

На правах рукоп.

**НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ**

ШАБЛЯ Сергей Геннадьевич

**РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ВАКУУМНОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА**

**05.04.03 – Машины и аппараты холодильной
и криогенной техники и систем кондиционирования**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

**Краснодар
1999**

Работа выполнена в Кубанском государственном технологическом университете

Научный руководитель: - кандидат технических наук,
доцент Н.Н. Ивановский

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,
профессор Б.Г. Маринюк
- доктор технических наук,
профессор П.И. Пластинин

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1565289

Шабля С.Г. Разработка техн

Ведущая организация – Краснодарский научно-исследовательский
институт хранения и переработки
сельхозпродукции

Защита состоится «20» декабря 1999 г. в 14³⁰ час. на
заседании диссертационного Совета К 053.16.07 в Московском
государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу:
107005, г.Москва, Лефортовская наб., д
«Энергомашиностроение».

Ваши отзывы в 2-х экземплярах
высылать по адресу: 107005, г.Москва,

Автореферат разослан « »

С диссертацией можно ознакомиться
в Н.Э.Баумана.

Ученый секретарь специализированного

кандидат технических наук

1565289

Подписано к печати 12.11.99г.

Тираж 100 экз. Заказ № 19/20 Типо

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В течение длительного времени в России разрабатывались и выпускались в больших количествах крупные фреоновые охладители молока, предназначенные для молочных ферм колхозов и совхозов. В этих охладителях молоко охлаждается от $+36^{\circ}\text{C}$ до $+6^{\circ}\text{C}$, чем обеспечивается сохранение молока в течение 4+6 часов при его транспортировке на молочные заводы. При повышении температуры молока до температуры $+10^{\circ}\text{C}$ сортность молока снижается. Недостатком этой системы является то, что в условиях колхозов фреоновые охладители работают не более одного сезона из-за утечки фреона. Кроме того, запрет на использование фреонов делает крупные фреоновые установки бесперспективными.

В последнее десятилетие в связи с ростом крестьянских и фермерских хозяйств возникла потребность в создании малогабаритных, простых, экологически безопасных охладителей молока с пониженным потреблением электроэнергии. Эти охладители должны основываться на других физических принципах работы, поскольку дальнейшее усовершенствование фреоновой холодильной машины практически невозможно.

Решению этой проблемы посвящена настоящая работа.

Цель работы и задачи исследований. Целью исследований является разработка и создание экологически безопасного малогабаритного охладителя молока вакуумного типа для фермерских и крестьянских хозяйств с пониженным расходом энергии на охлаждение молока. Данное исследование посвящено теплотехническим проблемам поставленной цели.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

- теоретическое исследование процессов вакуумного охлаждения молока;
- разработка физической и математической модели вакуумного охлаждения молока;
- проведение численных экспериментов и их анализ;
- проведение экспериментальных исследований кинетики и энергетики вакуумного охлаждения молока;
- исследование температурных полей при вакуумном охлаждении;
- исследование длительного вакуумного хранения молока при низкой температуре;
- исследование процесса пенообразования и пеноотделения при вакуумном охлаждении молока;
- разработка опытно-промышленного вакуумного охладителя молока.

Научная новизна.

1. Разработаны теоретические положения непосредственного вакуумного охлаждения молока при частичном испарении в вакуумном процессе.
2. Предложена методика термодинамического анализа вакуумного охлаждения молока.
3. Исследовано поле температур в воде при вакуумном охлаждении.
4. Предложены механизм и модель пенообразования в молоке при вакуумном охлаждении.

Практическая ценность работы и реализация результатов. Проведенные исследования позволяют выполнить расчеты основных технологических параметров процесса вакуумного охлаждения молока, а также рассчитать вакуумный охладитель молока на заданные параметры.

На основе полученного нами патента РФ № 2033035 «Вакуумный охладитель молока», а также патентов РФ №№ 2084776 и 2084777 проф. Маринюка Б. П. разработана и испытана конструкция опытного охладителя молока ВОМ-140 для фермерских хозяйств.

