденсатор → окружающий морозный воздух.

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

Впервые метод расчета толщины ледяного покрова на водоемах был разработан Иозефом Стефаном – австрийским физиком и математиком еще в 1891 г. К настоящему времени предложено большое количество методов расчета для определения толщины ледяного покрова пресноводных водоемов ($h_{л}$):

- Метод аналогии. Применяется 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. Основан 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. Основан 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, большинство из которых имеет вид:

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

где $\Sigma(-t_{\text{возд}})$ - сумма средних суточных температур воздуха на высоте 2 м от начала образования ледяного покрова за расчетный период, К;

C – параметр;

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

Основой для появления многочисленных эмпирических формул послужила зависимость, выведенная Стефаном:

$$\Sigma(-t_i \cdot \tau) = \frac{\tau \cdot \rho \cdot h_{\text{л}}^2}{\lambda} \quad (2.4)$$

где $\Sigma(-t_i \cdot \tau)$ - индекс холода за планируемый (назначенный) период исследования, градусосуток;

τ – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5,6,7 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·к⁴);

ρ – плотность воды, кг/м³;

$h_{\text{л}}$ – толщина льда, м;

λ – коэффициент теплопроводности воды, Вт/м·К.

Приведем некоторые формулы типа (2.3), 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.

$$1. \quad \delta = -14t(1 + 0,5\varpi) \text{ Бобков В.А [19].} \quad (2.5)$$

где δ – скорость намораживания льда, мм/час;

t – температура морозного воздуха, К;

ϖ – скорость ветра, м/с.

Формула (2.5) не учитывает границы применимости формулы по толщине льда и интервалы погрешностей в пределах этих границ.

$$2. \quad h_{\text{л}} = 2\sqrt{\Sigma(-t)} \text{ Быдин Ф.И.} \quad (2.6)$$

где $h_{\text{л}}$ - толщина льда, м;

$\Sigma(-t)$ – сумма отрицательных температур за исследуемый период,

$$3. \quad h_{\text{л}} = 2,7\sqrt{\Sigma(-t)} \text{ Найман.} \quad (2.7)$$

где $\Sigma(-t)$ – сумма отрицательных температур за исследуемый период, К

$$4. \quad h_{\text{л}} = [\Sigma(-t \text{ возд})]^{0,695} \text{ Пиотрович В.В.} \quad (2.8)$$

$$5. \quad h_{\text{л}} = 2,704\sqrt{\Sigma(-t \text{ возд})} \text{ Тресков А.А.} \quad (2.9)$$

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.

Большинство формул для расчета толщины ледяного покрова по теоретическому методу опираются на два исходных дифференциальных уравнения, полученных из условия Стефана:

$$\frac{dh_{\text{л}}}{d\tau} = \frac{S_{\Sigma} - q}{L_{\text{кр}} \cdot \rho_{\text{л}}} \quad (2.10)$$

где τ – время, с;

S_{Σ} – суммарная теплоотдача в атмосферу с поверхности льда, включающая в себя теплоотдачу конвекцией, излучением и испарением, Вт/м² · °К;

q – теплоприток к нижней поверхности льда от воды, Дж/с;

$L_{\text{кр}}$ – удельная теплота плавления льда, Дж/кг;

$\rho_{\text{л}}$ – плотность льда, кг/м³.

Эти уравнения имеют следующий вид:

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{\lambda_{\text{л}} - t_{\text{нс}}}{L_{\text{кр}} \rho_{\text{л}} h_{\text{э}}} - \frac{q}{L_{\text{кр}} \rho_{\text{л}}} \quad (2.11)$$

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{-t_{\text{э}}}{L_{\text{кр}} \rho_{\text{л}} \left(\frac{h_{\text{э}}}{\lambda_{\text{л}}} - \frac{1}{a_n} \right)} - \frac{q}{L_{\text{кр}} \rho_{\text{л}}} \quad (2.12)$$

где $t_{\text{нс}}$ – температура наружной поверхности льда, К;

$t_{\text{э}}$ – эквивалентная температура воздуха над поверхностью льда, К;

a_n – коэффициент теплопередачи, зависящий от теплоотдачи с поверхности снега, Вт/м²К;

$h_{\text{э}}$ – эквивалентная толщина льда при наличии снега на поверхности льда, м.

$$h_{\text{э}} = h_{\text{л}} + \frac{\lambda_{\text{л}}}{\lambda_{\text{с}}} h_{\text{с}} \quad (2.13)$$

где $\lambda_{\text{л}}$ и $\lambda_{\text{с}}$ – коэффициенты теплопроводности льда и снега, Вт/м·°С;

$h_{\text{с}}$ – высота снежного покрова, м.

После интегрирования и преобразований формул (2.11; 2.12) при нижеперечисленных граничных условиях получают конечные формулы для расчета толщины льда (температура воздуха над льдом отрицательно и в назначенный отрезок времени постоянна, температура воды под льдом по всей глубине постоянна и равна нулю, теплопритоки от боковых стен и дна отсутствуют).

Например формула Хилькевича С.С. [141]:

$$h_{\text{л}} = L\sqrt{t} \quad (2.14)$$

где L – параметр, зависящий от температуры воздуха, но не зависящий от толщины льда и времени. Определяется по таблицам или графикам (рисунок 2.5).

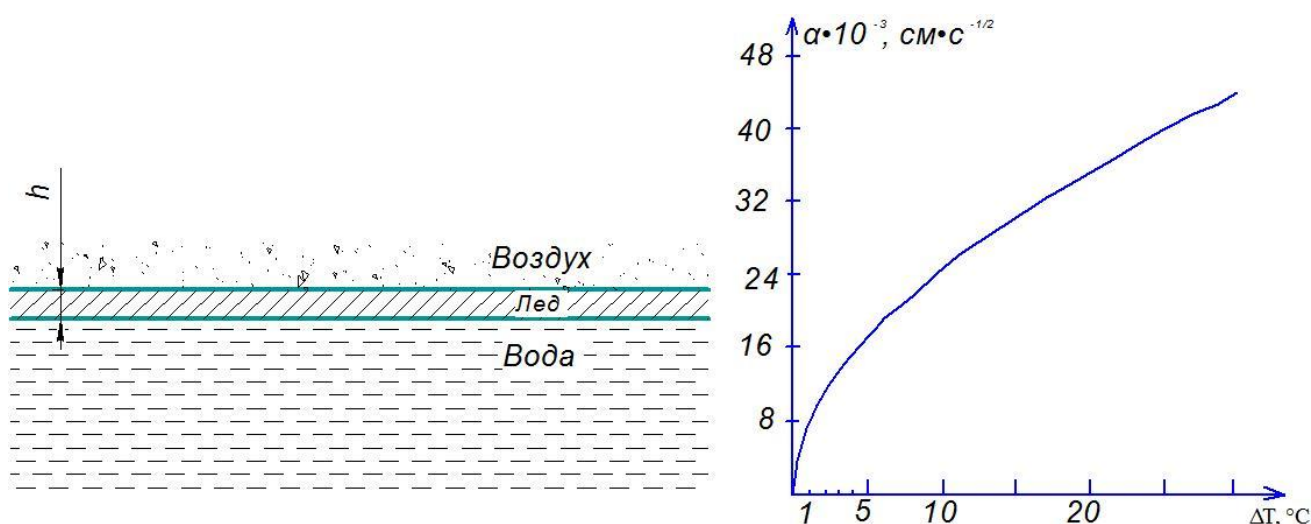


Рисунок 2.5 – Зависимость скорости роста льда от температуры окружающего воздуха.

2.3.2.2 Намораживание льда на боковой поверхности испарителей термосифонов

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 (холодопроизводительность) термосифона, то есть его теплопередающую способность от замораживаемой воды к морозному воздуху.

Теплопроводность 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 273 К. Из таблиц физико-химических свойств R22 получаем:

- давление конденсации (кипения) при 0 °С – 497600 Па;
- плотность жидкой фазы при 0 °С – 1284 кг/м³
- плотность парообразной фазы – 21,213 кг/м³

Тогда полный объем внутреннего пространства трубы равен:

$$\frac{\pi}{4} \cdot 0,025^2 \cdot 5 = 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Объем, занимаемый жидкой фазой, равен:

$$0,1 \text{ кг} : 1284 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 7,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \text{ (78 см}^3\text{)}$$

Высота трубы, занимаемая жидкой фазой = 0,159 (15,9 см)

Поместим испаритель термосифона в воду бассейна с температурой 0 °С, а температура воздуха над водой, то есть в зоне расположения конденсатора, равна «-10 °С». Давление конденсации (кипения) при «-10 °С» равно -354300 Па.

Пары фреона в верхней части трубы (конденсатор) начнут конденсироваться, уменьшая давление до 354300 Па. Разность давлений паров между испарителем и конденсатором составит:

$$497600 \text{ Па} - 354300 \text{ Па} = 143300 \text{ Па}$$

В этом случае сила, действующая на столб фреоновых паров высотой = 5 м - 0,159 м = 4,841 м окажется равной:

$$\frac{\pi}{4} \cdot 0,025^2 \cdot 4,841 \cdot 21,213 = 0,05 \text{ кг}$$

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

$$0,05 \text{ кг} \cdot 205,36 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} = 10,35 \text{ кДж}$$

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

Нетрудно подсчитать, что длительность перемещения паров фреона от испарителя до конденсатора будет значительно меньше 1 секунды. Но если даже принять, что длительность равна 1 секунде, тогда мощность теплопередачи составит $\frac{10,35 \text{ кДж}}{1 \text{ сек}} = 10,35 \text{ кВт}$. Такую скорость теплопередачи на практике получить, конечно, невозможно.

На практике теплота от замерзающей воды до морозного воздуха передается через многослойный «пирог». 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 несколько раз меньше вычисленной (10,35 кВт).

В работе Аникина Г.В. и др. «Тепломассо-перенос в вертикальном парожидкостном термосифоне» (журнал «Криосфера Земли», т. XIII, № 3, 2009 г.) приведена математическая модель функционирования парожидкостного термосифона при замораживании грунта:

$$Q = \frac{t_a K}{\frac{1}{\overline{N}_{op} \cdot L_{op}} + \frac{1}{\lambda_{гр} \cdot 2\pi \cdot L_{исп}} \cdot \ln\left(\frac{r_0}{b}\right)} \quad (2.15)$$

где Q – тепловая мощность (холодопроизводительность) термосифона, Вт;

t_a – температура морозного воздуха, К;

\overline{N}_{op} – теплопередача от одного погонного метра оребренной поверхности конденсатора, Вт/(м К);

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

$\lambda_{гр}$ – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·К;

$L_{исп}$ – длина испарительной части термосифона, м;

r_0 – радиус промерзания грунта, заданный нулевой изотермой, м;

b – внешний радиус трубы термосифона, м.

На основе данной модели, задавшись численными значениями величин: $L_{op} = 1,15$ м, $L_{исп} = 7$ м, $\lambda_{гр} = 1,6$ Вт/(м·°С), $t_a = -21$ °С авторы получили расчетную зависимость тепловой мощности термосифона (Q , Вт) от радиуса промерзания грунта (R , м), скорости ветра (V , м/с) и типа хладагента (аммиак, углекислота).

Таблица 2.2 - Зависимость мощности (Q , кВт) термостабилизатора, заправленного аммиаком, от радиуса промерзания грунта (R , м) и скорости ветра (v , м/с).

R, м	v 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 , кВт) термостабилизатора, 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 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 коэффициент теплопроводности водного льда (2,1 Вт/(м·К)), незначительно отличается от коэффициента теплопроводности влажных грунтов, следует полагать, что данная математическая модель будет адекватно отражать интенсивность намораживания водного льда в рассматриваемом бассейне.

Преобразуя выражение 2.15 получим:

$$Q = \frac{t_a}{\frac{2\pi r}{H_{op} \cdot S_{op}} + \frac{r \ln(\frac{r_0}{r})}{\lambda_L \cdot S_{исп}}}, \quad (2.16)$$

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

r – радиус трубы термосифона, м;

$S_{ор}$ – площадь оребренной поверхности термосифона, м²;

$S_{исп}$ – площадь испарительной поверхности термосифона, м².

Выражение 2.16 будет адекватно отражать интенсивность намораживания льда вокруг испарителя термосифона. При его анализе получено, что наибольшее влияние на процесс намораживания льда на поверхности термосифона оказывают факторы: температура морозного воздуха, скорость ветра, площадь испарителя и площадь конденсатора.

Но все приведенные выше математические модели намораживания водного льда в рассматриваемом бассейне не учитывают особенность 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:

$$\frac{dt}{dt} + v_x \frac{dt}{dx} + v_y \frac{dt}{dy} + v_z \frac{dt}{dz} = \frac{\lambda_T}{c\rho} \left(\frac{d^2t}{dx^2} + \frac{d^2t}{dy^2} + \frac{d^2t}{dz^2} \right) \quad (2.17)$$

где V_x , V_y , V_z – проекции скоростей на пространственные оси координат, x, y, z ;

c, ρ – соответственно удельная теплоемкость и плотность воды, кДж/кг К, кг/м³;

λ_T – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К.

Уравнение (2.17) описывает самый общий случай температурного поля – нестационарного, пространственного. Решить это уравнение аналитически

невозможно. Но в рассматриваемом водоеме $V_x=V_y=V_z=0$ в связи с работой термосифонов в рассматриваемом бассейне и наличия теплоизолирующего слоя вдоль боковых стен и дна температурный режим вдоль координат x и y будет в течение года меняться, то есть $\frac{d^2t}{dx^2} \neq 0$ и $\frac{d^2t}{dy^2} \neq 0$

Уравнение (2.17) будет иметь следующий вид:

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\lambda_T}{c\rho} \left(\frac{d^2t}{dx^2} + \frac{d^2t}{dy^2} + \frac{d^2t}{dz^2} \right) \quad (2.18)$$

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

Аналитическое решение уравнения (2.18) невероятно сложно и возможно только с применением новейших средств программного обеспечения компьютерных технологий.

ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ совместно с научно-производственным объединением «Фундаментстройаркос», на основе договора «О научно-производственном сотрудничестве в сфере использования естественного холода в сельскохозяйственном производстве», разработал уникальный программный комплекс для расчета температурных полей при замораживании воды и грунтов с помощью СОУ – «ФСА-прогноз». (Приложение Б).

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

Согласно прогнозным расчетам при метеоусловиях Оренбургской области бассейн $20 \times 6 \times 3$ м, при установке 50 шт. термосифонов ТК 32/6,0 за

первый год промерзает полностью. Бассейн сохраняется в мерзлом состоянии весь летний период до декабря месяца.

Общая масса льда, намороженного в бассейне, составляет:

$$20 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 917 = 330120 \text{ кг}$$

где $\rho = 917$ - плотность льда, кг/м^3 .

На один термосифон приходится 2751 кг. льда. Количество тепла, которое может утилизировать эта масса льда, составляет $2751 \text{ кг} \cdot 334 \text{ кДж/кг} = 918834 \text{ кДж}$.

Масса молока, охлажденная льдом одного термосифона с 30 до 4 °С составит $\frac{918834}{4(30-4)} = 8834 \text{ кг}$.

Пятидесяти термосифонов достаточно для круглогодичного охлаждения молока от 100 коров с годовым удоем от одной коровы более 4000 кг/гол.

2.4 Приближенные решения задачи образования льда на стенке испарителя термосифона

В работе [42] была предложена математическая модель процесса при тепловых условиях взаимодействия третьего рода со стороны холодильного агента. Процедура получения результата 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 и толще существенно огрубляет математическую модель задачи, что может привести к ошибкам в решении, величина которая будет тем больше, чем больше толщина слоя льда.

Для расчета толщины намораживаемого льда предложено уравнение:

$$\tau = -\frac{\rho r}{\alpha_B t_B N} \left\{ \varepsilon - \frac{\lambda t_0}{\alpha_B t_B} \ln \left[\frac{\alpha_B t_B \lambda \varepsilon_1}{\alpha_B t_B \lambda \left(\frac{\lambda_1}{\alpha_0} + R \right) + \lambda \lambda_1 t_0} + 1 \right] \right\} \quad (2.19)$$

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

ρ - плотность льда, кг/м³;

t_0 - температура кипения холодильного агента, К;

α_B - коэффициент теплоотдачи от воды к стенке, Вт/(м 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 полученного решения показал, что интенсификация процесса льдообразования путем увеличения коэффициента теплоотдачи со стороны холодильного агента возможна до 1200 - 1500 Вт/(м К), дальнейшее увеличение теплоотдачи со стороны холодильного агента практически не влияет на рост толщины слоя льда.

В статье не приведены экспериментальные данные по испытаниям генераторов льда.

В [20,21] предложена весьма простая зависимость для определения времени, необходимого для образования слоя льда заданной толщины на плоской стенке:

$$\tau = \frac{L \rho_L \delta_L}{\Delta t} \left(\frac{1}{\alpha_0} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{0.5 \delta_L}{\lambda_L} \right) \quad (2.20)$$

Скорость роста слоя льда предлагается определять по формуле:

$$\frac{\partial \delta_L}{\partial \tau} = \frac{\Delta t}{L \rho_L \left(\frac{\delta_L}{\lambda_L} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_0} \right)} \quad (2.21)$$

Автор указывает, что область применения этих зависимостей ограничена нулевой температурой воды, однако, на практике встречается сравнительно редко.

Авторы [149] предлагают формулы для нахождения толщины льда в заданный момент времени при условии постоянной температуре кипения хладагента и постоянной разности температур воды и хладагента.

Температура воды в момент начала замерзания льда определяется по формуле:

$$t_{\text{нач.зам.}} = t_{\text{ф.п.}} + \frac{t_{\text{ф.п.}} - t_0}{\alpha_w \left(\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_0} \right)} \quad (2.22)$$

Постоянная разность температуры кипения и температуры воды:

$$\delta_L = y_0 \lambda_L \left[\sqrt{1 + m_1 [B\tau + (e^{-B\tau} - 1)] + m_2^2 (e^{-B\tau} - 1) + 2B\tau e^{-B\tau}} \right] - 1 \quad (2.23)$$

$$\text{где } m_1 = \frac{2c_0}{n}; m_2 = \frac{c_0 - x_0}{n}; n = BL\lambda_L y_0^2; c_0 = t_w - t_0$$

В статье [149] отсутствуют ссылки на экспериментальные данные, позволяющие судить об адекватности данной модели. При использовании этой математической модели возможно определить толщину льда только при условии, что известна разность температуры воды и температуры кипения хладагента.

В [87] приводится уравнение, позволяющее рассчитать распределение температур в ледяном массиве искусственного катка. Уравнение получено для граничных условий 3 рода, т.е. для процесса конвективного процесса конвективного теплообмена на поверхности массива.

В работе [31] 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 [129]:

$$T_1(x, \tau) = T_3 + \frac{(T_* - T_3)(x/\lambda_1 + \delta/\lambda_2 + 1/\alpha_3)}{\varepsilon/\lambda_1 + \delta/\lambda_2 + 1/\alpha_3}, \quad (2.24)$$

$$T_2(x, \tau) = T_3 + \frac{(T_* - T_3)(x/\lambda_1 + \delta/\lambda_2 + 1/\alpha_3)}{\varepsilon/\lambda_1 + \delta/\lambda_2 + 1/\alpha_3}, \quad (2.25)$$

$$\tau(\varepsilon) = -[\lambda_1 \rho_1 r_d / \alpha_0 (T_0 - T_*)] \left\{ \varepsilon / \lambda_1 + \frac{(T_* - T_3) \ln(1 - \varepsilon/b)}{\alpha_0 (T_0 - T_*)} \right\}, \quad (2.26)$$

$$b = \lambda_1 \left\{ \frac{(T_* - T_3)}{[\alpha_0 (T_0 - T_*)]} - \delta / \lambda_2 - 1 / \alpha_3 \right\}, \quad (2.27)$$

где T_0 - температура кипения хладагента, К;

T_1 - температура в 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/(м К).

Важным для практики случаем является намерзание льда при натекании жидкости на охлажденную цилиндрическую поверхность. Известно приближенное аналитическое решение такой задачи при краевом условии первого рода на внутренней поверхности и краевом условии третьего рода на внешней [151].

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 металлической стенки - лед находится из выражения:

$$T = \frac{\lambda_1 t_0 \ln \frac{r_0+R+\varepsilon}{r_0+R} + \lambda t_{\text{кр.}} \ln \frac{r_0+R}{r_0}}{\lambda_1 \ln \frac{r_0+R+\varepsilon}{r_0+R} + \lambda \ln \frac{r_0+R}{r_0}}, \quad (2.28)$$

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

t_0 - температура кипения хладагента, К;

r_0 - радиус внутренней стенки цилиндра, м;

R, ε - толщина стенки металлического цилиндра и толщина слоя льда, м;

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

Время намерзания слоя льда определяется по соотношению:

$$\tau = -\frac{\gamma \rho}{\alpha t_c} \left\{ \frac{\frac{\lambda}{\lambda_1} \ln \frac{r_0+R}{r_0}}{\frac{\lambda}{\lambda_1} \ln \frac{r_0+R}{r_0} - \frac{\lambda t_0}{\alpha t_c (r_0+R)}} \varepsilon - \frac{-\frac{\lambda t_0}{\alpha t_c (r_0+R)} \left[1 + \frac{\lambda}{\lambda_1} \ln \frac{r_0+R}{r_0} \right]}{2 \left[\frac{\lambda}{\lambda_1} \ln \frac{r_0+R}{r_0} + \frac{\lambda t_0}{\alpha t_c (r_0+R)} \right]^2} \varepsilon^2 \right\}, \quad (2.29)$$

где ρ - плотность намораживаемого льда, кг/м³;

γ - теплота фазового перехода воды в лед, Дж;

α - коэффициент теплоотдачи от жидкости к поверхности льда, Вт/(м К);

t_c - температура замораживаемой жидкости, К.

В материалах [41] сделана попытка аналитического описания работы цилиндрического криоаккумулятора с насадкой в виде оребренных стержней. В результате было получено соотношение для определения разности температур между объектом и криоагентом:

$$\Delta T = \frac{Q_0}{\pi R^2 \lambda_m \sqrt{b} [1 - \exp(-2\sqrt{b}H)]} [1 + \exp(-2\sqrt{b}H)], \quad (2.30)$$

где Q_0 - тепловыделение объекта, Дж;

R - радиус стержня, м;

H - высота ребра, м;

L - длина ребра, м;

n - число ребер;

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

Коэффициент b находится из соотношений:

$$b = \frac{n\delta}{\pi R^2} \left[\sqrt{a} \left(1 + \frac{\exp(-\sqrt{a}L)}{\sqrt{a}L} \right) \operatorname{th}(\sqrt{a}L) + \frac{\exp(-\sqrt{a}L)}{L} - 1 \right], \quad (2.31)$$

$$a = \frac{2\lambda_{\text{ж}}}{\lambda_m \delta (L+R) \sin \alpha}, \quad (2.32)$$

где $\alpha = \pi/n$

При построении этой математической модели были сделаны следующие допущения:

1) на неоребренном участке теплота Q_0 отводится от криостатируемого 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 криоагента между ними приближается к прямоугольному);

3) теплообмен по высоте ребра и криоагента, а также в радиальном направлении в криоагенте 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 криоагентом в межмембранном пространстве, а также отвод тепла от торцов ребер);

4) в срединном слое криоаккумулирующего вещества (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.

