

На правах рукописи



**Аль-лами Садек Фенжан Хаснави**  
(Ф.И.О. автора магистерской диссертации)

---

Тема: **Совершенствование технологии и средств первичной обработки коровьего молока**

---

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2017 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

по направлению высшего профессионального образования

**35.04.06 Агроинженерия**

---

(шифр и наименование)

Магистерская программа: **35.04.06.01 Технологии и технические средства**

---

**в сельском хозяйстве**

---

(шифр и наименование)

Руководитель магистерской диссертации: д.т.н., профессор В.П. Капустин  
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

---

(подпись, дата)

Тамбов 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор

(ученая степень, звание)

Зазуля А.Н.

Ф.И.О., подпись

\_\_\_\_\_ (дата)

ЗАДАНИЕ

на магистерскую диссертацию

Студента

Аль-лами Садек Фенжан Хаснави

обучающегося по направлению

35.04.06 Агроинженерия

\_\_\_\_\_ (шифр и наименование)

Магистерская программа: (специализация)

35.04.06.01 Технологии и

технические средства в сельском хозяйстве

\_\_\_\_\_ (шифр и наименование)

Тема: Совершенствование технологии и средств первичной обработки  
коровьего молока

Цель работы: Снижение затрат энергии при первичной обработке  
коровьего молока и сохранение качества продукта

Руководитель МД

Капустин В.П.

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ (подпись, дата)

Автор МД

Аль-лами Садек Фенжан

(Ф.И.О.)

Хаснави

\_\_\_\_\_ (подпись, дата)

## АННОТЦИЯ

Диссертация изложена на 73 страницах машинописного текста, содержит 20 рисунков, 8 таблиц, списка литературы из 63 наименований, в том числе 3 на иностранном языке.

Ключевые слова: сельское хозяйство, животноводство, показатели качества молока, эффективность, затраты энергии, первичная обработка молока.

Цель работы – снижение затрат энергии при первичной обработке коровьего молока и сохранение качества продукта.

Объект исследований: технологические процессы первичной обработки коровьего молока.

Предмет исследований: зависимость показателей качества молока от режимов работы оборудования, используемого при первичной обработке молока.

В результате теоретического анализа разработана комбинированная системы первичной обработки коровьего молока с проточными охладителями, посредством охлаждения водой, используемой в дальнейшем для поения животных.

Применение комбинированной системы первичной обработки молока позволит сократить потребление электроэнергии на охлаждение 1 тонны молока на 15-17 кВт·ч.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
1 АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1 Требования, предъявляемые к молоку .....	9
1.2 Технологический процесс первичной обработки коровьего молока ...	14
1.3 Анализ способов и средств охлаждения молока .....	19
1.4 Выводы, цель и задачи исследований .....	32
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА .....	33
2.1 Анализ теоретических исследований технологического процесса первичной обработки молока .....	33
2.2 Алгоритм потерь материальных средств от снижения качества молока.....	33
2.3 Эффективность использования оборудования первичной обработки молока .....	38
2.4 Выводы .....	45
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	46
3.1 Программа экспериментальных исследований .....	46
3.2 Методика проведения экспериментальных исследований .....	47
3.3 Обработка экспериментальных данных.....	54
4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА.....	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	67

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Молоко сельскохозяйственных животных – ценный пищевой продукт. Коровье молоко содержит более 200 компонентов, важнейшими из которых являются легкоусвояемые белки, жиры, углеводы, минеральные соли, витамины и многие другие вещества, которые необходимы для обеспечения нормального роста и жизнедеятельности организма человека. Оно используется для детского питания и как диетический и лечебный продукт при малокровии, туберкулезе, гастрите, отравлениях, заболеваниях печени, почек, желудочно-кишечного тракта.

Коровье молоко является быстро портящимся пищевым продуктом. Снижение его качества при задержке с очисткой и охлаждением обусловлено размножением вредных для организма человека бактерий. Известно, что в 1 миллилитре свежесвыдоенного молока содержится до 186 000 бактерий, а при температуре молока плюс 20°С через 5 часов число микроорганизмов достигает уже двух миллионов. Качество такого молока не соответствует первому сорту, так как в нем более 500000 микроорганизмов [1], размножение которых приостанавливается при температуре плюс 10°С и полностью прекращается при температуре плюс 2...3°С [2].

В связи со вступлением России во Всемирную торговую организацию наша молочная отрасль оказалась в крайне сложном положении. Существующие требования к качеству и безопасности молока высшего сорта в России оказались в 7-10 раз ниже, чем в странах ВТО. Согласно стандартам Европейского Союза молоко, соответствующее нашим требованиям 1-го и 2-го сорта, считается непригодным к потреблению и должно утилизироваться. В настоящее время в Российской Федерации производится 90% такого молока [1].

Существующие традиционные системы охлаждения молока на сегодняшний день не позволяют выполнять требования новых стандартов качества. Одна из основных проблем – время охлаждения свежесвыдоенного молока, которая составляет согласно стандартов РФ от 2 до 3 часов. За это время в наших условиях

бактериальная обсемененность возрастает в тысячи раз. Такое охлаждение не позволяет остановить рост неблагоприятной микрофлоры, увеличение содержания токсинов, выделяемых вредными микроорганизмами и исключить влияние этих факторов на качество молока. Для сохранения качества молока после доения его необходимо мгновенно охладить до того, как в нем начнут размножаться вредные для здоровья бактерии. При использовании технологии мгновенного охлаждения температуры молока от плюс 35°С до плюс 4°С снижают за несколько минут и даже секунд в сравнении с 2...3 часами.

Известно, что на охлаждение 1 тонны свежесвыдоенного молока тратиться 30...35 кВт·ч электроэнергии. А с учетом современных тенденций постоянного роста тарифов на электрическую энергию важной проблемой становятся затраты на электроэнергию.

Существующие технологии и установки для охлаждения молока в настоящее время не удовлетворяют требованиям сельскохозяйственного производства и обладают рядом недостатков: большая металлоемкость, низкая надежность, высокий расход электроэнергии; негативное воздействие на окружающую среду и т. д.

Поэтому вопросы применения систем для охлаждения молока с использованием природного холода требуют продолжения исследований и разработок.

Одним из эффективных путей снижения энергозатрат, повышения надежности систем охлаждения и экологической чистоты процесса охлаждения молока на фермах является разработка и применение энергосберегающих комбинированных систем первичной обработки молока.

**Цель исследований:** снижение затрат энергии при первичной обработке коровьего молока и сохранение исходного качества продукта.

**Задачи исследований:**

- разработать классификацию способов и средств первичной обработки молока;
- разработать и обосновать комбинированную систему первичной обра-

ботки молока с использованием проточных охладителей и применением отработанного хладагента для поения животных;

- обосновать режимы работы системы охлаждения молока с использованием природного холода;

- разработать алгоритм определения потерь материальных средств от снижения качества молока и математическую модель процесса охлаждения молока с использованием природного холода;

- провести технико-экономическую оценку использования комбинированной системы охлаждения молока с последующим использованием хладагента для поения животных.

**Объект исследований:** технологические процессы первичной обработки коровьего молока.

**Предмет исследований:** зависимости показателей качества молока от режимов работы оборудования, используемого при первичной обработке молока.

**Научная новизна** диссертационного исследования:

- классификация способов и средств первичной обработки молока;
- комбинированная система первичной обработки молока с проточными охладителями, посредством охлаждения водой, используемой в дальнейшем для поения животных;

- алгоритм определения потерь материальных средств от снижения качества молока и математическая модель процесса охлаждения молока с использованием природного холода;

- режимы работы системы охлаждения молока с использованием природного холода.

**Практическая значимость.** Использование комбинированной системы первичной обработки молока с проточными охладителями позволяет сохранить исходное качество продукта и снизить затраты энергии в два раза.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы животноводческими предприятиями, эксплуатирующими оборудование для пер-

вичной обработки молока, научно-исследовательскими организациями при разработке способов и средств первичной обработки молока, а также в учебном процессе вузов.

**Основные научные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- комбинированная система первичной обработки молока с проточными охладителями, посредством охлаждения водой, используемой в дальнейшем для поения животных;
- алгоритм определения потерь материальных средств от снижения качества молока и математическая модель процесса охлаждения молока с использованием природного холода;
- режимы работы системы охлаждения молока с использованием природного холода;
- оценка технико-экономической эффективности применения комбинированной системы первичной обработки молока.

**Достоверность результатов** подтверждается использованием современных методик и оборудования, достаточным количеством экспериментов, соответствие экспериментальных данных теоретическим исследованиям, публикацией результатов в журналах и внедрением в животноводческом предприятии АО «Голицыно» Никифоровского района.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы представлены и одобрены: на заседаниях кафедры «Агроинженерия» ФГБОУ ВО ТГТУ в 2016-2017 гг.; на международной научно-практической конференции в Подольске.

**Публикация результатов исследований.** По результатам диссертационной работы опубликовано 4 печатные работы.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 73 страницах машинописного текста, содержит 20 рисунков, 8 таблиц, списка литературы из 63 наименований, в том числе 3 на иностранном языке.

# 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Требования, предъявляемые к молоку

Животноводство - отрасль сельского хозяйства, занимающаяся разведением сельскохозяйственных животных для производства животноводческой продукции в различных природно-климатических зонах. В нашей стране от крупного рогатого скота получают более 99% молока, а производство говядины составляет более 40% валовой продукции мяса. Важное значение имеют кожевенное сырье, получаемое при убое крупного рогатого скота, а также ряд побочных продуктов: кости, рога, волос и другие [3, 4].

Эффективное развитие молочного животноводства возможно лишь на основе дальнейшей специализации, концентрации, индустриализации и интенсификации производства. Техничко-экономическое совершенствование существующих, а также разработка и быстрое внедрение в практику новых перспективных технологий должны обеспечить повышение продуктивности молочного скота и улучшить качество молока при одновременном сокращении издержек труда, средств и времени на его производство.

Практически все молоко, потребляемое в России в натуральном виде – это коровье молоко. Ежедневное потребление одного литра молока удовлетворяет всю суточную потребность взрослого человека в жире, кальции, фосфоре и других питательных веществах [3].

Молоко, в зависимости от микробиологической, органолептической и физико-химических показателей, подразделяют на сорта: высший, первый, второй и несортное. Молоко получают от здоровых животных в хозяйствах, благополучных по инфекционным болезням, согласно Ветеринарному законодательству, и по качеству должно соответствовать настоящему стандарту и нормативным документам, регламентирующим требования к качеству и безопасности пищевых продуктов. По органолептическим показателям молоко должно соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.1 [4].

Таблица 1.1 – Органолептические показатели коровьего молока

Наименование показателя	Норма для молока сорта			
	высшего	первого	Второго	несортového
Консистенция	Однородная жидкость без осадка и хлопьев. Замораживание не допускается.			Наличие хлопьев белка, механических примесей.
Вкус и запах	Чистый, без посторонних запахов и привкусов, не свойственных свежему натуральному молоку.			Выраженный кормовой привкус и запах
			Допускается в зимне-весенний период слабовыраженный кормовой привкус и запах	
Цвет	От белого до светло-кремового			Кремовый, от светло-серого до серого

Молоко – многофазная полидисперсную смесь, секрет молочной железы млекопитающих. Состоит из плазмы, в которой растворены минеральные соли, молочный сахар, коллоидной фазы – белков и частей соли и мелкодисперсной фазы – молочного жира в виде шариков, окруженных белково-липоидной оболочкой.

Химический состав молока не является строго постоянным и зависит от вида животных, породы, возраста периода лактации, условий кормления, содержания и других факторов. Всего в молоке идентифицировано приблизительно 250 химических компонентов, в том числе около 140 жирных кислот. Состав молока некоторых видов млекопитающих представлен в таблице 1.2 [3].

В молоке содержатся белки двух основных видов – казеин и лактальбумин. Казеин составляет около 82 % общего количества белков молока.

Таблица 1.2 – Состав молока домашних млекопитающих

Вид млекопитающего	Состав молока, %				
	белок	лактоза	молочный жир	зола	сухое вещество
Корова	3,3	5,0	4,0	0,7	13,0
Кобыла	2,2	5,9	1,3	0,4	9,8
Свинья	4,9	5,3	5,3	0,9	16,4
Овца	3,7	4,2	4,1	0,8	12,8

Лактоза (молочный сахар) – основной углевод молока. Молоко является единственным источником лактозы в природе. Лактоза содержит галактозу, играющую важную роль в химизме центральной нервной системы (галактозы и цереброзидаы составляют часть центральной нервной системы и мозговой ткани), являются строительным материалом для мозга, специальным питательным веществом для роста и развития центральной нервной системы потомства млекопитающих [3].

Молочный жир характеризуется высоким содержанием легких жирных кислот, которые легко усваиваются в организме человека и млекопитающих. Растительные жиры по сравнению с животными содержат мало жирных кислот и хуже усваиваются в организме человека.

Молоко отличается высоким содержанием минеральных веществ, находящихся в оптимальном соотношении для всасывания в кровь из пищеварительного тракта. Стимулирующее влияние молока на массу и рост скелетных костей обусловлено обилием в молоке кальция и фосфора и их доступностью.

К физическим свойствам молока можно отнести кислотность и рН, плотность, вязкость, точки замерзания и кипения. Нормальная величина рН молока при комнатной температуре составляет 6,5...6,7. Реакция молозива более кислая, а рН мастистого молока обычно выше и достигает 7,3. По мере увеличения температуры рН снижается.

Применяют выражение кислотности и в градусах Тернера, (°Т), которую

определяют путем титрования с едким натром. Наибольшее значение при переработке и продаже молока вызывает развившаяся кислотность. Этот показатель отражает деятельность бактерий, при которой лактоза разлагается до молочной кислоты. Молоко, имеющее рН около 6,5...6,7, имеет титруемую (видимую) кислотность около 14...18 °Т. Обычно человек говорит о молоке, что оно прокисло, когда титруемая кислотность выше 25°Т [5].

При повышении температуры плотность молока снижается, но удельная масса остается относительно постоянной, примерно равной 1,032 кг/м<sup>3</sup>.

Удельная плотность используется для контроля состава концентрированных молочных продуктов (сгущенное молоко) в процессе производства, а также для исследования проб на наличие добавленной в молоко воды.

Вязкость нормального молока колеблется от 1,5 до 2,0 сантипауз при 20°С. С увеличением температуры вязкость молока возрастает.

Большинство проб молока замерзает в пределах от минус 0,530 до минус 0,550°С. В норме молоко кипит приблизительно при 100,5°С и абсолютном давлении 760 мм рт. ст. По физико-химическим показателям молоко должно соответствовать нормам, указанным в таблице 1.3 [4].

Таблица 1.3 – Нормы физико-химических показателей коровьего молока

Наименование показателя	Норма для молока сорта			
	высшего	первого	второго	Несортного
Кислотность, °Т	От 16,00 до 18,00	От 16,00 до 18,00	От 16,00 до 20,99	Менее 15,99 или более 21,00
Группа чистоты, не ниже	I	I	II	III
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не менее	1028,0	1027,0	1027,0	Менее 1026,9
Температура замерзания, °С*	Не выше минус 0,520			Выше -0,520
* Может использоваться взамен определения плотности молока				

Содержание токсичных элементов, афлатоксина М<sub>1</sub>, антибиотиков, ингибирующих веществ радионуклидов, пестицидов, патогенных микроорганизмов,

в том числе сальмонелл, КМАФАнМ и соматических клеток в молоке должно соответствовать действующим санитарным нормам.

Молоко, предназначенное для изготовления продуктов детского и диетического питания, должно соответствовать требованиям высшего сорта и по термоустойчивости должно быть не ниже II группы в соответствии с ГОСТ25228. Базисная общероссийская норма массовой доли жира молока – 3,4%, базисная норма массовой доли белка – 3,0% [4].

При образовании молока из организма коровы в него переходят иммунные тела и бактерицидные вещества (лизоцимы и лактенины), задерживающие развитие бактерий в свежесвыдоенном молоке. Период действия этого свойства свежесвыдоенного молока называют бактерицидной фазой. Продолжительность действия бактерицидной фазы зависит от санитарных условий получения молока и температуры охлаждения (таблица 1.4) [3, 6].

Таблица 1.4 – Продолжительность действия бактерицидной фазы коровьего молока, ч

Температура молока, К	Условия получения молока	
	согласно требованиям	несоответствие требованиям
286	36,0	19,0
289	12,7	7,6
303	5,0	2,3
310	3,0	2,0

При обычной температуре активность этих веществ сохраняется около двух часов. При температуре 277...278 К жизнедеятельность бактерий практически прекращается, что создает условия для длительного хранения. Поэтому охлаждение молока нужно проводить сразу после его выдаивания.