При использовании опытного вакуумного охладителя молока ВОМ-140 за время 1,5 часа охлаждается порция молока 140 кг от начальной температуры 36 °С до конечной температуры 6 °С, таким образом, скорость охлаждения молока составляет 93,3 кг/ч. Соответственно, за 3 часа, разрешенные стандартом, охлаждается порция 280 кг молока. Потребление энергии на охлаждение молока снижено в 2÷2,5 раза по сравнению с фреоновыми охладителями. В условиях крестьянского хозяйства охладитель может быть так же использован для приготовления пищевого льда и хранения продуктов при температуре $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Апробация работы. Основные положения, изложенные в работе, докладывались на международной научно-технической конференции «Рациональные пути использования вторичных ресурсов агропромышленного комплекса» (Краснодар, 1997г.), на международной научно-технической конференции «Холодильная техника России. Состояние и перспективы накануне 21века» (Санкт Петербург, 1998г.), на всероссийском семинаре с международным участием «Холодильная техника и технологии: перспективы в области получения и использования холода» (г. Краснодар, 1998г.), на международной научно-технической конференции «Холодильная техника: проблемы и решения» (Астрахань, 1999г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 11 работ, в том числе 1 патент Российской Федерации.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из перечня основных условных обозначений, введения, 5 основных глав, заключения, списка использованной литературы и 4 приложений. Работа изложена на 126 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков, 17 таблиц. Список использованной литературы включает 55 наименований. Приложения к диссертации представлены на 11 страницах.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы, сформулированы основные направления проведения исследований.

В первой главе «Анализ охладителей молока и постановка задачи исследования» проведен литературный обзор и обобщен накопленный опыт по известным охладителям молока при охлаждении средствами холодильной техники (фреоновые охладители) и вакуумном охлаждении. Исходя из проведенного анализа существующих охладителей молока, их конструкций и параметров, а также проблемы машинного ох-

лаждения молока сформулированы цель настоящей работы и задачи для решения поставленной цели.

Во второй главе «Теоретические исследования вакуумного охлаждения молока» изложено описание физической и математической моделей вакуумного охлаждения молока, описана методика численного решения математической модели, проведены численные эксперименты и проанализированы их результаты.

Использование вакуумных насосов позволяет осуществлять процесс охлаждения молока за счет скрытой теплоты парообразования воды. Поэтому рассматривается такое проведение процесса термообработки, при котором некоторый объем молока с начальной температурой t_d помещается в герметичную теплоизолированную емкость, после чего из этой емкости при помощи вакуумного насоса начинают откачиваться водяные пары. При этом имеет место эффект вакуумного кипения и испарения жидкости, сопровождаемый поглощением тепла в эндотермическом процессе и снижением температуры жидкости.

В 1997г. автором совместно с научным руководителем был разработан и запатентован эффективный вакуумный охладитель молока закрытого цикла с конденсацией (рис. 1), как альтернативный малоэффективному охладителю открытого цикла (рис. 5). При работе охладителя закрытого цикла в молочной емкости 3 с помощью вакуумного агрегата поддерживается давление $P = 1$ кПа. В эту емкость из накопителя 1 через ТРВ после дросселирования непрерывно подается молоко, охлажденное до температуры $T = 6$ °С. Образовавшиеся в емкости водяные пары откачиваются вакуумным насосом сухого сжатия ДВН-150 и конденсируются в конденсаторе.

Отличие от охладителя открытого цикла состоит в том, что в охладителе закрытого цикла использован двухступенчатый вакуумный агрегат типа АВР-150 и между первой и второй ступенями агрегата установлен конденсатор водяных паров. Назначение вакуумного насоса второй ступени состоит в том, чтобы периодически откачивать из конденсатора воздух, который растворен в молоке, а также натекает через неплотности. Поэтому в постоянной работе находится вакуумный насос первой ступени, в котором максимальная степень сжатия равна 6. В охладителе открытого цикла отсутствует конденсатор водяных паров, поэтому степень сжатия в нем - более 100. В связи с этим в охладителе закрытого цикла обеспечивается значительная экономия энергии.

На рис. 2 представлены открытый и закрытый термодинамические циклы вакуумного охлаждения молока в диаграмме $P-i$. Для открытого цикла давление нагнетания равно 100 кПа, для закрытого цикла – 6 кПа, поэтому работа сжатия в закрытом цикле l_2 будет значительно ниже, чем в открытом – l_1 .