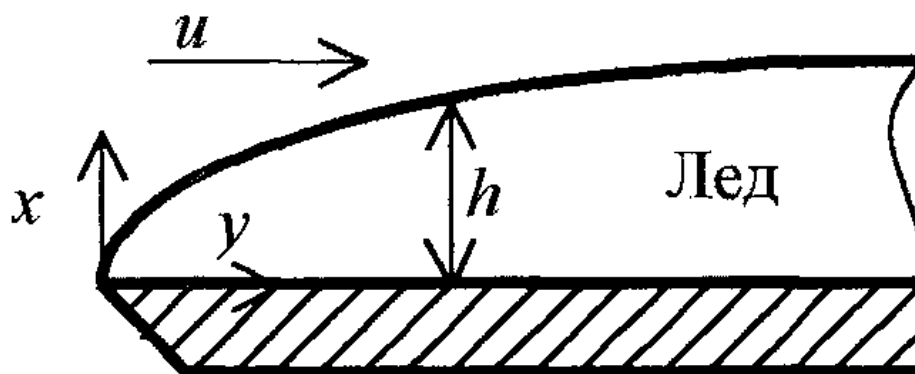


Рисунок 2.6 – Намораживание льда на плоской стенке.

Авторами [152,153,154] была решена задача затвердевания расплава льда на изотермической поверхности плоской стенки в условиях естественной конвекции. Расчетная схема изображена на рисунке 2.6. Ось x является нормалью к поверхности теплообмена, а y направлена параллельно вектору скорости расплава. В данной статье отсутствует сравнение результатов расчета по предлагаемой модели с экспериментальными данными. Кроме того, свойства твердой фазы принимаются постоянными и не зависящими от температуры.

2.5 Функциональные особенности использования льдохранилища при охлаждении молока на молочно-товарных фермах

Технологическая схема охлаждения молока на МТФ ледяной водой из рассматриваемого льдохранилища показана на рисунке 2.7.

Охлаждение происходит ледяной водой из льдохранилища в течение круглого года. Вода с температурой $+1...+2$ °С насосом 14 (рисунок 2.7) 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.

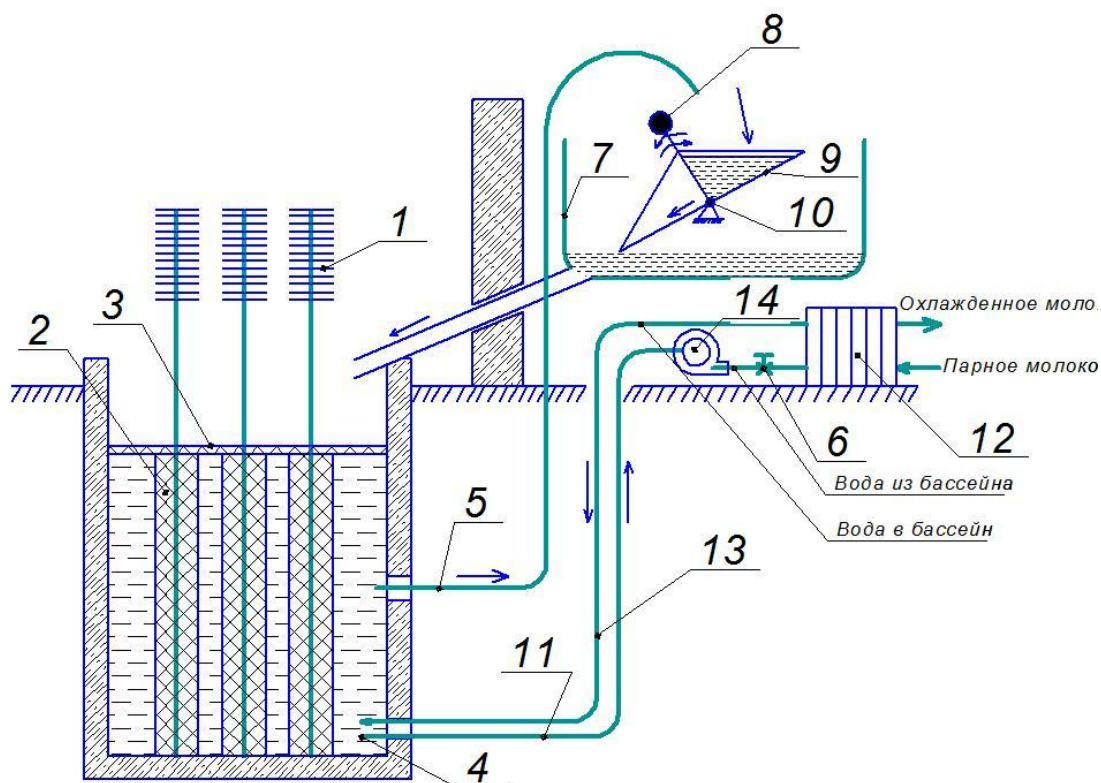


Рисунок 2.7 – Технологическая схема охлаждения молока ледяной водой из бассейна, оборудованного термосифонами.

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.

Термосифоны в льдохранилище 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

⁰С. 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. В связи с этим необходимы конструктивные решения, исключающие этот процесс. Кроме того, в производственных условиях возникает необходимость контроля динамики намораживания льда: массовой скорости за месяц (кг/мес), за неделю (кг/нед), за сутки (кг/сут), суммарной массы льда за зимний сезон, заготовленной на предстоящий весенне-летне-осенний период [61,62,63,64,65].

Известные способы контроля весьма сложны, трудоемки и дорогостоящи. Нами предлагается простой и дешевый способ ликвидации вышеназванного процесса с одновременным контролем динамики намораживания льда.

Для этой цели внутренняя часть бассейна (рисунок 2.7) 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...0,1 м³. 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 2.7 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

(рисунок 2.5), всасывающая и возвратная труба 11 и 13 должны быть проложены ниже уровня промерзания грунта.

При возрастании объема намороженного на испарителе термосифона льда $V_{л}$, часть воды $\Delta V_{в}$ вытесняется из бассейна по дренажной трубе 5 в ковшовый измеритель 7.

Выясним связь объема воды $\Delta V_{в}$ с массой льда $M_{л}$. Уравнение баланса массы льда $M_{л}$ и массы воды $M_{в}$, из которой он образовался, имеет вид:

$$M_{л} = M_{в} \quad (2.33)$$

$$V_{л}\rho_{л} = V_{в}\rho_{в} \quad (2.34)$$

где $\rho_{л}, \rho_{в}$ – соответственно плотность льда и воды кг/м^3 .

Уравнение баланса объемов при образовании льда:

$$V_{л} = V_{в} + \Delta V_{в} \quad (2.35)$$

После подстановки значения льда из (2.34) в (2.35) и преобразований получим:

$$\frac{\Delta V_{в}}{V_{в}} = \frac{\rho_{в} - \rho_{л}}{\rho_{л}} \quad (2.36)$$

Но $\frac{\Delta V_{в}}{V_{в}} = \beta$ - коэффициент объемного расширения воды при превращении ее в лед.

Таким образом:

$$\frac{\rho_{в} - \rho_{л}}{\rho_{л}} = \beta \quad (2.37)$$

С учетом этого формула (2.36) будет иметь вид:

$$V_{в} = \Delta V_{в} \frac{1}{\beta} \quad (2.38)$$

Умножая левую и правую часть уравнения (2.38) на $\rho_в$ и учитывая формулу (2.33) получим:

$$M_л = \Delta V_в \frac{\rho_в}{\beta} \quad (2.39)$$

$$\frac{\rho_в}{\beta} = k \quad (2.40)$$

Тогда:

$$M_л = k \Delta V_в \quad (2.41)$$

После подстановки численных значений $\rho_в$ и $\rho_л$ в формулы (2.37) и (2.38) $\rho_в = 999,841 \text{ кг/м}^3$.

$k = 11049 \text{ кг}^2/\text{м}^3$, k - является величиной постоянной и имеет вполне конкретный физический смысл. Это масса льда, приходится на единицу объема воды, вытесненной из замкнутого объема бассейна в процессе намерзания льда.

Зная суммарный объем воды, прошедший через мерную емкость, можно вычислить массу льда, образовавшегося в бассейне.

Например $\Delta V_в$ равен 10л., т. е. $0,01 \text{ м}^3$. Тогда:

$$M_л = 11049 \text{ кг}^2/\text{м}^3 \cdot 0,01 \text{ м}^3 = 110,49 \text{ кг.}$$

Формула (2.26) позволяет легко решать обратную задачу, например, вычислить объем воды (м^3), который поступит в мерную емкость при замораживании 300 м^3 воды в бассейне с замкнутым объемом.

Расчетный объем $\Delta V_в$ составит:

$$\frac{300 \text{ м}^3 \cdot 999,841 \text{ кг}^2/\text{м}^3}{11049 \text{ кг}^2/\text{м}^3} = 27,148 \text{ м}^3.$$

2.6 Анализ процесса охлаждения простейшими емкостными охладителями при использовании природного холода на малых фермах

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. Такое положение вынуждает эти хозяйства применять для охлаждения простейшие схемы (рисунок 2.8) 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*».

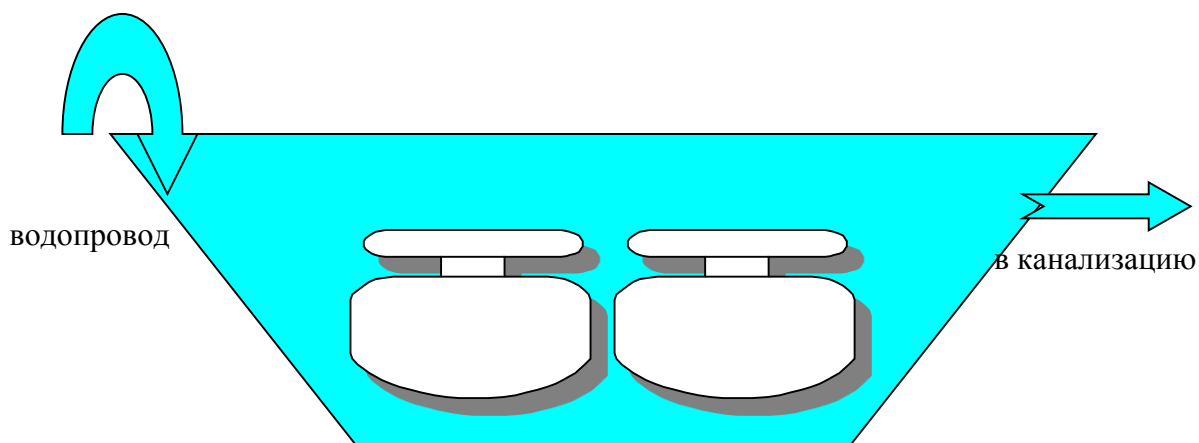


Рисунок 2.8 - Схема охлаждения молока с использованием естественного холода.

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 на мини фермах возрастает.

2.7 Методика 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 температура среды увеличиваться. Этот процесс будет длиться до тех пор, пока температура всех продуктов и температура охлаждающей среды не уравниваются, остановившись на какой-то общей, единой для всех, величине. Назовем эту температура равновесной.

При ограниченных массах хладоносителя и охлаждаемых продуктов в процессе теплообмена температура хладоносителя повышается, а продуктов уменьшается. Этот процесс идет непрерывно до тех пор, пока не установится равновесная температура. При графическом изображении процесса температуры охлаждаемых продуктов и нагреваемой воды, по экспоненциальной кривой, стремятся к равновесному значению T_p .

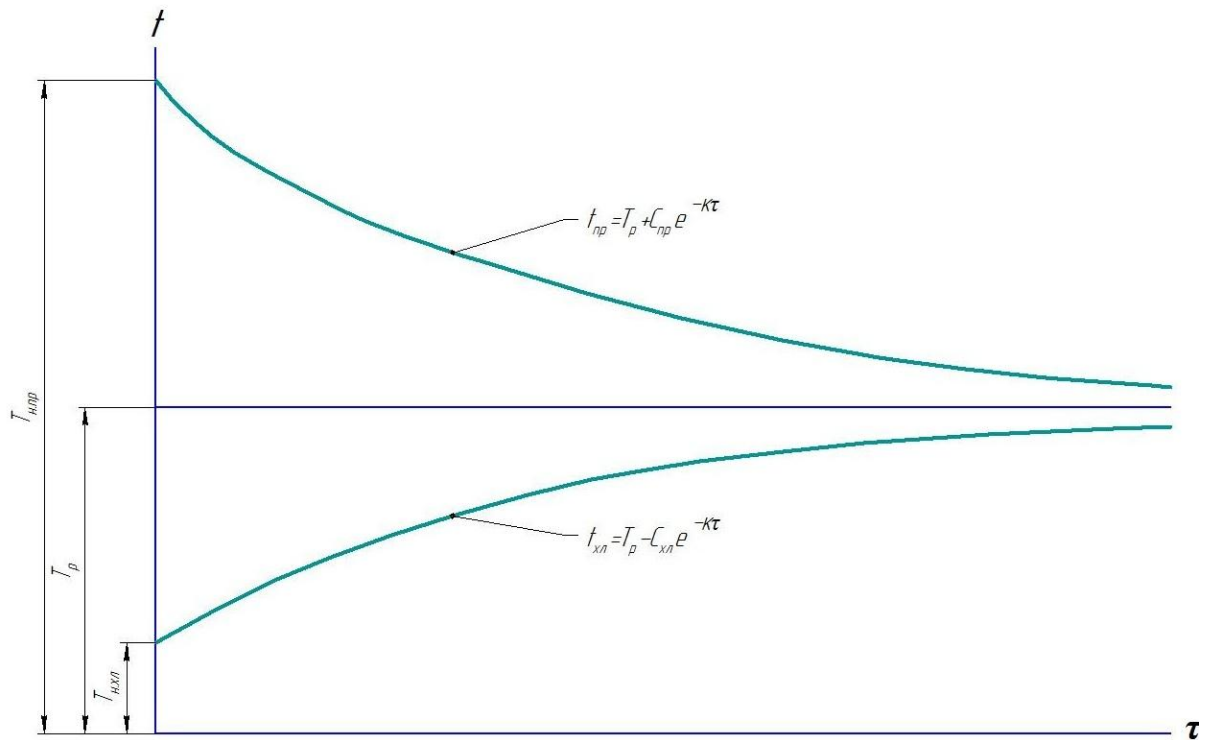


Рисунок 2.9 - График изменения температуры продукта и хладоносителя при теплопередаче через стенку.

$T_{n,пр}$ – начальная температура продукта; $T_{n,хл}$ – начальная температура хладоносителя; T_p – равновесная температура.

2.8 Равновесная температура

Равновесная температура это тот ориентир, к которому стремится, снижаясь, температура охлаждаемого продукта и, повышаясь, - температура хладоносителя.

Процесс выравнивания температур между охлаждаемым продуктом и хладагентом, при теплопередаче через стенку, происходит длительное время, которое стремится к бесконечности. В этих случаях равновесная температура используется для большинства технологических расчетов при теплообмене.

Рассмотрим пример определения числового значения равновесной температуры, умышленно усложненной для большей ясности алгоритма расчета.

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.

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 2.4)

Таблица 2.4 - Исходные данные

№ п/п	Показатели процесса	Интерпретация процесса смешивания				
		Холодная вода	Свежевы доенное молоко	Молоко, предыдуш его удоя	Кипяче ное молоко	Смесь
1	Смешиваемая жидкость продукта					
2	Масса, кг	400	40	40	30	510
3	Удельная теплоемкость $\frac{KДж}{кг \cdot град}$	4,2	3,9	3,9	3,9	x
4	Температура, °C	4	35	25	95	T_p

Последовательность решения задачи.

1. Составим уравнение баланса масс смешиваемых продуктов:

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 = m \quad (2.42)$$

2. Уравнение баланса теплоемкостей (не удельных теплоемкостей):

$$x_1 m_1 + x_2 m_2 + x_3 m_3 + x_4 m_4 = x \quad (2.43)$$

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:

$$\frac{dQ_n}{d\tau} = -\alpha_n F_n (t_n - T_p) \quad (2.44)$$

где Q_n – количество теплоты, отводимое от n-го продукта за время τ , Дж;

α_n – коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{кДж}}{\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{град}}$;

F_n – площадь стенки, через которую осуществляется теплопередача, м^2 ;

t_n – текущее значение температуры n-го продукта, К.

Коэффициент теплопередачи α_n в формуле (2.44) 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 используют экспериментальный метод.

Величина Q_n в формуле (2.44) может быть представлена как $C_n^* t_n$,

где C_n^* – теплоемкость охлаждаемого продукта, Дж/К.

Тогда:

$$\frac{dC_n^* t_n}{d\tau} = -\alpha_n F_n (t_n - T_p) \text{ или } \frac{dt_n}{d\tau} = -\frac{\alpha_n F_n}{C_n^*} (t_n - T_p) \quad (2.45)$$

Знак « \rightarrow » 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 (2.44) запишется в следующем

виде:

$$\frac{dt_n}{d\tau} = -K_n (t_n - T_p) \quad (2.46)$$

Проинтегрируем дифференциальное уравнение (2.46):

$$\frac{1}{-K_n} \int \frac{dt_n}{t_n - T_p} = \int d\tau$$

$$\frac{1}{-K_n} \ln(t_n - T_p) = \tau + c$$

После преобразований получим:

$$t_n = T_p + C_n e^{-K_n \tau} \quad (2.47)$$

Уравнение (2.47) – общее решение дифференциального уравнения (2.31). Оно представляет собой семейство экспоненциальных кривых охлаждения n -го продукта [38,60,67,104,138].

Для нахождения частных решений необходимо выполнить 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, $\tau_{on} = 20$ мин. Пусть температуры охлаждаемых продуктов оказались:

- температура свежесвыдоенного молока $t_{on.1} = 34^{\circ}C$;
- температура молока предыдущего удоя $t_{on.2} = 24^{\circ}C$;
- температура кипяченого молока $t_{on.3} = 92^{\circ}C$;

Для ответа на вопрос – до какой температуры охладится кипяченое молоко в алюминиевой канистре через 4 часа, необходимо, подставив в формулу (3.5) 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 через 4 ч. 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:

$$\frac{dt_m}{d\tau} = -K(t_m - T_s) \quad (2.48)$$

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 (2.48).

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 °С. Контакт между стенками (дном) большой и малой емкости не допустим. Определить, закипит ли вода в маленькой емкости.

Кипящая вода имеет постоянную температуру 100 °С при нормальном атмосферном давлении. Вода в малой емкости закипит только при нагреве её до 100°С.

Пусть через 20 минут вода в малой емкости нагрелась до 50 °С. Рассчитаем длительность нагрева воды в малой емкости от 15 °С до 100 °С.

Дифференциальное уравнение теплопередачи в этом случае имеет вид:

$$\frac{dt_{m\kappa}}{d\tau} = K(100 - t_{m\kappa}) \quad (2.49)$$

где: 100 – температура воды в большой емкости, °С;

$t_{m\kappa}$ - текущее значение температуры воды в малой емкости, °С.

Коэффициент K здесь имеет положительное значение, так как температуры воды в малой емкости во времени увеличивается.

Общее решение данного дифференциального уравнения имеет вид:

$$t_{м.к} = 100 - ce^{-k\tau} \quad (2.50)$$

Определим значение постоянных C и K :

$$\text{При } \tau = 0, t_{м.к} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$15 = 100 - c \cdot 1, \text{ или } C = 85^{\circ}\text{C}$$

$$\text{При } \tau = 20 \text{ мин, } t_{м.к} = 50^{\circ}\text{C}$$

$$50 = 100 - 85 \cdot e^{-20k}$$

После преобразований $K \approx 0,0265 \text{ с}^{-1}$

Частное решение дифференциального уравнения имеет вид:

$$t_{м.к} = 100 - 85e^{-0,0265\tau} \text{ или } t_{м.к} = 100 - 85 \cdot \frac{1}{e^{+0,0265\tau}}$$

Из полученного уравнения видно, что температура воды в малой емкости будет равна 100°C 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*.

Описанный принцип теплопередачи в двух емкостях используется в конструкции бытового пастеризатора молока (рисунок 2.10).

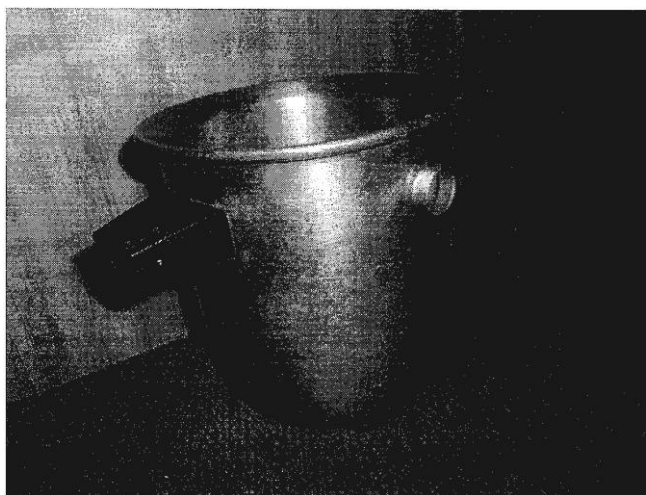


Рисунок 2.10 - Ёмкость для пастеризации молока.

Пастеризатор состоит из двух емкостей, вставленных одна в другую (рисунок 2.10). В верхней части стенки емкостей соединены завальцовкой. Через отверстие в боковой стенке наружной емкости в межстенное пространство наливается вода, а во внутреннюю - молоко. В заливное отверстие вставляется звуковой сигнализатор. Пастеризатор в таком виде устанавливается на огонь. После закипания воды пар, выходящий из межстенного пространства через звуковой сигнализатор, сигнализирует о ходе процесса. Температура молока во внутренней емкости после закипания воды будет медленно приближаться к $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и через бесконечно большой промежуток времени уравнивается с температурой кипящей воды. Но через 20-25 минут вся вода в межстенном пространстве успеет выкипеть и звуковой сигнализатор умолкнет.

Молоко в этот момент будет иметь $90\dots95\text{ }^{\circ}\text{C}$, что достаточно для режима мгновенной пастеризации. Доводить до этого момента, однако, не рекомендуется. Может расплавиться дно внешней кастрюли и огонь горелки будет контактировать с дном внутренней кастрюли со всеми вытекающими из этого последствиями.

Преимущества при использовании такого устройства очевидны – молоко никогда не «убежит» и не пригорит.

В большинстве случаев, при передаче теплоты через стенку в зависимости от смысла, количества и видов исходных данных возникают 2 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 заданное 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 2-х.

Для устранения этого недостатка, предлагается исходные данные и расчетные величины при решении задач группы А оформлять в виде таблицы, поясняющей суть *виртуального* смешивания.

Пример Б3.

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 °С.

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.

$$t_m = 6,804 + 30,196e^{-0,0137\tau} \quad (2.51)$$

Для получения уравнения нагрева воды в бассейне необходимо решить дифференциальное уравнение нагрева:

$$\frac{dt_в}{d\tau} = +K(T_p - t_в) \quad (2.52)$$

Здесь коэффициент K имеет знак «+», так температура воды в бассейне повышается.

Общим решением дифференциального уравнения нагрева является [83]:

$$t_в = T_p + C_в e^{-k\tau} \quad (2.53)$$

Определим значение константы $C_в$.

При $\tau = 0$, $t_в = 4^0\text{C}$:

$$4 = 6,804 - C_g \cdot 1; C_g = 2,804 \cdot C$$

Формулы (2.44; 2.47) 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.

