

*На правах рукописи*

**Коровин Григорий Сергеевич**

**Разработка и обоснование водооборотного льдоаккумулятора для  
молочно-товарных ферм**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Оренбург, 2015

Работа выполнена в кафедре «Механизация технологических процессов в АПК» ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»

Научный руководитель: А.П. Козловцев,  
кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный  
аграрный университет»

Официальные оппоненты: Гнездилова Анна Ивановна,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Вологодская государственная  
молочнохозяйственная академия»

Герасимова Ольга Александровна,  
кандидат технических наук,  
ФГБОУ ВПО «Великолукская  
государственная сельскохозяйственная  
академия»

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный  
университет»

Защита состоится 26 февраля 2016 г. в 12<sup>00</sup> часов, в 218 аудитории инженерного факультета, на заседании диссертационного совета по защите диссертаций Д 220.051.02 при ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет» по адресу: 460014, г. Оренбург, ул. Коваленко, д. 4 (корпус №3, инженерный факультет).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Оренбургского государственного аграрного университета. Объявление о защите и автореферат размещены на сайте ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет» <http://www.orensau.ru>

Автореферат разослан 201 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

В. А. Шахов

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность работы.** Состояние молочно-товарного комплекса РФ за последние годы характеризуется сложившейся и продолжающейся усугубляться тенденцией спада производства молока и снижения численности поголовья коров. Увеличение производства молока в связи с импортозамещением, снижение энергетических затрат на производство и первичную обработку – одни из главных задач сегодняшнего времени для российских животноводов.

В настоящее время охлаждение молока на фермах и комплексах осуществляется за счет холода машинной выработки, естественный же лед – самый лучший аккумулятор природного холода - не применяется в связи с трудоемкостью и дороговизной заготовки и использования. В связи с этим перспективными направлениями совершенствования систем охлаждения молока являются разработки новых систем для охлаждения молока, способных минимизировать затраты на процесс охлаждения, сделав при этом предприятия по производству молока рентабельными.

Перечисленные выше особенности требуют разработки и внедрения в производство новых, усовершенствованных технологий и технических средств, которые позволят снизить себестоимость получаемой продукции, сохранив ее качество.

Работа выполнена в соответствии с темой РАСХН IX.01.04 «Разработать энергосберегающие комплекты машин и оборудования нового поколения для производства конкурентоспособной продукции животноводства» по тематике НИР Оренбургского ГАУ №02.20.0306327 от 15.05.2003.

**Цель исследования.** 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), средним и верхним слоям воды в бассейне, оборудованном термосифонной системой.

**Методика исследований.** Изучение процессов теплообмена 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:**

- предложен новый способ накопления природного холода годовой потребности для молочной фермы;
- обоснованы конструктивно-технологические параметры льдохранилища с годовым запасом льда в зависимости от поголовья и продуктивности коров на ферме;
- разработана конструктивно-технологическая схема охлаждения молока с использованием льда, накопленного в льдохранилище;
- предложен способ предохранения стен бассейна от разрушения при замерзании воды в бассейне;
- разработано устройство хранилища для пищевых продуктов с аккумулярованием холода (патент на изобретение №2561745 РФ);
- разработано устройство термосифона для замораживания воды с термонасадкой (патент на изобретение № 2568753 РФ);
- 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 проведенное 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 аккумулярования 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.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы и её практическая значимость, показана научная новизна, изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Состояние проблемы использования природного холода при охлаждении молока на фермах и задачи исследования» приведён обзор научных исследований по использованию природного холода на фермах для охлаждения молока. Дана оценка качества работы каждого из устройств, работающих с применением природного холода для охлаждения молока. Выявлены преимущества и недостатки.

Большой вклад в решение проблемы использования природного холода в нашей стране внесли ученые В.А. Бобков, И.Н. Босин, В.И. Квашенников, В.П. Мальнев, Б.П. Коршунов, Ф.Г. Марьяхин, А.М. Мусин, А.И. Учевашкин и многие другие. Однако обзор достижений практики по использованию природного холода для охлаждения молока на МТФ показал, что в настоя-

ший момент нет устройства, которое бы позволяло круглогодично охлаждать молоко на фермах без использования холода машинной выработки.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы следующие **задачи**.

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.

**Во второй главе** «Оценка потенциальных возможностей аккумуляции и использования природного холода на МТФ Южного Урала» рассмотрены: природно-географические характеристики Южного Урала, обоснована эффективность использования новых средств испарительно-конденсаторных систем для нужд сельскохозяйственного производства, обоснованы системы для аккумуляции водного льда для круглогодичного использования на МТФ, приведен анализ процесса функционирования бассейна, оборудованного термосифонами, приведен расчет теплообменных процессов в бассейне при подводе холода сверху и снизу, произведен расчет интенсивности намораживания льда на поверхностном слое бассейна и на испарителях термосифонов, определены функциональные особенности использования льдохранилища для охлаждения молока, описано техническое решение для предохранения стен бассейна от разрушения, произведен расчет массы льда в бассейне, приведен анализ процесса охлаждения молока простейшими емкостными охладителями при использовании природного холода на малых фермах, приведена программа расчета для ЭВМ «Фляжный охладитель».