Открытый цикл – не замкнутый и выполняется по контуру 2-3-4-6. Процесс 2-3 – охлаждение молока по линии $i = \text{const}$; 3-4 – выкипание водяных паров из молока; 4-6 – сжатие водяных паров в вакуумном насосе до давления 100 кПа. Закрытый цикл – замкнутый и выполняется по контуру 2-3-4-5-2 при более низком давлении. Здесь процесс 2-3 – охлаждение молока по линии $i = \text{const}$; 3-4 – выкипание водяных паров из молока; процесс 4-5 – сжатие водяных паров в вакуумном насосе 1-ой ступени от 1 кПа до 6 кПа, процесс 5-2 – конденсация водяных паров. Для обоих циклов процесс 1-2 – начальная откачка из газовой полости остаточного воздуха, находящегося в газовой полости после герметизации емкости. Таким образом, теоретическая удельная работа для сжатия 1 кг водяного пара в охладителе открытого цикла составляет $l_1 = 1116$

кДж/кг, в охладителе закрытого цикла $-l_2 = 293$ кДж/кг, что 3,8 раза меньше, таким образом, закрытый цикл более экономичен.

В дальнейшем схема охладителя молока закрытого цикла непрерывного действия была переработана автором в схему периодического действия (рис. 6). В охладителе у периодического действия отсутствует накопитель молока и линия дросселирования молока. При работе парное молоко порцией заливают в емкость, и здесь происходит постепенное понижение температуры молока за счет частичного выкипания воды. Для охлаждения молока от 36°C до 6°C необходимо испарить до 5 мас.% воды.

Принципиальное отличие охладителя периодического действия от охладителя непрерывного состоит в следующем. В охладителе непрерывного действия циркулирующее молоко непрерывно охлаждается на $\Delta T = 30^\circ\text{C}$. В охладителе периодического действия в емкость заливается разовая порция молока с температурой $T_n = 36^\circ\text{C}$, и вся порция молока постепенно охлаждается до температуры $T = 6^\circ\text{C}$. В этом случае в каждый момент времени температурный перепад, и потребное количество холода снижаются. Согласно расчетам, приведенным в диссертации, производительность охладителя периодического действия по молоку равна $94,5$ кг/ч, а непрерывного – $45,3$ кг/ч, т.е. в 2 раза меньше.

В этой главе разработана математическая модель, представляющая собой систему дифференциальных уравнений, решение которой при соответствующих начальных условиях позволяет изучить кинетику процесса вакуумного охлаждения.

При разработке математической модели были сделаны следующие допущения:

1. Теплопритоки в молочную емкость отсутствуют $Q_m = 0$.
2. При охлаждении поле температур по объему молока $T(x,y,z)$ однородно.
3. Производительность вакуумного насоса S_n в расчетном диапазоне давлений $P = 1 \div 6$ кПа остается постоянной.
4. Производительность вакуумного насоса S_n равна скорости парообразования $S_{пар}$.

С учетом принятых допущений получена математическая модель процесса вакуумного охлаждения молока:

$$\begin{cases} dQ = (m_m \cdot c_m + \sum (m_i \cdot c_i)) \cdot dt, \\ dQ = r \cdot dm_n, \\ dV = d[v(t) \cdot m_n] = v(t) \cdot dm_n + m_n \cdot d(v(t)), \\ dV = S \cdot d\tau, \\ dm_n = m_i - m_{i+1}. \end{cases} \quad (1)$$

Совместным решением системы дифференциальных уравнений (1) при заданных начальных условиях описывается кинетика процесса вакуумного охлаждения молока, то есть решением системы являются функции изменения температуры молока $t_m = f(\tau)$ и массы молока от времени $m_m = f(\tau)$.

Из системы (1) выводится основное дифференциальное уравнение кинетики процесса вакуумного охлаждения:

$$d\tau = \frac{S \cdot r}{v(t) \cdot (m_m c_m + \sum (m_i c_i))} d\tau - \frac{m_n \cdot r}{v(t) \cdot (m_m c_m + \sum (m_i c_i))} dv(\tau), \quad (2)$$

которое является нелинейным дифференциальным уравнением и в общем виде, в принципе, не имеет решения, поэтому оно решается численно методом конечных разностей:

$$\Delta t = \frac{S \cdot r}{v(t) \cdot (m_m c_m + \sum (m_i c_i))} \Delta \tau - \frac{m_n \cdot r}{v(t) \cdot (m_m c_m + \sum (m_i c_i))} \Delta v(\tau). \quad (3)$$