Молоко является скоропортящимся продуктом. Получать молоко, не содержащее бактерий, даже при соблюдении всех санитарно-технических требований практически невозможно.

Поэтому для сохранения свойств свежесвыдоенного молока необходимо предупредить размножение проникших в него микробов, для чего молоко необходимо очистить от механических примесей, охладить и хранить при низкой температуре до отправки на молочный завод, то есть провести первичную обработку.

## 1.2 Технологический процесс первичной обработки коровьего молока

Согласно действующим санитарным правилам, все молоко, поступающее на государственные заводы, подвергается повторной обработке независимо от его обработки в хозяйстве [7]. Поэтому обработка молока в хозяйстве называется – первичная, а на молочных заводах – вторичная. Целью первой является – обеспечить сохранение качества молока при его транспортировании и хранении.

Первичная обработка включает следующие процессы: очистку, охлаждение, хранение до отправки на переработку или в реализацию.

Технологический процесс первичной обработки молока может осуществляться по следующим схемам [8, 9].

1. Очистка → охлаждение (наиболее простейшая и распространенная).
2. Очистка → пастеризация → охлаждение (при отправке молока непосредственно в торговую сеть для продажи на розлив или в случае неблагоприятной эпидемиологической обстановки на ферме).
3. Очистка → нормализация (для получения молока определенной жирности) → пастеризация → охлаждение → расфасовка в пакеты (для непосредственной реализации). Для обработки молока на каждой ферме оборудуют прифермскую молочную, размер, планировка и оборудование которой зависят от многих факторов: количества молока, подлежащего обработке, способа доения, количества коровников, применяемого оборудования и т.д. На крупных фермах целесообразно иметь центральные прифермские молочные.

При производстве цельного молока наилучших результатов достигают, когда в коровниках создана единая поточная линия получения и обработки молока. В этом случае поток осуществляется по схеме, представленной на рисунке 1.1, а.



Рисунок 1.1 – Схемы линий получения и обработки молока

Если молоко поступает в молочную из нескольких коровников, то схема линии имеет вид, представленный на рисунке 1.1, б.

При производстве питьевого молока (то есть при переработке цельного молока в питьевое) распространена схема, представленная на рисунке 1.1, в.

Первой операцией в технологическом процессе первичной обработки молока стоит очистка его от механических примесей, для чего молоко пропускают через сетчатые, марлевые и фланелевые фильтры или используют центробежные очистители. Фильтрующий материал необходимо периодически менять, в противном случае фильтры становятся источником загрязнения [10].

Обычно очистку молока проводят после предварительного нагревания его до температуры 35-40 С, но возможна и холодная очистка, которая эффективна при кислотности молока не выше 18°Т [3]. Чтобы получить молоко высокого санитарного качества, необходима тонкость его очистки на уровне 20-40 мкм. Для фильтрации 1 т молока требуется 1,3 м марли, или 0,09 м белой фланели, или 0,025 м лавсановой ткани. Санитарную обработку тканевых фильтров можно проводить в стиральной машине с помощью моющего порошка и моющего дезинфицирующего средства при температуре 80...85°С.

Срок службы марлевых фильтров должен быть не более 10, вафельных и фланелевых 45, лавсановых 180 дней. Выяснено, что лавсановые и капроновые ткани задерживают значительно меньшее количество механических примесей, чем нетканые фильтры.

В фермерских хозяйствах на 100 голов КРС и более нашел широкое применение фильтр Ф-01М с фильтрующими элементами длительного пользования. Фильтрация в них двухступенчатая: через сетку из нержавеющей стали и гранулы кварцевого песка. Восстановление (регенерация) фильтрующего материала осуществляется обратным протоком промывочной жидкости с использованием мощных средств. Недостатком этого типа очистителей является то, что у них нет системы автоматического удаления осадка и циркуляционной промывки сепаратора.

Центробежный способ базируется на использовании сепараторов-молокоочистителей, в которых под действием центробежной силы, развиваемой барабаном, происходит разделение молока и механических примесей (сепараторы моделей ОМ-1А, Г9-ОМА, ОЦМ-5 представлены на рисунке 1.2). Очищенное молоко отводится из очистителя, а более тяжелые частицы грязи осаждаются на стенке барабана. Такие очистители дороже фильтров Ф-01М, но также эффективны и требуют периодической разборки и промывки.



а)



б)

Рисунок 1.2 – Сепараторы моделей: а) Г9-ОМА; б) ОЦМ-5

Под действием центробежных сил загрязнения и слизь в сепараторе модели ОЦМ-5 оседают в виде плотного слоя в грязевом пространстве. Выгрузка осадка происходит частично или полностью в рабочем режиме сепаратора через заданные интервалы времени под действием центробежной силы. Очищенное молоко поступает в напорную камеру, откуда выводится под давлением напорным диском по закрытым трубопроводам в производственные коммуникации. Вывод очищенного молока оборудован манометром и дросселем для регулировки. Управление работой сепаратора, разгрузкой и мойкой осуществляется автоматически [9].

В таблице 1.5 приведены технические характеристики распространенных средств для очистки молока [11, 12].

Таблица 1.5 – Техническая характеристика средств очистки молока от механических примесей

Средство очистки	Производительность, л/ч	Мощность, кВт	Размеры, мм	Масса, кг
Фильтр Ф-01М	5000	-	240x240x850	20
Сепаратор				
ОМ-1А	1200	1,5	1350x350x900	150
Г9-ОМА	5000	4	870x660x1195	365
ОЦМ-5	5000	5,5	75x700x1200	460

Для получения молока с высокими санитарными и технологическими свойствами необходимо его охладить сразу после очистки. Одним из факторов, определяющих жизнедеятельность микробов, является температура. Холод не убивает бактерии, но временно прекращает их рост и размножение.

Чем ниже температура молока, тем дольше сохраняются его первоначальные свойства. При  $t$  равной от плюс 1 до плюс 5 °С молоко сохраняется в течение 2-х суток; а при  $t$  равной минус °С – 3 месяца. Низкая температура способствует лучшему сохранению основных витаминов молока.

С экономической точки зрения важно до какой температуры следует охлаждать молоко. Так, если молоко с места производства отправляется на молочный завод после каждого доения коров, то не целесообразно его охлаждать до низких температур. Охлажденным считается молоко, имеющее температуру в момент сдачи не более плюс  $10^{\circ}\text{C}$ . В качестве источников холода для охлаждения молока используют естественные источники (холодную воду, снег, лед) и искусственный холод. Количество льда, которое необходимо для охлаждения 1 т молока с плюс 30 до плюс  $10^{\circ}\text{C}$  составляет  $1,2 \text{ м}^3$ .

Существует много способов охлаждения молока на фермах. Почти все способы основаны на том, что молоко отдает тепло охлаждающей жидкости через разделяющую их стенку, обычно до температуры плюс  $4^{\circ}\text{C}$ . В жаркие летние дни молоко охлаждают до температуры плюс  $2^{\circ}\text{C}$ , а в зимнее время – до плюс  $8^{\circ}\text{C}$ .

Принцип охлаждения основан на теплообмене между молоком и хладоносителем (воздух, вода, рассол).

Процесс теплопередачи происходит до тех пор непрерывно, пока температура молока будет выше температуры хладоносителя.

Для эффективного охлаждения молока необходимо иметь достаточное количество хладоносителя на единицу молока и условия, обеспечивающие наибольшую теплопередачу.

На теплопередачу влияют следующие основные факторы [10]:

- размер теплообменной поверхности;
- средняя разность температур молока и хладоносителя;
- скорость движения молока и хладоносителя;
- теплопроводность и форма теплообменной поверхности;
- свойства охлаждаемой жидкости и хладоносителя.

Средняя разность температур молока и хладоносителя зависит в большей мере от соотношения потоков движения молока и хладоносителя. Потоки бывают прямоточные и противоточные.

При прямотоке – разницы температур на входе и выходе практически нет.

При противотоке – молоко и хладоноситель движутся навстречу друг другу. В этом случае создается достаточная разность температур на входе и выходе. При прямотоке температура молока не может быть ниже температуры выходящего из охладителя хладоносителя. Этот существенный недостаток резко снижает эффективность такого способа.

При противотоке температура охлаждаемого молока может быть равна или несколько выше температуры входящего хладоносителя и всегда значительно ниже температуры выходящего хладоносителя. Это главное и существенное преимущество противотока над прямотоком.

### 1.3 Анализ способов и средств охлаждения молока

Различают искусственный и естественный способы охлаждения молока. Наиболее простой способ охлаждения молока – естественный, при котором продукт охлаждают до температуры плюс 4...8°C. Этот способ требует большого расхода пресной воды. Для отвода тепла используют также лед, заготовленный в зимний период [11].

Охлаждение молока во флягах (рисунок 1.3) – наиболее простой и доступный способ. Охлаждать молоко во флягах можно используя лед, холодную воду, а также холодильные машины. Недостатки: высокая трудоемкость, низкий коэффициент теплопередачи, большой расход воды.

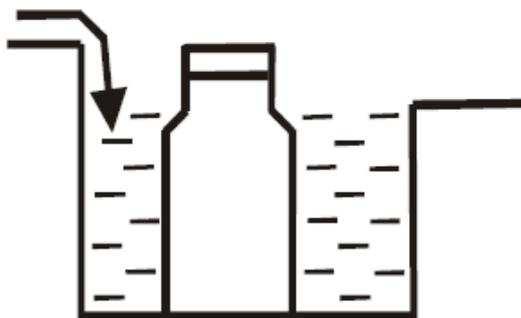


Рисунок 1.3 – Схема охлаждения молока во флягах

Охлаждение молока в оросительных охладителях происходит по схеме, представленной на рисунке 1.4.

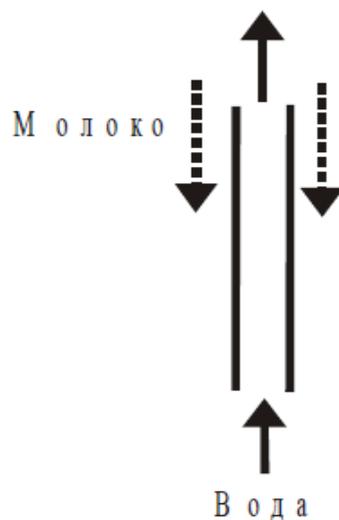


Рисунок 1.4 – Схема охлаждения молока в оросительных охладителях

Охлаждение молока в пластинчатых охладителях осуществляется по схеме, представленной на рисунке 1.5.

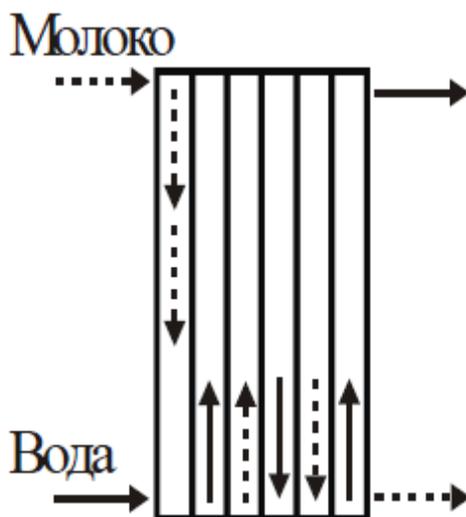


Рисунок 1.5 – Схема охлаждения молока в пластинчатых охладителях

Это наиболее совершенный способ охлаждения молока, обеспечивающий высокую теплопередачу и производительность. Такое охлаждение молока применимо при любом способе доения коров, при этом обеспечивается охлаждение молока в замкнутом потоке без соприкосновения с окружающим воздухом.

Охлаждение молока в резервуарах осуществляется по схеме, представленной на рисунке 1.6.

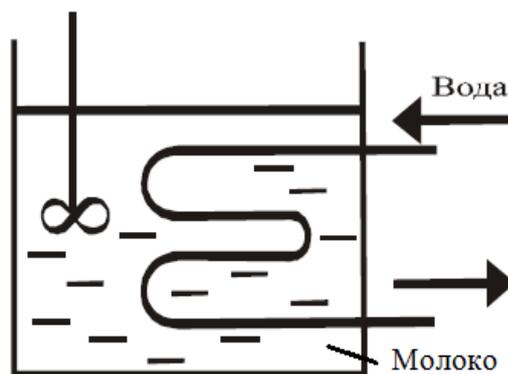


Рисунок 1.6 – Схема охлаждения молока в резервуарах

Этот способ можно применять при любом способе доения коров: ручном; в переносные ведра; в центральный молокопровод. Резервуарный способ охлаждения молока позволяет организовать транспортировку его с ферм (горных пастбищ) по кольцевым маршрутам один раз в день. Для этой цели выпускают танки-охладители и резервуары-охладители емкостью от 200 до 2500 кг [12].

Охлаждение молока при транспортировании его по трубам осуществляется за счет теплообмена молока с грунтом через стенку трубопровода.

Оптимальная глубина прокладки молокопровода должна составлять 0,7-1,0 м. Температура грунта в летние месяцы на глубине 0,7–1,0 м остается практически постоянной и находится в пределах от плюс 10 до плюс 12°C.

Высокая эффективность использования молокопроводного транспорта подтверждается опытом эксплуатации горных молокопроводов, как за рубежом, так и в нашей стране.

Одним из путей решения проблемы энергоэффективности, в том числе и повышения экологической чистоты процесса охлаждения молока на фермах является применение энергосберегающих, экологически безопасных установок, которые могут стать важнейшими альтернативными источниками технологического холода [13-18].

Основные требования, предъявляемые к охладителям молока:

- универсальность в отношении возможности охлаждения жидких молочных продуктов с различными физико-механическими свойствами;

- не допускать бактериального загрязнения молока;
- не допускать испарения продукта во время охлаждения;
- быть удобными для проведения чистки, мойки и дезинфекции.

Существующие охладители могут работать отдельно или входить в состав комбинированных охладительно-пастеризационных или очистительно-охладительных установок.

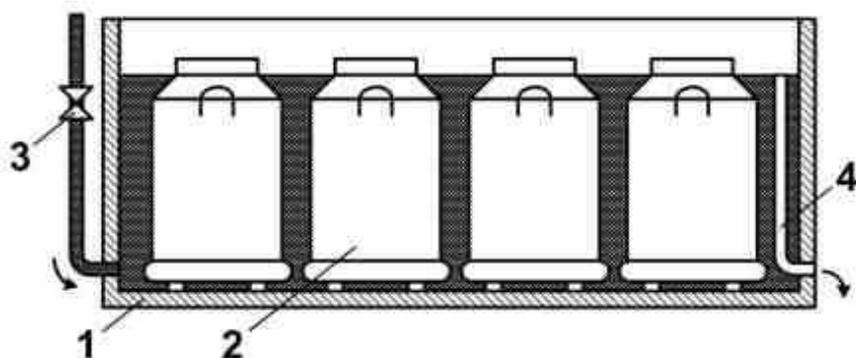
Для охлаждения используют холодную воду родников, артезианских скважин, а также естественный холод. Глубокое охлаждение проводят за счет искусственного холода, полученного от холодильных машин.

Современные охладители классифицируются по следующим признакам:

- по характеру соприкосновения с окружающим воздухом – открытые оросительные и закрытые проточные;
- по профилю рабочей поверхности – трубчатые и пластинчатые;
- по числу секций – одно- и многосекционные;
- по конструкции – одно- и многорядные (пакетные);
- по форме – плоские и круглые.
- по направлению движения теплообменивающихся сред – прямоточные, противоточные и с перекрестным движением сред;
- по воздействиям, вызывающим движение продукта – напорные и самотечные.

Наиболее простые устройства охлаждения свежесвыдоенного молока на фермах являются фляги, погруженные в бассейн с проточной холодной родниковой или водопроводной водой (рисунок 1.7).

Процесс охлаждения молока во флягах осуществляется за счет передачи теплоты через стенку фляги холодной проточной воде, поступающей в нижнюю часть бассейна по водопроводной трубе. Вследствие конвекции подогретая вода поднимается кверху и вытекает из бассейна по сливной трубе. Недостатками этого способа являются низкая интенсивность охлаждения, снижающая качество продукта, значительные затраты ручного труда и охлаждающей воды.