Японские ученые, исследуя эффективность аккумуляции природного холода для нужд сельскохозяйственного производства, пришли к выводу: аккумуляция природного холода с помощью новейших средств – испарительно-конденсационных систем – высокоэффективна в областях, где индекс холода, который вычисляется по формуле  $Q = \sum(t_i \times D_i)$  ( $t_i$  – среднесуточная температура окружающего воздуха в зимний период времени, град;  $D_i$  – количество дней в году с температурой ниже нуля), больше 400 градусо-суток.

На территории Южного Урала климат резко континентальный (жаркое лето, холодная зима). Отрицательные температуры сохраняются в течение пяти месяцев. По данным Росгидромета, из всех областей Южного Урала самый низкий индекс холода в Оренбургской области (1550 градусосуток). Следовательно, использование испарительно-конденсаторных систем в районах с резко континентальным климатом возможно и выгодно.

Основным элементом испарительно-конденсационных систем является тепловая труба, изобретенная в 1942г. Гоглером. Классическая тепловая труба представляет собой вытянутый в длину герметичный, тонкостенный металлический сосуд, который может работать как в горизонтальном, так и вертикальном положении (рис 1).

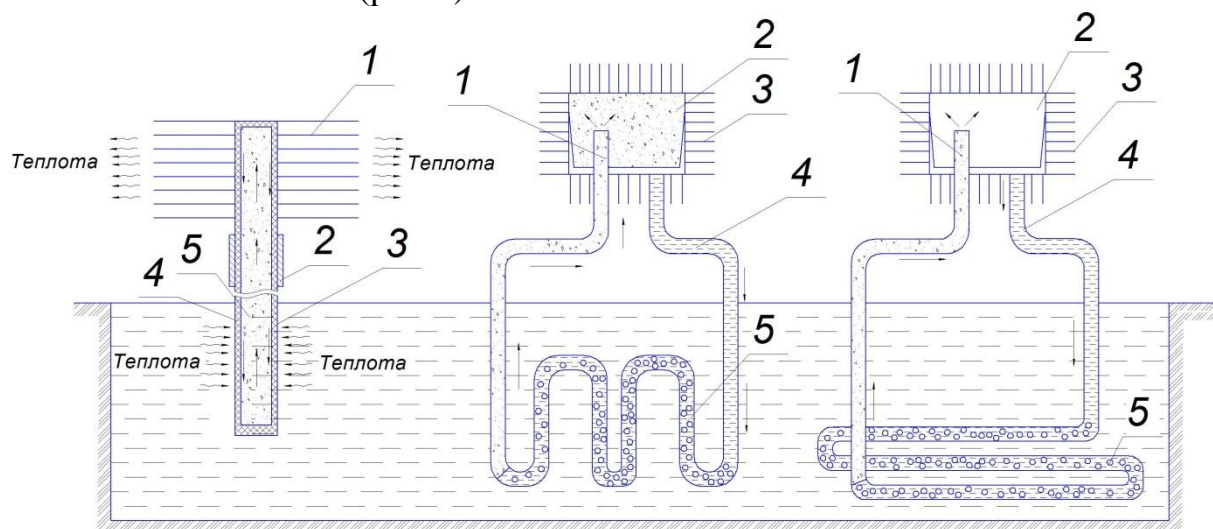


Рисунок 1 - Виды термосифонных систем:

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

Анализ литературных источников и теоретических исследований позволил усовершенствовать конструкцию термосифона, оснастив его термонасадкой (патент на изобретение № 2568753).

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 или грунт, имеющую температуру 0 °С, а верхняя оребренная часть будет находиться в морозном воздухе, то жидкий фреон в испарителе будет интенсивно кипеть, забирая тепло из окружающей его среды (воды, грунта). Пары хладагента, поднимаясь по трубе вверх, соприкасаются с внутренней холодной замороженной поверхностью конденсатора и конденсируются, выделяя теплоту в окружающий морозный воздух.

Пленка жидкого хладагента по стенкам трубы стекает вниз в испаритель, где снова испаряется. Процесс идет непрерывно до тех пор, пока разность температур на концах трубы (тепловой набор) не станет минимальной ( $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Термосифоны в морозный период функционируют круглосуточно. Они не потребляют электроэнергию, не требуют технического обслуживания, эксплуатационный срок - 30...45 лет. На рисунке 2 показана технологическая схема льдохранилища, оборудованного одиночными вертикальными СОУ.