Наглядное представление характера изменения температуры охлаждаемого продукта и хладоносителя дает графическое изображение процесса.

Однако для построения графиков изменения температуры требуется очень большой объем вычислительных работ.

Для механизации вычислительных операций в описанных, и им подобных схемах охлаждения жидкотекучих продуктов (молоко, соки, квас, пиво и т.д.) во фляжном охладителе на кафедре «Механизация технологических процессов в АПК» Оренбургского государственного аграрного университета разработана программа для ЭВМ «Фляжный охладитель».

Программа позволяет решать как прямые так и обратные задачи охлаждения, строит график зависимости текущих температур от времени.

Расчетные величины и графические изображения этих величин выводятся на экран монитора.

2.9 Описание программы «Фляжный охладитель»

Программа «Фляжный охладитель» написана на языке Free Pascal. Программа предназначена для технологических расчетов охлаждения жидких

пищевых продуктов, расфасованных в емкостях. Емкости помещены в жидкий хладоноситель – бак, бассейн или иная среда с холодной водой или антифризом.

Программа «Фляжный охладитель» включает следующие вкладки:

«Температура 1» - расчет численного значения температуры одного продукта за заданное время;

«Температура 2» - расчет численного значения температуры каждого из 2-х продуктов за заданное время;

«Температура 3» - расчет численного значения температуры каждого из 3-х продуктов за заданное время;

«Длительность 1» - расчет длительности охлаждения одного продукта до данной температуры;

«Длительность 2» - расчет длительности охлаждения каждого из 2-х продуктов до данной температуры;

«Длительность 3» - расчет длительности охлаждения каждого из 3-х продуктов до заданной температуры;

«WODA» - расчет численного значения температуры продукта и хладоносителя и разности температур продукта и хладоносителя в функции времени.

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 $ZT = \varphi(TT)$

Условные обозначения, принятые в программах:

MO; QO; TO – масса (кг), удельная теплоемкость (кДж/(кг·град)); начальная температура ($^{\circ}\text{C}$) хладоносителя;

M_1 ; Q_1 ; T_1 соответственно 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_3 ; Q_3 ; T_3 – масса (кг), удельная теплоемкость (комплекс/кг·градус), начальная температура ($^{\circ}\text{C}$) продукта №3.

ZOP – длительность предварительного опыта, то есть длительность пребывания продуктов в контакте с хладоносителем, 5, 10, 15, 30 мин;

TOP_1 ; TOP_2 ; TOP_3 – температура продукта №1, №2, №3 по истечении времени предварительного опыта;

TR – равновесная температура, $^{\circ}\text{C}$;

TT_0 , TT_1 , TT_2 , TT_3 – текущая температура соответственно хладоносителя, продукта №1; 2; №3.

ZK – назначенная, конечная длительность охлаждения, мин.

TK_1 , TK_2 , TK_3 – назначенная, конечная температура охлаждения продукта №1, №2, №3.

На рис. 3.4 показано решение контрольного примера по исходным данным $M_0 = 2000$ 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); $T_3 = 60^{\circ}\text{C}$; $ZOP = 5$ мин.; $TOP_1 = 50^{\circ}\text{C}$; $TOP_2 = 41^{\circ}\text{C}$; $TOP_3 = 53^{\circ}\text{C}$; $ZK = 240$ мин.

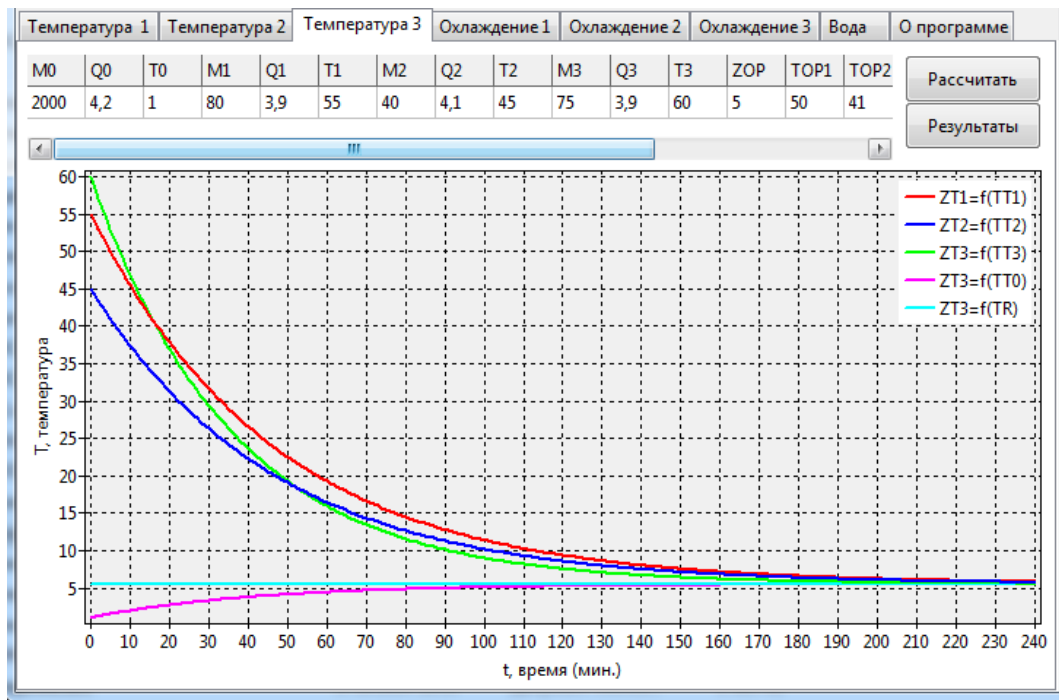


Рисунок 2.10 - Вид окна с условными обозначениями исходных данных (M0, Q0, T0; M1...), числовыми значениями исходных данных (2000; 4,2; 1; 80; 3,9...), названиями вкладок (Температура 1; Температура 2...) и кнопками (Рассчитать и Результаты).

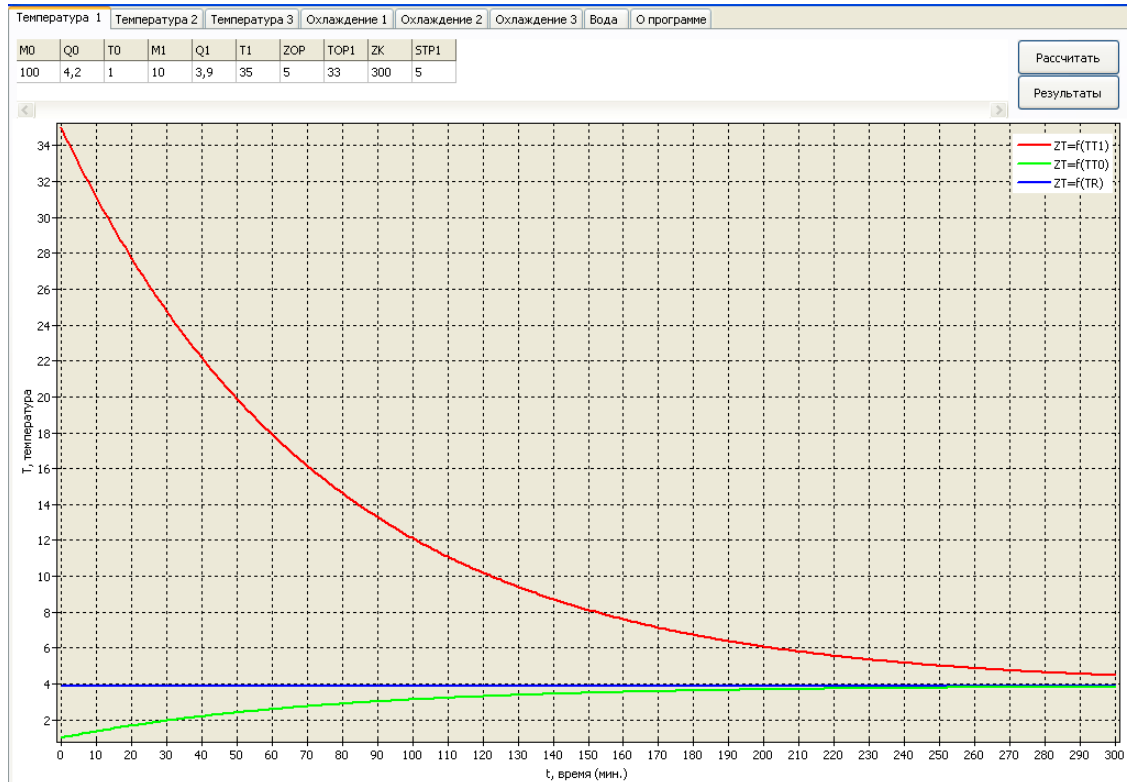


Рисунок 2.11 - Расчет численного значения температуры одного продукта за заданное время.

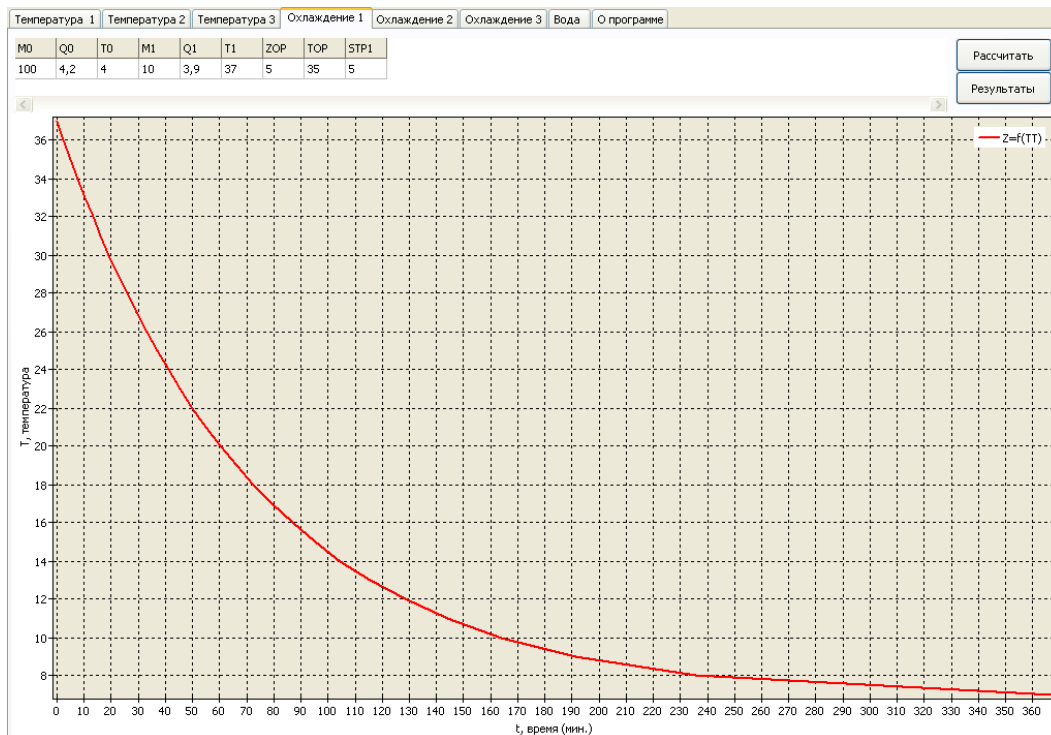


Рисунок 2.12 - Расчет длительности охлаждения одного продукта до данной температуры.

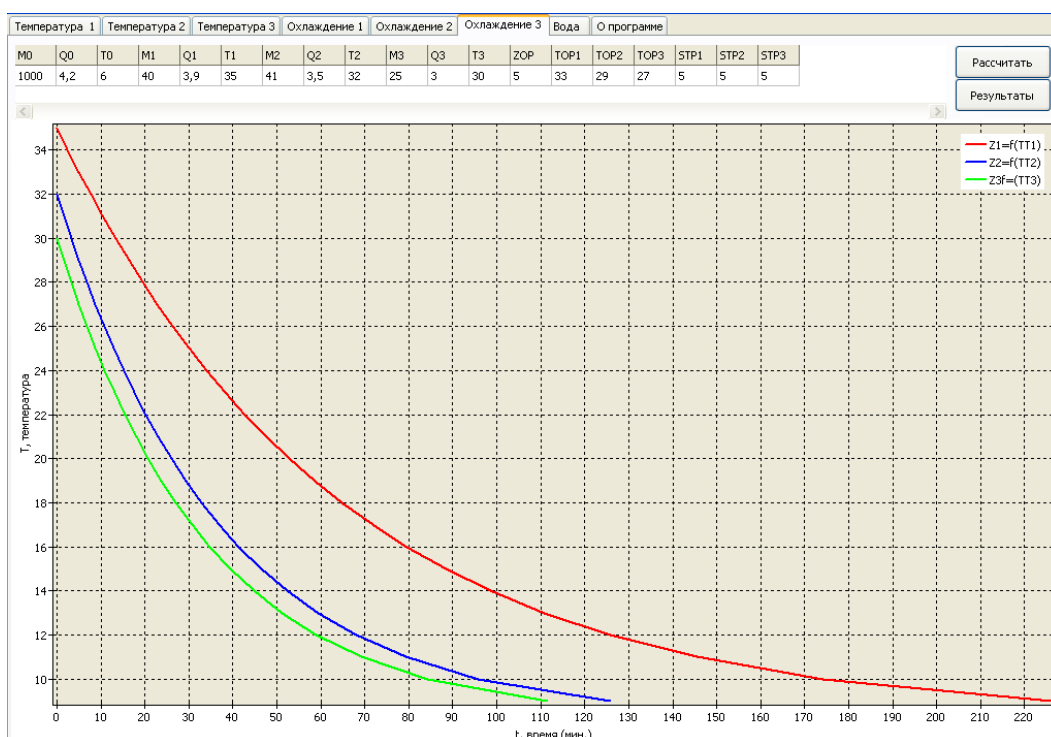


Рисунок 2.13 – Расчет длительности охлаждения каждого из 3-х продуктов до данной температуры.

Кроме кривых изменения температуры охлаждаемых продуктов в координатах T, Z вычерчивается значение равновесной температуры T_R , представляющая собой прямую, параллельную оси времени и кривая изменения температуры хладоносителя.

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 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, не вызывающую снижения его качества.

В приложении Н показаны:

- результаты расчета и кривые изменения температур во фляжном охладителе при охлаждении 2-х видов продуктов;
- результаты расчета и кривые изменения температур во фляжном охладителе при охлаждении 3-х видов продуктов.

Имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014617152.

Выводы по главе.

1. Природно-климатические условия Южного Урала обеспечивают индекс холода от 1550 до 1939,4 градусосуток, что вполне достаточно для аккумуляции природного холода в форме водного льда для молочных ферм малых и средних размеров (по поголовью) при круглогодичном его использовании.

2. Наилучшими техническими средствами аккумуляции природного холода являются испарительно-конденсационные системы – термосифоны, так как они способны промораживать водоем (бассейн) глубиной до нескольких десятков метров. Термосифоны в морозный период функционируют круглосуточно. Они при работе не потребляют электроэнергию, не требуют технического обслуживания.

3. Пятьдесят термосифонов с длиной испарителя 3 м. за зимний период в условиях Оренбургской области намораживают массу льда 330120 кг., что достаточно для охлаждения молока от стада в 100 коров с годовым удоем от одной коровы более 4000 кг/год с 30 до 4 °С.

4. Для защиты стен льдохранилища от разрушения при намораживании льда, оно должно иметь предохранительно-учетное устройство разработанной конструкции.

5. Разработана методика оценки динамики охлаждения молока в фляжных охладителях при использовании природного холода, позволяющая рассчитать длительность его хранения без снижения качества (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014617152).

3 Программа и методика экспериментальных исследований по определению холодопроизводительности термосифона для замораживания воды

Анализ литературных источников и теоретических исследований позволили усовершенствовать конструкцию термосифона, оснастив его термонасадкой (патент на изобретение № 2568753 РФ). По результатам проведенных теоретических исследований были определены основные параметры, влияющие на холодопроизводительность термосифона. Задачами исследования предусмотрено 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 вокруг термосифона [32,34,37,39].

Были проведены экспериментальные исследования по определению холодопроизводительности термосифона (интенсивности намерзания льда), определению оптимальной температуры окружающего воздуха, скорости воздушного потока, а так же площади испарительной части термосифона.

Для теоретических 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.

На заключительном этапе проводились производственные эксперименты, целью которых было подтверждение и уточнение результатов теоретических исследований и данных, которые были получены в ходе лабораторных исследований термосифона для замораживания воды [43,45,46,56].

Экспериментальные исследования предусматривали применение нескольких методик:

- 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 интенсивности увеличения поверхностного ледяного слоя в бассейне в зимний период.

Лабораторные исследования проводились на базе кафедры «Механизация технологических процессов в АКП» ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет».

В качестве опытного образца нами использовался термосифон ТК32/5.0 М5-03.

Целью лабораторных исследований было определение интенсивности образования ледяного слоя вокруг термосифона, а так же его однородность и форма.

Для сравнения результатов лабораторных и производственных исследований, испытания проводились в различных районах Оренбургской области.

Таблица 3.1 – Характеристика МТФ.

Место проведения исследований	ООО «Заилечье» Соль-Илецкий район	ООО «Пилюгинский АПК» Бугурусланский район
Поголовье коров	1318	520
Средний удой от одной коровы (л/сут)	14,5	18,8

Время охлаждения молока(ч)	1,5	1,4
Сроки проведения исследований	Ноябрь – декабрь 2014	Февраль – март 2015

Производственные исследования проводились нами на базе хозяйств Оренбургской области: ООО «Заилечье» Соль – Илецкого района и ООО «Пилюгинский АПК» Бугурусланского района, что подтверждено актами внедрения системы охлаждения молока с помощью естественного холода.

3.1 Методика по определению влияния температуры окружающего конденсатор воздуха на суточную холодопроизводительность термосифона

В процессе теоретических исследований необходимо выявить показатель, определяющий влияние температуры окружающего воздуха на производительность 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 на кафедре «Механизация технологических процессов в АПК» (приложение Г).

Для проведения эксперимента испаритель термосифона был опущен в емкость с водой, а верхняя выведена через плиту-перекрытие на этаж выше и конденсатор вставлен в морозильную камеру. Кроме того, часть трубы и

емкость, которые находились в помещении, были утеплены пеноплексом и светоотражательной пленкой для уменьшения холодопотерь.



Рисунок 3.1 – Лабораторная установка по намораживанию льда вокруг испарителя термосифона.

Методика проведения эксперимента по определению холодопроизводительности термосифона для замораживания воды заключается в следующем. Каждые сутки в одно и то же время производились измерения температуры воздуха в морозильной камере, температуры воздуха помещения, температуры воды в емкости, а так же толщину и форму ледяного слоя вокруг термосифона (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Влияние температуры окружающего конденсатор 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

Продолжение таблицы 3.2

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

При проведении исследований по влиянию температуры воздуха вокруг конденсатора было выявлено, что средняя холодопроизводительность 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.

3.2 Методика по определению влияния скорости воздушного потока на суточную холодопроизводительность термосифона

По данным Гидрометцентра среднезимняя скорость ветра по Оренбургской области составляет 3,2 м/с.

Для определения скорости воздушного потока известно множество способов. Один из них - прибор анемометр. В процессе лабораторных исследований на конденсатор термосифона направлялся воздушный поток, создаваемый вентилятором. Скорость воздушного потока изменялась с помощью частотного преобразователя. Температура воздуха вокруг конденсатора при этом не изменялась (-15 °С). Результаты исследования приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Влияние скорости воздушного потока на холодопроизводительность термосифона.

№ опыта	Скорость воздушного потока, м/с	Температура воды в емкости, °С	Температура воздуха в помещении, °С	Холодопроизводительность, 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

При проведении экспериментальных исследований было выяснено, что при увеличении скорости воздушного потока, направляемого на конденсатор термосифона, холодопроизводительность термосифона растет.

3.3 Методика по определению интенсивности увеличения поверхностного ледяного слоя в бассейне в зимний период

Льдонакопление в бассейне происходит двумя способами:

1. Замораживание поверхностного слоя воды, контактирующей с морозным воздухом;
2. Намораживание льда в глубине бассейна вокруг испарителей термосифонов.



Рисунок 3.2 – Экспериментальный бассейн.

Для определения интенсивности намораживания льда в поверхностном слое был сооружен бассейн (рисунок 3.2), в который была залита вода. После наступления морозного периода поверхность воды, залитой в бассейн, покрылась ледяной коркой (как в естественных водоемах). На поверхность ледяной корки искусственно разливалась вода таким образом, чтобы ледяной слой не превышал 1,5...2мм. Определялось время, за которое этот ледяной слой замерзнет. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Длительность замерзания 2-х миллиметрового слоя воды в зависимости от температуры морозного воздуха

Температура окружающего воздуха, °С.	Время замерзания ледяного слоя, ч.
-5	2,5
-10	2
-15	1,7
-20	1,5
-22	1,4
-25	1,3
-27	1,1
-30	0,9

После проведения исследований был проведен срез ледяного слоя в различных частях бассейна. Срез показал, (рисунок 3.3) что максимальная толщина ледяного слоя в центральной части бассейна и уменьшается по мере удаления от центра к краям бассейна. 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 ломается и в подледное пространство попадает воздух.



Рисунок 3.3 – Срез льда в бассейне при намораживании поверхностного слоя.

3.4 Методика проведения многофакторного эксперимента по определению холодопроизводительности термосифона

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, то было признано целесообразным проведение многофакторного эксперимента. Данный многофакторный эксперимент планировался на основе известных методик планирования.

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.

3.5 Методика планирования эксперимента по определению холодопроизводительности термосифона

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 [1,93]:

$$\sum_{i \neq j}^N X_i \cdot X_j = 0; i = 1, 2, 3 \dots, k; j = 1, 2, 3 \dots, k; \quad (3.1)$$
$$\sum_{i=1}^N X_i = 0; i = 1, 2, 3 \dots, k; \sum_{i=1}^N X_i^2 = N; i = 1, 2, 3 \dots, k;$$

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 данном 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 части. Пользуясь как собственными исследованиями, так и опытом других авторов, занимавшихся исследованием процесса работы термосифонов и исходя из математической модели, полученной нами ранее (глава 2), из числа факторов, влияющих на холодопроизводительность термосифона, нами были выбраны наиболее значимые из них:

- температура воздуха, окружающего конденсатор термосифона (X_1);
- скорость воздушного потока (X_2);
- площадь испарения (X_3);

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 .

Кодирование представляет собой линейное преобразование координат факторного пространства; перенос начала координат в нулевую точку плана (центр плана) и выбор масштаба по осям координат в единицах интервалов варьирования. При этом верхний уровень интервала варьирования принимается за +1, а нижний за -1.

Опираясь на вышеизложенное, нами было принято решение о проведении двухэтапного эксперимента:

1) В первую очередь определим влияние температуры воздуха, окружающего конденсатор термосифона, скорости воздушного потока.

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 зависимость физических показателей льда от управляемых факторов процесса льдообразования представим в виде уравнения линейной регрессии, которое для 3-факторного эксперимента имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (3.2)$$

где $y = \lg R$ – логарифмическое выражение параметра холодопроизводительности термосифона (отклик модели);

x_1 - переменный фактор в закодированном виде, соответствующий температуре воздуха вокруг конденсатора термосифона t_a ;

x_2 – переменный фактор в закодированном виде, соответствующий скорости воздушного потока V_B ;

x_3 - переменный фактор в закодированном виде, соответствующий площади испарения $S_{и}$;

b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты регрессии при переменных факторах, являющиеся оценками их значимости;

b_{12}, b_{13} – коэффициенты регрессии, учитывающие значимость взаимного влияния переменных факторов на процесс образования льда.