Приближенное расчетное уравнение кинетики процесса вакуумного охлаждения молока с точностью до 1 % имеет вид

$$\Delta t = \frac{S \cdot r}{v(t) \cdot (m_m c_m + \sum (m_i c_i))} \Delta \tau. \quad (4)$$

При численном решении математической модели цикл расчета проводится в следующей последовательности:

1. Определяется количество тепла ΔQ , отведенное из системы при изменении температуры системы на величину шага Δt : $\Delta Q = (m_m c_m + \sum m_i c_i) \cdot \Delta t$.

2. Определяется масса испарившихся водяных паров m_n , за шаг Δt : $m_n = \Delta Q / r$.

3. Определяется средний удельный объем водяного пара при средней температуре рассматриваемого интервала $v_{cp} = f(t_{cp})$. При этом получена функция зависимости удельного объема насыщенного водяного пара от температуры в виде полинома четвертой степени:

$$v(t) = 200,86 - 12,67759 \cdot t + 0,37962 \cdot t^2 - 5,9446 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3,8591 \cdot 10^{-5} \cdot t^4, \quad (5)$$

которая дает расхождение с табличными данными не более 0,5 %.

4. Определяется объем испарившегося пара V_n , при изменении температуры системы на величину Δt : $V_n = v_{cp} \cdot m_n$.

5. Определяется накопительный объем образовавшегося водяного пара $\sum V_n$, при достижении температурного уровня $t = t_i$: $\sum V_n = \sum V_n + V_n$.

6. Определяется время τ , необходимое для достижения температуры t_i :

$$\tau = \sum V_n / (S \cdot 60). \quad (6)$$

На основании уравнения (6) разработана методика инженерного расчета вакуумного охладителя, приведенная в диссертации.

По разработанной математической модели была составлена блок-схема расчета кинетики вакуумного охлаждения молока, которая была программно реализована на ЭВМ типа IBM с применением алгоритмического языка Quick Basic. При выбранном шаге по температуре определялось время, за которое происходит охлаждение молока до текущей температуры.

С использованием разработанной программы были проведены численные эксперименты по исследованию кинетики вакуумного охлаждения для двух типов охладителей (открытого и закрытого термодинамических циклов) для заданной порции воды и молока с целью их последующего сравнения с результатами экспериментальных исследований.

Для проведения расчетов по кинетике вакуумного охлаждения молока требуется знать эффективную производительность вакуумной системы $S_{эф}$ при условиях рабочего объекта. На основании исследований, приведенных в диссертации, эффективная производительность вакуумной системы была принята:

- для охладителя открытого цикла $S_{эф} = 11,8$ л/с;
- для охладителя закрытого цикла $S_{эф} = 87,9$ л/с.

На рис. 3 показано влияние производительности вакуумного насоса на кинетику вакуумного охлаждения воды и молока при начальной массе 27,5 кг. Рассмотрены ох-

ладитель молока открытого цикла с вакуумным агрегатом АВЗ-20Д и охладитель закрытого цикла с вакуумным агрегатом АВР-150. Из графика видно увеличение интенсивности вакуумного охлаждения воды и молока при возрастании эффективной производительности агрегата АВР-150 (87,9 л/с) по сравнению с агрегатом АВЗ-20Д (11,8 л/с). Из графиков также видно увеличение продолжительности вакуумного охлаждения воды по сравнению с молоком. Это связано с тем, что теплоемкость воды больше теплоемкости молока ($c_w = 4,2 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$, $c_m = 3,85 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$).

В третьей главе «Экспериментальное исследование кинетики и энергетики вакуумного охлаждения молока» описаны экспериментальные лабораторные установки, методика проведения экспериментальных исследований кинетики и энергетики вакуумного охлаждения молока, произведен энергетический анализ шести конструктивных схем охладителей молока.

Для проведения экспериментальных исследований были разработаны и изготовлены две установки вакуумного охлаждения молока: с использованием вакуумного агрегата АВЗ-20Д (рис. 4) и с использованием агрегата АВР-150 (рис. 5).

На рис. 6 приведены результаты расчетного и экспериментального исследования кинетики вакуумного охлаждения одинаковой порции молока (27,5 кг) для двух охладителей. Наблюдается хорошее совпадение расчета и эксперимента для одноступенчатого охладителя открытого цикла.