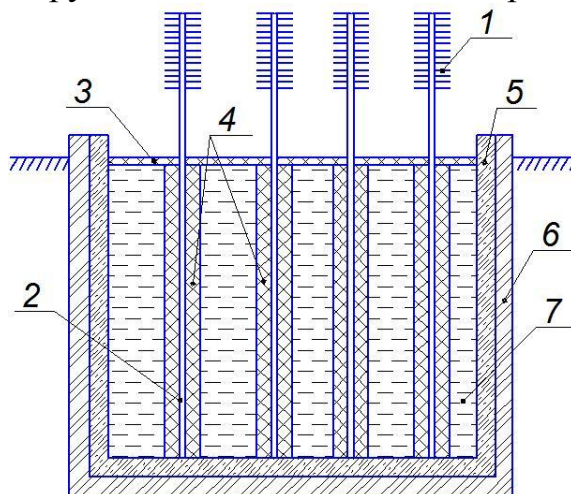


Рисунок 2 – Технологическая схема намораживания в льдохранилище, оборудованном термосифонами:

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

В исследуемом бассейне (рис 2) во время работы термосифонов теплообмен между водой и испарителем происходит за счет конвекции и теплопроводности (патент на изобретение №2561745). Поэтому процесс смешивания слоев воды в бассейне будет значительно отличаться от смешивания в природных водоемах. Отличие состоит в том, что подвод холода в бассейне будет осуществляться как сверху так и снизу (в природных водоемах только сверху). В природных водоемах конвекция прекращается при  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это обусловлено аномалией свойств воды. Процесс охлаждения воды сверху показан на рисунке 3.

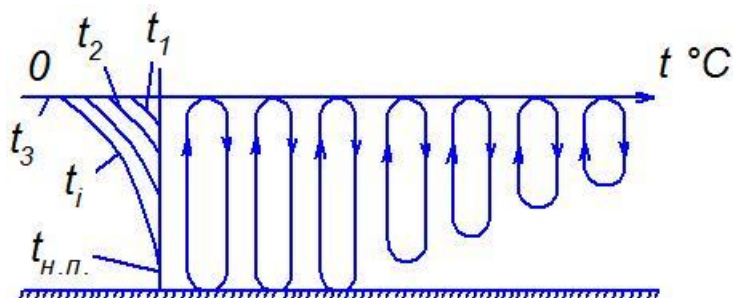


Рисунок 3 – Процесс охлаждения воды сверху до момента льдообразования (по Козлову Д.В.):



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

В процессе исследований выяснили, что в бассейне конвекция прекращается лишь тогда, когда температура всех слоев бассейна не станет одинаковой, близкой к 0 °С. После выравнивания температуры по всей глубине бассейна начнется процесс кристаллизации, а затем и образование льда как на поверхности бассейна, так и вокруг испарителей термосифонов.

Формулы для расчета толщины льда на поверхности водоема по теоретическому методу опираются на уравнение Стефана:

$$\frac{dh_{л}}{d\tau} = \frac{S_{\Sigma} - q}{L_{кр} \cdot \rho_{л}}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – время, с;

$S_{\Sigma}$  – суммарная теплоотдача в атмосферу с поверхности льда, включающая в себя теплоотдачу конвекцией, излучением и испарением, Вт/(м<sup>2</sup> · К);

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

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

$\rho_{л}$  – плотность льда, кг/м<sup>3</sup>.

При дифференцировании эти уравнения имеют следующий вид:

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{\lambda_{л} - t_{нс}}{L_{кр} \rho_{л} h_{\text{э}}} - \frac{q}{L_{кр} \rho_{л}}, \quad (2)$$

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{-t_{\text{э}}}{L_{кр} \rho_{л} \left( \frac{h_{\text{э}} - 1}{\lambda_{л} a_{н}} \right)} - \frac{q}{L_{кр} \rho_{л}}, \quad (3)$$

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

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

$a_{н}$  – коэффициент теплопередачи, зависящий от теплоотдачи с поверхности снега, Вт/(м<sup>2</sup>К);

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

После интегрирования и преобразований формул (2; 3) конечная формула для расчета толщины льда имеет вид:

$$h_{\text{э}} = h_{л} + \frac{\lambda_{л}}{\lambda_{с}} h_{с}, \quad (4)$$

где  $h_{\text{э}}$  – толщина льда, м;

$\lambda_{л}$  и  $\lambda_{с}$  – коэффициенты теплопроводности льда и снега, Вт/(м·К);