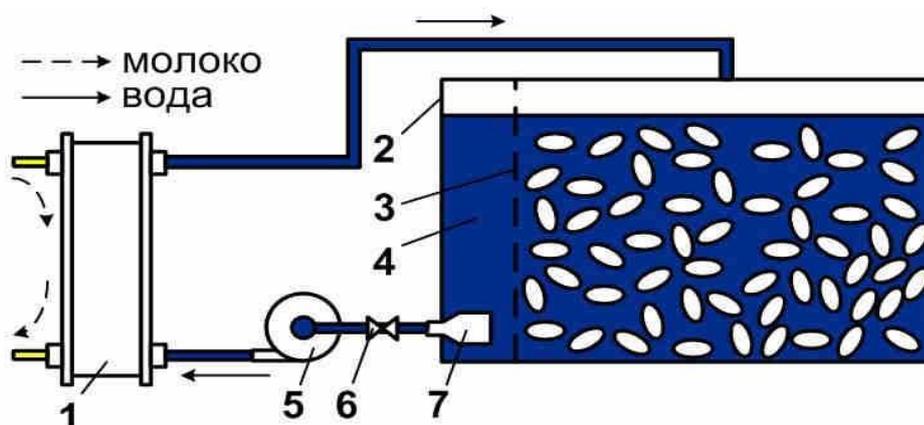


1 – бассейн; 2 – фляга; 3 – вентиль; 4 – сливная труба

Рисунок 1.7 – Устройство охлаждения молока во флягах

Процесс охлаждения во флягах может быть интенсифицирован за счет периодического ручного перемешивания молока любой чистой мешалкой [19].

На фермах часто используют фригаторную установку для охлаждения молока (рисунок 1.8) [17].



1 – пластинчатый охладитель; 2 – фригатор; 3 – фильтр; 4 – секция ледяной воды; 5 – насос; 6 – вентиль; 7 – фильтр насоса

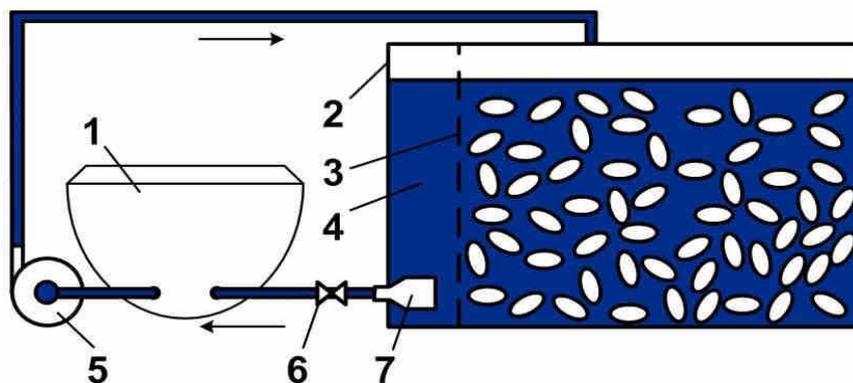
Рисунок 1.8 – Фригаторная установка поточного охлаждения молока

Перед пуском молока в охладитель фригатор загружают кусковым льдом и заливают водой до закрытия фильтра всасывающей трубы, открывают вентиль и пускают в работу насос, а затем подают молоко в охладитель. Под действием насоса вода движется по замкнутому циркуляционному контуру: фригатор – насос – охладитель – труба с разбрызгивателем – фригатор. При этом ледяная

вода в результате теплообмена с молоком через пластины подогревается в охладителе, а во фригаторе охлаждается за счет таяния льда при контакте его с водой, и далее цикл повторяется.

Недостаток: значительные затраты труда на заготовку и хранение кускового льда и загрузку его во фригатор.

Другой модификацией установки для охлаждения молока на месте его выдаивания является ёмкость для охлаждения, агрегатированная с фригатором (рисунок 1.9).



1 – емкость для охлаждения; 2 – фригатор; 3 – фильтр; 4 – секция ледяной воды; 5 – насос; 6 – вентиль; 7 – фильтр

Рисунок 1.9 – Фригаторная установка порционного охлаждения молока

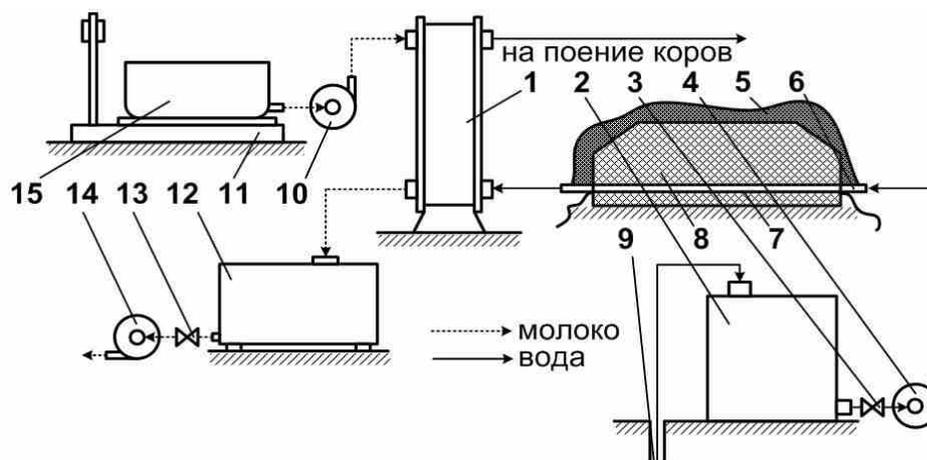
При охлаждении залитой в ёмкость порции молока вода под действием насоса движется по замкнутому контуру: фригатор – водяная рубашка ёмкости – насос – труба с разбрызгивателем – фригатор. При этом для интенсификации теплообмена между молоком и холодными стенками молочной ванны включают в работу мешалку с приводом от мотор-редуктора. Процесс охлаждения молока происходит непрерывно от поступления в ёмкость для охлаждения первой порции молока до полного заполнения молочной ванны. При достижении температуры молока плюс 6°C насос и мешалка автоматически выключаются от датчика температуры. Продолжительность охлаждения молока при 50%-ном заполнении ёмкости 2,5...3 ч при температуре воды, поступающей в водяную рубашку, в пределах от плюс 1 до плюс 3°C.

К недостаткам данного способа охлаждения можно отнести значительные

затраты труда на заготовку кускового льда и подачу его во фригатор, а также медленный процесс охлаждения молока.

В условиях электрифицированных доильных площадок широкое применение получила установка для охлаждения молока с использованием льдобунта (рисунок 1.10) [14, 17].

Во время доения отфильтрованное (процеженное) молоко поступает в молочную ванну, установленную на весах. После взвешивания насосом оно перекачивается через пластинчатый охладитель марки ООТ-М в молоковоз для отправки на молочный завод. Для охлаждения молока артезианская вода подается из скважины в бак вместимостью 1...3 м<sup>3</sup>, откуда насосом нагнетается через регистр льдобунта в пластинчатый охладитель молока, а далее в групповые автопоилки. В регистре вода охлаждается до плюс 3...4°С, а в охладителе молока она нагревается до плюс 13...14°С.



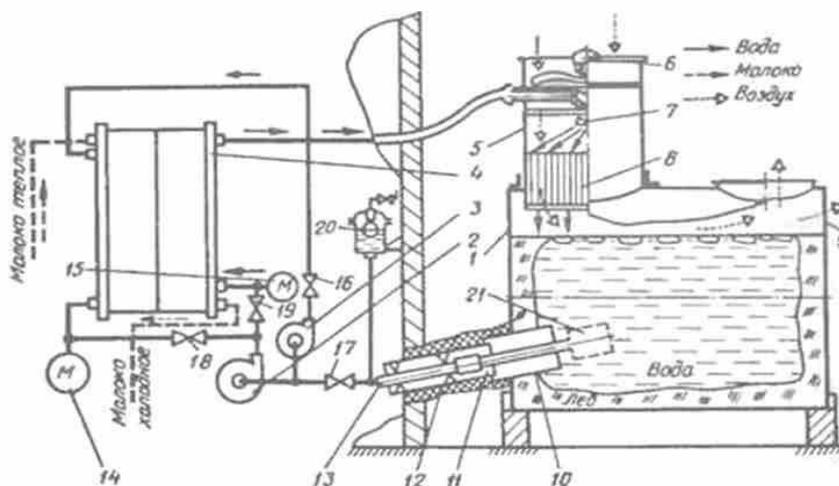
1 – пластинчатый охладитель; 2 – бак; 3 – вентиль; 4, 10, 14 – насосы; 5 – слой опилок; 6 – гибкий рукав; 7 – регистр; 8 – льдобунт; 9 – скважина; 11 – весы; 12 – емкость для хранения молока; 13 – вентиль; 15 – ванна

Рисунок 1.10 – Установка с льдобунтом для охлаждения молока

К недостаткам можно отнести высокую металлоемкость установки, существенные затраты труда на ежегодную теплоизоляцию льдобунта, существенный перерасход артезианской воды.

С целью снижения энергозатрат на охлаждение молока все большее

распространение получает использование естественного холода. Для этих целей используются аккумуляторы естественного холода (рисунок 1.11).



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

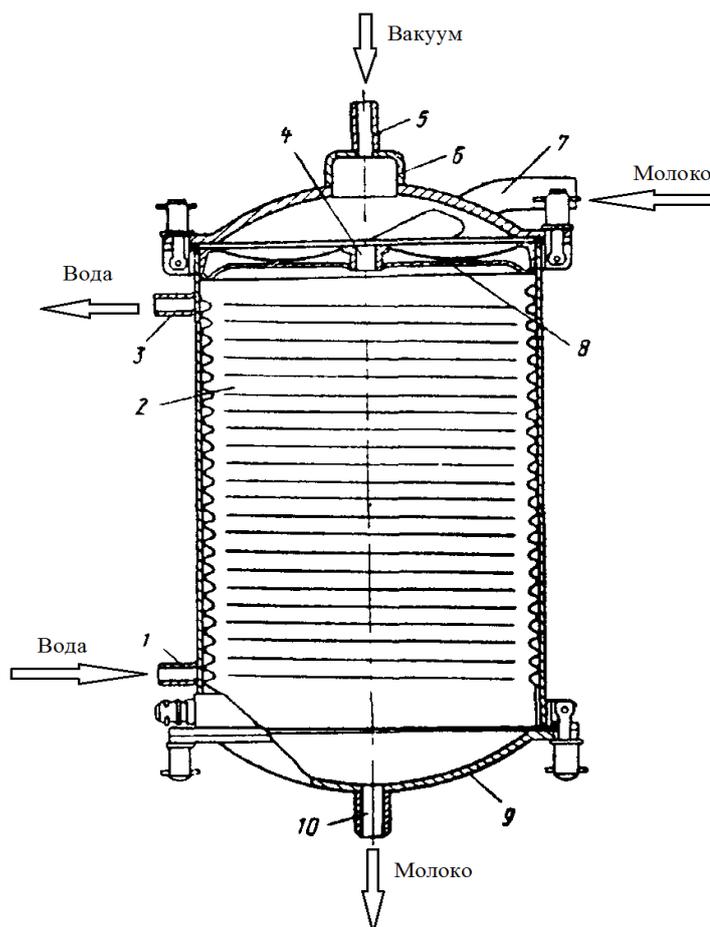
Рисунок 1.11 – Аккумулятор естественного холода А-15

К общему недостатку всех известных типов аккумуляторов естественного холода для периода стойлового содержания коров можно отнести неэффективность их использования при плюсовых температурах воздуха для охлаждения молока, что вызывает необходимость комплектования молочных блоков холодильными установками.

За рубежом также проводятся работы по совершенствованию систем, использующих естественный холод. Разрабатываются компрессоры и системы автоматизации, работающие на экологически безопасных углеводородных хладагентах. Они разрабатываются европейскими фирмами «Coneland», «a'Unite Hermetique» (Франция), а также фирмы «Maneurop», «Dorin», «Butzer», «GEA Farm Technologies» (Германия), Frigomilk (Италия). Создание экологически безопасного оборудования может значительно улучшить экологическую обстановку, однако оно не полностью отвечает требованиям сельского хозяйства, так как не обеспечивает экономии электроэнергии, не защищает

сельскохозяйственного потребителя от аварийных и плановых отключений электроэнергии и потерь сельскохозяйственной продукции [20-22].

Наибольшее распространение на фермах получили вакуумные оросительные охладители схема, одного из которых представлена на рисунке 1.12. Также используются танки-охладители и резервуары различных типов и емкостей.



1 – патрубок для подвода воды; 2 – корпус; 3 – патрубок для слива воды; 4 – трубка; 5 – патрубок воздушный; 6 – верхняя крышка; 7 – патрубок молочный; 8 – распределительное корыто; 9 – поддон; 10 – патрубок слива молока

Рисунок 1.12 – Схема односекционного вакуумного оросительного охладителя молока

Оросительные охладители молока – наиболее простые устройства. При кратности расхода воды 2,5–3 они обеспечивают охлаждение молока на 3–4 градуса выше температуры хладоносителя. Выпускают оросительные охладители ООД–1000 (1000л/ч); ООД–2000 (2000 л/ч); ООМ–1000А; ДФ.04.000А (для

охлаждения молока на доильных установках с центральным молокопроводом).

Эффективная работа оросительных охладителей достигается только при определенных условиях. Одним из важных условий является равномерная подача молока на охладитель. При увеличении подачи толщина слоя стекающего молока увеличивается и интенсивность охлаждения снижается. Уменьшение подачи молока на охладитель, наоборот, приводит к уменьшению толщины слоя на поверхности трубок, тепло отводится из него легче и достигается более глубокое охлаждение.

Изменение нагрузки оросительного охладителя возможно в малом диапазоне, так как при чрезмерном увеличении нагрузок молоко стекает настолько стремительно и бурно, что сильно разбрызгивается с поверхности, при слишком малой нагрузке толщина слоя становится настолько малой, что обнаруживается стремление к разрывам потока молока. Молоко начинает стекать уже не сплошной пеленой, а ручьями, и поверхность охлаждения используется плохо.

Нормальная нагрузка на каждую сторону секции на 1 м длины охладителя составляет около 600 л/ч. Большую роль в работе охладителя играет кратность воды и рассола, а также их температура. Увеличение кратности хладоносителя позволяет, с одной стороны, увеличить скорость его движения внутри трубок охладителя, что улучшает условия теплопередачи. С другой стороны, увеличение кратности хладоносителя понижает температуру его на выходе и, следовательно, увеличивает средний температурный напор между хладоносителем и молоком, что позволяет получить более интенсивное охлаждение. Наиболее рациональная кратность для воды по совокупности технических и экономических показателей процесса лежит в пределах 2,5–3. Для рассола кратность обычно меньше ввиду его низкой температуры и опасности обмерзания трубок рассольной секции.

Производительность охладителя в значительной мере зависит от температурного режима в целом, т. е. от начальной и конечной температур молока, холодной воды и рассола.

Эффективность работы охладителя со временем нарушается из-за

постепенного отложения загрязнений на внутренней поверхности трубок или каналов. Теплопроводность слоя загрязнения в несколько сот раз меньше, чем теплопроводность металлической стенки. При эксплуатации охладителей надо следить за чистотой стенок, систематически проверять состояние водяных и рассольных секций, своевременно очищать и промывать их.

Недостатков, свойственных оросительным охладителям, лишены получившие в настоящее время широкое распространение пластинчатые охладительные теплообменные аппараты, которые на животноводческих фермах и комплексах применяются в качестве охладителей и пастеризаторов молока.

На малых фермах применяют односекционные пластинчатые охладители АДМ-13.000, а на крупных молочных фермах и комплексах для охлаждения молока широко применяются автоматизированные пластинчатые охладительные установки ООТ-МУ4 и ООУ-МУ4, которые охлаждают молоко с температурой от плюс 35 до плюс  $4 \pm 2$  °С (основной режим работы установок). В комплект установок входят следующие сборочные единицы: пластинчатый теплообменный аппарат – пластинчатый охладитель молока; шкаф управления; приборы автоматического контроля, регулирования и регистрации технологического процесса; трубопроводы с обвязкой регулирующего клапана, установленного на трубопроводе подвода ледяной воды или рассола. Установки ООТ-МУ4 и ООУ-МУ4 унифицированы и отличаются друг от друга лишь количеством теплообменных пластин в охладителе молока и компоновкой этих аппаратов.

Пластинчатый охладитель – основная сборочная единица установки. Он состоит из двух секций: предварительного охлаждения – водопроводной или артезианской водой и окончательного охлаждения ледяной водой или рассолом. Пластинчатый охладитель скомпонован из штампованных гофрированных теплообменных пластин типа II – I.