В то же время для двухступенчатого охладителя закрытого цикла при температуре ниже $+12^\circ\text{C}$ расчетные и экспериментальные данные не совпадают. Это отчетливо видно в более крупном масштабе (рис. 7). По нашим данным при этой температуре вакуумное кипение переходит в режим вакуумного испарения, идущий с меньшей интенсивностью. Для условий вакуумного агрегата АВР – 150 скорость парообразования при температуре 12°C становится ниже, чем эффективная производительность вакуумной системы двухступенчатого охладителя молока закрытого цикла.

Поэтому допущение 3 в математической модели изменяется: $S > S_{\text{пар}}$, и кинетика процесса будет определяться более медленным процессом, то есть скоростью вакуумного испарения. В охладителе открытого цикла эффективная производительность системы ниже, чем в охладителе закрытого цикла (11,8 л/с и 87,9 л/с), поэтому допущение 3 будет справедливо при всех рассматриваемых температурах.

При проведении экспериментальных исследований проводились измерения потребляемой охладителями электроэнергии. В результате обработки экспериментальных данных были получены зависимости расхода электроэнергии от времени для охладителей двух типов (рис. 8 - 9).

По результатам экспериментов получены следующие энергетические показатели вакуумных охладителей:

1. Охладитель на базе вакуумного насоса АВЗ-20Д:

- удельный расход энергии на охлаждение 1 кг молока от 36°C до 6°C
 $l_{\text{уд}} = E/m_m = 3340/27,5 = 121,6 \text{ Вт}\cdot\text{ч/кг}$;
- холодильный коэффициент $\varepsilon = Q_0/E = 3176/12024 = 0,264$.

2. Охладитель на базе вакуумного агрегата АВР-150:

- удельный расход энергии на охлаждение 1 кг молока от 36°C до 6°C
 $l_{\text{уд}} = E/m_m = 290/27,5 = 10,6 \text{ Вт}\cdot\text{ч/кг}$;
- холодильный коэффициент $\varepsilon = Q_0/E = 3176/1044 = 3,03$.

Для определения энергетической эффективности предлагаемого способа вакуумного охлаждения молока было произведено сравнение эффективности охладителей молока различных типов при охлаждении молока от 36 °С до 6 °С. Рассматривалось два способа охлаждения: фреоновый и вакуумный. Результаты сравнения энергетических показателей представлены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что наиболее эффективным является вакуумное охлаждение закрытого цикла (периодического действия), так как у него максимальный холодильный коэффициент $\varepsilon = 3,03$ и минимальные удельные затраты энергии на охлаждение 1 кг молока $N_{\text{кв}} = 10,6$ Вт·ч/кг, что в 2,83 раза меньше, чем по ГОСТ 11116-82 (для фреоновых охладителей). Вакуумные охладители молока имеют преимущества перед фреоновыми за счет того, что:

- скрытая теплота парообразования у воды в 12-15 раз больше, чем у фреона-12;
- при вакуумном охлаждении отвод тепла происходит непосредственно от молока, без потерь тепла на металлических стенках.

Эти факторы обеспечивают снижение затрат энергии на охлаждение молока в 2-2,5 раза по сравнению с фреоновым охлаждением.

Таблица 1

Сравнение эффективности охладителей молока различных типов

№	Тип охладителя	Холодильный коэффициент ε	Удельные затраты энергии, $N_{\text{кв}}, \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$	Примеч.
Рабочее вещество – фреон 12				
1	С ледяной водой (ТОМ- 2А)	1,07	30,0	Расчет
2	Непосредственного Охлаждения (АХУ-1000)	1,78	18	Расчёт
Рабочее вещество–вода				
3	Одноступенчатый Вакуумный охладитель	0,264	121,6	Эксперимент
4	С холодильной машиной по патенту проф. Маринюк Б. Т.	1,34	24,04	Расчёт
5	Двухступенчатый вакуумный охладитель непрерывного действия	1,65	19,5	Расчёт
6	Двухступенчатый вакуумный охладитель периодического действия	3,03	10,6	Эксперимент

В четвертой главе «Исследование вопросов технологии вакуумного охлаждения молока» проведены исследования распределения полей температур при вакуум-

ном охлаждении воды, длительного хранения молока под вакуумом при низкой температуре и процессов вакуумного пенообразования и пеноотделения.