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

Процесс намораживания льда на поверхности испарителя термосифона не изучен. В работе Г.В. Аникина (2009 г.) приведена математическая модель функционирования парожидкостного термосифона при замораживании грунта:

$$Q = \frac{t_a}{\frac{1}{\overline{H}_{ор} \cdot L_{ор}} + \frac{1}{\lambda_{гр} \cdot 2\pi \cdot L_{исп}} \cdot \ln\left(\frac{r_o}{b}\right)}, \quad (5)$$

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

$t_a$  – температура морозного воздуха, К;

$\overline{H}_{ор}$  – теплопередача от одного погонного метра оребренной поверхности конденсатора, Вт/(м·К);

$L_{ор}$  – длина оребренной части термосифона, м;

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

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

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

$b$  – внешний радиус трубы термосифона, м.

Преобразуя выражение 5 получим:

$$Q = \frac{t_a}{\frac{2\pi r}{\overline{H}_{ор} \cdot S_{ор}} + \frac{r \ln\left(\frac{r_o}{b}\right)}{\lambda_l \cdot S_{исп}}}, \quad (6)$$

где  $\lambda_l$  – коэффициент теплопроводности льда, Вт/(м·К);

$r$  – радиус трубы термосифона, м;

$S_{ор}$  – площадь оребренной поверхности термосифона, м<sup>2</sup>;

$S_{исп}$  – площадь испарительной поверхности термосифона, м<sup>2</sup>.

Выражение 6 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.

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 бассейна используется дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$\frac{dt}{d\tau} + \vartheta_x \frac{dt}{dx} + \vartheta_y \frac{dt}{dy} + \vartheta_z \frac{dt}{dz} = \frac{\lambda_T}{c\rho} \left( \frac{d^2t}{dx^2} + \frac{d^2t}{dy^2} + \frac{d^2t}{dz^2} \right), \quad (7)$$

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

$c, \rho$  – соответственно удельная теплоемкость и плотность воды, Дж/(кг·К), кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda_T$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Уравнение (7) описывает самый общий случай температурного поля – нестационарного, пространственного. Решить это уравнение аналитически невозможно. Но в водоеме ( $V_x=V_y=V_z=0$ ) в связи с работой термосифонов 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  $\frac{d^2t}{dy^2} \neq 0$ . Соответственно уравнение (7) будет иметь следующий вид:

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\lambda_T}{c\rho} \left( \frac{d^2t}{dx^2} + \frac{d^2t}{dy^2} + \frac{d^2t}{dz^2} \right), \quad (8)$$

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.

Для расчета температурных полей для конкретного случая использована программа «ФСА-прогноз», НПО «Фундаментстройаркос» (г. Тюмень).

Согласно прогнозным расчетам при метеоусловиях Оренбургской области бассейн 20х6х3 м при установке 120 шт. термосифонов марки ТК 32/6,0 за зимний период промерзает полностью. Вода в бассейне сохраняется в мерзлом состоянии в течении всего весенне-летнего периода.

Расчеты показали, что общая масса льда, намороженного в бассейне, составляет 330120 кг. На один термосифон приходится 2751 кг. льда. Количество тепла, которое может утилизировать эта масса льда, составляет:  $334 \text{ кДж/кг} \cdot 2751 \text{ кг} = 918834 \text{ кДж}$ .

Масса молока, охлажденная льдом одного термосифона с 30 до 4 °С составит  $\frac{918834}{4(30-4)} = 8834 \text{ кг/год}$ . Следовательно, бассейна с размерами 20х6х3 м с установленными термосифонами достаточно для круглогодичного охлаждения молока от 240 коров с годовым удоем от одной коровы 4417 кг/(гол·год).

Разработанная технологическая схема охлаждения молока на МТФ ледяной водой из рассматриваемого льдохранилища показана на рисунке 4.

Охлаждение происходит ледяной водой из льдохранилища в течение круглого года. Вода с температурой +1...+2 °С насосом 14 (рис 4) 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.