К резервуарам с промежуточным хладоносителем относятся РОМ-1,6 и РОМ-2,5 разработки ОАО «НДИферммаш», производство которых по заказам осуществляет ОАО «Брацлав» и Карловский механический завод (рисунок 1.13). Эти резервуары обеспечивают выполнение технологического процесса

охлаждения и хранения молока, однако уступают аналогам РПО-1,6 и РПО-2,5 производства «Кургансельмаш» по мощности и массе. Удачную конструкцию с непосредственной системой охлаждения разработало ОАО «НДИферммаш» вместе с ОАО «Агромаш». Это охладители ОМБ-1,8-01 на 1800л и ОМБ-1-01 на 1000л, однако серийное производство их еще не освоено.



Рисунок 1.13 – Резервуар-охладитель закрытого типа для охлаждения и хранения молока

Для сохранения качества молока-сырья используют альтернативные методы первичной обработки, например, такой, как электрохимическая обработка (электроактивация) [23, 24].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что основными недостатками установок естественного холода являются: большая металлоемкость, низкий уровень унификации; ограниченная хладопроизводительность из-за относительно малой поверхности контакта атмосферного воздуха с хладоносителем, невысокой эффективности использования испарительного охлаждения установок, малый диапазон рабочих температур хладоносителей, а эффективная работа таких установок достигается только в холодное время года.

На основании проведенного анализа предложена классификация способов и средств первичной обработки молока, представленная на рисунке 1.14 [25].

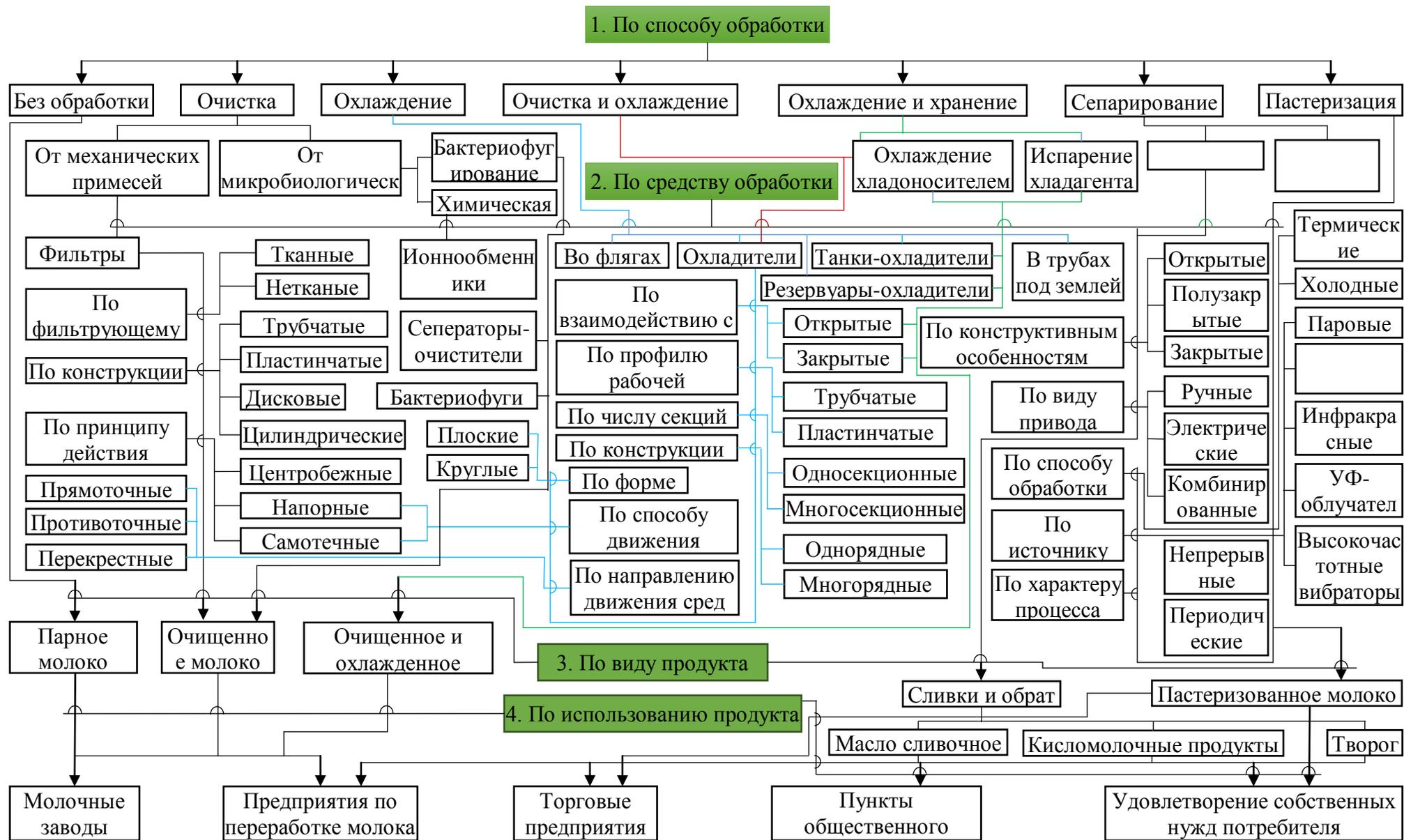


Рисунок 1.14 – Схема классификации способов и средств первичной обработки молока

#### 1.4 Выводы, цель и задачи исследований

В результате анализа способов и средств первичной обработки коровьего молока, можно сделать следующие выводы.

1. Первичная обработка молока является неотъемлемой частью технологического процесса, обеспечивающая получение молока высокого качества.

2. Существующие способы и средства первичной обработки молока имеют недостатки: высокие затраты энергии, металлоемкость конструкций, затраты труда на ежегодное обслуживание и высокий расход хладогента.

3. Не обоснованы оптимальные режимы работы системы охлаждения молока при первичной его обработке.

Поэтому целью исследования является – снижение энергозатрат при первичной обработке коровьего молока и сохранение его качества.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать классификацию способов и средств первичной обработки молока;

- разработать и обосновать комбинированную систему первичной обработки молока с использованием проточных охладителей и применением отработанного хладогента для поения животных;

- обосновать режимы работы системы охлаждения молока с использованием природного холода;

- разработать алгоритм определения потерь материальных средств от снижения качества молока и математическую модель процесса охлаждения молока с использованием природного холода;

- провести технико-экономическую оценку использования комбинированной системы охлаждения молока с последующим использованием хладогента для поения животных.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Анализ теоретических исследований технологического процесса первичной обработки молока

Существующая научная основа оценки уровня и резервов использования сельскохозяйственной техники и оборудования по критериям эксплуатационных затрат, интенсивности загрузки, энергоемкости, материалоемкости и трудоемкости процессов разработана Б.С. Свиряевским, Г.В. Веденяпиным, Ф.С. Завалишиным, Ю.К. Киртбая, С.А. Иофиновым и другими авторами. Однако указанные критерии характеризуют, преимущественно, интенсивность их использования. Они чаще всего находятся в противоречии с критериями качества технологии, в большей мере определяющих эффективность производства. В последующих работах Н.П. Тишанинова, М.В. Шахмаева, Д.Н. Саакяна, А.Н. Важенкна, В.М. Земского и других авторов, методология выработки решений по использованию техники получила дальнейшее развитие. Но задачи использования оборудования для первичной обработки молока в них не рассматриваются.

Детальный анализ существующих методов оценки эффективности использования оборудования подтвердил их ограниченные возможности в разработке алгоритмов управления технологическими процессами. Основанные на сравнении приведенных затрат, они не учитывают результаты технологии по качественным критериям и не могут служить объективной оценкой.

### 2.1 Алгоритм потерь материальных средств от снижения качества молока

Перспективные энергосберегающие систем охлаждения молока с использованием природного холода для внедрения в фермерские хозяйства и другие области сельского производства должны обладать рядом преимуществ перед уже существующими системами [26, 27]:

- повышенная энергоэффективность;
- минимальные капитальные затраты и эксплуатационные издержки;
- максимальный уровень автоматизации;

- простота конструкции;
- малые габаритные размеры и металлоемкость.

Система первичной обработки молока является одним из самых энергозатратных этапов его производства. Она потребляет порядка 1/3 расходуемой электроэнергии [28] и составляют до 35 кВт·ч на 1 тонну свежесвыдоенного молока [29]. Экономия электроэнергии за счёт применения энергосберегающих систем охлаждения молока с использованием природного холода позволяет значительно снизить эти показатели.

Согласно проведенным исследованиям [30–36] бактерицидная фаза определяется по формуле:

$$t_b = \frac{7,22 \cdot 10^6}{B_0 2^{(0,1T_{II})^{1,61}}}, \quad (2.1)$$

где  $B_0$  начальная бактериальная обсемененность;

$T_{II}$  - температура хранения молока.

Бактериальная обсемененность при времени хранения  $T_{II} < t_b$ :

$$B = B_0 \cdot (6,35 \cdot 10^{-5} \cdot T_{II}^{3,82} \cdot t_{II} + 1), \quad (2.2)$$

При  $T_{II} > t_b$ :

$$B = B_0 \cdot (6,35 \cdot 10^{-5} \cdot T_{II}^{3,82} \cdot t_{II} + 1) \cdot (2^{t_{II}-t_b/2,13-0,046T_{II}+1} - 1), \quad (2.3)$$

При оценке влияния качества молока учитываются показатели качества молока – начальная температура ( $T_0$ ), бактериальная обсемененность ( $B_0$ ), механическая загрязненность ( $K$ ), жирность молока ( $g$ ); режим хранения – температура ( $T_{xp}$ ) и время хранения ( $t_{xp}$ ), а также дифференциация цен на рынке по качеству молока ( $C_i$ ). Алгоритм определения потерь от снижения качества молока представлен на рисунке 2.1.

Из анализа, выполненного в соответствии с алгоритмом оценки следует, что в зависимости от объема получаемого молока, удаленности ферм и комплексов от молокоприёмных пунктов и потребителей молочных изделий, от климатических условий и наличия современной техники, без вредного воздействия на окружающую среду можно разработать комбинированные

технологические системы (КТС) с использованием искусственных и естественных источников холода и подогревом воды для поения животных.

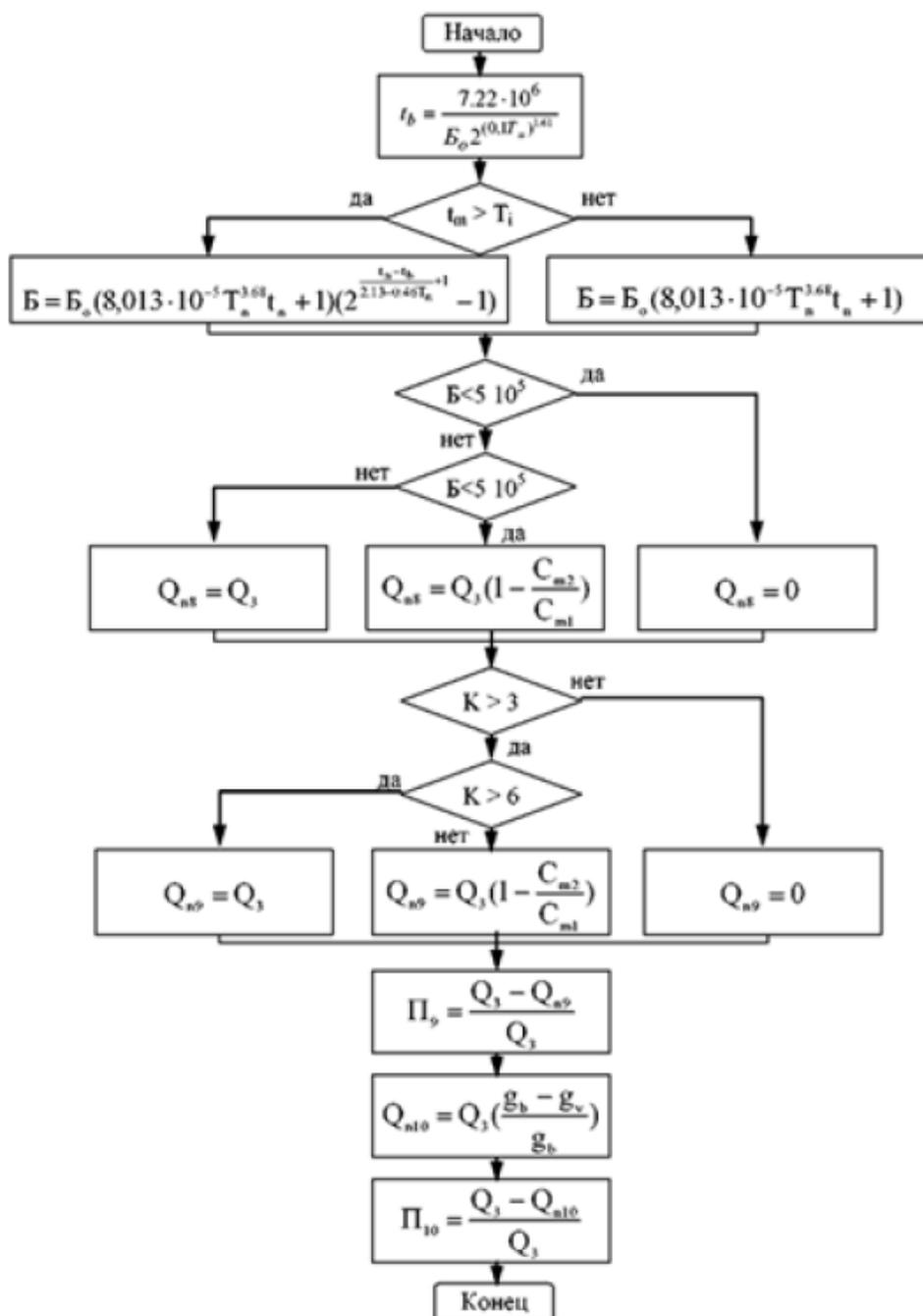


Рисунок 2.1 – Алгоритм определения потерь материальных средств от снижения качества молока

При обосновании предлагаемых схем должны учитываться следующие требования: качество молока в результате первичной обработки не должно снижаться, себестоимость молока и уровень воздействия на окружающую среду не должны повышаться, количество наименований молочной продукции также

не должно сокращаться. Таким образом, КТС является функцией следующих факторов [34]:

$$KTC = f(W, S, K, T_T, \mathcal{E}_K), \quad (2.4)$$

где  $W$  - годовой объем производства молока, т;

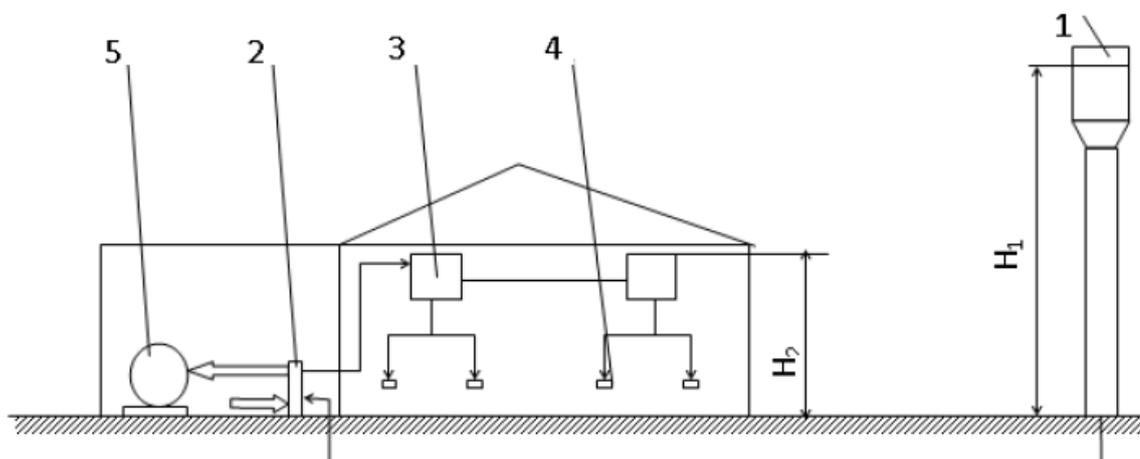
$S$  - расстояние от предприятия производителя молока до пункта приема или использования, км;

$K$  - климатические условия – количество дней в году с положительными и отрицательными значениями температуры, °С;

$T_T$  – наличие современной техники для первичной обработки молока;

$\mathcal{E}_K$  – степень воздействия на экологическую среду, %.

Для повышения качества молока и экономии энергии разработан вариант комбинированной технологической системы предварительного охлаждения молока в потоке с использованием проточных охладителей, сбором подогретой воды в промежуточных емкостях и дальнейшем ее использовании для поения животных (рисунки 2.2 – 2.3).