Исследование распределения поля температур в процессе вакуумного охлаждения воды было проведено при естественной конвекции охлаждаемой жидкости (мешалка в экспериментах не использовалась). Эксперимент проводился на базе вакуумного насоса АВЗ-20Д. В качестве емкости использовался стандартный молочный бидон объемом 39,3 л. В объеме воды было установлено 3 термодатчика на следующих уровнях от поверхности воды: термодатчик №1 – 200 мм; №2 – 120 мм и №3 – 40 мм.

Результаты измерений поля температур в ходе проведения экспериментов представлены на рис. 10.

Анализируя полученные графические зависимости распределения полей температур, можно сделать вывод, что в интервале температур 36 ± 12 °С поле температур однородно, что объясняется хорошим перемешиванием молока при вакуумном кипении. При более низкой температуре режим кипения заменяется режимом поверхностного испарения, перемешивание молока ухудшается и имеет место градиент температуры по высоте молока. Поскольку испарение происходит с поверхности, верхние слои более холодные.

Для исследования длительного хранения под вакуумом при низкой температуре, что актуально для крестьянских и фермерских хозяйств в условиях непогоды и бездорожья, автором разработана автоматизированная установка длительного хранения свежего молока под вакуумом при низкой температуре. Продолжительность экспериментов составила пять суток. Каждые сутки отбиралась проба молока и передавалась в бактериологическую лабораторию для проведения анализов и посевов. Во всех пробах молоко соответствовало ГОСТ 13264 «Молоко коровье. Требования при закупке».

Для исследования проблемы пенообразования и предотвращения попадания пены в вакуумный агрегат при проведении вакуумного охлаждения молока была изготовлена лабораторная установка со стеклянными моделями (колбами).

Вначале эксперименты были проведены на воде. Было установлено, что при достижении вакуума, соответствующему давлению насыщения при начальной температуре, происходит интенсивное освобождение воды от растворенного воздуха без образования пены (дегазация воды). В воде при стандартных условиях растворено до 2,8 об.% воздуха, а при давлении 6 кПа может быть растворено свыше до 30 об.%. Время дегазации зависит от производительности вакуумной системы, и в наших экспериментах при использовании стеклянной банки емкостью 3 л составляла до 0,5 мин. При последующем вакуумировании воды наблюдался более спокойный режим вакуумного кипения и вакуумного испарения водяных паров. Процесс дегазации проходил без снижения температуры жидкости.

При проведении опытов с молоком было установлено, что дегазация молока от растворенного воздуха сопровождается процессом пенообразования, продолжительность которого достигала 3 мин. при эффективной производительности вакуумной системы $S_{эф} = 1$ л/с. Снижение проводимости вакуумной системы объясняется движением пены по откачной линии между двумя стеклянными колбами. При последующем вакуумировании происходило вакуумное кипения и вакуумное испарение при снижении температуры молока. Было установлено, что контрольная колба в момент выброса пены играет роль разделителя жидкости.

Итак, в результате проведения экспериментов было выяснено, что причиной образования пены при вакуумном кипении молока является растворенный воздух, поэтому в опытном вакуумном охладителе молока предусмотрен узел отделителя пены.

В пятой главе «Разработка опытного охладителя молока» описана конструкция опытного охладителя молока ВОМ-140.

Для практического применения в фермерских хозяйствах на Краснодарском компрессорном заводе по патенту автора был разработан и изготовлен опытный вакуумный охладитель молока емкостью 140 кг, который предназначен для молочных ферм с численностью коров 10÷15 голов. Опытный охладитель состоит из вакуумного агрегата АВР-150 в комплекте с четырьмя стандартными молочными бидонами емкостью 40 л каждый, покрытых слоем теплоизоляции – пенополиуретаном. В узел вакуумного агрегата входит конденсатор водяных паров, который устанавливается между первой и второй ступенями вакуумного агрегата. Установка смонтирована на раме с размерами 1,3×2,6 м².

Техническая характеристика вакуумного охладителя молока ВОМ-140 представлена в табл. 2.