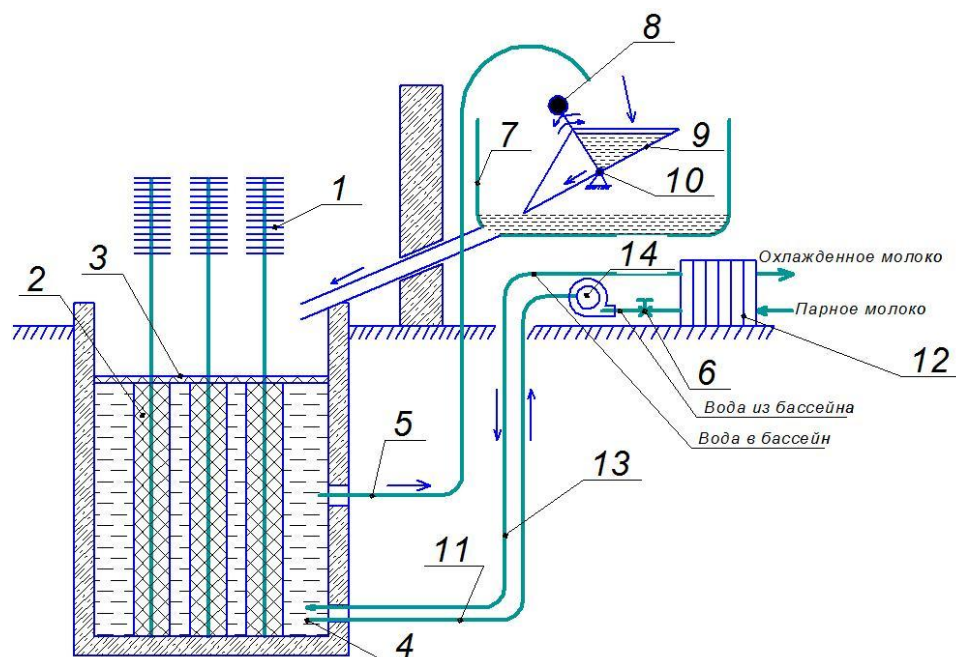


Рисунок 4 – Технологическая схема охлаждения молока ледяной водой из бассейна, оборудованного термосифонами:

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  $-5^{\circ}\text{C}$  и ниже. К этому времени водная поверхность бассейна уже будет покрыта льдом, так как замораживание поверхностного слоя воды в бассейне начинается при температуре воздуха  $0^{\circ}\text{C}$ . 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  $200\dots 300$  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.

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 (рис 4) соединяется дренажной трубой 5 с ковшовым измерителем массы воды 7, расположенным в молочном отделении фермы или специальном помещении. Каждая половина ковша-качалки 9 имеет вместимость  $0,05\dots 0,1$  м<sup>3</sup>. По мере увеличения объе-

ма льда  $V_l$ , 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 4 не показан), соединенным с компьютером. Информация о количестве срабатываний ковша-качалки обрабатывается на компьютере с целью получения данных о динамике намораживания льда, количестве намороженного льда. Дренажная труба 5 (рис 4), всасывающая и возвратная труба 11 и 13 должны быть проложены ниже уровня промерзания грунта.

Для определения массы льда в бассейне в конкретный момент времени была выявлена математическая зависимость массы льда от объема вытесненной воды.

Выясним связь объема воды  $\Delta V_v$  с массой льда  $M_l$ . Уравнение баланса массы льда  $M_l$  и массы воды  $M_v$ , из которой он образовался, имеет вид:

$$M_l = M_v, \quad (9)$$

$$V_l \rho_l = V_v \rho_v, \quad (10)$$

где  $\rho_l, \rho_v$  – соответственно плотность льда и воды,  $\text{кг/м}^3$ .

Уравнение баланса объемов при образовании льда:

$$V_l = V_v + \Delta V_v, \quad (11)$$

После подстановки значения льда из (10) в (11) и преобразований получим:

$$\frac{\Delta V_v}{V_v} = \frac{\rho_v - \rho_l}{\rho_l}, \quad (12)$$

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

Таким образом:

$$\frac{\rho_v - \rho_l}{\rho_l} = \beta, \quad (13)$$

С учетом этого формула (12) будет иметь вид:

$$V_v = \Delta V_v \frac{1}{\beta}, \quad (14)$$

Тогда:

$$M_l = k \Delta V_v, \quad (15)$$

где  $M_l$  - масса льда, кг;

$\Delta V_v$  – объем вытесненной воды,  $\text{м}^3$ ;

$k$  – коэффициент,  $\text{кг/м}^3$ .

$$k = \frac{\rho_v}{\beta}, \quad (16)$$

где  $\rho_v$  - плотность воды,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\beta$  - коэффициент объемного расширения воды при превращении ее в лед.

После подстановки численных значений  $\rho_v$  и  $\rho_l$  получим  $k = 11049 \text{ К}^2 / \text{м}^3$ .

$k$  - является величиной постоянной и имеет вполне конкретный физический смысл. Это масса льда, приходящаяся на единицу объема воды, вытесненной из замкнутого объема бассейна в процессе намерзания льда.

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

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

**В третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований по определению холодопроизводительности термосифона для замораживания воды» изложены основные положения и условия проведения экспериментов, приведено описание экспериментальной установки и обоснована методика оценки холодопроизводительности термосифона для замораживания воды.

Программа экспериментальных исследований предусматривала:

- 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 испытания по определению холодопроизводительности термосифона проводились на базе кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» Оренбургского государственного аграрного университета. В качестве опытного образца нами использовался усовершенствованный термосифон ТК32/5.0 М5-03.