Кодирование факторов x_1, x_2, x_3 , в уравнении регрессии (3.2) осуществляется по следующим зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\lg t_a - \lg t_{amax})}{\lg t_{amax} - \lg t_{amin}} + 1; \\ x_2 &= \frac{2(\lg V_B - \lg V_{Bmax})}{\lg V_{Bmax} - \lg V_{Bmin}} + 1; \\ x_3 &= \frac{2(\lg D - \lg D_{max})}{\lg D_{max} - \lg D_{min}} + 1; \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Расчет коэффициентов регрессии b_0, b_1, b_2, b_3 , в уравнении (3.2) осуществляется с учетом знака (\pm) при переменных факторах по зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i; \\ b_i &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i x_{ij}, \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

где \bar{y}_i – среднее значение логарифма радиуса ледяного слоя вокруг термосифона по четырем параллельным опытам.

Оценка значимости коэффициентов регрессии осуществляется при помощи t – критерия Стьюдента. Коэффициент регрессии b_j статистически значим, если выполняется условие:

$$b_j \geq t_{T(p, \bar{f}_i)} S_{b_j}, \quad (3.5)$$

где $t_{T(p, \bar{f}_i)}$ – табличное значение критерия Стьюдента;

S_{b_j} – среднеквадратичное отклонение коэффициентов регрессии.

При уровне доверительной вероятности $p = 0,95$ и числе степеней свободы дисперсии адекватности $f_{\bar{y}} = N(k - 1) = 8(3 - 1) = 16$ табличное значение критерия Стьюдента составляет $t_{T(0,96,16)} = 2,12$ (приложение Е).

Среднеквадратическое отклонение коэффициентов регрессии определяются:

$$S_{b_j} = \sqrt{\frac{S_{y_i}^2}{N}}, \quad (3.6)$$

где $S_{y_i}^2$ – оценка среднего значения дисперсии воспроизводимости опытов:

$$S \frac{z}{y_i} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2, \quad (3.7)$$

где S_i^2 - дисперсии воспроизводимости параллельных опытов.

Для начала определимся с уровнями варьирования факторов.

Таблица 3.4 - Уровни варьирования переменных факторов при определении холодопроизводительности термосифона.

Уровень варьирования	Температура воздуха вокруг конденсатора термосифона		Скорость воздушного потока		Площадь испарения	
	t_a	X_1	V_B	X_2	$S_{и}$	X_3
Основной	-22,5	0	3	0	1,29	0
Верхний	-40	+1	6	+1	2,3	+1
Нижний	-5	-1	0	-1	0,28	-1

Согласно методике проведения полнофакторного эксперимента с четырьмя переменными факторами на двух уровнях, нам требуется провести шестнадцать независимых опытов ($N = 2^3$). Каждый из опытов при этом должен соответствовать граничной точке экспериментирования.

Ниже (таблица 3.5) приведена матрица плана проведения эксперимента, в которой строки отвечают проводимым опытам, а столбцы X_j – факторам независимого и их взаимного влияния. Знаку (+) соответствует максимальное значение фактора в эксперименте, знаку (-) минимальное значение.

Ниже приведена формула для перевода натуральных значений факторов в кодированные:

$$t_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta_i}, \quad (3.8)$$

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.

Натуральные значения интервала варьирования и нулевого (основного) уровня i -го фактора определяются по формулам:

$$\Delta_i = \frac{x_{imax} - x_{imin}}{2}, x_{i0} = \frac{x_{imax} + x_{imin}}{2}, \quad (3.9)$$

где x_{imax} и x_{imin} – натуральные максимальное и минимальное значения i -го фактора соответственно.

В нашем случае имеются четыре комбинации факторов на всех уровнях их варьирования ($k=3$), тогда матрица спектра плана ПФЭ 2^3 будет иметь вид (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Матрица плана трехфакторного эксперимента $N = 2^3$.

№ опыта,	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_1 x_2 x_3$
1	+	+	+	+	+	+	+
2	+	-	+	+	-	-	-
3	+	+	-	+	-	+	-
4	+	-	-	+	+	-	+
5	+	+	+	-	+	-	-
6	+	-	+	-	-	-	+
7	+	+	-	-	-	+	+
8	+	-	-	-	+	+	-

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 .

Оценка воспроизводимости параллельных опытов в логарифмическом выражении осуществляется по G – критерию Кохрена, согласно которому гипотеза воспроизводимости опытов принимается, если расчетное значение G_p – критерия будет меньше его табличного значения:

$$G_p \leq G_T(p, N, f_i), \quad (3.10)$$

где p – уровень доверительной вероятности, принимаемой в эксперименте;

N – число опытов;

f_i – число степеней свободы каждого из них.

Для принятых в эксперименте условий опытов:

$p = 0,95$; $N = 16$; $f_i = k - 1 = 4 - 1 = 3$ табличное значение критерия Кохрена составляет: $G_T(0,95; 16; 3) = 0,5157$.

Расчетное значение G_p – критерия Кохрена определяется по формуле [??]:

$$G_p = S_{imax}^2 / \sum_{i=1}^N S_i^2, \quad (3.11)$$

где S_i^2 – дисперсия воспроизводимости i -го независимого опыта;

S_{imax}^2 – максимальное значение дисперсии воспроизводимости из всех опытов;

N – число независимых опытов.

Дисперсия воспроизводимости по каждому опыту определяется как:

$$S_i^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{k=1}^k (y_{ik} - \bar{y}_i)^2, \quad (3.12)$$

где $k=4$ – число параллельных опытов.

3.6 Методика проведения лабораторных исследований

Для подготовки к производственным испытаниям и получения достоверных результатов, нами были проведены лабораторные исследования.

Таблица 3.6 – Диапазоны варьирования параметров, влияющих на эффективность работы термосифона.

Параметры	Ед. изм.	Минимальное значение	Максимальное значение	Шаг варьирования
Температура воздуха вокруг конденсатора термосифона	°С	-40	-5	1
Скорость воздушного потока	м/с	0	6	1
Площадь испарения	м ²	0,28	2,3	0,2

По результатам теоретических исследований по определению оптимальных параметров работы термосифона для замораживания воды, установлены основные параметры, которые влияют на интенсивность увеличения толщины ледяного слоя вокруг термосифона.

3.7 Методика проведения производственных исследований

Опытные образцы термосифонов для замораживания воды проходили испытания в производственных условиях. Целью было установить их работоспособность и провести корректировку результатов теоретических исследований, для установления окончательных параметров их работы.

При проведении производственных испытаний были окончательно установлены значения эксплуатационных параметров, влияющих на холодопроизводительность устройств.

Исследования проводились в хозяйствах ООО «Заилечье» Соль – Илецкого района и ООО «Пилюгинский АПК» Бугурусланского района.

В процессе исследований эффективность работы термосифонов, продолжительность охлаждения молока сравнивались с эффективностью работы холодильных машин, используемых в хозяйствах.

Анализ результатов производственных исследований показывает, что при охлаждении молока с помощью естественного холода с использованием термосифонов, значительно снижаются энергетические затраты на процесс охлаждения. Это связано с тем, что термосифоны во время работы абсолютно автономны и не тратят никаких видов энергии.

Качество охлажденного молока (согласно ГОСТ 52054.2003) определялась согласно методикам.

4. Результаты экспериментальных исследований

4.1 Анализ интенсивности получения льда при намораживании его вокруг термосифона

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 (3.5).

Расчет коэффициентов проводился по формуле (3.6), приведенной в п. 3.5 «Методика планирования эксперимента по определению холодопроизводительности термосифона».

Таблица 4.1 – 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		15,54	10,04	1,55	0,18	-10,26	41,35	-	-	-	-
"Var1"		-1,60	0,26	-6,07	0,01	-2,28	-0,92	-0,93	0,15	-1,32	-0,53
"Var1"^2	Zeroed*	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
"Var2"		0,18	0,32	0,57	0,60	-0,64	0,99	0,09	0,16	-0,32	-0,49
"Var2"^2	Zeroed*	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
"Var3"		0,02	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"		0,01	0,01	0,08	0,94	-0,01	0,02	0,01	0,09	-0,23	0,25
"Var1"*"Var3"		0,03	0,06	0,51	0,64	-0,12	0,17	0,07	0,14	-0,29	0,43
"Var2"*"Var3"		0,13	0,07	1,94	0,11	-0,04	0,29	0,26	0,13	-0,09	0,60

Таблица 4.2 – Результаты расчета коэффициентов регрессии.

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}
15,54	-1,60	0,18	0,02	0,01	0,03	-0,02

С учетом оценки значимости коэффициентов, уравнение регрессии (3.7) примет вид:

$$Y = 15,54 - 1,6x_1 + 0,18x_2 + 0,02x_3 + 0,01x_1x_2 + 0,03x_1x_3 - 0,02x_2x_3 \quad (4.1)$$

Проверка адекватности полученной зависимости (4.1) 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:

$$F_p \geq F_Q(p; f_{ад}; f_{\bar{y}}) \quad (4.2)$$

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:

$$F_{(0,95; 4; 16)} = 3,01 \text{ (приложение 3).}$$

Расчетное значение критерия Фишера определяется из сравнения оценок дисперсий:

$$F_p = \frac{S_{\bar{y}}^2}{S_{ад}^2}, \quad (4.3)$$

где $S_{ад}^2$ - дисперсия адекватности;

$S_{\bar{y}}^2$ - среднее значение дисперсии воспроизводимости опытов.

Дисперсия адекватности рассчитывается по формуле:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{f_{ад}} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2, \quad (4.4)$$

где \bar{y}_i - экспериментально полученное среднее арифметическое значение параметра толщины льда в i -м независимом опыте;

\hat{y}_i - рассчитанное по уравнению (4.1) значение параметра толщины льда в этом же опыте;

$f_{ад} = N - (k + 1)$ - число степеней свободы дисперсии адекватности.

$$\text{Сумма невязок опыта } \sum_{i=1}^8 (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 = 0,2008$$

Дисперсия адекватности составит:

$$S_{ад}^2 = \frac{0,2008 \cdot 10^{-4}}{4} = 0,0502 \cdot 10^{-4}$$

В этом случае расчетное значение F-критерия Фишера равно:

$$F_p = \frac{16,51 \cdot 10^{-4}}{0,0502 \cdot 10^{-4}} = 328,9$$

Расчетное значение F-критерия Фишера больше его табличного значения $F_{(0,95; 4; 16)} = 3,01$, что говорит об адекватности модели (4.1) и служит

основанием для ее принятия в качестве рабочей гипотезы при описании зависимости параметра толщины льда в исследованном факторном пространстве.

Как указывалось ранее, значения переменных факторов x_1 , x_2 и x_3 в уравнении регрессии (4.1) находятся в закодированном виде по выражению (3.2).

По результатам экспериментов были построены поверхности отклика для определения оптимального режима работы термосифона для замораживания воды [59].

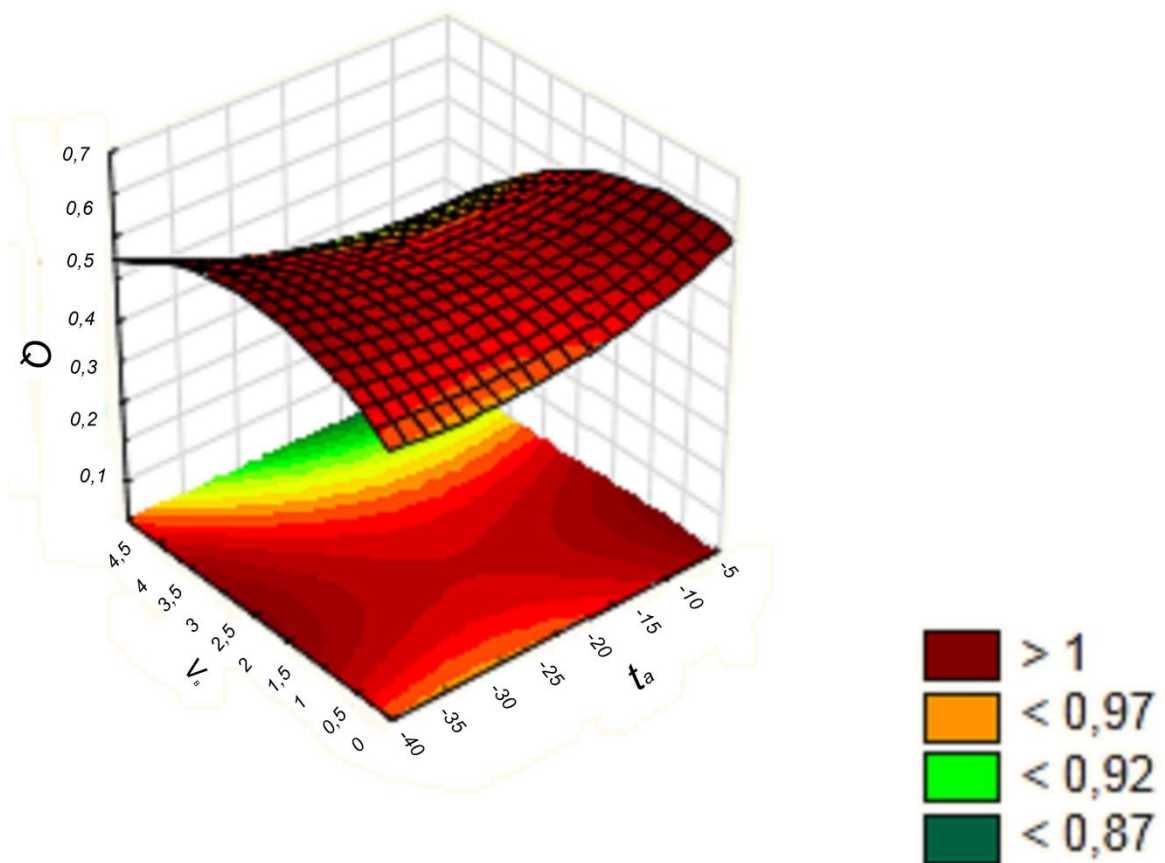


Рисунок 4.1 – Зависимость холодопроизводительности термосифона (Вт) от температуры воздуха вокруг конденсатора термосифона t_a (°C) и от скорости воздушного потока V_B (м/с).

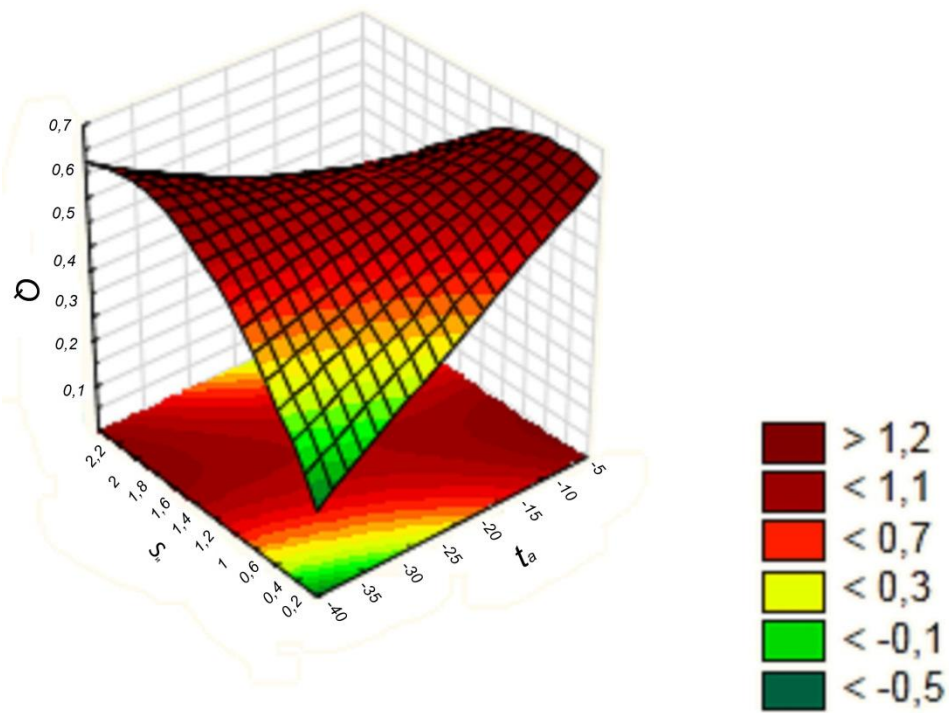


Рисунок 4.2 – Зависимость холодопроизводительности термосифона (Вт) от температуры воздуха вокруг конденсатора термосифона t_a (°C) и от площади испарения (m^2).

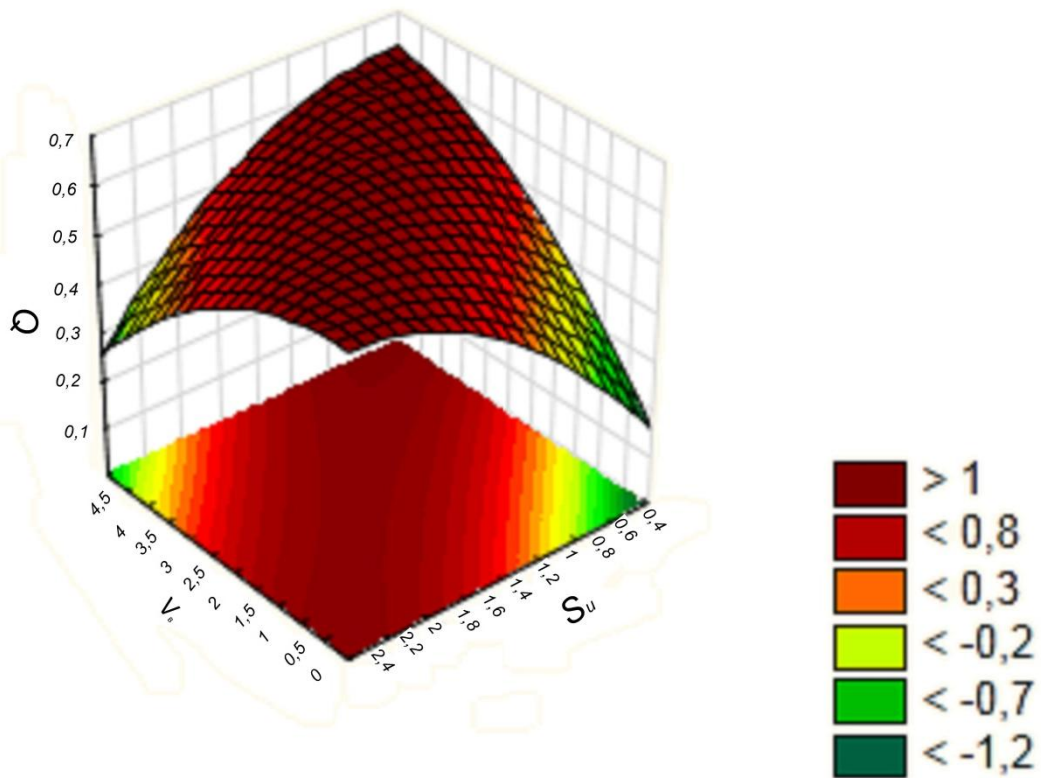


Рисунок 4.3 – Зависимость холодопроизводительности термосифона (Вт) от скорости воздушного потока V_B (м/с) и от площади испарения (m^2).

В ходе проведенного анализа поверхностей отклика нами были определены следующие оптимальные параметры работы термосифона для замораживания воды:

- температура воздуха вокруг испарителя термосифона $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- скорость воздушного потока $3,5\text{ м/с}$;
- площадь испарения $1,8\text{ м}^2$.

5 Экономическая эффективность применения разработанной системы охлаждения молока с помощью естественного холода с использованием термосифонов

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 [95,96,97].

Для того чтобы получить сравнительные характеристики экономической эффективности предлагаемой системы охлаждения молока мы взяли для сравнения выпускаемую серийно холодильную машину CS-1000 производства ООО «АПК Интер» г. Вологда, который в настоящее время широко применяется на МТФ Оренбургской области.

Для сравнения экономических характеристик предлагаемой системы охлаждения молока и выпускаемой серийно холодильной машины необходимо знать основные параметры, определяющие экономическую эффективность. Каждого из них – холодопроизводительность, как количество молока, которое нужно охладить за одну дойку и балансовую стоимость, как совокупность затрат на приобретение системы охлаждения молока и дополнительных затрат на доставку и обслуживание.

Таблица 5.1 - Исходные данные.

№ п\п	Показатели	Числовые значения	
		CS-1000	Система охлаждения молока с использованием термосифонов
1.	Балансовая стоимость оборудования, руб.	457125	320000
2.	Балансовая стоимость помещений, руб.	450000	1800000
3.	Срок полезного использования оборудования согласно ОКОФ, лет.	7	35
4.	Срок службы помещений	50	50
5.	Количество рабочих (слесарей)	2	1
6.	Среднемесячная зарплата, руб.	10000	10000
7.	Отчисления на социальные нужды, %.	35,6	35,6
8.	Годовая наработка оборудования, час.	3467	2160
9.	Холодопроизводительность, кВт.	4	6,4

10.	Коэффициент к зарплате, учитывающий выплаты из фондов социального назначения	1,35	1,35
-----	--	------	------

Расчетные показатели:

1. Расчет годовых текущих издержек (эксплуатационных затрат):

$$З \text{ год.} = З_{\text{пл.}} + З_{\text{эл.}} + А_{\text{зд.}} + А_{\text{об.}} + З_{\text{тор.}} \quad (5.1)$$

где: $З_{\text{пл}}$ – зарплата с начислениями обслуживающего персонала;

$З_{\text{эл.}}$ – затраты на электроэнергию;

$З_{\text{а.з}}$ – затраты на амортизацию здания;

$З_{\text{а.об}}$ – затраты на амортизацию оборудования;

$З_{\text{тор}}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание;

$$З_{1. \text{пл}} = 10000 \text{ руб.} \cdot 12 \text{ мес.} \cdot 2 \text{ чел.} = 240000 \text{ руб/год.}$$

$$З_{2. \text{пл}} = 10000 \text{ руб.} \cdot 12 \text{ мес.} \cdot 1 \text{ чел.} = 120000 \text{ руб/год.}$$

Размер отчислений на социальные нужды – СН:

$$СН_1 = 120000 \cdot 0,365 \cdot 2 \text{ чел.} = 85440 \text{ руб/год.}$$

$$СН_2 = 120000 \cdot 0,365 \cdot 1 \text{ чел.} = 42720 \text{ руб/год.}$$

где: 0,35 – коэффициент отчислений на социальные нужды.