Таблица 2

Техническая характеристика опытного вакуумного охладителя ВОМ-140

Наименование	Величина
1.Максимальная масса охлаждаемого молока за один цикл, кг	140
2.Начальная температура молока, °С	36
3.Конечная температура молока, °С	6
4.Время охлаждения, ч (с учетом дегазации)	1,57
5.Установленная мощность агрегата, кВт	3,3
6.Потребляемая мощность агрегата, кВт	1,1
7.Удельный расход электроэнергии на охлаждение кг молока от 36 °С до 6 °С, Вт·ч (с учетом дегазации)	11,08
8.Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	0,4
9.Габаритные размеры охладителя, м	1,6×2,6
10.Масса охладителя, кг (без молока)	280

Изготовленный на Краснодарском компрессорном заводе опытный образец вакуумного охладителя молока ВОМ-140 находится в опытной эксплуатации в подсобном хозяйстве «Карское» Краснодарского УДТГ ООО «Кубаньгазпром». Ожидаемый экономический эффект от его внедрения к концу года составит 18000 рублей.

ВЫВОДЫ

- 1.Разработана математическая модель процесса вакуумного охлаждения молока.
- 2.Разработана конструкция и методика инженерного расчета вакуумного охладителя молока.
- 3.При исследовании кинетики вакуумного охлаждения молока получено, что в опытном охладителе ВОМ-140 за время 1,5 часа охлаждается порция молока 140 кг.

Таким образом, скорость охлаждения молока составляет 93,3 кг/ч и за 3 часа охлаждается 280 кг молока.

4. При исследовании энергозатрат при вакуумном охлаждении молока получено, что удельный расход энергии в вакуумном охладителе ВОМ-140 составил 11,1 Вт·ч/кг молока, что меньше значений по ГОСТ 11116-82 для фреоновых охладителей (30 Вт·ч/кг).

5. При исследовании полей температур получено, что в температурном интервале от 36 °С до 12 °С поле температур по высоте равномерно, а при температуре ниже 12°С – неравномерно, что объясняется переходом режима вакуумного охлаждения от процесса кипения к процессу испарения.

6. При хранении молока в течение 5 суток под вакуумом при низкой температуре молоко оставалось в пределах первого сорта и соответствовало ГОСТ 13264 «Молоко коровье. Требования при закупке».

7. При исследовании процесса пенообразования установлено, что причиной пенообразования является вакуумная дегазация растворенного в молоке воздуха. Разработана методика отделения пены в отделителе жидкости.

8. На основе патента автора изготовлен опытный охладитель молока ВОМ-140 для фермерских хозяйств. В настоящее время охладитель ВОМ-140 находится в опытной эксплуатации. Ожидаемый экономический эффект от внедрения одного охладителя ВОМ-140 равен 18000 руб. в год.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ивановский Н.Н., Шабля С.Г. Экспериментальное исследование кинетики вакуумного охлаждения молока с использованием испарительного эффекта // Сб. тез. докл. международной научно-техн. конф. «Рациональные пути использования вторичных ресурсов агропромышленного комплекса» / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар, 1997. – С. 220 – 221.
2. Ивановский Н.Н., Шабля С.Г. Теория и расчет на ЭВМ вакуумного охладителя молока с использованием испарительного эффекта // Сб. тез. докл. международной научно-техн. конф. «Рациональные пути использования вторичных ресурсов агропромышленного комплекса» / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар, 1997. – С. 225 – 227.
3. Ивановский Н.Н., Шабля С.Г. Испытание опытного вакуумного охладителя молока // Теория и практика хладотехники: Сб. науч. трудов / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар, 1998. – С. 41 – 44.
4. Ивановский Н.Н., Шабля С.Г. Исследование откачной характеристики малогабаритного вакуумного охладителя молока // Теория и практика хладотехники: Сб. науч. трудов / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар, 1998. – С. 44 – 47.
5. Ивановский Н.Н., Шабля С.Г. Исследование на ЭВМ малогабаритного охладителя молока вакуумного типа // Теория и практика хладотехники: Сб. науч. трудов / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар, 1998. – С. 47 – 51.
6. Ивановский Н.Н., Шабля С.Г., Криворотько В.Н. Разработка вакуумного охладителя молока // Сб. тез. докл. международной научно-техн. конф. «Холодильная техника России. Состояние и перспективы накануне 21 века» / С.-Пб. гос. академия холода и пищевых технологий. – С.-Пб., 1998. – С. 11 – 12.