Производственные исследования проводились на базе хозяйств Оренбургской области: ООО «Заилечье» Соль – Илецкого района и ООО «Плюгинский АПК» Бугурусланского района.

В качестве оборудования для определения холодопроизводительности термосифона смонтирован опытный образец устройства на кафедре «Механизация технологических процессов в АПК».

Для проведения эксперимента испаритель термосифона 2 (рис 5) был опущен в емкость с водой, а верхняя часть – конденсатор - выведена через плиту-перекрытие на этаж выше и вставлена в морозильную камеру для того, чтобы стало возможным регулирование температуры воздуха вокруг конденсатора термосифона. В морозильную камеру был вставлен вентилятор с регулятором частоты вращения. Кроме того, часть трубы, которая находилась в помещении, была обернута утеплителем и светоотражательной пленкой для уменьшения холодопотерь. Утеплена была так-же и емкость (рис 5).



Рисунок 5 – Лабораторная установка по намораживанию льда вокруг испарителя термосифона.

При проведении исследований было выявлено, что средняя холодопроизводительность за исследуемый период составила 0,344 кВт, что соответствует 29721,6 кДж/сут. Средний прирост массы льда при этом составил 88,721 кг/сут.

Для определения интенсивности намораживания льда в поверхностном слое был сооружен бассейн, 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...2 мм. Определялось время, за которое этот ледяной слой замерзнет.

После проведения исследований был проведен срез ледяного слоя в различных частях бассейна. Срез показал, (рис 6) что максимальная толщина ледяного слоя в центральной части бассейна 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.



Рисунок 6 – Срез и замеры льда в бассейне при намораживании поверхностного слоя.

При проведении многофакторного эксперимента по определению холодопроизводительности термосифона применялось ортогональное планирование эксперимента. Пользуясь как собственными исследованиями, так и опытом других авторов, занимавшихся подобными исследованиями, и исходя из математической модели, из числа факторов, влияющих на холодопроизводительность термосифона, нами были выбраны наиболее значимые из них:

- температура воздуха окружающего конденсатор термосифона, °C ( $X_1$ );
- скорость воздушного потока, м/с ( $X_2$ );
- площадь испарителя, м<sup>2</sup> ( $X_3$ );

В таблице 1 представлены уровни изменения факторов в эксперименте.

Таблица 1 - Уровни варьирования переменных факторов при определении холодопроизводительности термосифона.

Уровень варьирования	Температура воздуха вокруг конденсатора термосифона, °C		Скорость воздушного потока, м/с		Площадь испарителя, м <sup>2</sup>	
	$t_a$	$X_1$	$V_B$	$X_2$	$S_{и}$	$X_3$
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

**В четвёртой главе** «Результаты экспериментальных исследований» представлен анализ результатов исследований.

В результате обработки и анализа экспериментальных исследований получено уравнение регрессии, выражающего зависимость холодопроизводительности термосифона ( $Y$ ) от факторов: температуры воздуха, окружающего конденсатор термосифона ( $X_1$ ), скорости воздушного потока ( $X_2$ ), площади испарения ( $X_3$ ):

$$Y = 15,54 - 1,6x_1 + 0,18x_2 + 0,02x_3 + 0,01x_1x_2 + 0,03x_1x_3 - 0,02x_2x_3, \quad (17)$$