1 – водонапорная башня; 2 – проточный охладитель; 3 – емкость промежуточная; 4 – автопоилка; 5 – танк-охладитель молока

Обозначения:  $\rightarrow$  - охлаждающая вода;  $\Rightarrow$  - молоко.

Рисунок 2.2 – Схема комбинированной системы охлаждения молока и поения животных

Система первичной обработки работает следующим образом. Вода из

водонапорной башни 1, расположенной на расстоянии от коровника подается по трубопроводу под землей к проточному охладителю 2. Через охладитель 2 также проходит парное молоко и тем самым отдает тепло холодной воде, нагревая ее при этом, а само предварительно охлаждается и поступает в танк-охладитель. Подогретая вода поступает в промежуточные емкости, расположенные на определенной высоте, что позволяет в дальнейшем подавать воду в поилки 4 животных.



а)

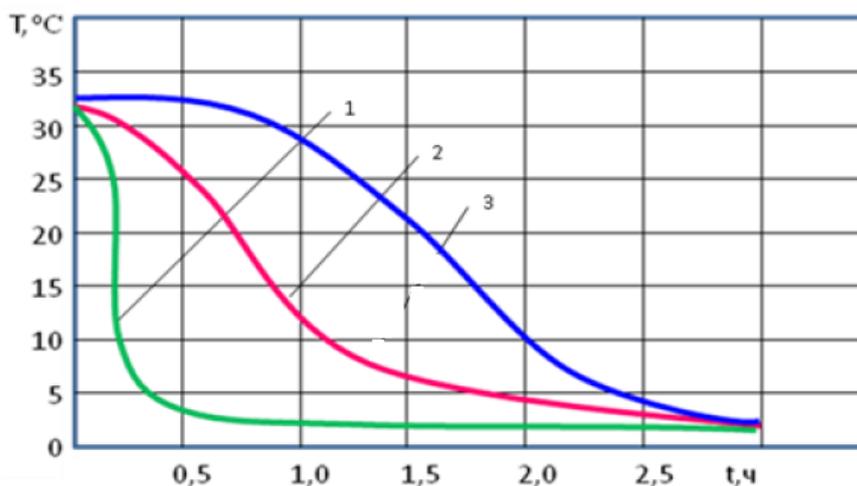


б)

Рисунок 2.3 – Общий вид коммуникаций (а) и приточного теплообменника (б)

Интенсивность охлаждения молока в зависимости от способов

охлаждения представлена на рисунке 2.4. Из рисунка видно, что при предварительном охлаждении молока водой с последующим охлаждением в танке-охладителе (кривая 1) время охлаждения до плюс 5°C примерно в 4 раза меньше чем в варианте с наморозкой льда в охладителе (кривая 2) и в 6 раз меньше чем при прямом охлаждении, то есть в молочных танках, в которых температура продукта понижается за счет его непосредственного контакта с испарителем и хладагентом служит фреон (кривая 3) [32, 33].



1 – предварительное охлаждение молока водой с последующим охлаждением в танке-охладителе; 2 – с наморозкой льда; 3 – прямое охлаждение

Рисунок 2.4 – Интенсивность охлаждения молока

2.4 – Эффективность использования оборудования первичной обработки молока

Качественные характеристики системы первичной обработки молока определяют конечный результат ее производства, а также качество продуктов ее переработки и, как следствие, эффективность производства в целом. Поэтому, в сложившихся экономических условиях особенно насущно встает вопрос о совершенствовании системы управления качеством первичной обработки молока [34, 35].

Исходя из значений конечной бактериальной обсемененности, технологические эффекты определяются по формулам [36]:

1. при  $B < 500$  тыс. –  $Q_{п} = 0$ ;

2. при 500 тыс. <  $B$  < 4 млн. –  $Q_{\text{п}} = Q(1 - C_2 / C_1)$ ;

3. при 4 млн. <  $B$  < 20 млн. –  $Q_{\text{п}} = Q(1 - C_3 / C_1)$ ,

где  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  - закупочная стоимость молока 1-го сорта, 2-го сорта и несортного молока соответственно.

При оценке эффективности использования оборудования значения эксплуатационно-технологических и энергетических показателей целесообразно привести к количеству перерабатываемой продукции.

При этом затраты использования трудовых ресурсов примут вид:

$$Q_{\text{ПТ}} = \sum_{i=1}^m (C_{pi} T_{pi} / C_1), \quad (2.5)$$

где  $C_{pi}$  - стоимость одного часа работы  $i$ -го работника;

$T_{pi}$  - время работы  $i$ -го работника;

$m$  - количество работников, занятых в процессе.

Затраты на использование собственных ресурсов оборудования:

$$Q_y = \sum_{i=1}^n (C_{yi} K_i T_{оbi} / C_1 T_R), \quad (2.6)$$

где  $C_{yi}$  - стоимость  $i$ -го оборудования;

$K_i$  - коэффициент увеличения капитальных вложений при монтаже оборудования;

$T_R$  - ресурс  $i$ -го оборудования;

$T_{оbi}$  - время работы  $i$ -го оборудования;

$n$  - количество оборудования.

Затраты на использование энергоресурсов:

$$Q_{\text{ПЭ}} = \sum_{i=1}^{Z_e} (C_e N_{ei} h_e T_{ei} / C_1) + \sum_{i=1}^{Z_t} (C_t N_{ti} h_t T_{ti} / C_1) + \sum_{i=1}^{Z_j} (C_j N_{ji} h_j T_{yi} / C_1) + \sum_{i=1}^{Z_g} (C_g N_{gi} h_g T_{gi} / C_1), \quad (2.7)$$

где  $T_e$  - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии;

$N_{ei}$  - мощность  $i$ -ой электроустановки;

$h_e$  - КПД  $i$ -ой установки;

$T_{ei}$  - время работы  $i$ -ой электроустановки;

$Z_e$  - количество электроустановок;

$C_t, C_j, C_g$  - стоимости единицы твердого, жидкого и газообразного топлива соответственно;

$N_{ti}, N_{ji}, N_{gi}$  - мощности  $i$ -ых энергоустановок, работающих на твердом, жидком и газообразном топливе соответственно;

$h_t, h_j, h_g$  - КПД  $i$ -ых энергоустановок;

$T_{ti}, T_{ji}, T_{gi}$  - время работы  $i$ -ых энергоустановок;

$Z_{ti}, Z_{ji}, Z_{gi}$  - количество энергоустановок, работающих на твердом, жидком и газообразном топливе соответственно.

Общие затраты на технологический процесс, приведенные к количеству молока:

$$R = Q_{\Pi} + Q_{\Pi T} + Q_{\Pi Э} + Q_y, \quad (2.8)$$

Обобщенный показатель эффективности использования оборудования для первичной обработки молока равен:

$$P_{об} = (Q - R/Q), \quad (2.9)$$

Для повышения эффективности производства молока необходимо, чтобы технологическое оборудование работало в режиме, обеспечивающем оптимальные условия охлаждения и хранения молока. Учитывая, что затраты на выполнение процесса должны быть ниже технологического эффекта от этого процесса, запишем следующее условие:

$$(C_1 - C_2) \cdot Q > Z_T, \quad (2.10)$$

где  $C_1, C_2$  - цены реализации молока 1-го и 2-го сорта соответственно;

$Q$  - количество молока;

$Z_T$  - затраты на технологический процесс.

Затраты на технологический процесс можно представить в виде:

$$Z_T = Z_{Э} + Z_{ИТР} + Z_{иср}, \quad (2.11)$$

где  $Z_{Э}$  - затраты на энергообеспечение процесса;

$Z_{ИТР}$  - затраты на использование трудовых ресурсов;

$Z_{иср}$  - затраты на использование собственных ресурсов оборудования.

В свою очередь затраты на энергообеспечение процесса составляют:

$$Z_{\mathcal{E}} = C_e N_e h_e T_p, \quad (2.12)$$

где  $C_e$  - стоимость 1 кВт·ч;

$N_e$  - потребляемая мощность оборудования;

$h_e$  - КПД оборудования;

$T_p$  - время работы оборудования.

Для холодильных установок  $T$  будет равно:

$$T_p = T_{охл} + T_{xp} K_p, \quad (2.13)$$

где  $T_{охл}$  - время охлаждения молока до заданной температуры;

$T_{xp}$  - время хранения охлажденного молока;

$K_p$  - коэффициент, учитывающий режим работы холодильной машины в процессе поддержания заданной температуры во время хранения молока.

$$K = f(Q, П_{ТЭ}), \quad (2.14)$$

где  $П_{ТЭ}$  - технико-эксплуатационные показатели оборудования.

Затраты на использование трудовых ресурсов:

$$Z_{ИТР} = \sum_{i=1}^m (C_{pi} T_{pi} K_n), \quad (2.15)$$

где  $C_{pi}$  - стоимость одного часа работы для  $i$ -го работника;

$T_{pi}$  - время работы  $i$ -го работника;

$K_n$  - коэффициент, учитывающий начисления на заработную плату.

Затраты на использование собственных ресурсов технологического оборудования:

$$Z_{иср} = C_y K T_p / T_R, \quad (2.16)$$

где  $C_y$  - стоимость оборудования;

$T_p$  - время работы оборудования;

$K$  - коэффициент увеличения капитальных вложений при монтаже оборудования;

$T_R$  - ресурс оборудования.

Снижение выше перечисленных затрат возможны за счет оптимизации технологического процесса охлаждения и хранения молока по времени и режиму работы с учетом технико-эксплуатационных показателей.

Из выражений (2.10) и (2.11) видно, что на эффективность использования оборудования для первичной переработки молока большое влияние оказывает такой фактор, как затраты на использование собственного ресурса оборудования, в частности, как видно из уравнения (2.6), от соотношения стоимости, ресурса и времени использования оборудования в сутки.

Для определения границ эффективности использования оборудования запишем уравнение (2.10) в виде:

$$(C_1 - C_2) \cdot Q = (C_y K T_p) / T_r + C_e N_e h_e T_p + C_p T_p K, \quad (2.17)$$

откуда:

$$C_y / T_r = ((C_1 - C_2) \cdot Q - C_e N_e h_e T_p - C_p T_p K) / (T_p K), \quad (2.18)$$

Для решения поставленной задачи построена номограмма, приведенная на рисунке 2.5 [36].

Чтобы определить эффективность оборудования по параметрам “стоимость – ресурс”, производим следующие операции для конкретных данных: количество молока  $Q = 0,5$  т; разница стоимости молока 1-го и 2-го сортов  $\Delta C = 100$  руб.; время хранения молока  $T_x = 24$  ч; стоимость 1 кВт·ч работы оборудования  $C_e = 0,5$  руб.; стоимость работы одного часа одного работника  $C_p = 0,72$  руб.; время работы работника  $t_p = 12$  ч; время работы оборудования  $T_p = 8$  ч.

1. В координатах  $Q - \Pi_1$  задаемся количеством молока  $Q = 0,5$  т и проводим горизонталь до линии соответствующей разнице цен молока 1-го и 2-го сорта  $\Delta C = 100$  руб., затем из полученной точки проводим вертикаль до пересечения с осью  $\Pi_1$ . Полученная на шкале  $\Pi_1$  точка характеризует

технологический эффект, то есть  $\Pi_1 = 100$  руб.

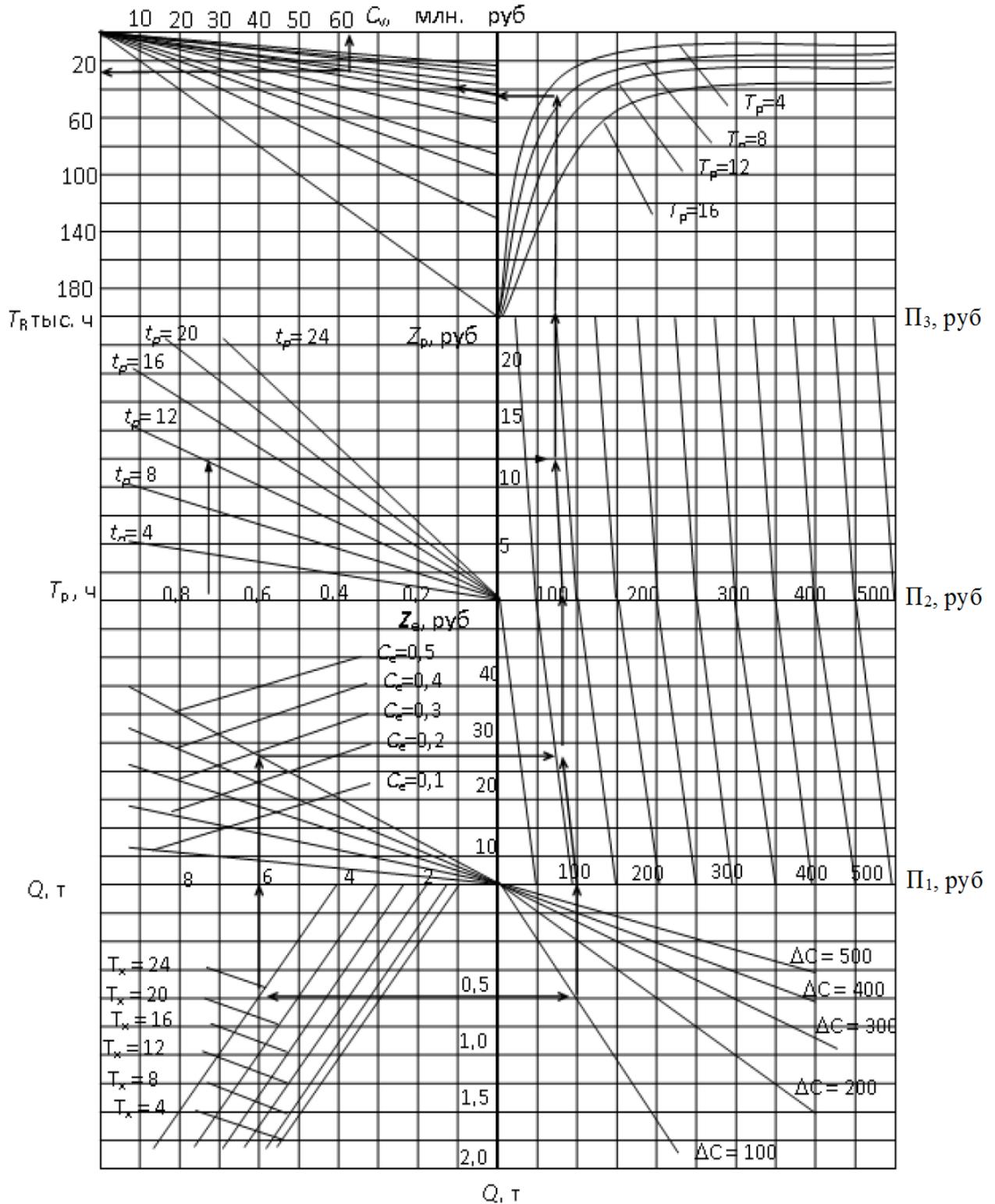


Рисунок 2.5 – Номограмма определения границ эффективного применения оборудования для первичной обработки молока

2. Для учета затрат на энергообеспечение процесса работаем с координатами  $Q - T_p$ ,  $T_p - Z_e$  и  $Z_e - \Pi_1$ : от известного значения  $Q$  проводим горизонталь до пересечения с линией  $T_x = 24$  ч, затем от точки на линии  $T_x$

проводим вертикаль до оси  $T_p$  и далее до линии  $C_e$ , соответствующей стоимости 1 кВт·ч работы оборудования. От точки на линии  $C_e$  проводим горизонталь до оси  $Z_e$ , получаем  $Z_e = 23$  руб. Полученное на шкале значение соответствует затратам на энергообеспечение процесса. Чтобы вычесть затраты из прибыли необходимо найти точку пересечения горизонтали, проведенной из точки на оси  $Z_e$ , и наклонной направляющей, исходящей из точки на оси  $\Pi_1$ , полученной в п.1, затем из полученной точки пересечения провести вверх вертикаль до оси  $\Pi_2$ , находящейся выше, получаем  $\Pi_2 = 85$  руб.

3. Чтобы учесть затраты на использование трудовых ресурсов работаем в координатах  $C_p - Z_p$ ,  $Z_p - \Pi_2$ . Задавшись стоимостью 1-го часа работы 1-го работника по шкале  $C_p = 0,72$  руб., проводим вертикаль до линии  $t_p = 12$  ч, затем из полученной точки проводим горизонталь до оси  $Z_p$  и далее, до пересечения с направляющей линии исходящей из точки на оси  $\Pi_2$ , а затем из полученной точки проводим вертикаль вверх до оси  $\Pi_3$ . Полученное значение  $\Pi_3 = 70$  руб. характеризует прибыль с учетом затрат на энергообеспечение и оплату труда.