Размер выплат из фонда социального назначения – Фсн:

$$Ф_{\text{сн}1} = 120000 \cdot (1,35 - 1) \cdot 2 \text{ чел.} = 84000 \text{ руб/год.}$$

где: 1,35 – коэффициент к зарплате, учитывающий выплаты из фонда социального накопления.

$$\Phi_{\text{CH}_2} = 120000 \cdot (1,35 - 1) \cdot 1 \text{ чел.} = 42000 \text{ руб/год.}$$

Затраты на электроэнергию:

$$Z_{\text{эл.1}} = 3 \text{ кВт} \cdot 3467 \text{ час/год.} \cdot 6,77 \text{ руб/(кВт}\cdot\text{ч)} = 70414,77 \text{ руб/год.}$$

где: 6,77 – цена электроэнергии с учетом ежегодного подорожания в течении 7 лет (срок службы CS-1000).

$$Z_{\text{эл.2}} = 0, \text{ так как термосифоны не потребляют электроэнергию.}$$

Отчисление на амортизацию оборудования – АО:

$$AO_1 = 457215 \text{ руб} / 7 \text{ лет} = 65303,57 \text{ руб/год.}$$

$$AO_2 = 320000 / 35 \text{ лет} = 9142,86 \text{ руб/год.}$$

Отчисление на амортизацию зданий – Азд:

$$Aзд_1 = 450000 \text{ руб} / 50 \text{ лет} = 9000 \text{ руб/год.}$$

где: 450000 – балансовая стоимость помещения холодильной машины.

$$Aзд_2 = 1800000 / 50 \text{ лет} = 36000 \text{ руб/год.}$$

где: 1800000 – стоимость строительства льдохранилища, руб.

Затраты на ТО ремонт – Зтор:

$$Z_{\text{тор}_1} = 457125 \text{ руб.} \cdot 9,9/100 = 45255,38 \text{ руб/год.}$$

где: 9,9 – нормативный коэффициент (%) на ТО и ремонт.

$$Z_{\text{тор}_2} = 0, \text{ так как термосифоны не требуют ТО и ремонта.}$$

В итоге годовые эксплуатационные затраты равны:

$$Z_{1.\text{год}} = 240000 + 85440 + 84000 + 70414,77 + 65303,57 + 9000 + 45255,38 \\ = 599413,72 \text{ руб/год.}$$

$$Z_{2.\text{год}} = 120000 + 42720 + 42000 + 0 + 9142,86 + 36000 + 0 = 249862,86 \\ \text{руб/год.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения термосифонной системы охлаждения молока равен:

$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{Z}_{1. \text{ год}} - \mathcal{Z}_{2. \text{ год}};$$

$$\mathcal{E}_2 = 599413,72 - 249862,86 = 349550,86 \text{ руб/год.}$$

Итоговый среднегодовой расход на охлаждение молока по предлагаемому методу равен:

$$36000 \text{ руб} + 8889 \text{ руб} = 44889 \text{ руб / год}$$

Что в пересчете на 1т. охлажденного молока равно:

$$44889 \div 500 = 90 \text{ руб / (т} \cdot \text{год)}$$

Суммарный годовой расход денежных средств на охлаждение молока холодильной машиной равен:

$$\mathcal{Z}_{об} = \mathcal{Z}_{маш} + \mathcal{Z}_{ТОиРем} + \mathcal{Z}_{эл}$$

$$\mathcal{Z}_{об} = 58333 + 34650 + 64641 = 157624 \text{ руб / год}$$

Удельный годовой расход на охлаждение 1т. молока с + 34 °С до + 4°С холодильной машиной CS- 1000 равен:

$$157624 \div 500 = 315 \text{ руб / (т} \cdot \text{год)}.$$

Таблица 5.2 – Расчетные показатели экономической эффективности охлаждения молока естественным холодом с использованием термосифонов.

№п/п	Показатель	Варианты		Изменения: +экономия -перерасход
		CS-1000	Система охлаждения с использованием термосифонов	

Стоимость, руб.				
1.	Помещения	450000	1800000	-1350000
2.	Оборудования	457125	320000	+137125
Эксплуатационные затраты, руб.				
3.	Зарплата с начислениями	409440	204720	+204720
4.	Электроэнергия	70414,77	0	+70414,77
5.1	Амортизация			
5.2	Оборудования	65307,57	9142,86	+56160,71
	Помещения	9000	36000	-27000
6.	ТО и ремонт	45255,38	0	+45255,38
7.	Затраты на охлаждение 1т. молока	315	90	225

Выводы по главе.

Использование естественного холода в форме льда годовой потребности позволит:

- Уменьшить число рабочих на 1 чел;
- Уменьшить годовые эксплуатационные издержки за счет

сокращения затрат:

1. на зарплату;
2. на электроэнергию;
3. на амортизацию оборудования;
4. на ТО и ремонт оборудования.

Данные сокращения затрат позволят снизить общую себестоимость производства молока на ферме на 0,88 руб. на килограмм, что при годовом

производстве его 400000 кг. Годовой экономический эффект при этом составит 349550,86 руб. при неизменных закупочных ценах.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ существующих исследований по охлаждению молока с помощью естественного холода, классификация технических решений позволили обосновать новую систему водооборотного льдоаккумулятора, позволяющую снизить затраты на процесс охлаждения. Такая система и технология обладает преимуществом перед существующими и является актуальной для современного сельского хозяйства при охлаждении молока.

2. Получена математическая модель процесса накопления льда вокруг испарителя термосифона. Полученная модель адекватна, что подтверждено экспериментальными исследованиями. Установлено, что один термосифон с длиной испарителя 3 м. 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.

3. Для защиты стен льдохранилища от разрушения при намораживании льда разработано предохранительное устройство, позволяющее регистрировать объем вытесненной воды из бассейна в процессе намораживания и создавать при этом дополнительный слой льда на поверхности бассейна.

4. В результате теоретических и экспериментальных исследований обоснована конструкция термосифона для замораживания воды с термонасадкой, льдохранилища для хранения пищевых продуктов, которые защищены патентами. Патент РФ №2568753 и патент РФ № 2561745, а так же получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Фляжный охладитель» № 2014617152. Изготовлены экспериментальные модели системы охлаждения молока с помощью естественного холода с использованием термосифонов.

5. Проведенный многофакторный эксперимент позволил определить технологические и конструктивно-режимные параметры, влияющие на закономерности изменения параметра оптимизации (холодопроизводительности) от трех варьируемых факторов и их значения: - температура воздуха вокруг конденсатора термосифона минус 15 °С, скорость воздушного потока 3,5 м/с, площадь испарения хладагента 1,8 м².

6. Расчеты экономической эффективности применения предлагаемой системы охлаждения молока выполнены на основе сравнительных затрат на охлаждение молока машинным и природным холодом. Затраты на охлаждение молока природным холодом по предлагаемой технологии снизились с 599413,72 руб./год до 249862,86 руб./год. Себестоимость процесса охлаждения молока снижена с 315 до 90 руб./т год). Годовой экономический эффект от использования предлагаемой системы составил 349550,86 руб./год.

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 С.Б. Кризис теплообмена в вертикальных парогенерирующих каналах при отсутствии циркуляции теплоносителя. Критическая мощность каналов различной формы. Текст.// Алексеев С.Б. Светлов С.В., Илюхин Ю.Н., Кухтевич В.О., Сидоров В.Г. // Теплофизика высоких температур. - 2001. - т. 39. - № 1. - С. 132 - 137.
3. Аникин Г.В. Тепломассо-перенос в вертикальном парожидкостном термосифоне. Текст. // Аникин Г.В., Поденко Л.С., Феклистов В.Н. Тюмень.: Криосфера Земли т. 8 №3. 2008. – с. 54-58.
4. Антроповский, Н.М. Молочное оборудование животноводческих ферм Текст. // Н.М. Антроповский, Л.И. Киренков, А.Я. Салманис. М.: Россельхозиздат, 1975. - 144 с.
5. Архангельский, И.И. Санитария производства молока. Текст. // И.И. Архангельский // М.: Колос, 1976. – 312 с.
6. Атраментов, А.Г. Совершенствование первичной обработки молока Текст. // А.Г. Атраментов. М.: ВО «Агропромиздат», 1990. - 63 с.
7. Бабкин, В.П. Механизация доения коров и первичной обработки молока Текст. // В.П. Бабкин. М.: Агропромиздат, 1986. - 271 с.
8. Базенков, В.Ф. Практикум по механизации животноводческих ферм // В.Ф. Базенков, С.В. Мельников, П.К. Жевлаков. – Л.: Колос, 1965. – 146 с.
9. Барабанщиков, Н.В. Молочное дело Текст.: учеб. и учеб. пособия для студентов // Н.В. Барабанщиков. М.: Агропромиздат, 1990. - 350 с.
10. Барабанщиков, Н.В. Обеспечение фермерского хозяйства холодом Текст. // Н.В. Барабанщиков Молочное и мясное скотоводство.-1995. № 6. -С. 7-9.

11. Безродный М.К. О верхней границе максимальной теплопередающей способности испарительных термосифонов // Теплоэнергетика. - 1978. - № 8. - С. 63-66.
12. Безродный М.К. Влияние давления промежуточного теплоносителя на критические тепловые потоки в испарительных термосифонах. Текст.// Безродный М.К., Алексеенко Д.В. // Известия вузов. Энергетика. - 1977. - № 4. - С. 80 - 84.
13. Безродный М.К. Исследование кризиса тепломассо-переноса в низкотемпературных бесфитильных тепловых трубах. Текст. // Безродный М.К., Алексеенко Д.В. // Теплофизика высоких температур. - 1977. - т. 15. - № 2. - С. 370 - 376.
14. Безродный М.К. Двухфазные термосифоны в промышленной теплотехнике. Текст. // Безродный М.К., Волков С.С., Мокляк В.Ф. // Киев.: «Выща школа», - 1991. - 75 С.
15. Безродный М.К., Подгорецкий В.М. Предельный теплоперенос в горизонтальном двухфазном термосифоне // Инженерно-физический журнал. -1990. -т. 58.-№ 1.-С. 63-67.
16. Безродный М.К., Сахацкий А.А. Исследование максимальных тепловых потоков в наклонных испарительных термосифонах с внутренними вставками // Известия вузов СССР. Энергетика. - 1979. - № 4. С. 76 - 80.
17. Безродный М.К., Файнзильберг С.Н., Колоскова Н.Ю., Белойван А.И. Исследование максимальных тепловых потоков в двухфазных термосифонах с внутренними вставками // Известия вузов СССР. Энергетика. - 1976. - № 8. С. 55-61.
18. Бобков, В.А. Инструкция по заготовке и хранению естественного льда Текст. // В.А. Бобков. М.: типолит. М-ва мясной и молочной пром-сти СССР, 1947. —32 с.
19. Бобков, В.А. Промышленная заготовка и хранение льда Текст. // В.А. Бобков. М.: Пищепромиздат, 1947.- 96 с.

20. Бобков, В.А. Применение холода для хранения сельскохозяйственных продуктов Текст. // В.А. Бобков. М.: Сельхозиздат, 1963.- 55 с.
21. Бобков, В.А. Производство и применение льда Текст. // В.А. Бобков. -М.: Пищевая промышленность, 1977.- 230 с.
22. Босин, И.Н. Охлаждение молока на комплексах и фермах Текст // И.Н. Босин. М.: Колос, 1993. – 46 с.
23. Бузин В.А. Ледовые процессы и явления на реках и водохранилищах. Текст. // Бузин В.А., Зиновьев А.Т. Барнаул. ООО «Пять плюс», 2009. – 167 с.
24. Бурмакин, А.Г. Справочник по производству замороженных продуктов Текст. // А.Г. Бурмакин М.: Пищевая промышленность, 1970.- 464 с.
25. Буянов, О.Н. Холодильное технологическое оборудование Текст. // О.Н.Буянов, Н.Н.Воробьева. Кемерово, 2004.-137 с.
26. Буянова, И.В. Технология цельномолочных продуктов Текст. // И.В. Буянова. Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. -Кемерово, 2004. 116 с.
27. Быдин, Ф.И. Методика анализа водных ресурсов в зависимости от атмосферных осадков. Текст // Ф.И. Быдин. Географический сборник. АН СССР, Геогр. о-во СССР. - М. ; Л. : Изд-во АН СССР. 1952. С. 50-80.
28. Быстров П.И., Михайлов В.С. Ламинарное течение парового потока в зоне конденсации тепловых труб // Теплофизика высоких температур. - 1982. - т. 20. -№ 2. - С. 311 - 316.
29. Быстров П.И., Попов А.Н. Исследование характеристик тепловых труб с жидкометаллическими теплоносителями в низкотемпературных режимах // Теплофизика высоких температур. - 1976. - т. 14. - № 3. - С. 629 - 637.

30. Валунов Б.Ф., Смирнов Е.Л. Критические тепловые нагрузки в вертикальных трубах с заглушённым нижним торцом // Инженерно-физический журнал. - 1980. - т. 39. - № 5. - С. 839 - 841.
31. Варивода В. А. Динамика инееобразования на теплообменных поверхностях холодильных аппаратов. Канд. дисс. Одесса, 1990.
32. Василенко, П.М. Программа, рабочий план и частная методика научного исследования / П.М. Василенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1967, №1.
33. Васильев, Е.Н. Динамика замораживания грунта с помощью тепловых труб // Е.Н. Васильев, В.А. Деревянко, А.В.Макуха // Труды Красноярского госуниверситета. - 2005. – 233с.
34. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.
35. Вода в пищевых продуктах Текст. // пер. с англ. под ред. Л.С. Гинзбурга, В.Я. Адаменко.- М.: Пищевая промышленность, 1980. 370 с.
36. Войтковский, К.Ф. Расчет сооружений из льда и снега Текст. // К.Ф. Войтковский. М., Изд-во Акад. наук СССР, 1954. - 136 с.
37. Вольф, В.Г. Статистическая обработка опытных данных // В.Г. Вольф. - М.: Колос, 1966. - 255с.
38. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике // М.Я. Выгодский. – М.: Наука, 1969, 870 с.
39. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. Изд. 5 – е, перераб. и доп. // В.Е. Гмурман. – М.: Высш. школа, 2000. – 479 с.
40. Головкин, Н.А. Холодильная технология пищевых продуктов Текст.: учеб. для студентов вузов // Н.А. Головкин. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. - 238 с.

41. Грачев А. Б., Лесюк Е. А. Расчет криоаккумулятора с теплопроводящей насадкой в виде оребренного стержня. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1998. № 7.
42. Гуйго Э. И., Юшков П. П. Ржевская В. Б. О теплообмене в ледогенераторах непрерывного действия. // Холодильная техника, 1969 № 4.
43. Гутер, Р.С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта // Р.С. Гутер, В.В. Овчинский. – М.: Наука, 1970.
44. Дегтерев, Г.П. Справочник по машинам и оборудованию для животноводства Текст. // Г.П. Дегтерев. М.: Агропромиздат, 1986. - 224 с.
45. Дж., Франс, Дж. Х. М. Торнли. Математические модели в сельском хозяйстве // перевод с английского А.С. Каменского, под ред. Ф.И. Ерешко. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
46. Заварыкин, В.М. Численные методы: Учеб. пособие для студентов физ.- мат. спец. пед. ин-тов // В.М. Заварыкин, В.Г. Житомирский, М.П. Лапчик. - М.: Просвещение, 1990. - 176 с.
47. Зверев, С.С. Холодильник-аккумулятор естественного холода в условиях Якутии Текст. // С.С. Зверев Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2008. - № 10. - С. 103-108.
48. Зверев, С.С. Использование естественного холода в охлаждении жидких пищевых продуктов в условиях Якутии Текст. // С.С. Зверев Зоотехния. 2008. - № 11. - С. 25-26.
49. Зильберборд, А.Ф. Проектирование подземных холодильников: Проектирование холодильных сооружений Текст. // А.Ф. Зильберборд, В.Я. Янюк. М., «Наука», 1978. - 202 с.
50. Ильясов, В.С. Холодильная технология продуктов в мясной и молочной промышленности Текст. // В.С. Ильясов, В.И. Полушкин, Н.Л. Васильева. М.: «Легкая и пищевая промышленность», 1983.- 216 с.
51. Исследование процессов механизации ферм КРС Текст.: сб. науч. тр. Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический

институт механизации животноводства // отв.ред. И.К. Текучев.- М.: ВНИИМЖ, 1988. 199 с.

52. Каган, А.А. Многолетнемерзлые скальные основания сооружений Текст. // А.А. Каган, Н.Ф. Кривоногова. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1978.-208 с.

53. Калнинь, И.М. Актуальные направления развития техники низких температур Электронный ресурс. // И.М. Калнинь.- «Донхолод», 2007. <http://donholod.dn.ua/index/pub/aktnap.html>.

54. Канаев, А.Ф. Ледяные склады для хранения продуктов сельского хозяйства Текст. // А.Ф.Канаев, А.М. Чекотилло. М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1954.- 100 с.

55. Канаев, А.Ф., Ледяные склады и их использование Текст. // А.Ф. Канаев, А.М. Чекотилло. М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1952. - 112 с.

56. Карасев, Л.И. Теория вероятностей и математическая статистика // Л.И. Карасев. – М.: Статистика, 1979. – 279 с.

57. Карташов, Л.П. Механизация и электрификация животноводства // Л.П. Карташов, В.Т. Козлов, А.А. Аверкиев. – М.: Колос, 1979.

58. 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.

59. Кирьянов, Д.В. Самоучитель MathCAD // Д.В. Кирьянов. -СПб.: БХВ-Петербург, 2001.-544 с.

60. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров // Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1968.- 720с.

61. Квашенников В.И. Инновационный метод охлаждения сельскохозяйственной продукции // Квашенников В.И., Козловцев А.П., Коровин Г.С. Оренбург:. Сборник научных трудов ГНУВНИИМЖ 2013. № 3

62. Квашенников В.И. Терминология при производстве и эксплуатации ледогенераторов // Квашенников В.И., Шахов В.А., Козловцев А.П., Коровин Г.С. М.: Журнал «Механизация и электрификация» 2014 №2 с. 30-32.

63. Квашенников В.И. Энергосберегающий метод охлаждения молочной продукции [Текст]// Г.С. Коровин, В.И. Квашенников, А.П. Козловцев// Известия ОГАУ. – 2013. – № 3. – С. 97 – 99.

64. Квашенников В.И. Терминология при производстве и эксплуатации ледогенераторов [Текст]// Г.С. Коровин В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, В.А. Шахов// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. - № 2. – С. 30 – 32

65. Квашенников В.И. Энергосберегающая технология заготовки естественного льда на молочных фермах [Текст]/ Г.С. Коровин В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, В.А. Шахов // Научное обозрение. – 2015. - № 4. – С. 17 – 22.

66. Киреев В.В. Применение естественного холода для охлаждения пищевых продуктов. На примере варёных колбасных изделий Текст. // В.В. Киреев Вестн. Междунар. акад. холода. 2003. - Вып. 3. - С. 34-37.

67. Кирпичников, В.П. Справочник механика: Общественное питание Текст. / В.П. Кирпичников, Г.Х. Леенсон. М.: Экономика, 1990. - 382 с.

68. Китайцев, В.А. Технология теплоизоляционных материалов Текст. // В.А. Китайцев. М.: Стройиздат, 1970.- 384 с.

69. Клюев Н.И., Бруйка В.А. Математическое моделирование процесса взаимодействия встречных потоков пара и жидкости в тепловых трубах // Вестник Самарского государственного университета. - 2001. -№ 4. - С. 121 - 135.

70. Клюев Н.И., Бруйка В.А. Математическая модель разрушения жидкой пленки в противоточном термосифоне // Известия ВУЗов. Сер. Авиационная техника. 2003. № 1. С. 58 - 61.

71. Ковалев, Ю.Н. Молочное оборудование животноводческих ферм и комплексов // Справочник Ю.Н. Ковалев.- М.: Россельхозиздат, 1987.367 с.

72. Ковалев, Ю.Н. От амфоры до тетрапака. История молочного дела Текст. // Ю.Н. Ковалев. М.: Агропромиздат, 1989. - 204 с.

73. Корбетт Л.К. Ледники Текст. // Л.К. Корбетт.- С.-Петербург, изд. Комитета по холодильному делу, 1912.- 26 с.
74. Краснокутский, Ю.В. Механизация первичной обработки молока Текст. // Ю.В. Краснокутский.- М.: Агропромиздат, 1988. 335 с.
75. Критерий климатического районирования страны в целях использования естественного холода в картофеле и овощехранилищах Текст. // В.З. Жадан [и др.] Холодильная техника. 1986 — № 6. - С. 5-12.
76. Крылов, М.М. Холодильные склады изо льда и мерзлого грунта Текст. // М.М. Крылов. М.: Изд-во АН СССР, 1940. - 78 с.
77. Крылов, М.М. Ледяные изотермические склады Текст. // М.М. Крылов.- М.: АН СССР, 1951.- 88 с.
78. Крылов, М.М. Ледяные склады-холодильники в торговле Текст. // М.М. Крылов, С.Л. Казанский.- М.: Госторгиздат, 1953.- 100 с.
79. Кугенев, П.В. Практикум по молочному делу Текст. // П.В. Кугенев, Н.В. Барабанщиков.- М.: ВО «Агропромиздат», 1988.- 224 с.
80. Кудряшов, Н.Т. Механизация намораживания льда. Обзор Текст. // Н.Т. Кудряшов. М., ЦИНТИПищепром, 1960. - 56 с.
81. Курылев, Е.С. Холодильные установки Текст. // Е.С. Курылев, В.В. Оносовский, Ю.Д. Румянцев. СПб.: Политехника, 1999. - 576 с.
82. Кубулашвили Ш.С. Холодильная техника// Кубулашвили Ш.С., Э.З.Бухтер М.: Колос. – 1993. – с. 543.
83. Лавров В.А. Электротехническая система охлаждения молока на фермах с использованием природного холода // Лавров В.А. М. – 2006. 141 с.
84. Левкович, А.И. Инженерно-геологические изыскания для строительства на вечномерзлых грунтах Текст. // А.И. Левкович.- Л.: Стройиздат, 1974.- 144 с.
85. Левитан М.М., Перельман Т.Л. Основы теории и расчета тепловых труб // Журнал технической физики. - 1974. - т. 64. - № 8. - С. 1569 - 1591.
86. Ледники усовершенствованной конструкции Текст.: информационный листок. Якутск: Якутский ЦНТИ, 2006.- № 85-005-06.- 3 с.

87. Лихтенштейн Э. Л. Получение качественного искусственного льда для спортивных целей. // Холодильная техника 1998, № 10.
88. Маке В. Учебник по холодильной технике Текст. // В. Маке, Г.-Ю Эккерт, Ж.-Л Кошпен. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. - 220 с.
89. Малаханов, В. Ледовый сюрприз Якова Брюса: из истории науки и техники Текст. // В. Малаханов Наука и жизнь.-1992.- № 5.- С.98-100.
90. Малаханов, В. Ледник соперник холодильника: из истории науки и техники Текст. // В.Малаханов Наука и жизнь. - 1992 - № 5.- С. 101-102.
91. Мальгина, Е.В. Холодильные машины и установки Текст. // Е.В. Мальгина, Ю.В. Мальгин. М.: «Пищевая промышленность», 1973.- 608 с.
92. Мальнев В.П. Электрифицированная система охлаждения молока с использованием естественного холода для хозяйств Центральной зоны России. Текст // Мальнев В.П. М. – 2004. – 139 с.
93. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов // С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – Л.: Колос, 1972. – 200 с.
94. Миронов, Н.Г. Строительство и эксплуатация подземных холодильников. Север и Северо-Восток Советского Союза Текст. // Н.Г. Миронов.- М.: «Наука», 1967.- 71 с.
95. 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.
96. Методика определения экономической эффективности технологии и сельскохозяйственной техники. Часть 1 // Под рук. к.т.н. А.В. Шпилько. – М.: ГП УСЗ Минсельхозпрода России, 1998. – 219 с.
- 97 Методика определения экономической эффективности технологии и сельскохозяйственной техники. Часть 2. нормативно – справочный материал // Под рук. к.т.н. А.В. Шпилько. – М.:РИЦ ГОСНТИИ, 1998. – 252 с.