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



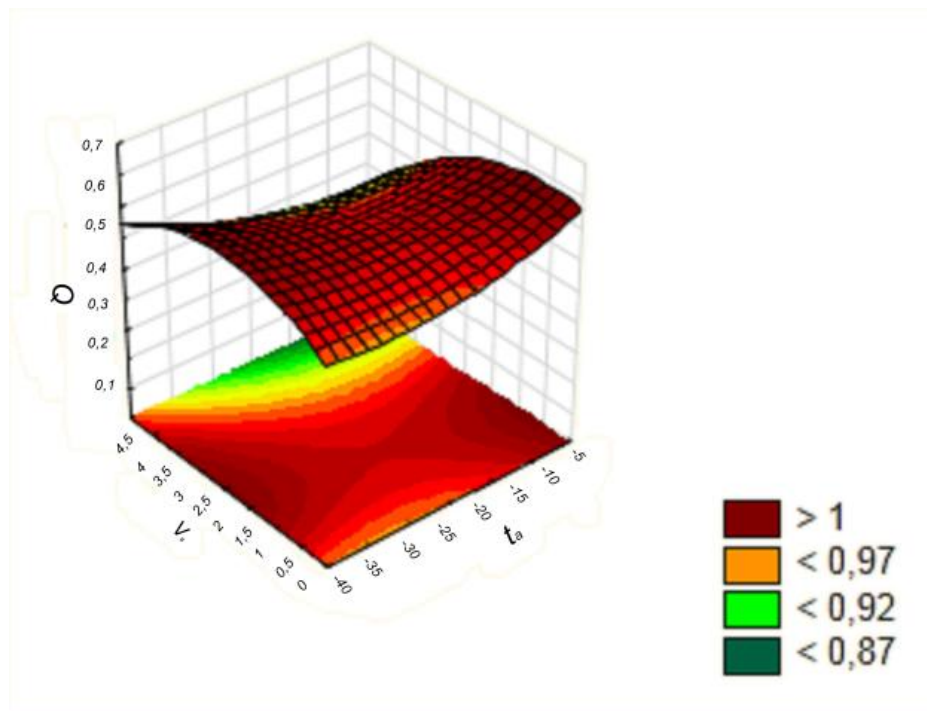


Рисунок 7 – Зависимость холодопроизводительности термосифона (Вт) от температуры воздуха вокруг конденсатора термосифона  $t_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) и от скорости воздушного потока  $V_B$  (м/с)

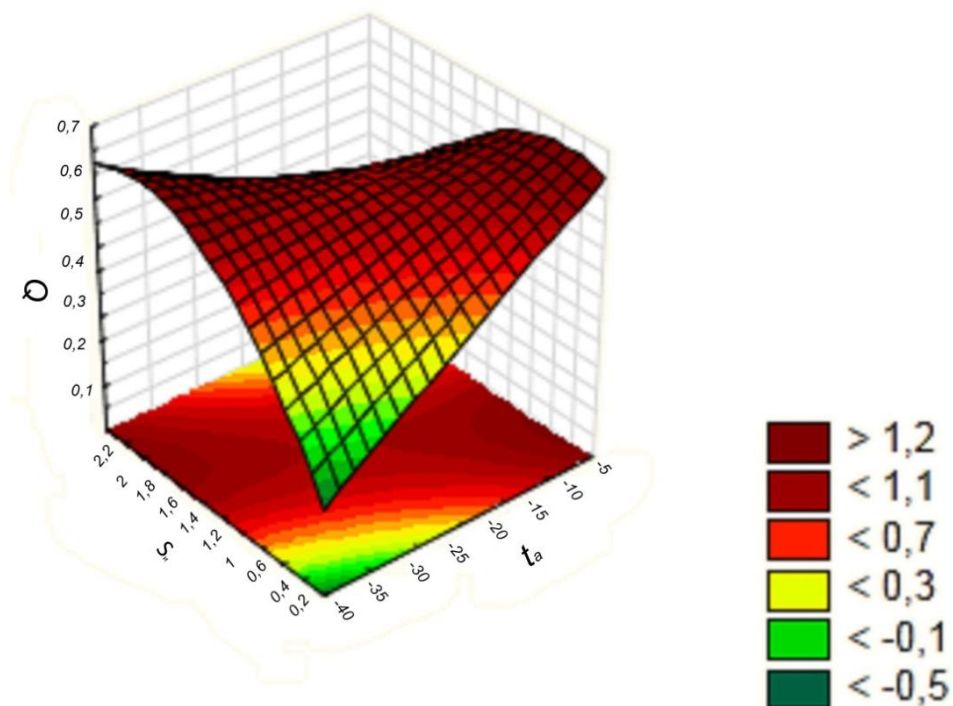


Рисунок 8 – Зависимость холодопроизводительности термосифона (Вт) от температуры воздуха вокруг конденсатора термосифона  $t_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) и от площади испарения ( $\text{m}^2$ )