4. Для определения эффективности оборудования по параметрам “стоимость – ресурс” используем координаты  $\Pi_3 - C_y / T_R$ ,  $C_y - T_R$ : от значения на оси  $\Pi_3$  проводим вертикаль до кривой  $T_p = 8$  ч, из полученной точки проводим горизонталь до оси  $C_y / T_R$ . Из значения  $C_y / T_R$  переходим на прямую, ведущую к началу координат  $C_y - T_R$ . Двигаясь по этой прямой, определяем ресурс по известной стоимости, либо наоборот, стоимость при данном ресурсе, обеспечивающие эффективную работу оборудования. То есть при ресурсе работы 24 тыс. часов стоимость составит 62 млн. руб.

Таким образом, номограмма позволяет установить эффективность применения оборудования для первичной обработки молока.

## 2.4 Выводы

Разработанный алгоритм и номограмма оценки и средства контроля позволяют выявлять конкретные резервы повышения эффективности использования оборудования для первичной обработки молока, разрабатывать мероприятия, направленные на их реализацию, а также прогнозировать результаты внедрения этих мероприятий. Основными резервами повышения эффективности использования систем первичной обработки молока является: снижение начальной бактериальной обсеменённости молока путем качественного и своевременного удаления механических примесей, а также улучшения режима промывки и санитарного состояния оборудования; выбор рациональной схемы компоновки системы исходя из условий производства и технических возможностей оборудования; выбор рационального режима хранения молока на основе начальных показателей качества молока, продолжительности хранения и условий доставки его потребителю. Разработанная комбинированная система обеспечивает: сокращение времени выхода на режим охлаждения (плюс 4°C) танка-охладителя и как следствие снижение потребления электроэнергии; сокращение фазы интенсивного размножения бактерий, сохранение качества молока, возможность более длительного его хранения; повышение продуктивности животных, в результате поения их подогретой водой.

### 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью экспериментальных исследований является оценка соответствия технологическим требованиям разрабатываемой энергосберегающей комбинированной системы предварительного охлаждения молока в потоке с использованием проточных охладителей, сбором подогретой воды в промежуточных емкостях и дальнейшем ее использовании для поения животных, определение относительной погрешности измерения температур рабочих жидкостей и их зависимости от параметров и режимов работы технологической системы обработки молока на фермах.

Для выполнения поставленной цели решены следующие задачи:

- разработать комбинированную систему предварительного охлаждения молока в потоке с использованием проточных охладителей;
- разработать программу экспериментальных исследований;
- разработать методику экспериментальных исследований.

#### 3.1 Программа экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования разработанной комбинированной системы учитывают следующие параметры:

- случайные значения температур наружного воздуха;
- случайные значения температур молока на входе и выходе из теплообменника;
- случайные значения температур воды на входе и выходе из теплообменника;
- поток объёма молока от молокоприемного оборудования;
- поток объёма воды;
- время включения и отключения насосов рабочих сред (молоко, вода);
- относительную погрешность показаний датчиков температур при измерениях.

Использование ГОСТов, ОСТов на испытание, апробированных методик обеспечивает качественное сравнение результатов, высокую точность оценки закономерностей, исключения в анализе неучтённых факторов.

### 3.2 Методика проведения экспериментальных исследований

Экспериментальный образец комбинированной системы технологического процесса должен позволять:

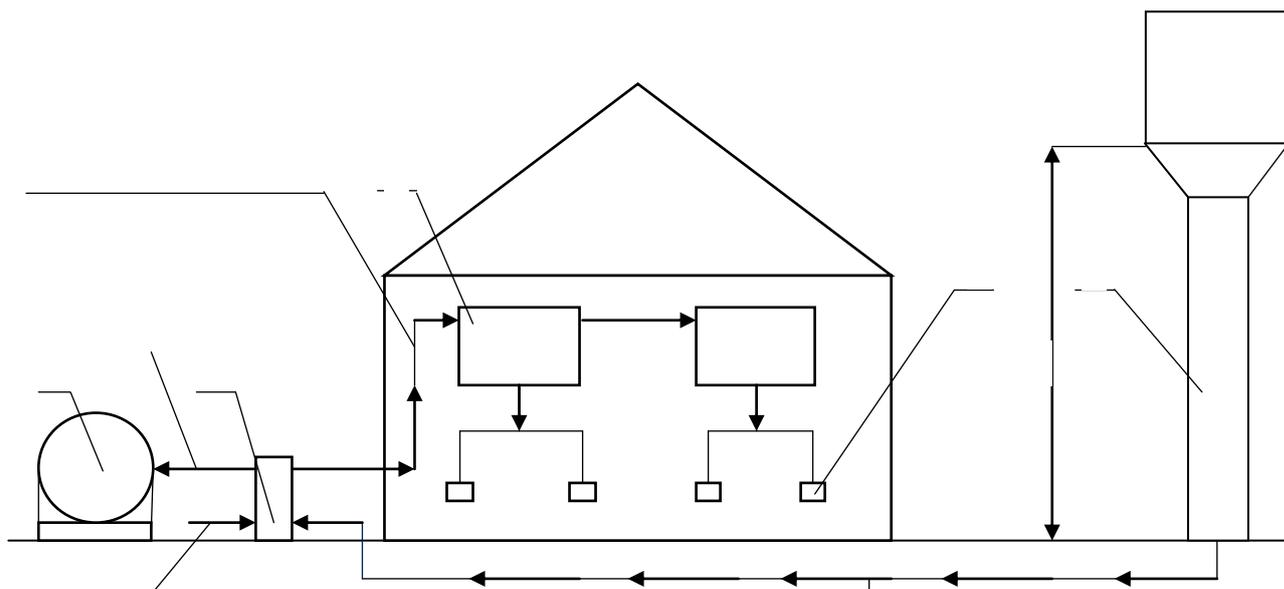
- воспроизводить среднестатистические (ожидаемые) значения температур рабочих сред – наружного воздуха, воды, молока;
- воспроизводить различные режимы подачи потоков молока;
- проводить оценку относительной погрешности показаний датчиков температур при различных режимах работы.

Экспериментальный образец должен представлять собой модель типовой системы первичной обработки молока, имитирующий предварительное охлаждение молока с использованием природного холода и движением хладоносителей для реальных животноводческих ферм. В состав комбинированной системы должны входить типовые устройства и конструкции, применяемые на животноводческих фермах (молочный насос, в качестве релизера – емкость с молоком, датчики температуры, блок управления и др.).

Для интенсификации процесса охлаждения включается вентилятор. Молоко поступает через регулирующий вентиль от емкости с молоком с помощью насоса молока в размере 1го объема. Показания датчиков температуры передаются по линиям связи в температурный регулятор-измеритель 1 и через разъем передаются на монитор, где производится автоматическое построение графиков, а также есть возможность передачи числовых значений показаний датчиков температуры в программный комплекс Excel.

Схема экспериментального образца комбинированной системы первичной обработки молока представлена на рисунке 3.1. Проектирование и расчёт водопроводной сети необходимо выполнить с учетом перспективы развития фермы. При расчёте водопроводной сети определяют наиболее выгодные диаметры

труб на отдельных участках сети и потери напора при транспортировке воды.



1 – танк-охладитель молока; 2 – проточный охладитель; 3 – емкость промежуточная; 4 – автопоилка; 5 – водонапорная башня

Рисунок 3.1 – Схема экспериментального образца комбинированной системы первичной обработки коровьего молока

Для определения высоты и производительности водонапорной башни необходимо рассчитать потери в системе и подобрать оборудование для охлаждения исходя из производительности фермы.

Из технологических и экономических соображений наиболее целесообразно, когда производительность систем первичной обработки молока равняется производительности соответствующих систем доения коров или является несколько меньше последних. Необходимая пропускная способность  $Q$  системы обработки молока определяется по формуле [37]:

$$Q = \frac{m \cdot G \cdot c \cdot k_p}{365 \cdot \rho_l \cdot T_u}, \quad (3.1)$$

где  $m = 50$  голов – количество коров на ферме;

$G = 5000$  кг – среднегодовой надой на корову;

$c$  – коэффициент месячной неравномерности поступления молока. Характеризуется отношением максимального месячного надоя к среднемесячному показателю и составляет  $c = 1,1 - 1,5$ , в расчете принимаем  $c = 1,2$ ;

$k_p$  – коэффициент неравномерности разового надоя. При трехкратном доении  $k_p = 0,55 - 0,6$ , при двукратном –  $k_p = 0,82 - 0,9$ , в расчете принимаем  $k_p = 0,85$ ;

$\rho_l$  – коэффициент, учитывающий длительность лактации коров,  $\rho_l = 0,8 - 0,82$ , в расчете принимаем  $\rho_l = 0,8$ ;

$T_u$  – длительность цикла разового доения,  $T_u = 1,5 - 2$  часа, в расчете принимаем  $T_u = 1,5$  часа.

Производительность системы составит:

$$Q = \frac{50 \cdot 5000 \cdot 1,2 \cdot 0,85}{365 \cdot 0,8 \cdot 1,5} = 582 \text{ кг/сут.}$$

Учитывая, что плотность молока составляет  $\rho = 1027 \text{ кг/м}^3$ , получим:

$$Q = \frac{582}{1027} = 0,57 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Потребность фермы в воде на поение животных определяется наличием групп животных и среднесуточными нормами водопотребления по формуле:

$$Q_{\text{ср.сут}}^6 = \sum_{i=1}^n m_i \cdot q_i, \quad (3.2)$$

где  $m_i$  –  $m_1$  - количество животных  $i$ -ого вида.

$q_i$  – норма воды на одно животное  $i$ -ого вида, л [38];

$n$  – количество видов животных.

Животные потребляют воду в течение суток неравномерно, поэтому необходимо знать максимальное потребление воды в сутки, которое определяется по формуле [39]:

$$Q_{\text{max.сут}}^6 = Q_{\text{ср.сут}}^6 \cdot \alpha, \quad (3.3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент неравномерности потребления воды ( $\alpha = 1,3$ ).

Получаем:

$$Q_{\max.сут}^6 = 50 \cdot 100 \cdot 1,3 = 6500 \text{ л/сут} = 6,5 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Так как для охлаждения одного куба молока требуется полтора куба воды, следовательно, максимального суточного расхода воды достаточно для охлаждения надоенного за сутки молока. Затем определяем максимальный часовой расход воды, учитывая часовые колебания неравномерности расхода:

$$Q_{\max.ч}^6 = \frac{Q_{\max.сут}^6}{24} \cdot k_{ч}, \quad (3.4)$$

где  $k_{ч}$  – коэффициент часовой неравномерности потребления воды,  $k_{ч} = 2,5$ .

Показатель максимального часового расхода воды является первым критерием для выбора насоса. Производительность насоса должна быть не менее максимального часового расхода воды на ферме.

$$Q_{\max.ч}^6 = \frac{6,5}{24} \cdot 2,5 = 0,677 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определяем максимальный секундный расход:

$$Q_{\max.с}^6 = \frac{Q_{\max.ч}^6}{3600}, \quad (3.5)$$

$$Q_{\max.с}^6 = \frac{0,677 \cdot 1000}{3600} = 0,19 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Водопровод разбит на наружный и внутренний участки длиной, соответственно, 200 и 150 м. Для каждого участка определяем максимальный секундный расход воды. Секундный расход воды для участка водопровода составляет [38]:

$$Q_{\max.с}^6 = S \cdot V, \quad (3.6)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения трубы водопровода,  $\text{м}^2$ ;

$V$  – скорость движения воды,  $\text{м/с}$ . Скорость воды в трубах диаметром до 300 мм рекомендуется принимать в пределах до 1,25  $\text{м/с}$  [39]. В наружном трубопроводе устанавливаются трубы диаметром менее 50 мм не рекомендуется, в расчете принимаем для наружного –  $V = 0,1 \text{ м/с}$ , внутреннего участка –  $V = 0,4 \text{ м/с}$ .

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (3.7)$$

где  $d$  – диаметр трубы данного участка водопровода. Подставив в формулу (3.6) выражение (3.7), получим:

$$Q_{\max.c}^e = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V, \quad (3.8)$$

Из уравнения 3.8 получим:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q_{\max.c}^e}{\pi \cdot V}}, \quad (3.9)$$

Для наружного участка водопровода:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,19 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,1}} = 0,049 \text{ м}, \text{ принимаем } d = 50 \text{ мм}.$$

Для внутреннего участка водопровода:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,19 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,4}} = 0,0246 \text{ м}, \text{ принимаем } d = 25 \text{ мм}.$$

При движении в трубах вода встречает два вида сопротивлений: трение по длине трубопровода и местные сопротивления. Суммарные потери напора в водопроводе определяются по формуле:

$$\sum h_s = h_{mp} + h_{mc}, \quad (3.10)$$

где  $h_{mp}$  – потери напора на преодоление сил трения по трубе, м;

$h_{mc}$  – потери напора на преодоление местных сопротивлений, м.

Потери напора на преодоление сил трения зависит от длины трубопровода, состояния его внутренней поверхности и секундного расхода воды и определяется по формуле [39]:

$$h_{mp} = k_1 \cdot \frac{l \cdot V^2}{d \cdot 2g}, \quad (3.11)$$

где  $k_1$  – коэффициент сопротивления трению воды по трубам, зависящий от их материала (для стальных труб  $k_1 = 0,02$ ) [39];

$l$  - длина участка водопровода, м;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

При проектировании систем водоснабжения потери напора на преодоление местных сопротивлений через задвижки и фасонные части принимают равными для внешнего трубопровода 5...10%, внутреннего 10...15% от величины потерь напора на преодоление сопротивления движению по длине трубопровода.

Когда условия требуют получения более точных данных, в этих случаях пользуются расчетной формулой:

$$h_{mc} = k_2 \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (3.12)$$

где  $k_2$  – коэффициент, учитывающий потери напора при прохождении воды через краны, сгоны, повороты, муфты и т.д.

Потери на трение для наружного участка водопровода составят:

$$h_{mp} = 0,02 \cdot \frac{200 \cdot 0,1^2}{0,05 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,041 \text{ м.}$$

Для внутреннего участка водопровода:

$$h_{mp} = 0,02 \cdot \frac{150 \cdot 0,4^2}{0,025 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,98 \text{ м.}$$

Потери на местные сопротивления для наружного трубопровода:

$$h_{mc} = h_{mp} \cdot 0,1 = 0,041 \cdot 0,1 = 0,004 \text{ м.}$$

Для внутреннего участка водопровода:

$$h_{mc} = h_{mp} \cdot 0,12 = 0,98 \cdot 0,12 = 0,12 \text{ м.}$$

Таким образом суммарные потери водопровода составят:

$$\sum h_g = 0,041 + 0,98 + 0,004 + 0,12 = 1,145 \text{ м.}$$

Высоту расположения водонапорного бака определяют из условия обеспечения необходимого напора в наиболее удаленной (диктуемой) точке потребления, пользуясь уравнением У. Бернулли [40]:

$$H_{\sigma} = H_{cв} + \sum h, \quad (3.13)$$

где  $H_{\sigma}$  – высота расположения днища водонапорного бака над поверхностью земли, м;

$H_{св}$  – свободный напор, м. В наружной водопроводной сети на фермах свободный напор согласно СНиП должен быть не менее 10 м. Для водопроводной сети соответствующие значения свободных напоров должны быть следующими: для автопоилок не менее 4 м, для водоразборных кранов – 2 м. Свободные напоры на вводах в производственные помещения устанавливают в соответствии с расходами воды, которые они обеспечивают [39].

Таким образом высота водонапорного бака составит:

$$H_{\sigma} = 10 + 1,145 = 11,145 \text{ м.}$$

Результаты расчетов приведены в таблице 3.1 [41].

Таблица 3.1 – Результаты расчета водонапорной башни

Показатель	единица измерения	Наружный участок	Внутренний участок	Водопровод
Скорость течения воды	м/с	0,1	0,4	-
Диаметр трубы	м	0,05	0,025	-
Длина участка	м	200	150	350
Потери на трение по длине	м	0,041	0,98	1,021
Потери на местные сопротивления	м	0,004	0,12	0,124
Суммарные потери	м	-	-	1,145
Свободная высота	м	-	-	10
Высота водонапорного бака	м	-	-	11,145

В результате цикла работы экспериментального образца снимаются показания контролируемых параметров и заносятся в экспериментальную таблицу. Очередность выполнения операций при проведении экспериментальных исследований следующая.