98. Москвин Ю.В., Филиппов Ю.Н. Тепловые трубы // Теплофизика высоких температур. - 1969. - т. 7. - № 4. - С. 766 - 775.
99. Недужий, И.А. Техническая термодинамика и теплопередача Текст.: учеб. пособие для студентов // И.А. Недужий, А.Н. Алабовский.- Киев: «Вища школа», 1978.- 224 с.
100. Носов, М.С. Механизация работ на животноводческих фермах // М.С. Носов, Н.Н. Оранский, В.А. Перфилов. – М.: Профтехиздат, 1963. – 400 с.
101. Опыт охлаждения молока на фермах Текст // Тематическая подборка. Якутск: Якутский ЦНТИ, 1988. №682-88. - 57 с.
102. 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.- 2 с.
103. 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.-2 с.
104. Плис, А.И. MathCAD 2000. Математический практикум для экономистов и инженеров: Учеб. Пособие // А.И. Плис, Н.А. Сливина. - М.: Финансы и статистика, 2000.- 656с.
105. Повышение качества молока на фермах и комплексах Текст // тематическая подборка. Якутск, Якутский ЦНТИ, 1989. - № 1363-89. — 50 с.
106. Попченко, С.Н. Справочник по гидроизоляции сооружений Текст. // С.Н. Попченко. Л.: Стройиздат, 1975. - 232 с.
107. Постольски, Я. Замораживание пищевых продуктов Текст. //Я. Постольски, З. Груда. М.: Пищевая промышленность, 1978. - 606 с.
108. Применение холода для хранения сельскохозяйственных продуктов Текст. // общ. ред. Д.Г. Рютова, ВНИХИ. М.: изд. сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1963. - 54 с.

109. Применение холода в пищевой промышленности Текст // Справочник. М.: «Пищевая промышленность», 1979.- 272 с.
110. Прокопенко, Г.В. Генераторы ледяной воды Текст. // Г.В. Прокопенко Молочная промышленность. -2010.- № 8.- С.21.
111. Прудовская, О.А. Современные решения в системах охлаждения молока Текст. // О.А. Прудовская, С.М. Семенчук Молочная промышленность. -2010.- № 8.- С.8-9.
112. Рекомендации по проектированию холодильных установок пищевых производств малых объёмов Текст. // под ред. проф. Л.С. Тимофеевского.-Санкт-Петербург-Владивосток: Международная академия холода, 1996. 95 с.
113. Рекомендации по строительству, реконструкции и эксплуатации подземных холодильников в Якутской АССР Текст. // отв. редактор В.Ю. Изаксон.- Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1982.- 50 с.
114. Рубцов, П.А. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве // П.А. Рубцов, С.П. Бондаренко, К.П. Савинков. – М.: Колос, 1964, 527 с.
115. Румянцева Ю.Д. Холодильная техника // Румянцева Ю.Д., Калюнов В.С./ СПб.: Профессия. – 2005. – с. 360.
116. Руцкий, А.В. Холодильная технология обработки и хранения продовольственных продуктов Текст. // А.В. Руцкий.- Минск: Вышэйшая школа, 1991.- 160 с.
117. Рыжов, С.В. Комплекты оборудования для животноводства Текст // Справочник. С.В. Рыжов. М.: Агропромиздат, 1986. - 352 с.
118. Сабликов, М.В. Механизация сельского хозяйства // М.В. Сабликов, А.И. Корнев, В.А. Рожнецев. – М.: Колос, 1980. – 319 с.
119. Саввинов, Д.Д. Гидротермический режим почв в зоне многолетней мерзлоты Текст // Д.Д. Саввинов.- Новосибирск: «Наука», 1976.- 254 с.

120. Савченков Г.А., Кунаков В.Г. Исследование кризиса теплопереноса в низкотемпературных испарительных термосифонах // Инженерно-физический журнал. - 1979. - т. 37. - № 2. - С. 214 - 221.
121. Сельскохозяйственные здания и сооружения Текст. // Д.Н. Топчий и др. М.: ВО «Агропромиздат», 1985. - 480 с.
122. Семена М.Г. Максимальная теплопередающая способность вертикальных двухфазных термосифонов // Инженерно-физический журнал. - 1978. - т. 35. -№ 3. - С. 397-403.
123. Семена М.Г., Жук С.К. Исследование процессов гидродинамики фаз в бесфитильных тепловых трубах на воде // Теплоэнергетика. -1976. -№ 3. -С. 82-84.
124. Справочник по общестроительным работам. Земляные работы Текст // А.П. Дегтярев [и др.]. М.: Стройиздат, 1975. - 263 с.
125. Справочник по сельскохозяйственному строительству Текст // Автор-сост. Н.В. Крылов. М.: Гос. изд. сельскохозяйств-й литературы, 1960.704 с.
126. Справочник сельского строителя Текст. // А.Д. Терновский и др. Т. 2. М.: Стройиздат, 1975. - 349 с.
127. Стратегия машинно-технологического обеспечения производства продукции животноводства на период до 2010 года. // М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2003.
128. Стрингер, М. Охлажденные и замороженные продукты Текст. // М. Стрингер, К. Деннис -СПб., Профессия, 2004. 496 с.
129. Тихонов А. П., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977.
130. Телегин А.С. Тепло – массоперенос // Телегин А.С., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г. М.: Metallurgia. – 1995. – с. 400.
131. Тепловые трубы для систем термостабилизации // Под ред. И.Г. Шекриладзе. М.: Энергоатомиздат, 1991. - 176 с.

132. Техническая термодинамика с основами теплопередачи и гидравлики Текст.: учеб. пособие для учащихся техникумов по специальности «Холодильно-компрессорные машины и установки» // Н.Г. Лашутина и др. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. 336 с.
133. Тимошенко, А.Т. Теплоустойчивость многослойных ограждающих конструкций зданий Текст. // А.Т. Тимошенко, С.С. Ефимов, Г.Г. Попов.- Якутск, ЯНЦ СО АН СССР, 1990.- 176 с.
134. Усаковский, В.М. Возобновляющиеся источники энергии Текст // В.М. Усаковский.- М.: Россельхозиздат, 1986. 126 с.
135. Устройство для охлаждения молока Текст.: 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:
136. Файко, Л.И. Использование льда и ледовых явлений в народном хозяйстве: Геофизический аспект Текст. // Л.И. Файко. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1986. - 156 с.
137. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов Текст // под ред. Э.И. Каухчешвили. М.: Агропромиздат., 1985. - 142 с.
138. Физический энциклопедический словарь Текст. // под ред. А.М. Прохорова. М.:БСЭ, 1995. - 928 с.
139. Фюрер, Н.О. Ледяное и льдосоляное охлаждение Текст. // Н.О. Фюрер.- М.: Госэнергоиздат, 1933.- 45 с.
140. Хазанов Е.Е. Технология и механизация молочного животноводства/ Хазанов Е.Е., Гордеев В.В., Хазанов В.Е.// СПб.: Лань. – 2010. – с. 352.
141. Хилькевич, С.С. Физика вокруг нас. М.: Наука; 1985. – 247 с.
142. Холодильная техника Текст // Энциклопедический справочник, в 3-х т.- М.: Госторгиздат, 1960.- 1506 с.

143. Холодильная техника и технологии Текст.: учебник // Большаков С.А. и др. под ред. Руцкого А.В. М.: Инфра-М, 2000. - 285 с.
144. Холодильник-аккумулятор зимнего холода Текст // пат. 2201565 Рос. Федерация: МПК F 25 Д 3/02 / 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.
145. Холодильные установки Текст // под ред. И.Г. Чумака. М.: Агропромиздат, 1991. - 495 с.
146. Цуранов, О.А. Холодильная техника и технология Текст. // О.А. Цуранов, А.Г. Крысин; под ред. проф. В.А. Гуляева.- СПб.: Лидер, 2004.- 448 с.
147. Чи С. Тепловые трубы. Теория и практика. // М.: Машиностроение, 1981.-207 С.
148. Чижов, Г.Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов Текст. // Г.Б. Чижов. М.: Пищевая промышленность, 1979.-272 с.
149. Чуклин С Т . , Парцхаладзе Э. Г. Намораживание льда на плоской стенке в воде переменной температуры. Холодильная техника и технология. Киев. Респ. межвед. науч.-техн. сб., вып. 5, 1970.
150. Швыдкий В.С. Элементы теории систем и численные методы моделирования процессов тепломассопереноса // Телегин А.С., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г., Спирин Н.А., Ладыгичев М.Г. М.: Интермент инжиниринг. – 1999. – 520 с.
151. Юшков П. П., Ржевская В. Б. Намораживание слоя льда заданной толщины при натекании жидкости на охлажденную цилиндрическую поверхность. // ИФЖ. 1974. т. 27, № 4.
152. Dainty, R.H. Chemical/biochemical detection of spoilage Текст. / R.H. Dainty // International Journal of Food Microbiology. 1996. - № 33. - p. 19-34.
153. Freezing process improves food quality Текст. // J. Food Eng. Int. - 1990.-V. 15.-№2.-P. 60.

154. Lapadula C , Mueller W. K. Heat conduction with solidification and a convective boundary conduction at the freezing front // Int. J. Heat and Mass Transfer 1966, Vol. 9, №7.

Приложения

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.

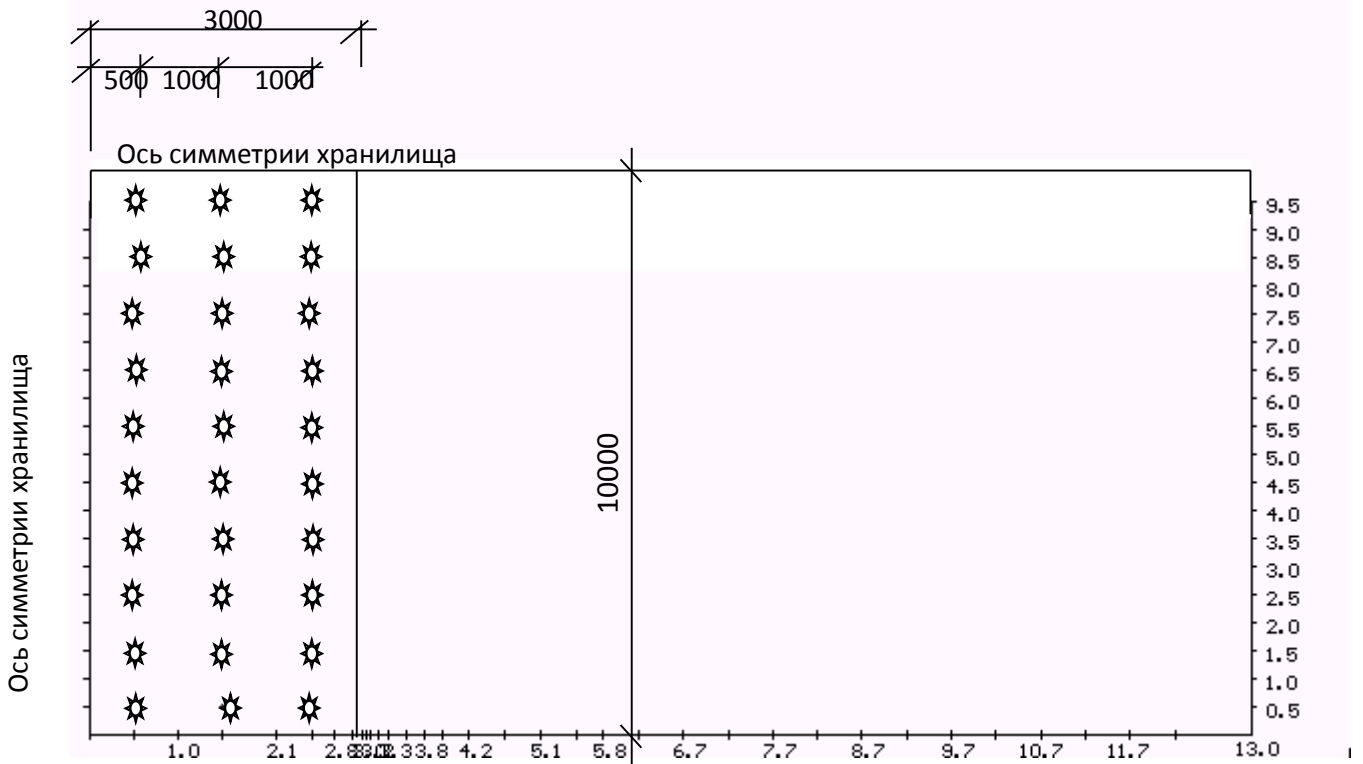


Рисунок 1 - Расчетная область в плане.

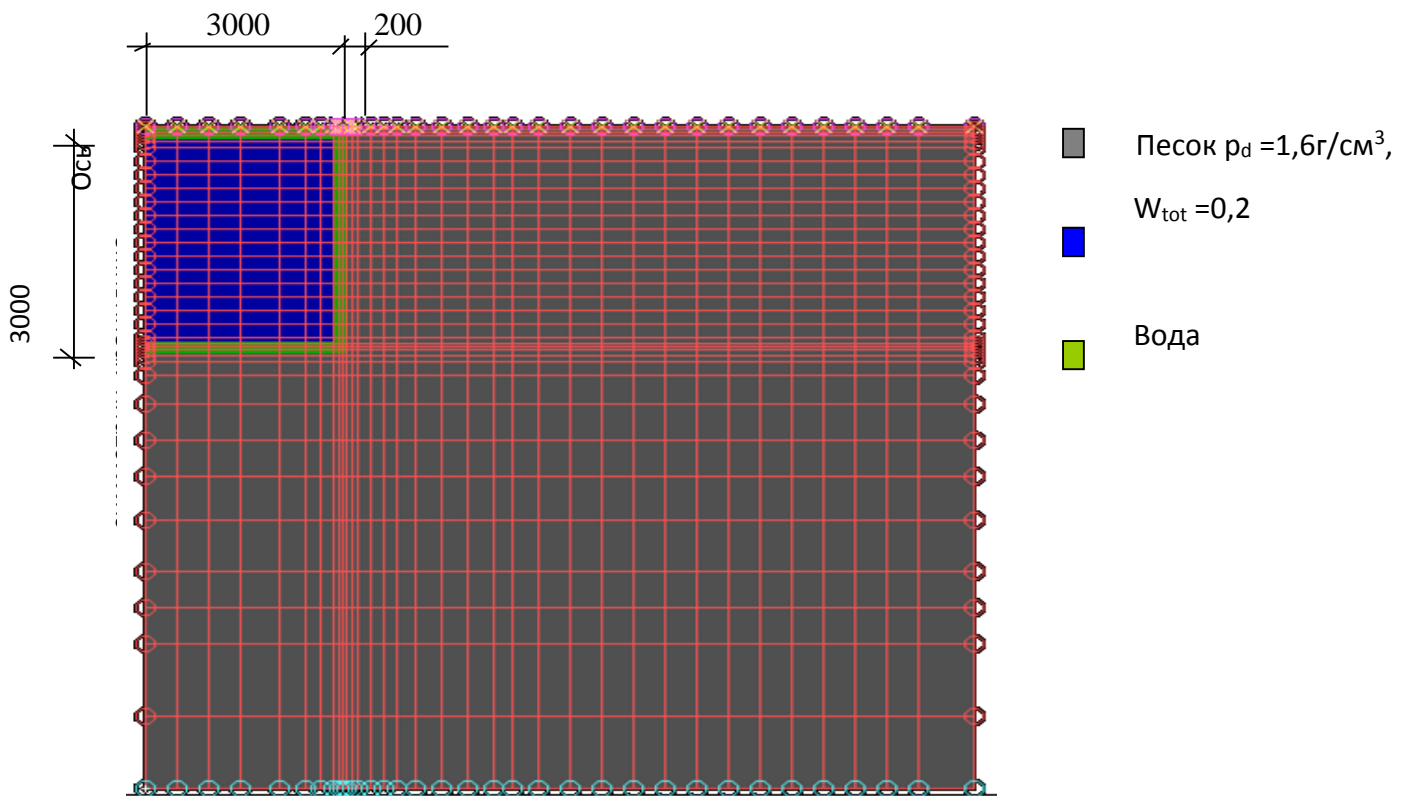


Рисунок 2 - Расчетная область.

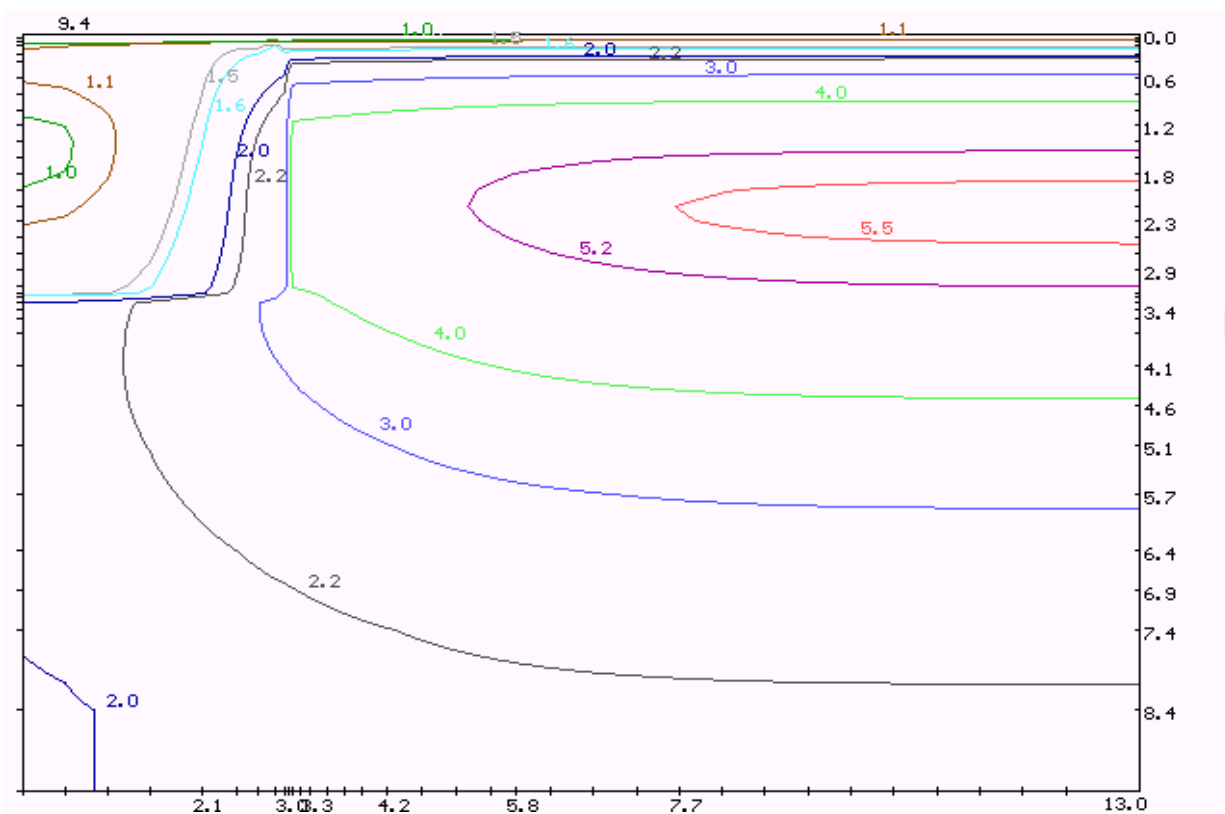


Рисунок 3 - Температурное поле перед началом работы термостабилизаторов (30 октября).

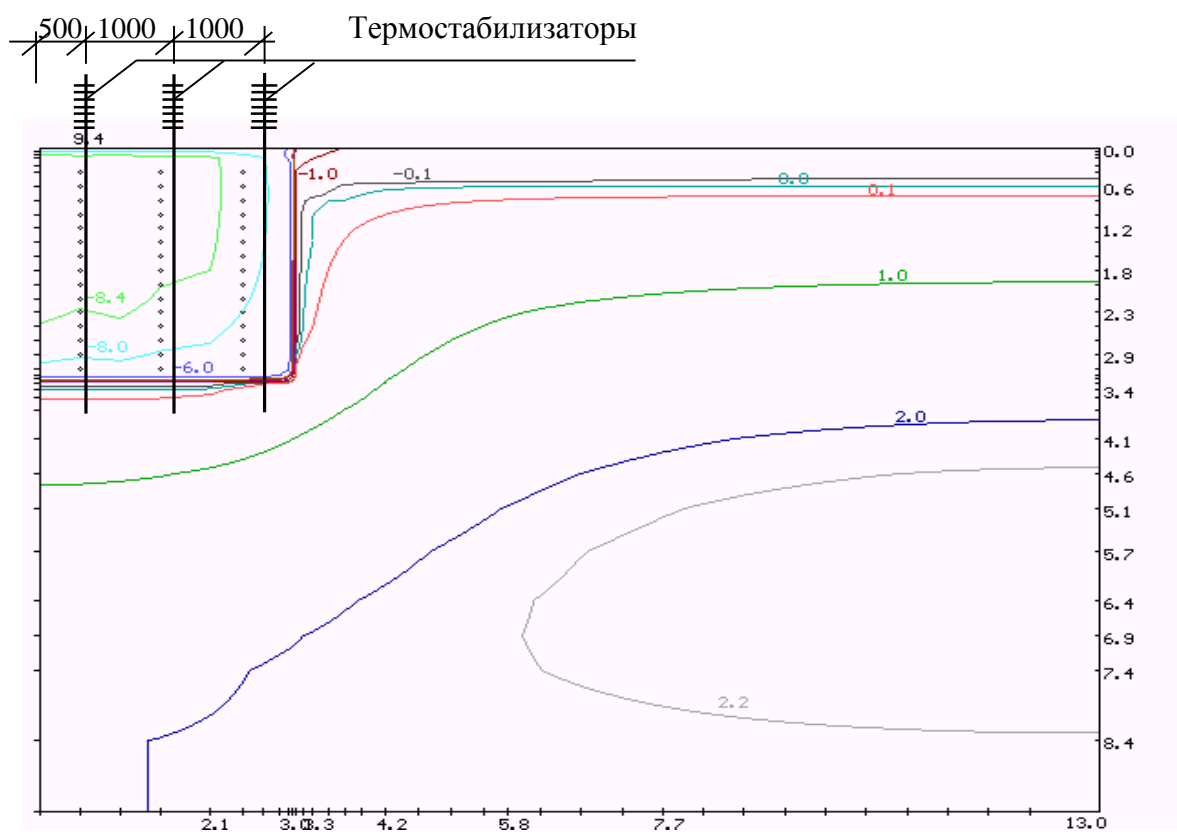


Рисунок 4 - Температурное поле на конец первой зимы работы ТК (15 марта).