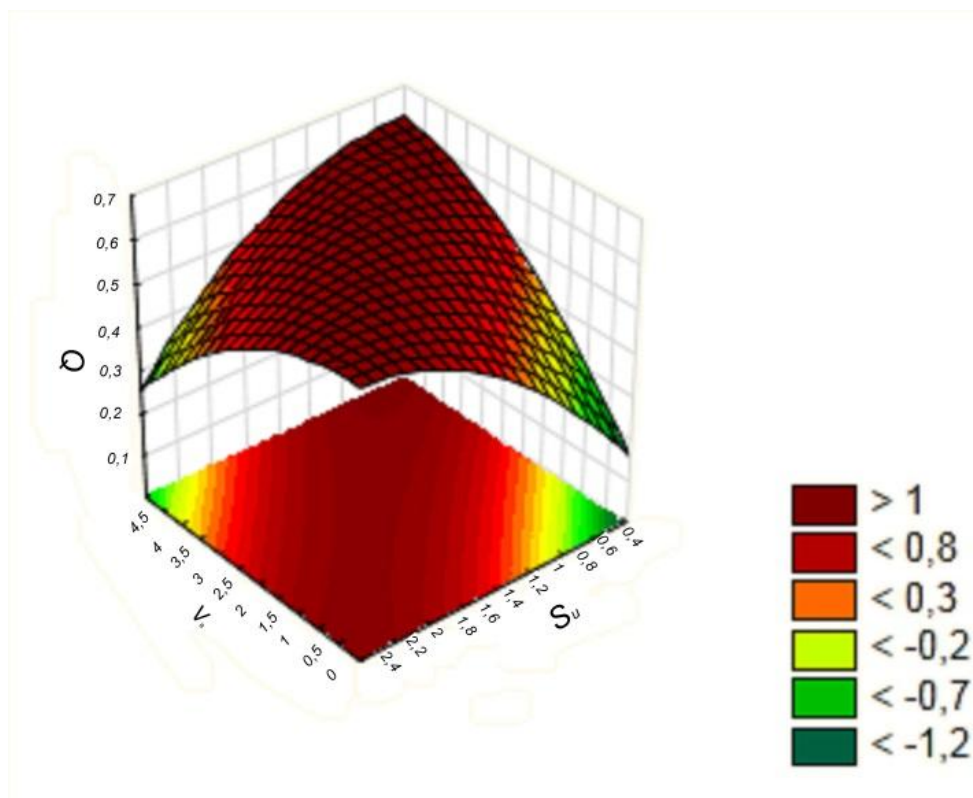


Рисунок 9 – Зависимость холодопроизводительности термосифона (Вт) от скорости воздушного потока  $V_B$  (м/с) и от площади испарения ( $m^2$ )

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

- температура воздуха вокруг испарителя термосифона минус 15 °С;
- скорость воздушного потока 3,5 м/с;
- площадь испарителя 1,8  $m^2$ .

**В пятой главе** «Экономическая эффективность применения разработанной системы охлаждения молока с помощью естественного холода с использованием термосифонов» описана методика определения экономической эффективности, приведены исходные данные и результаты расчетов.

Экономический эффект внедрения системы охлаждения молока с помощью естественного холода с использованием термосифонов получен для ферм с поголовьем 100 коров, при годовой продуктивности от одной коровы 4000 кг/(гол·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.

## 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 м<sup>2</sup>.

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.

### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах**

#### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.**

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

2. Коровин Г.С. 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.

3. Коровин Г.С. Энергосберегающая технология заготовки естественного льда на молочных фермах [Текст]/ Г.С. Коровин В.И. Квашенни-

ков, А.П. Козловцев, В.А. Шахов // Научное обозрение. – 2015. - № 4. – С. 17 – 22.

#### **Публикации в других изданиях и материалах научных конференций.**

4. Коровин Г.С. Энергосберегающий метод охлаждения сельскохозяйственной продукции [Текст]/ Г.С. Коровин В.И. Квашенников, А.П. Козловцев // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции/ под ред. Ю.А. Ушакова. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2014.–С. 128 – 132.

5. Коровин Г.С. Система охлаждения молока с помощью естественного холода [Текст]/ Г.С. Коровин В.И. Квашенников, А.П. Козловцев // 17-я Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии и технические средства производства продукции животноводства с интеллектуальными системами управления механизированными процессами» Москва, 2014.

6. Коровин Г.С. Теоретические предпосылки процесса намораживания льда в замкнутом водном объеме [Текст]/ Г.С. Коровин В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, И.В. Герасименко // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции/ под ред. Ю.А. Ушакова. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2015.–С. 80 – 87.

7. Коровин Г.С. Послойный способ накопления природного льда для малых (до 50 коров) ферм [Текст]/ Г.С. Коровин В.И. Квашенников, А.П. Козловцев И.З. Аширов // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции/ под ред. Ю.А. Ушакова. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2015.– С. 87 – 91.

#### **Авторские свидетельства на изобретения.**

8. Патент на изобретение № 2561745 РФ. Хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода/ Г.С. Коровин В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, В.А. Шахов, А.А. Панин, И.В. Герасименко. Оpub. 10.09.2015.

9. Патент на изобретение № 2568753 РФ. Термосифон для замораживания воды с термонасадкой/ Г.С. Коровин В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, А.А. Панин, И.В. Герасименко. Оpub. 20.11.2015.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617152 РФ. Фляжный охладитель/ Г.С. Коровин В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, В.А. Шахов, В.Г. Солдатов. Оpub. 22.05.2014.

Коровин Григорий Сергеевич

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

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства  
механизации сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 19.11.2015.  
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,0. Печать оперативная.  
Бумага офсетная. Заказ № 7962. Тираж 100 экз.

Издательский центр ОГАУ  
460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18. Тел. (3532) 77-61-43  
Отпечатано в издательском центре ОГАУ