1. Производится подогрев воды (имитация молока) до температуры 30°C...36°C и загрузка в изолированную емкость для молока.

2. Включаются блок управления автоматическим выключателем и ПЭВМ

автоматическим выключателем.

3. Производится синхронизация ПЭВМ 2 с ТРМ-138Р 1 через разъем RS-485 на базе программного обеспечения «Owen Process Manager» (считывание данных с датчиков температуры) и «TRM138 Config» (настройка конфигурации блока управления ТРМ-138Р).

4. На ПЭВМ 2 включается регистрация показаний датчиков температуры.

5. Включается насос воды с автоматическим выключателем и вентилятор с автоматическим выключателем на время 9...10 мин до начала включений насоса молока для охлаждения воды до температуры воздуха и далее постоянно.

6. Включается насос молока автоматическим выключателем в «импульсном» режиме – работает 1 минуту, простаивает 1 минуту (продолжительность процесса 1,5...2 часа).

7. На мониторе ПЭВМ 2 выводится временной график показаний датчиков температуры.

8. Отключаются автоматические выключатели.

### 3.3 Обработка экспериментальных данных

Проверку на нормальность полученного распределения разности изменения температуры молока выполним по следующей методике [42-44]. Эмпирическое распределение получено и представлено в виде  $i$ -го значения измеренной разности изменения температуры молока  $\Delta T_i$ , °С, и соответствующих им экспериментальных частот  $n_i$  для различных температурных точек наружного воздуха.

Шаг между двумя соседними вариантами обозначен через  $h$ , а количество вариантов через  $N$ . Согласно данным эксперимента:  $h = 0,1$  и  $n = 330$ .

При заданном уровне значимости  $\alpha = 0,05$  по критерию Пирсона проверяем гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности  $\Delta T_i$ .

Для этого:

1. Вычисляем методом произведений выборочную среднюю разности изменения температуры молока  $\Delta T_B$ , °С, обрабатываемого на исследуемом объекте и выборочное среднее квадратическое отклонение  $\sigma_B$  по формулам [42-44]:

$$\Delta T_B = M_1 \cdot h + C, \quad (3.1)$$

$$\sigma_B = \sqrt{(M_2 - M_1)^2 \cdot h^2}, \quad (3.2)$$

где  $M_1$  – условный момент первого порядка;

$h$  – шаг между двумя соседними вариантами;

$C$  – ложный нуль (варианта, которая расположена примерно в середине вариационного ряда);

$M_2$  – условный момент второго порядка.

Условные моменты  $M_1$ ,  $M_2$  рассчитываются по выражениям [43, 44]:

$$M_1 = \sum(n_i \cdot U_i) / n, \quad (3.3)$$

$$M_2 = \sum(n_i \cdot U_i^2) / n, \quad (3.4)$$

где  $U_i$  – условная варианта;

$n_i$  – экспериментальная частота для конкретного изменения температуры;

$n$  – сумма всех частот.

Условная варианта рассчитывается по выражению [42-44]:

$$U_i = (\Delta T_i - C) / h, \quad (3.5)$$

2. Вычисляем теоретические частоты  $n_i$  по формулам:

$$n_i = n \cdot h \cdot F(U_i') / \sigma_B, \quad (3.6)$$

где  $U_i'$  – условная теоретического варианта;

$F(U_i')$  – функция условной теоретического варианта, определяемые по выражениям:

$$U_i' = (\Delta T_i - T_B) / \sigma_B, \quad (3.7)$$

$$F(U_i') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(U_i')^2}{2}}, \quad (3.8)$$

3. Сравниваем эмпирические  $n_i$  и теоретические  $n_i'$  частоты с помощью критерия Пирсона. Для этого:

а) составляем расчетную таблицу, по которой находим наблюдаемое значение критерия  $\chi_{набл}^2$ :

$$\chi_{набл}^2 = \sum (n_i - n'_i)^2 / n'_i, \quad (3.9)$$

б) по таблице критических точек распределения Пирсона по заданному уровню значимости и числу степеней свободы  $k = N-3$  находим критическую точку правосторонней критической области  $\chi_{кр}^2(\alpha, k)$ .

Если  $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$  – нет оснований отвергать гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности.

На основании приведенной выше методики и исходных данных произведем расчет для различных температурных точек наружного воздуха.

Близость выравнивающих частот к наблюдаемым при всех диапазонах температур наружного воздуха подтверждает, что обследуемый признак распределяется по закону, близкому к нормальному. Данный вывод позволяет применять законы нормального распределения для оценки и прогнозирования измерения разности изменения температуры молока [35, 42].

#### 4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СХЕМЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА

Экономический эффект от применения энергосберегающей системы охлаждения молока с использованием природного холода и движением хладоносителей в линиях первичной обработки молока образуется за счёт уменьшения эксплуатационных расходов, сокращения потребления электроэнергии при обработке молока [45-55].

Экономический эффект в сфере эксплуатации и производства определяется путём сопоставления приведённых затрат на охлаждение молока энергосберегающей системой с использованием природного холода и движением хладоносителей (новый вариант) и установкой охлаждения молока с использованием только искусственного холода (базовый вариант) [45-53]:

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_B - \mathcal{Z}_H, \quad (4.1)$$

где  $\mathcal{Z}_B$ ,  $\mathcal{Z}_H$  – приведённые затраты, соответственно по базовому и новому вариантам, руб.

Приведённые затраты определяются согласно [54-61]:

$$\mathcal{Z}_B = E_H \cdot K_B + I_B, \quad (4.2)$$

$$\mathcal{Z}_H = E_H \cdot K_H + I_H, \quad (4.3)$$

где  $E_H = 0,15$  – нормативный коэффициент;

$K_B$ ,  $K_H$ , – капитальные вложения соответственно по базовому и новому вариантам, руб;

$I_B$ ,  $I_H$ , – полные эксплуатационные издержки соответственно по базовому и новому вариантам, руб.

В полные эксплуатационные издержки входят амортизационные отчисления на полное восстановление и капитальный ремонт, отчисления на текущий ремонт, затраты на электроэнергию и заработную плату. Согласно [44-47] выражение (4.1) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Delta = & [E_B \cdot K_B + (P_{AB} \cdot P_{KB} \cdot P_{TB} \cdot Z_{PB} \cdot \Gamma_B)] - \\ & - [E_H \cdot K_H + (P_{AH} \cdot P_{KH} \cdot P_{TH} \cdot Z_{PH} \cdot \Gamma_H)] \end{aligned} \quad (4.4)$$

где  $P_{AB}$ ,  $P_{AH}$  – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление в базовом и новом вариантах, руб.;

$P_{KB}$ ,  $P_{KH}$  – сумма отчислений на капитальный ремонт в базовом и новом вариантах, руб.;

$P_{TB}$ ,  $P_{TH}$  – сумма отчислений на текущий ремонт в базовом и новом вариантах, руб.;

$Z_{PB}$ ,  $Z_{PH}$  – заработная плата оператора в базовом и новом вариантах, руб.;

$\Gamma_B$ ,  $\Gamma_H$  – затраты на электроэнергию в базовом и новом вариантах, руб.

Амортизационные отчисления  $P_A$  и отчисления на капитальный  $P_K$  и текущий ремонт  $P_T$  определяются согласно [56-63]:

$$P_A = \frac{Ц \cdot T \cdot R_A}{100}, \quad (4.5)$$

$$P_K = \frac{Ц \cdot T \cdot R_K}{100}, \quad (4.6)$$

$$P_T = \frac{Ц \cdot T \cdot R_T}{100}, \quad (4.7)$$

где  $Ц$  – оптовая цена технологического оборудования, руб.;

$T$  – коэффициент перевода оптовой цены в балансовую стоимость (1,2);

$R_A$ ,  $R_K$  – норма амортизационных отчислений, соответственно на полное восстановление и капитальный ремонт;

$R_T$  – норма отчислений на текущий ремонт.

Оптовая цена всей системы охлаждения в базовом и новом вариантах определяется по выражению [45-48]:

$$Ц = \sum_{i=1}^n (Ц_{Ti} + Ц_{\Delta i}), \quad (4.8)$$

где  $n$  – количество звеньев в системе охлаждения;

$Ц_{Ti}$  – оптовая цена технологического оборудования  $i$ -го звена, руб.;

$C_{\text{Э}i}$  – оптовая цена технологической схемы  $i$ -го звена линии, руб.

Заработная плата оператора, эксплуатирующего линию, определяется из выражения [48-50]:

$$З_{\text{П}} = C_{\text{T}} \cdot L_{\text{P}} \cdot T_i, \quad (4.9)$$

где  $C_{\text{T}}$  – часовая тарифная ставка оператора, руб/ч;

$L_{\text{P}}$  – количество операторов;

$T_i$  – годовые суммарные затраты рабочего времени оператора на управление системой охлаждения, ч.

Затраты на электроэнергию, потребляемой технологическим оборудованием на обработку молока, определяются по формуле:

$$\begin{aligned} G = \sum_{i=1}^n (P_{\text{ком}n} \cdot Ч_{\text{Н}} \cdot K_{\text{ВК}} + P_{\text{ПХ}} \cdot K_{\text{ВПХ}} + \\ + P_{\text{ХЛ}} \cdot K_{\text{ВХЛ}} + P_{\text{М}} \cdot K_{\text{ВМ}}) \cdot K_{\text{Д}} \cdot D_{\text{П}} \cdot C_{\text{Э}} \end{aligned} \quad (4.10)$$

где  $n$  – количество месяцев;

$P_{\text{ком}n}$  – потребляемая мощность компрессора источника искусственного холода, кВт;

$Ч_{\text{Н}}$  – число часов «наморозки льда» для суточной дойки, ч;

$K_{\text{ВК}}$  – коэффициент включения компрессора;

$P_{\text{ПХ}} = P_{\text{НВ}} + P_{\text{Э}} = f(G_{\text{НВ}} + G_{\text{Э}})$  – общая потребляемая мощность источника природного холода, кВт;

$K_{\text{ВПХ}}$  – коэффициент включения оборудования источника природного холода;

$P_{\text{ХЛ}} = f(G)$  – потребляемая мощность насоса хладоносителя (воды), кВт;

$K_{\text{ВХЛ}}$  – коэффициент включения насоса хладоносителя;

$P_{\text{М}} = f(G_{\text{М}})$  – потребляемая мощность насоса молока, кВт;

$K_{\text{ВМ}}$  – коэффициент включения насоса молока;

$K_{\text{Д}}$  – количество доек в сутки;

$D_{\text{П}}$  – количество дней в месяце;

$C_{\mathcal{O}}$  – цена 1 кВт·ч, руб.

Народнохозяйственный экономический эффект за срок эффективной службы определяется согласно [45-55]:

$$\mathcal{E}_H = \left( C_B \cdot \frac{W_H \cdot E_H + \frac{1}{T_1}}{W_B \cdot E_H + \frac{1}{T_2}} + \frac{I_B - I_H}{\frac{1}{T_2} + E_H} \right) - C_H, \quad (4.11)$$

где  $W_B, W_H$  – годовой объем обрабатываемого молока, соответственно в базовом и новом вариантах, т;

$T_1, T_2$  – срок службы системы соответственно в базовом и новом вариантах, лет;

$I_B, I_H$  – неполные эксплуатационные издержки соответственно в базовом и новом вариантах, руб.

В соответствии с требованиями, срок службы технологической схемы и технологического оборудования составляет восемь лет, а годовой объем обрабатываемого молока – 1000 тонн. Поэтому можно принять [45-53]:

$$a = \frac{W_H \cdot E_H \cdot \frac{1}{T_1}}{W_B \cdot E_H \cdot \frac{1}{T_2}} = 1, \quad (4.12)$$

где  $a$  – коэффициент технической эквивалентности.

С учетом выражения (4.3), народнохозяйственный экономический эффект за срок эффективной службы будет иметь вид:

$$\mathcal{E}_H = \left( C_B + \frac{I_B - I_H}{\frac{1}{T_2} + E_H} \right) - C_H, \quad (4.13)$$

В неполные эксплуатационные издержки входят отчисления на капитальный ремонт, отчисления на текущий ремонт, заработная плата оператора, и затраты на электроэнергию. В то же время с учетом того, что сельскохозяйственные предприятия в настоящее время работают в условиях рыночной экономики

и инфляции необходимо произвести расчеты экономического эффекта как от полученной экономии при внедрении разработки, так и инвестирования финансового капитала в банковскую сферу соразмерного с внедрением под ставку процента за срок эффективной службы:

– экономический эффект при внедрении:

$$\mathcal{E}_{ВН} = \sum_{i=1}^T \frac{\mathcal{E}_i \cdot K_{ИЗН}}{K_{ИНФ}}, \quad (4.14)$$

где  $i$  – год эксплуатации;

$T$  – срок эффективной службы, лет;

$\mathcal{E}_i$  – экономический эффект в сфере эксплуатации и производства за текущий год, руб.;

$K_{ИЗН}$  – коэффициент износа оборудования;

$K_{ИНФ}$  – коэффициент инфляции.

– экономический эффект при инвестировании в банковскую сферу под ставку процента (с учетом ежегодной капитализации вложений):

$$\mathcal{E}_{ИНВ} = \sum_{i=1}^T (I_i + I_{i-1}) \cdot K_{ИНВ}, \quad (4.15)$$

где  $i$  – год эксплуатации;

$T$  – срок эффективной службы, лет;

$I_i$  – финансовый капитал соразмерный с финансовыми затратами на покупку оборудования для нового варианта системы охлаждения молока, полученного из собственной прибыли предприятия, руб.;

$K_{ИНВ}$  – ключевая ставка процента Центрального банка.

Для оценки технико-экономической эффективности применения энергосберегающей системы охлаждения молока с использованием природного холода и движением хладоносителей рассматриваем 2 варианта:

первый – с традиционной парокомпрессионной холодильной установкой (базовый вариант);

второй – с применением комбинированной системы охлаждения молока с использованием природного холода и с последующим поением животных.

1. Технологическая система обработки молока фермы 50 коров с парокомпрессионной холодильной установкой (базовый вариант).

Капиталовложения:

$$K_B = C_B \cdot T = 450000 \cdot 1,1 = 495000 \text{ руб.}$$

Сумма амортизационных отчислений на полное восстановление:

$$P_{AB} = \frac{K_B \cdot R_A}{100} = \frac{495000 \cdot 12,5}{100} = 61875 \text{ руб.}$$

Сумма ремонтных отчислений:

$$P_{TB} = \frac{K_B \cdot R_T}{100} = \frac{495000 \cdot 4,8}{100} = 23760 \text{ руб.}$$

Сумма амортизационных отчислений на капремонт:

$$P_{KB} = \frac{K_B \cdot R_K}{100} = \frac{495000 \cdot 3,8}{100} = 18810 \text{ руб.}$$

Заработная плата оператора, эксплуатирующего линию:

$$З_{ПБ} = C_T \cdot Л_P \cdot T_B = 35 \cdot 1 \cdot 730 = 25550 \text{ руб.}$$

где  $C_T = 35$  – часовая тарифная ставка оператора, руб./ч.

Затраты на электроэнергию, потребляемой на обработку молока:

$$Г_B = \sum_{i=1}^m N_{Э} \cdot Ц_{Э} \cdot T_{Э} = 76814 \text{ руб.}$$

Полные эксплуатационные издержки:

$$И_B = P_{AB} + P_{KB} + P_{TB} + З_{ПБ} + Г_B = 61875 + 18810 + 23760 + 25550 + 76814 = 206809 \text{ руб.}$$

Неполные эксплуатационные издержки:

$$И_{БНЭ} = P_{KB} + P_{TB} + З_{ПБ} + Г_B = 18810 + 23760 + 25550 + 76814 = 144934 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты:

$$З_B = E_H \cdot K_B + И_B = 0,15 \cdot 495000 + 206809 = 281059 \text{ руб.}$$

2. Технологическая линия обработки молока фермы 50 коров с применением комбинированной системы охлаждения молока с использованием природного холода и последующем поении животных.

Капиталовложения:

$$K_B = C_B \cdot T = 500000 \cdot 1,1 = 550000 \text{ руб.}$$

Сумма амортизационных отчислений на полное восстановление:

$$P_{AH} = \frac{K_H \cdot R_A}{100} = \frac{550000 \cdot 12,5}{100} = 68750 \text{ руб.}$$

Сумма ремонтных отчислений:

$$P_{TH} = \frac{K_H \cdot R_T}{100} = \frac{550000 \cdot 4,8}{100} = 26400 \text{ руб.}$$

Сумма амортизационных отчислений на капремонт:

$$P_{KH} = \frac{K_H \cdot R_K}{100} = \frac{550000 \cdot 3,8}{100} = 20900 \text{ руб.}$$

Заработная плата оператора, эксплуатирующего линию:

$$З_{ПН} = C_T \cdot Л_P \cdot T_H = 35 \cdot 1 \cdot 730 = 25550 \text{ руб.}$$

где  $C_T = 35$  – часовая тарифная ставка оператора, руб./ч.