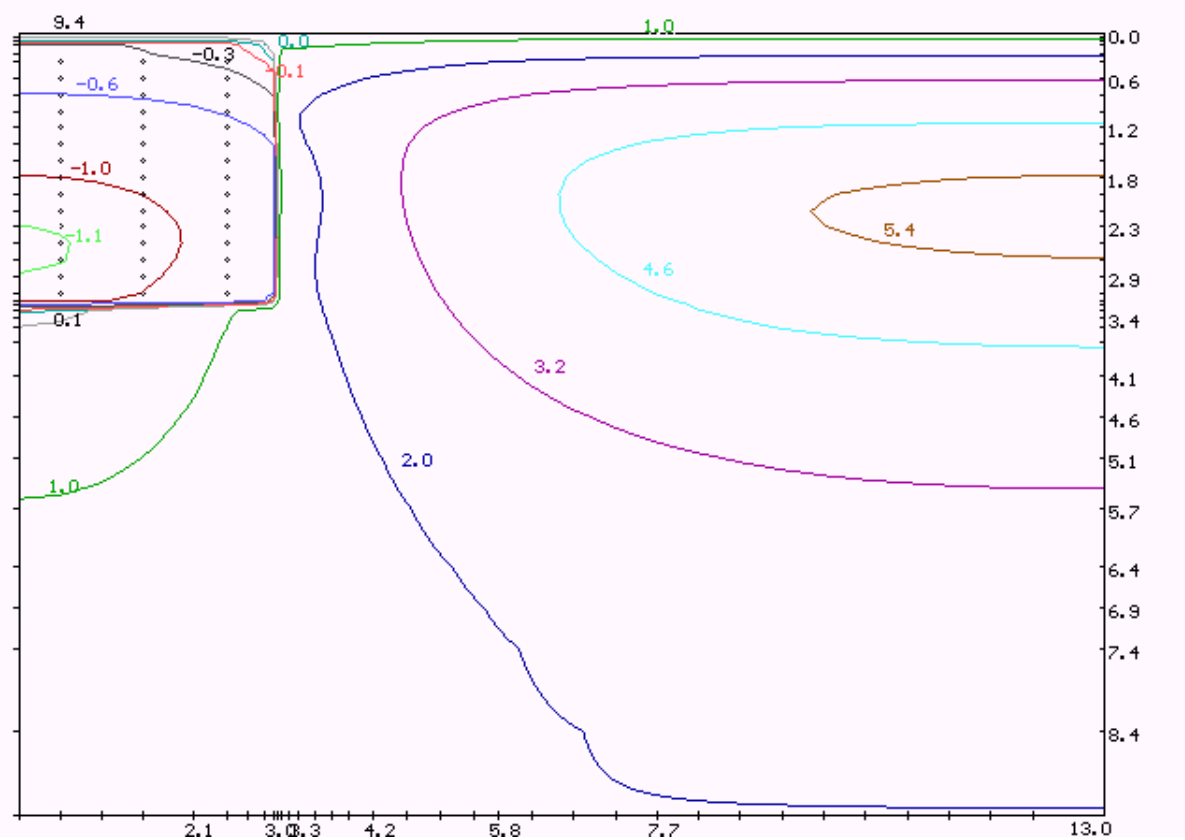


Рисунок 5 - Температурное поле на конец первого лета (30 октября).

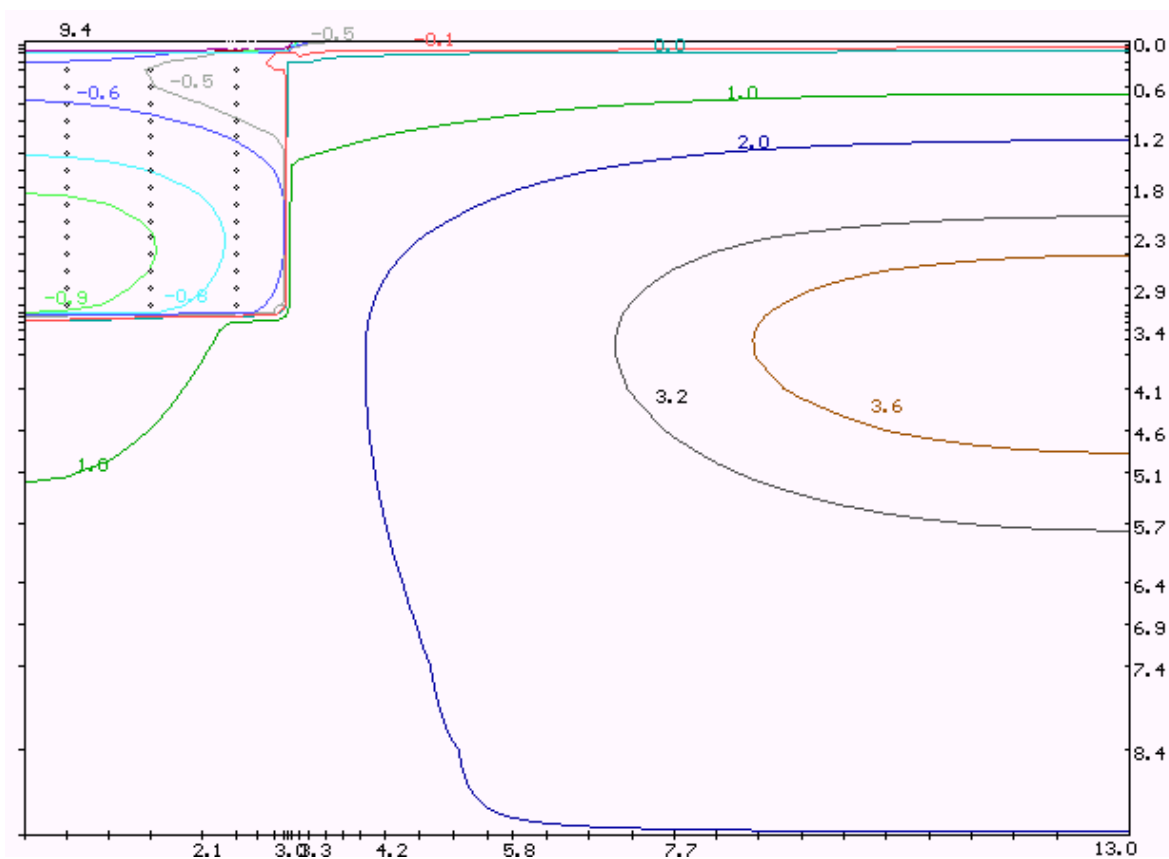


Рисунок 6 - Температурное поле на 1 декабря

«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:

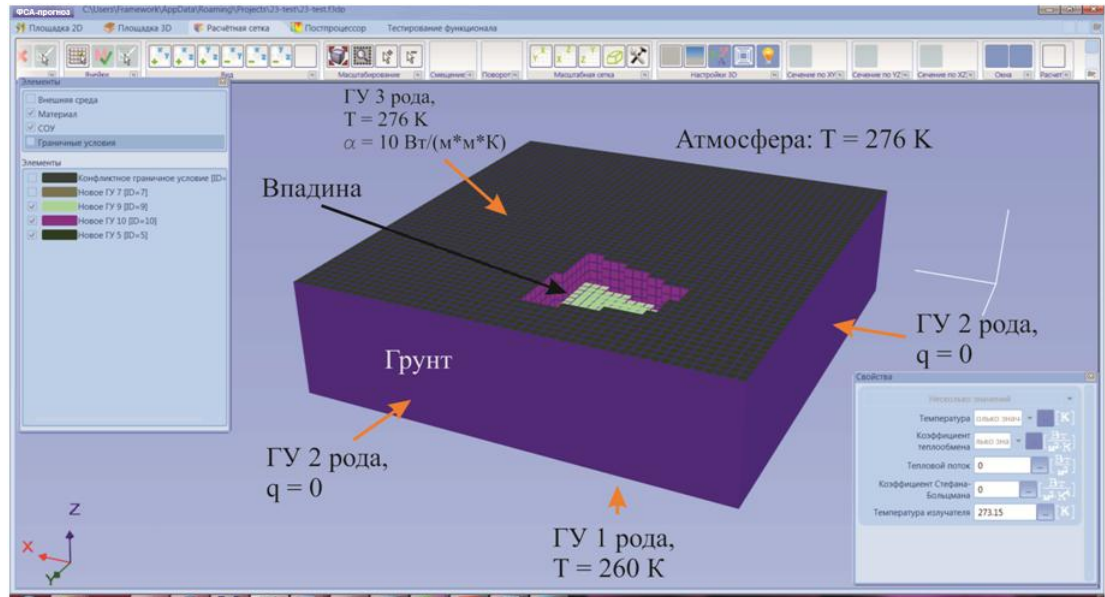
- создание трехмерной расчетной области с учетом рельефа местности и строения грунтов;
- учет содержания незамерзшей воды в грунте и фазового перехода вода-лед;

- 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 вечномерзлых пород в основании зданий и сооружений с учетом изменения множества факторов, таких как техногенное воздействие, изменение климата и условий эксплуатации.

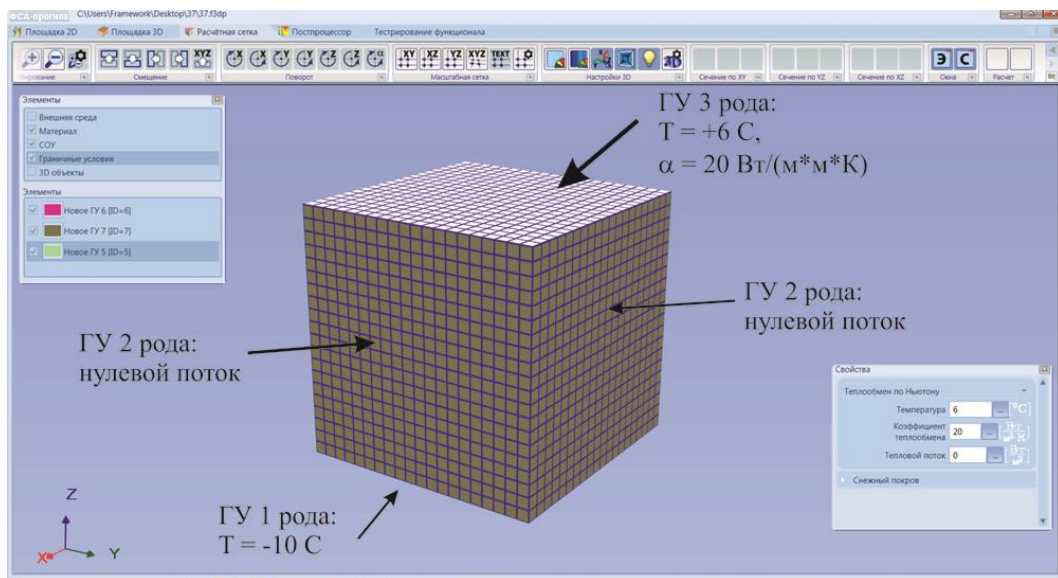
Техническая информация о программе «ФСА-прогноз»

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.



Задание граничных условий в программе «ФСА-прогноз»

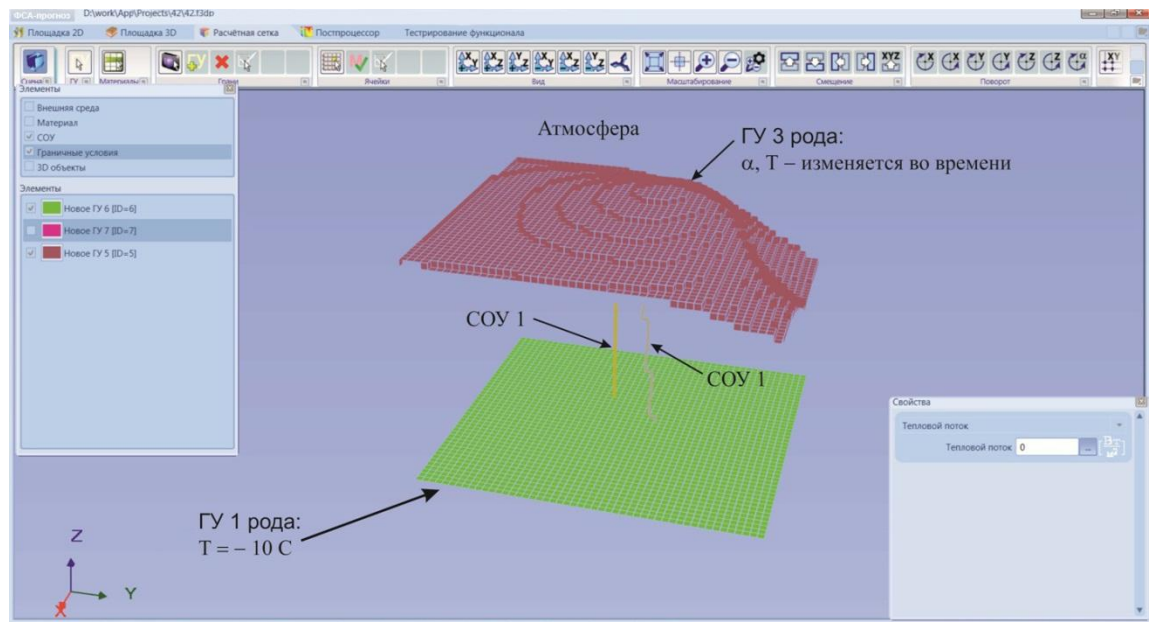
За верхнюю границу области моделирования, как правило, принимают поверхность земли, а нижнюю границу располагают на достаточно большой глубине, чтобы минимизировать её влияние на тепловые процессы в интересующей проектировщика области.



Граничные условия

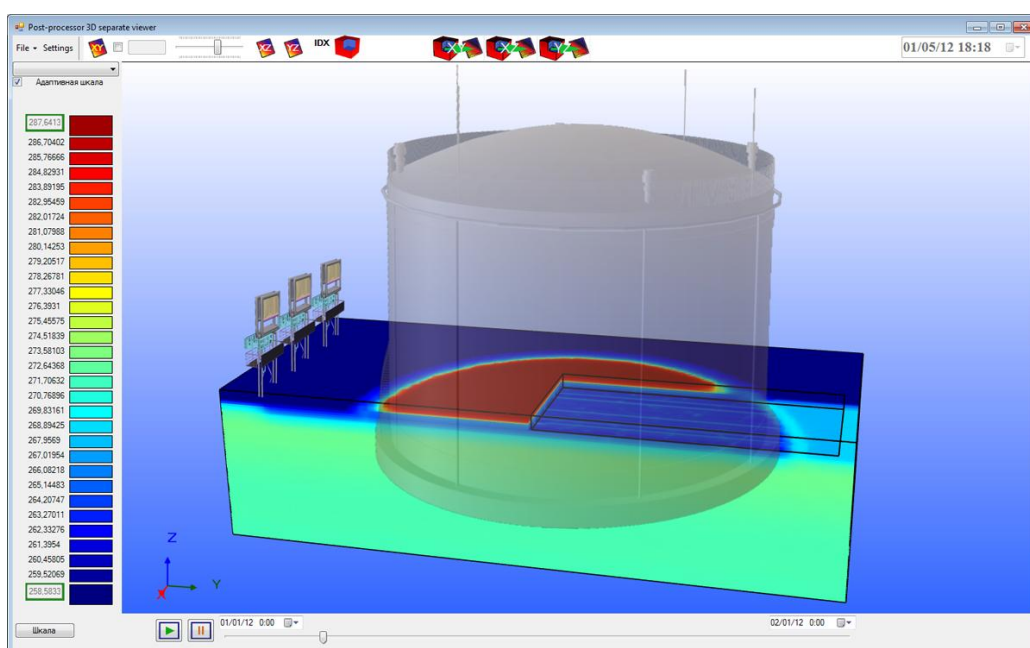
На верхней границе области моделирования задаются условия теплообмена с окружающей средой, которые определяются температурой воздуха и коэффициентом теплообмена. При наличии источников теплового излучения, например, факела сжигания попутного газа, дополнительно задается температура источника излучения 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.



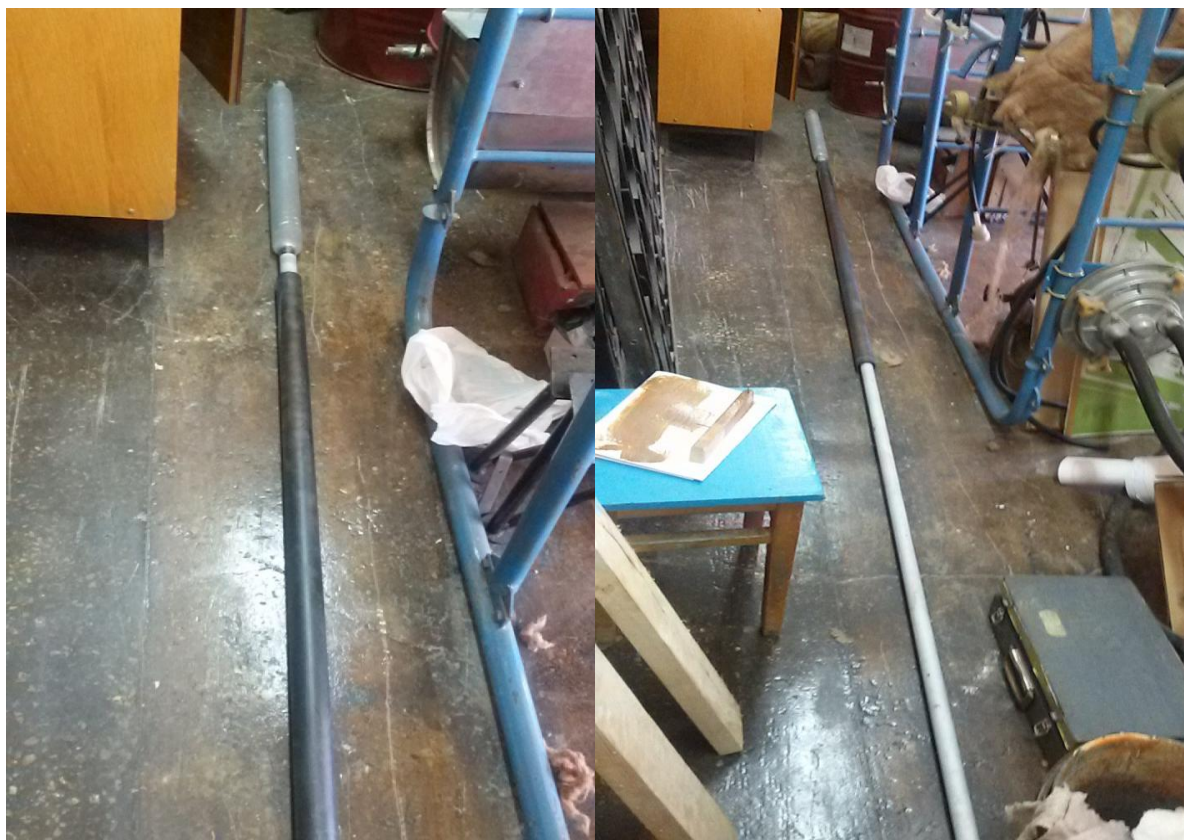
Результаты расчета в программе «ФСА-прогноз»

Проведение замеров по толщине ледяного слоя и однородности льда при
последнем намораживании





Проведение лабораторных исследований по холодопроизводительности термосифона



Общий вид исследуемого термосифона.





Общий вид лабораторной установки.

Значения критерия Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$

<i>f</i>	<i>t</i>	<i>f</i>	<i>t</i>	<i>f</i>	<i>t</i>	<i>f</i>	<i>t</i>
1	12,71	9	2,26	17	2,11	25	2,06
2	4,30	10	2,23	18	2,10	26	2,06
3	3,18	11	2,20	19	2,09	27	2,05
4	2,78	12	2,18	20	2,09	28	2,05
5	2,57	13	2,16	21	2,08	29	2,05
6	2,45	14	2,14	22	2,07	30	2,04
7	2,37	15	2,13	23	2,07	40	2,02
8	2,30	16	2,12	24	2,06	60	2,00

Значения критерия Кохрена при доверительной вероятности $P = 0,95$

N	$f = k - 1$			
	1	2	3	4
2	0,999	0,998	0,939	0,906
3	0,967	0,871	0,798	0,746
4	0,907	0,768	0,684	0,628
5	0,841	0,684	0,598	0,544
6	0,781	0,616	0,532	0,480
7	0,727	0,561	0,480	0,431
8	0,680	0,516	0,438	0,391
9	0,639	0,478	0,403	0,358
10	0,602	0,445	0,373	0,331
12	0,541	0,392	0,326	0,288
15	0,471	0,335	0,276	0,242
20	0,389	0,271	0,221	0,191

Таблица значений критерия Фишера (F критерия)

	<i>f₁</i>										
<i>f₂</i>	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



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.

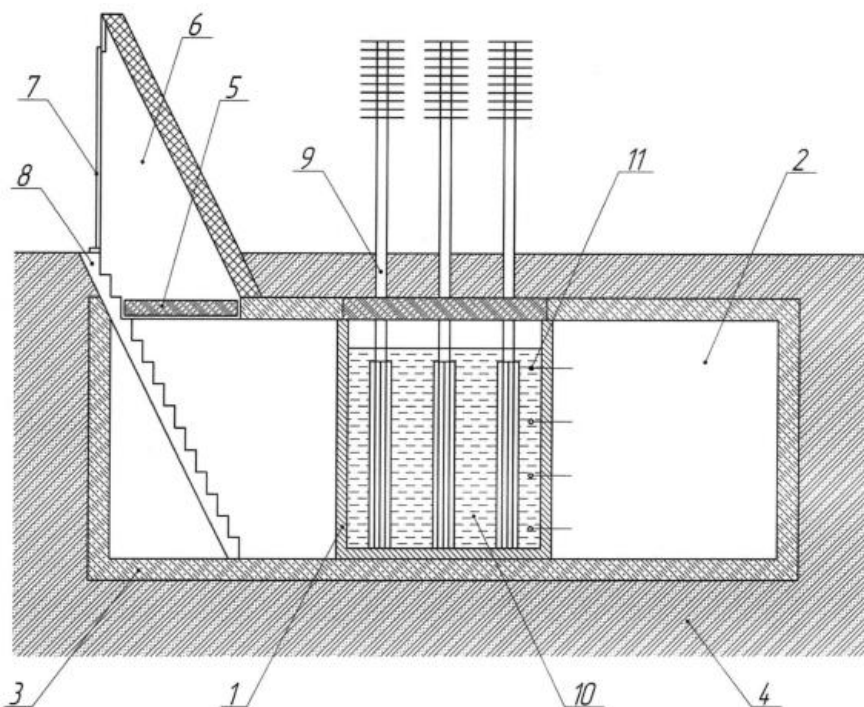
Недостатком данного хранилища для пищевых продуктов с аккумулярованием холода являются малая площадь контакта емкости с жидкостью для аккумулярования холода, отсутствие контроля температурного режима и состояния льда в емкости для аккумулярования холода.

Задача изобретения - увеличение площади контакта емкости для аккумуляции холода и контроль состояния льда.

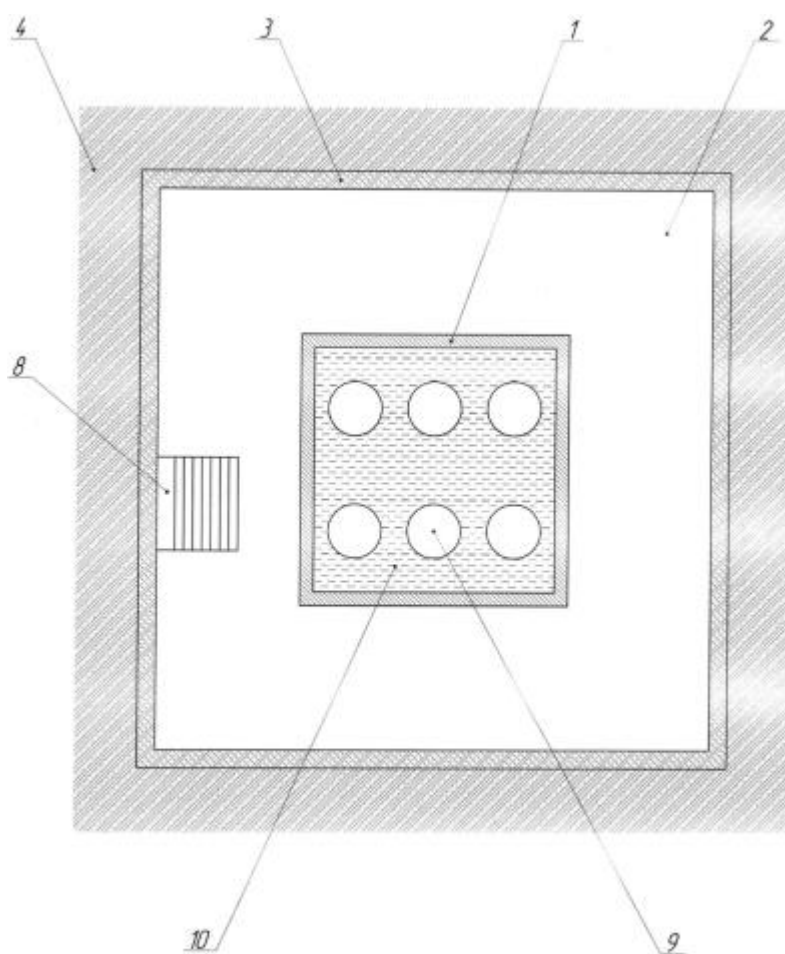
Технический результат достигается за счет того, что емкость для аккумуляции холода располагается внутри в центральной части воздушной холодильной камеры, увеличивая тем самым площадь теплопередачи и сокращая время охлаждения продуктов. Емкость для аккумуляции холода выполнена из теплопроводящего материала 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,

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 толщине 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.

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. Ивлиев



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 2 568 753 C1

RU 2 568 753 C1

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.

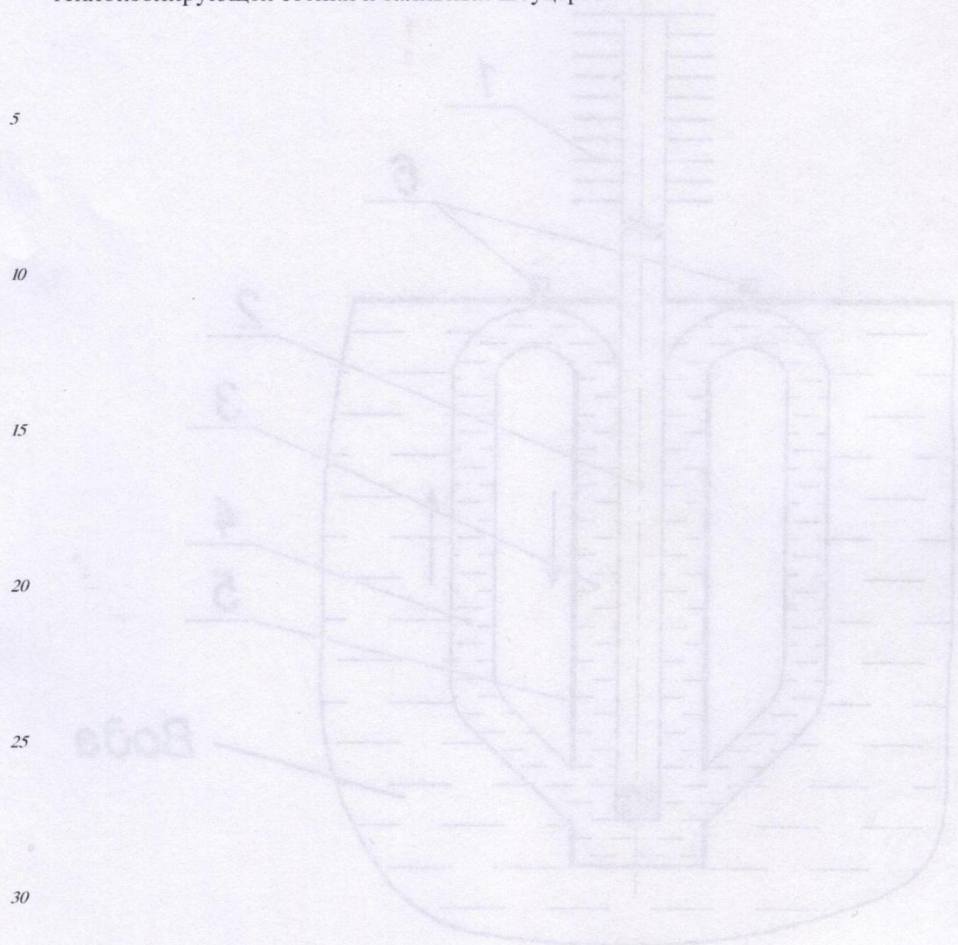
Внутри термосифона закачивают хладагент (фреон, аммиак, углекислоту), температура кипения которого варьирует от -5°C до -30°C в зависимости от давления. 30 Термосифон испарительной частью 2, с закрепленной на ней термонасадкой длиной 5...10 м, помещается в бассейн аналогичной глубины. При температуре окружающего воздуха ниже -5°C он начинает функционировать. Хладагент в испарителе 2, окруженном незамерзающей жидкостью с температурой -5 , -15°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

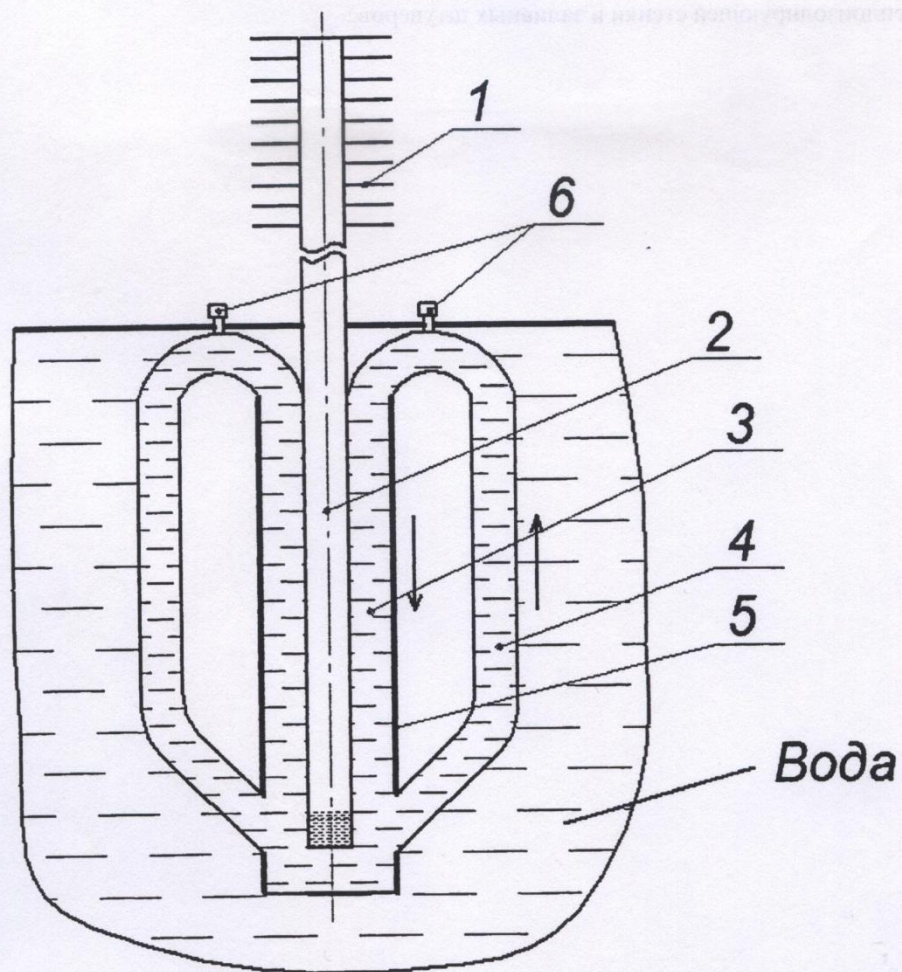
Термосифон для замораживания воды с термонасадкой, содержащий испаритель, конденсатор, ребра конденсатора, отличающийся тем, что испаритель термосифона оснащен термонасадкой, состоящей из центральной трубы, периферийных труб,

RU 2 568 753 C1

теплоизолирующей стенки и заливных штуцеров.



RU 2 568 753 C1





ДИПЛОМ

победителя областной выставки
научно-технического творчества молодежи
«НТТМ-2013»
награждается

Коровин Григорий Сергеевич

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет»

за проект

«Система охлаждения молока ледяной водой из бассейна»

Руководитель: Квашенников Василий Иванович

Министр образования
Оренбургской области



Г. Оренбург
2013 г.

В.А. ЛАБУЗОВ









РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014617152

Физический оладатель.

Приниматель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)

Авторы: Козловцев Андрей Петрович (RU), Кошенинников Василий Иванович (RU), Шахов Владимир Александрович (RU), Салдамов Виктор Геннадьевич (RU), Королев Григорий Сергеевич (RU)

Заявка № 2014614800

Дата поступления 22 мая 2014 г.

Дата государственной регистрации

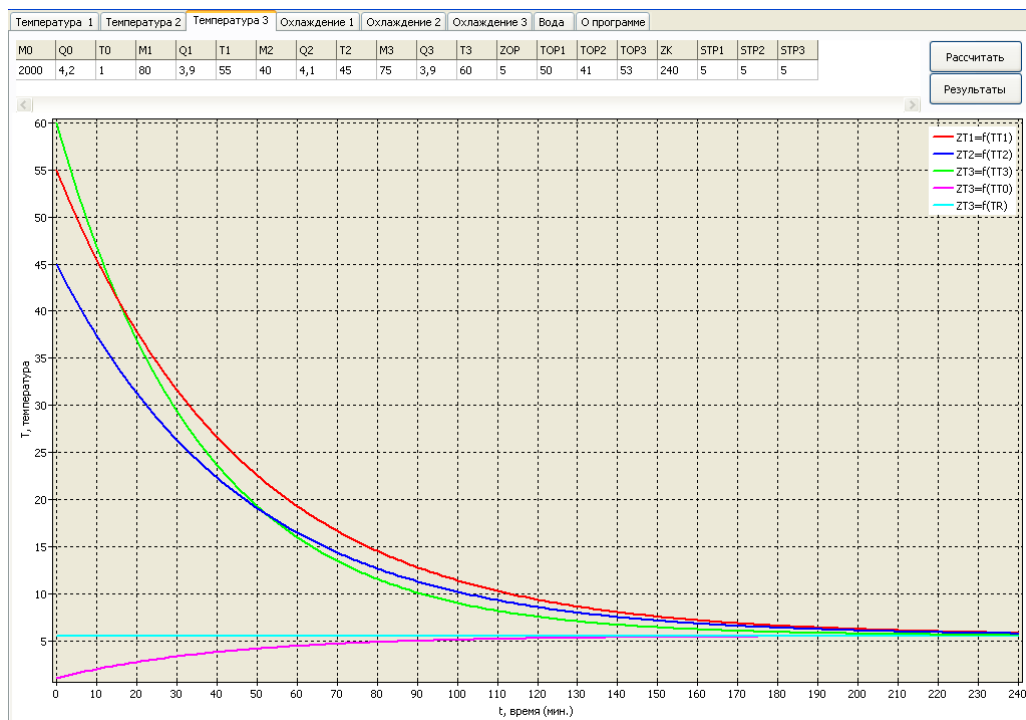
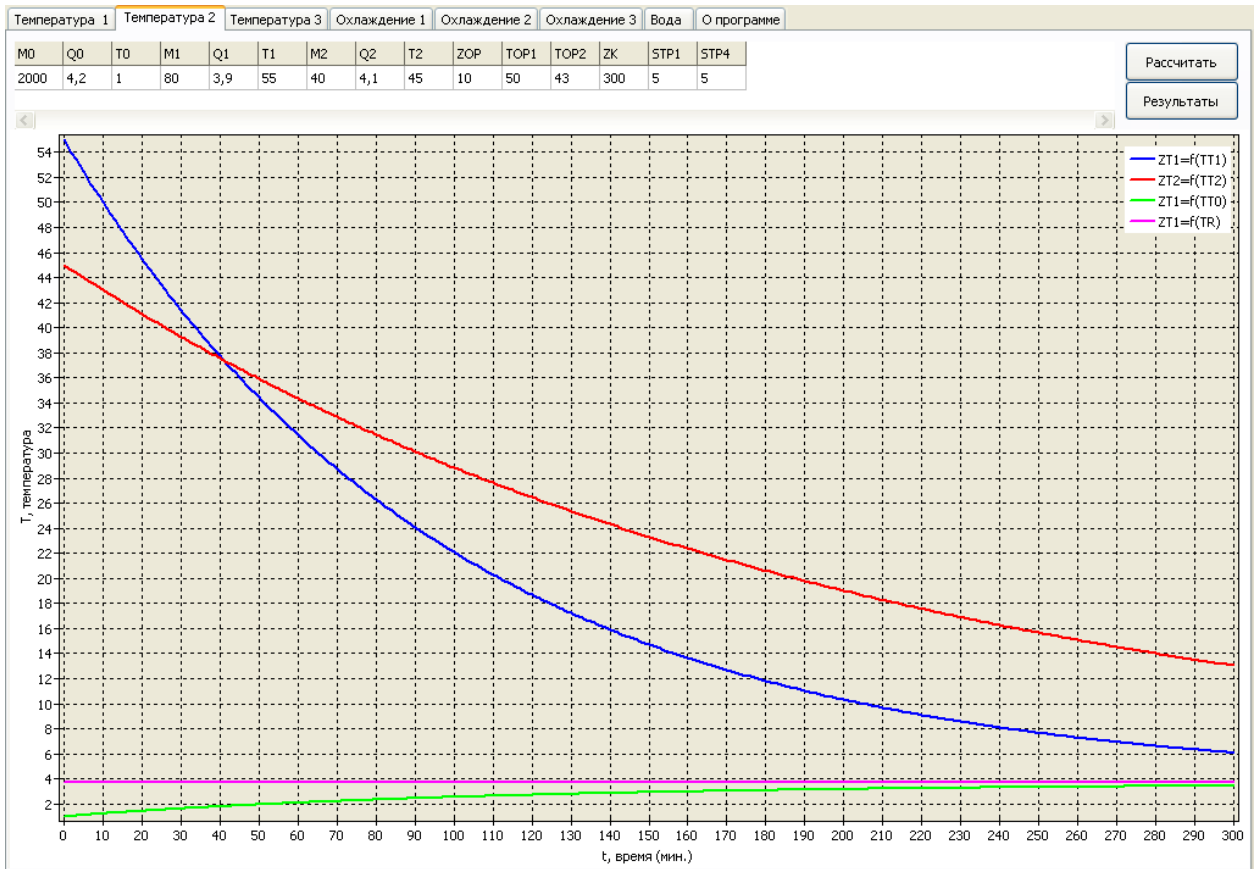
в Реестре программы для ЭВМ 14 июля 2014 г.



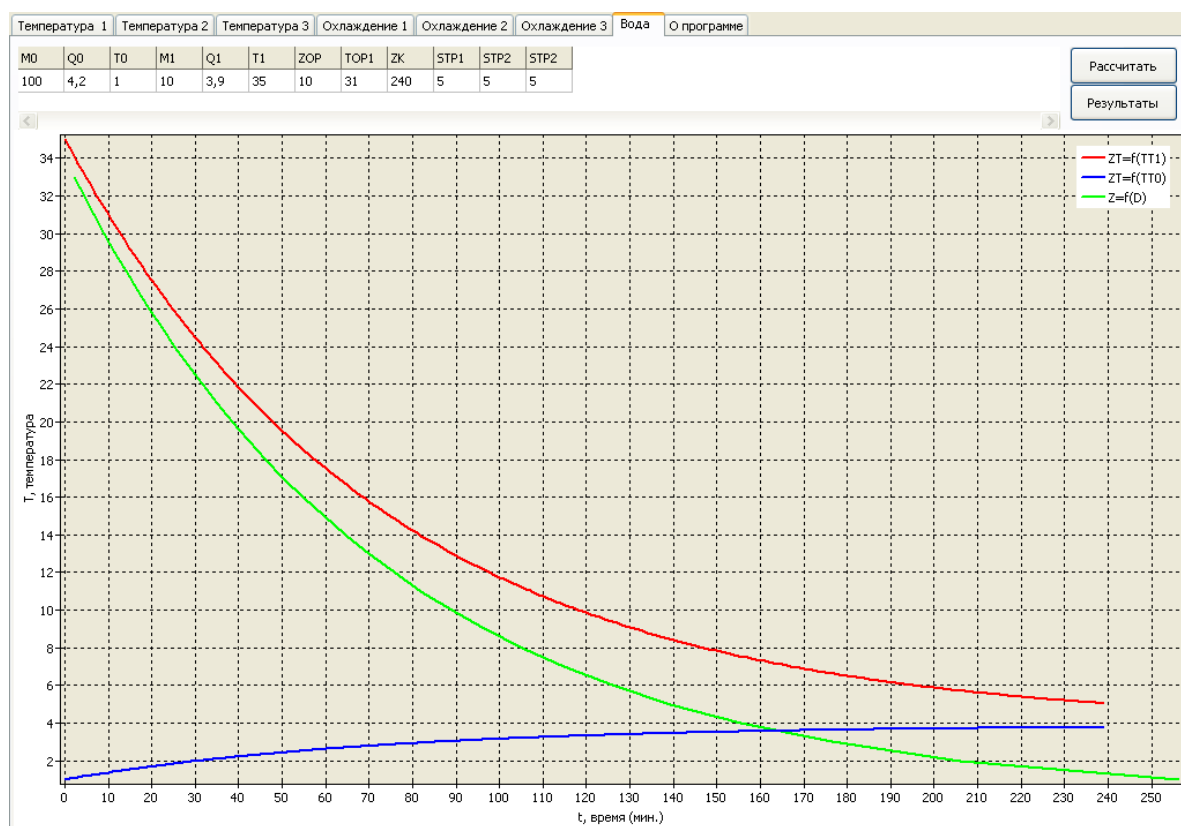
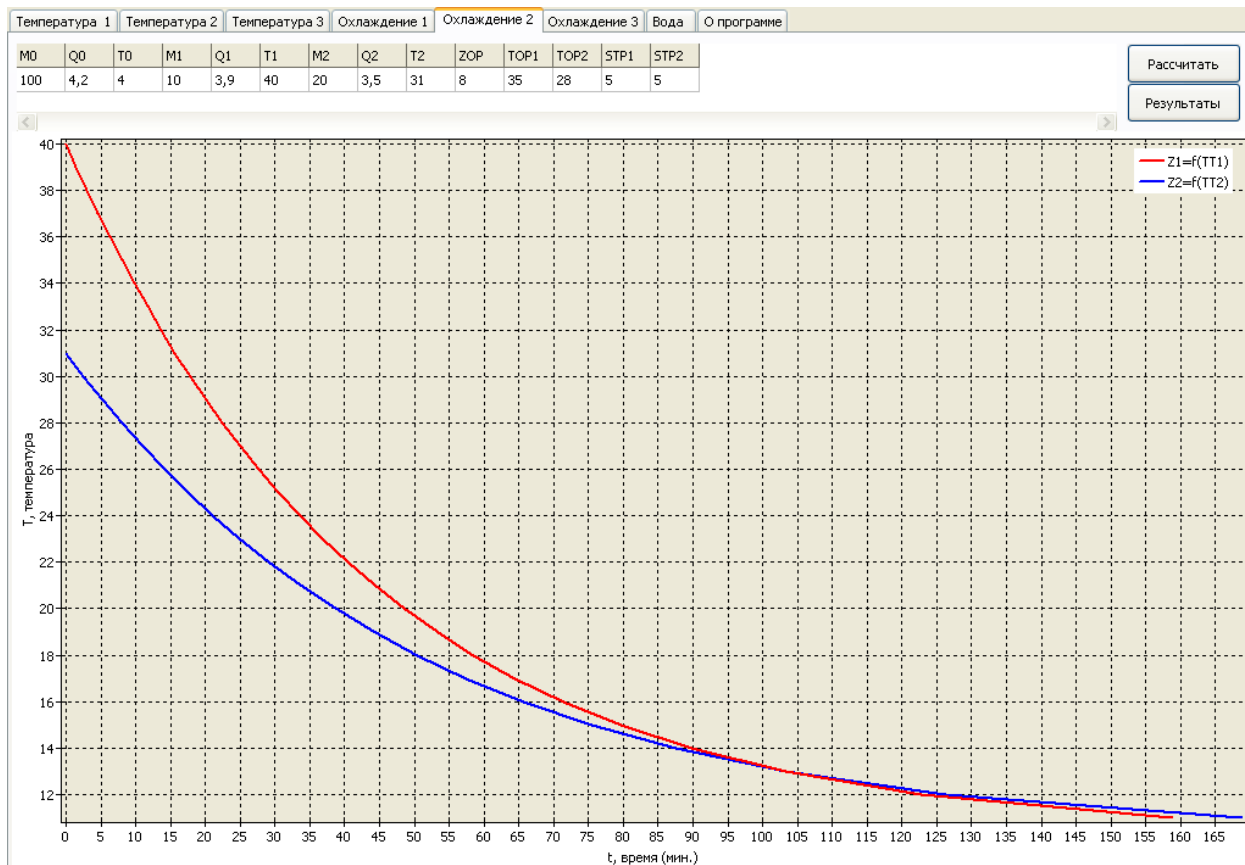
Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Сидоров

Экранные формы



Продолжение приложения О



СОГЛАСОВАНО
Проректор университета по
научной работе
« 11 » _____ 2015



УТВЕРЖДАЮ
Председатель ООО
«Пилогинский АПК»
« 11 » _____ 2015

Акт внедрения

результатов научно – исследовательских, опытно – конструкторских и
технологических работ в высших учебных заведениях

Заказчик ООО «Пилогинский АПК», Бугурусланского района, Оренбургской области

Председатель _____
(наименование организации)
Будилько Д.А.
(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, ИНИ)

выполненной в 2012 – 2015 г.
(указать дату выполнения)

Внедрены в ООО «Пилогинский АПК», Бугурусланского района,
(наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

Оренбургской области

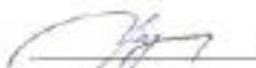

1. Вид внедренных результатов эксплуатация системы охлаждения молока с помощью естественного холода.
2. Характеристика масштаба внедрения _____ единичное _____
(уникальное, единичное, партий, массовое, серийное)
3. Новизна результатов научно - исследовательских работ качественно новые
(новые, качественно новые, модификации, модификация старых разработок)
4. Опытно – промышленная проверка акт хозяйственных испытаний
(указать номер и дату испытаний)

системы охлаждения молока
в ООО «Пилогинский АПК» декабрь – май 2014-2015г.

Продолжение приложения П

Члены комиссии:
от ВУЗа

Д.т.н., профессор
инженер

 /Козловцев А.П./
 /Коровин Г.С./

от предприятия
Председатель ООО «Пилюгинский АПК»
Главный инженер



 /Тюмина А.Б./
 /Тюмина М.С./



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.