Затраты на электроэнергию, потребляемой на обработку молока:

$$\Gamma_H = \sum_{i=1}^m N_{\mathcal{E}} \cdot C_{\mathcal{E}} \cdot T_{\mathcal{E}} = 31201 \text{ руб.}$$

Полные эксплуатационные издержки:

$$I_B = P_{AH} + P_{KH} + P_{TH} + З_{ПН} + \Gamma_H = 68750 + \\ + 20900 + 26400 + 25550 + 31201 = 172801 \text{ руб.}$$

Неполные эксплуатационные издержки:

$$I_{HH\mathcal{E}} = P_{KH} + P_{TH} + З_{ПН} + \Gamma_H = \\ = 20900 + 26400 + 25550 + 31201 = 104051 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты:

$$З_H = E_H \cdot K_H + I_H = 0,15 \cdot 550000 + 172801 = 255301 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект от применения комбинированной технологической схемы первичной обработки молока составит:

$$\mathcal{E} = З_B - З_H = 281059 - 255301 = 25758 \text{ руб.}$$

Народнохозяйственный экономический эффект за срок эффективной службы:

$$\mathcal{E}_H = \left( C_B + \frac{I_B - I_H}{\frac{1}{T_2} + E_H} \right) - C_H = \left( 450000 + \frac{206809 - 172801}{\frac{1}{8} + 0,15} \right) - 500000 = 73665 \text{ руб.}$$

Данные для расчета годового экономического эффекта за срок эффективной службы и результаты приведены в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета эффективности внедрения комбинированной схемы предварительного охлаждения молока

Наименование показателей	Ед. изм.	Варианты системы	
		Базовый	Новый
Количество коров на ферме	гол.	50	50
Оптовая цена оборудования для охлаждения молока	руб.	450000	450000
Оптовая цена дополнительного оборудования	руб.	–	50000
Норма отчислений на текущий ремонт	%	4,8	4,8
Норма отчислений капремонт	%	3,8	3,8
Норма отчислений на реновацию	%	12,5	12,5
Срок эффективной службы	лет	8	8
Затраты рабочего времени оператора на управление линией	ч/год	730	730
Цена 1 кВт·ч	руб.	6,1	6,1

Проведенный технико-экономический расчет, показывает, что внедрение комбинированной системы охлаждения молока с использованием природного холода, позволяет получить годовой экономический эффект не менее 25758 рублей (в ценах марта 2017 г.).

Таблица 4.2 – Техничко-экономические показатели сравниваемых вариантов систем охлаждения молока

Наименование показателей	Ед. изм.	Базовый	Новый
Капитальные затраты	руб.	495000	550000
Сумма отчислений на амортизацию	руб.	61875	68750
Сумма отчислений на текущий ремонт	руб.	23760	26400
Сумма отчислений на капитальный ремонт	руб.	18810	20900
Заработная плата оператора	руб.	25550	25550
Затраты на электроэнергию	руб.	76814	31201
Полные эксплуатационные издержки	руб.	206809	172801
Неполные эксплуатационные издержки	руб.	144934	104051
Приведенные затраты	руб.	281059	255301
Годовой экономический эффект	руб.	–	25758
Народнохозяйственный экономический эффект за срок службы	руб.	–	73665
Срок окупаемости	год	–	2,5

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ современного состояния охлаждения молока позволил обосновать целесообразность разработки комбинированной системы первичной обработки молока на фермах с использованием природного холода и последующем поении животных, а также возможность сокращения потребления электроэнергии.

2. Разработана технологическая схема для первичной обработки молока, позволяющая сократить эксплуатационные издержки за счет использования воды для поения животных.

3. Разработан алгоритм для определения потерь от снижения качества молока при его первичной обработке.

4. Определены и обоснованы режимы работы комбинированной системы первичной обработки молока с использованием природного холода при температуре наружного воздуха  $t$  меньше плюс  $24^{\circ}\text{C}$ , включением импульсного режима его работы при температуре минус  $3,8^{\circ}\text{C}$ , что позволяет сократить потребление электроэнергии на охлаждение одной тонны молока на 15-17 кВт.

5. Проведенный технико-экономический расчет показал, что внедрение комбинированной технологической системы первичной обработки молока охлаждения молока с использованием природного холода для Тамбовского региона позволяет получить годовой экономический эффект на ферме в 50 коров не менее 25758 рублей со сроком окупаемости в 2,5 года.

6. Комбинированные системы первичной обработки молока рекомендуется внедрять в производственный процесс фермерских хозяйств для сокращения потребления электроэнергии, а также сохранения качества продукта.

### Перспективы дальнейшей разработки темы

Использование для охлаждения молока естественного холода и хладоносителей с низкой температуры замерзания.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, Ю.А. Качество молока и эффективность его производства / Ю.А. Иванов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – № 2.– С. 22-24.
2. Харитонов, В.Д. Приемка и первичная обработка молока / Харитонов В.Д., Шепелев Е.В. – М.: Молочная промышленность, 1997. – 54 с.
3. Ведищев, С.М. Технологии и механизация первичной обработки и переработки молока: Учеб. пособие / С.М. Ведищев, А.В. Милованов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 152 с.
4. ГОСТ Р 52054-2003. Молоко натуральное коровье – сырье. Изменения от 01.01.2010. - М.: Стандартиформ, 2008 – 30 с.
5. Лаптев, С.В. Химия, микробиология и экспертиза молока и молочных продуктов: учебное пособие / С.В. Лаптев, Н.И. Мезенцева, Е.П. Каменская; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2009. – 237 с.
6. Ведищев, С.М. Механизация доения коров: Учеб. Пособие / С.М. Ведищев. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 160 с.
7. Производство молока и молочных продуктов: Санитарные правила и нормы (актуализация 12.02.2016). - М: Информационно-издательский центр Госомсанэпиднадзора России, 1996. - 80 с.
8. Туников, Г.М. Рекомендации по производству молока, соответствующего ГОСТу Р 52054-2003 Молоко натуральное - коровье - сырье / Г.М. Туников и др. // Монография – Рязань, 2006. – 132 с.
9. Уве, Кафтун. Здоровое вымя, оптимальные условия и правильная первичная обработка молока - основы для высокого качества молока / Кафтун Уве // Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: труды международной научно-практической конференции. – Казань: Казанский ГАУ, 2014. – С. 207–214.
10. Харитонов, В.Д. Приемка и первичная обработка молока / Харитонов В.Д., Шепелев Е.В. – М.: Молочная промышленность, 1997. – 54 с.

11. Мгновенное охлаждение молока [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.attis.com.ua/site/equipment/momentary\\_milk\\_cooling.html](http://www.attis.com.ua/site/equipment/momentary_milk_cooling.html).
12. Гусев, М.Р. Эффективные технологии мгновенного охлаждения и хранения молока / М.Р. Гусев // Техника и оборудование для села. – 2009. – №11(149). – С. 13.
13. Коршунов, Б.П. Экологичное энергосберегающее оборудование для охлаждения молока / Б.П. Коршунов, А.И. Учеваткин, Ф.Г. Марьяхин, А.А. Мультап // Техника и оборудование для села. – 2011. – №4 – С. 29-30.
14. Цой, Ю.А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм / Ю.А. Цой – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 424 с.
15. Квашенников, В.И. Энергосберегающий метод охлаждения молочной продукции / В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, Г.С. Коровин // Известия ОГАУ – 2013. – №3. – С. 97-99.
16. Квашенников, В.И. Инновационный метод охлаждения сельскохозяйственных продуктов / В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, Г.С. Коровин, В.А. Шахов // Сборник научных трудов ГНУВНИИМЖ – Оренбург, 2013. – №2. – 383с.
17. Завражнов, А.И. Круглогодичное использование природного холода в условиях молочно-товарных ферм Южного Урала: рекомендации / А.И. Завражнов, А.П. Козловцев, В.И. Квашенников, М.М. Константинов, В.А. Шахов, С.П. Козловцева, И.З. Аширов, А.А. Панин, М.И. Попова, С.М. Ведищев – Мичуринск: Издательство Мичуринского ГАУ, 2016. – 61с.
18. Бодрова, Е.Г. Особенности определения эффективности работы молокоперерабатывающего предприятия / Е.Г. Бодрова, Д.Ю. Панкратова // АПК России – 2016. – №2 – С. 497-501.
19. Босин, И.Н. Охлаждение молока на комплексах и фермах / И.Н. Босин – М.: Колос, 1993. – 46 с.
20. Melken, A.A. Kuhlen futtem entmisten aufstallen / A.A. Melken // Alfa-Laval Komplet. – 1991. – P. 36 – 46.
21. Rmderwelt. Eisspeicher - muchkuhlung bringt vorteile / Rmderwelt // –

1994. – Bd.19. № 5. – P. 29.

22. Fullwood modern milking // Dairy Farmer. – 1994. – Vol.41. № 6. – P. 01-06.

23. Самарин, Г.Н. Альтернативные методы первичной обработки молока / Г.Н. Самарин, В.А. Шилин, Е.В. Шилин. Известия великолукской ГСХА, 2014. – №3 – С. 42-49.

24. Осадченко И.М. Основные направления развития технологий электрообработки молока / И.М. Осадченко, И.Ф. Горлов, Н.И. Мосолова // Хранение и переработки сельхозсырья. – 2013. – №4. – С. 15-18.

25. Чернецов, Д.А. Обоснование комбинированной системы

26. Пушкин, В.А. Энергосберегающая технология и устройство охлаждения парного молока / В.А. Пушкин // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук – Рязань, 2007. – 209 с.

27. Туваев, В.Н. Охлаждение молока с использованием естественного холода / В.Н. Туваев, А.А. Прозоров, Ю.Ю. Пустынная, А.А. Шутов // Молочная промышленность. – 2009. – №5. – С. 77.

28. Романовский, Н.В. Резервы повышения эффективности систем охлаждения молока для сельскохозяйственных предприятий и фермерских хозяйств / Н.В. Романовский, Ю.Б. Пржетишевский, А.Б. Коршунов, А.И. Учеваткин, Ф.Г. Марьяхин, Б.П. Коршунов // Холодильная техника. – 2007. – №10. – С. 32-33.

29. Учеваткин, А.И. Автоматизированные энергосберегающие технологии и система электрооборудования линий первичной обработки молока на фермах / А.И. Учеваткин // Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук. – Москва, 1998. – 43 с.

30. Доровских, В.И. Повышение эффективности использования доильных установок / В.И. Доровских // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Саратов. -1996.

31. Доровских, В.И. Пути повышения эффективности функционирования средств механизации на семейных молочных фермах / В.И. Доровских, Д.В.

Доровских, О.А. Аتكешов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. - 2012. - №2. - С. 47-51.

32. Филиппова, О.Б. Физиологическая оценка доильного оборудования / О.Б. Филиппова, Доровских В.И., Кийко Е.И. // Вестник ВИЭСХ. - 2014. - №3(16). –С. 64 – 65.

33. Доровских, В.И. Принципы управления качеством технологических процессов в молочном животноводстве / В.И. Доровских, Д.В. Доровских // Наука в центральной России. – 2014. - №6 (12) – С. 22-28.

34. Доровских, В.И. Обоснование рациональных режимов использования оборудования для первичной обработки молока / В.И. Доровских, В.П. Капустин, Д.В. Доровских, Аль-лами Садек Фенжан Хаснави // Наука в центральной России. – 2016. - №3(21) – С. 9-15.

35. Филиппова О.Б. К методике физиологической оценки доильного оборудования / О.Б. Филиппова, Доровских В.И., Кийко Е.И. // Наука в центральной России. 2014. № 6 (12) .С. 53 - 60.

36. Доровских, В.И. Обоснование критериев оценки эффективности использования оборудования для первичной обработки молока / В.И. Доровских, Д.В. Доровских, Аль-лами Садек Фенжан Хаснави // Наука в центральной России. – 2016. - №5(23) – С. 67-73.

37. Бабкин, В.П. Механизация доения коров и первичной обработки молока / В. П. Бабкин. – Москва: АГРОПРОМИЗДАТ, 1986. – 271 с.

38. Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения ВНТП-Н-97 (утв. Минсельхозпродом РФ от 14 февраля 1995 г. Протокол НТС №1).

39. Скляр, П.А. Проектирование технологических линий в животноводстве /П.А. Скляр // курс лекций. Кишенев, 2014. – 136 с.

40. Гусев, В.П. Основы гидравлики. Учебное пособие / В.П. Гусев – Томск. Изд-во ТПУ, 2009. – 172 с.

41. Капустин, В.П. Обоснование режимов работы комбинированной

системы охлаждения коровьего молока / В.П. Капустин, Аль-лами Садек Фенжан Хаснави, Д.А. Чернецов // Сельский механизатор. – 2017. - №4. – С..

42. Вентцель, Е.С. Теория вероятности / Е.С. Вентцель – М.: Наука, 1969. – 573 с.

43. Коваленко, И.Н. Теория вероятностей и математическая статистика / И.Н. Коваленко, А.А. Филиппова – М.: Высшая школа, 1982. – 329 с.

44. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов / В.Е. Гмурман – 9-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

45. Коршунов, А.П. Методические рекомендации для определения приведенных затрат на электроэнергию для оценки эффективности электрификации различных процессов сельскохозяйственного производства / А.П. Коршунов – М.: ВИЭСХ, 1977. – 52 с.

46. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений – М.: Колос, 1980. – 112 с.

47. Методика определения экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в машиностроении для животноводства и кормопроизводства – М.: Колос, 1978. – 160 с.

48. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники – М.: Энергия, 1998. – 89 с.

49. Попов, А.В. Энергетические затраты различных способов первичного охлаждения молока / А.В. Попов, В.Н. Бабин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2007. – №10. – С. 115-118.

50. Попов, А.В. Оптимальное проектирование установок первичного охлаждения молока / А.В. Попов, В.Н. Бабин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2007. – №9(73). – С. 215-216.

51. Учеваткин, А.И. Метод расчета системы круглогодичного охлаждения молока на фермах с использованием природного холода / А.И. Учеваткин, Т.А.

Ноздрина // Вестник ФГБОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. – 2008. – №3. – С. 55-57.

52. Кишев, М.А. Снижение энергетических затрат при охлаждении молока/ М.А. Кишев, М.Б. Улимбашев // Доклад Российской академии сельскохозяйственных наук. – Москва, 2011. – С. 58-60.

53. Кудрин, М.Р. Организация экономически эффективного производства молока на основе современных технологий / М.Р. Кудрин, С.Н. Ижболдина, Н.Н. Новых // Вестник Ижевской ГСХА – 2014.– №2(39). –С. 8-11.

54. Калеев, Н.Н. Сущность эффективности производства молока / Н.Н. Калеев // Вестник НГИЭИ – Н. Новгород, 2011. – №2(3). – С. 52-58.

55. Воробьев, С.П. Экономическая эффективность специализации в молочном скотоводстве алтайского края / С.П. Воробьев, В.В. Воробьева // Вестник АГАУ – Барнаул, 2015. – №10(132). – С. 149-155.

56. Герасимович, Л.С. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / Л.С. Герасимович, Л.А. Калинин, А.В. Корсаков, В.К. Сериков – М.: Колос, 1980. – 391 с.

57. Поляков, В.А. Электротехника / В.А. Поляков – Изд. 2-е, перераб. – М.: Просвещение, 1986. – 238 с.

58. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины: учебник для вузов / А.В. Иванов-Смоленский – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 375 с.

59. Режимы работы электродвигателей [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http:// electricalschool.info/spravochnik/maschiny](http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny).

60. ГОСТ 183-74. Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования. – С изм. ИУС № 3-81, ИУС № 5-82 – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 26 с.

61. Белевич, П.К. Использование оборудования технологических линий в животноводстве / П.К. Белевич, И.А. Косцов, И.С. Леус // Минск: Ураджай, 1979. – 360 с.

62. Лукьянов, Н.Я. Оборудование предприятий молочной

промышленности / Н.Я. Лукьянов, Н.В. Барановский – М.: Пищевая промышленность, 1968. – 406 с.

63. Тарифы на электроэнергию [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://newtariffs.ru>.