7. Ивановский Н.Н., Шабля С.Г. Хранение молока под вакуумом при низкой температуре // Сб. тез. докл. международной научно-техн. конф. «Холодильная техника России. Состояние и перспективы накануне 21 века» / С.-Пб. гос. академия холода и пищевых технологий – С.-Пб., 1998. – С.12 – 13.
8. Шабля С.Г., Ивановский Н.Н. Разработка двухступенчатого вакуумного охладителя молока // Сб. тез. докл. Всероссийского семинара с международным участием «Холодильная техника и технологии: перспективы в области получения и использования холода» / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар, 1998. – С. 15 – 16.
9. Шабля С.Г., Ивановский Н.Н. Длительное хранение свежего молока под вакуумом при низкой температуре // Сб. тез. докл. Всероссийского семинара с международным участием «Холодильная техника и технологии: перспективы в области получения и использования холода» / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар, 1998. – С. 22 – 23.
10. Патент РФ № 2108711. Вакуумный охладитель молока / Н.Н. Ивановский, В.Н. Криворотько, С.Г. Шабля и др. // БИ.- 1998.- № 11.
11. Ивановский Н.Н., Шабля С.Г. Анализ энергетических показателей охладителей молока различных типов // Сб. тез. докл. международной научно-техн. конф. «Холодильная техника: проблемы и решения» / Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань: Изд. АГТУ, 1999. – С. 34 – 36.

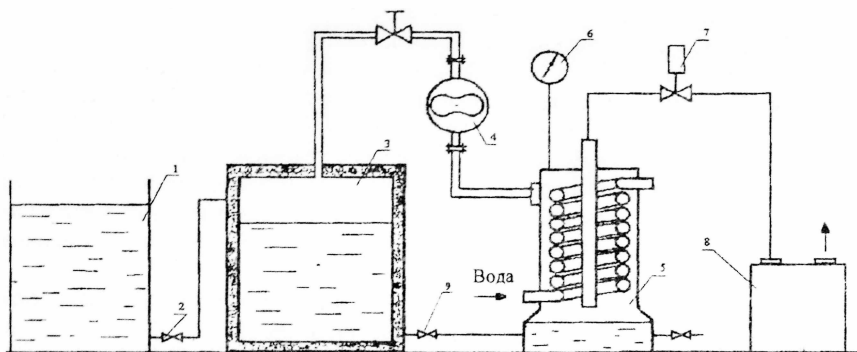


Рисунок 1 – Схема двухступенчатого вакуумного охладителя молока закрытого цикла с конденсацией непрерывного действия по патенту /2108711/

1–накопитель молока; 2–терморегулирующий вентиль; 3–емкость охлажденного молока; 4–насос высокого вакуума; 5–конденсатор водяных паров; 6–электровacuуметр; 7–соленоидный вентиль; 8–насос низкого вакуума (форвакуумный насос); 9–терморегулирующий вентиль

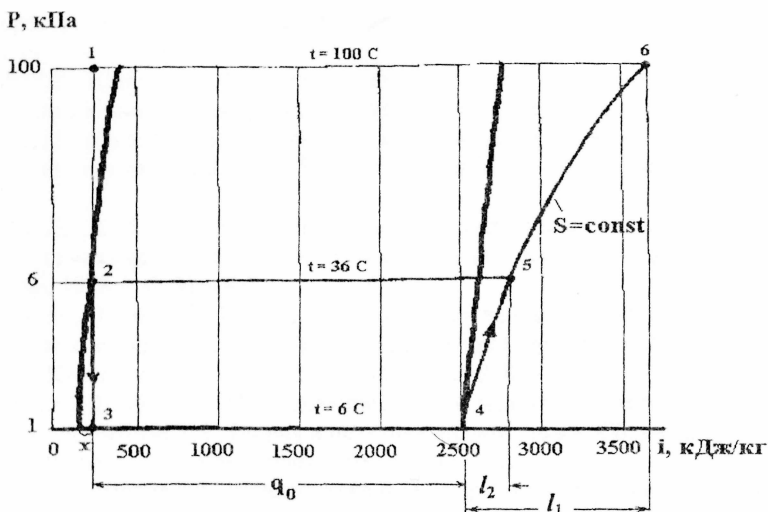


Рисунок 2 – Термодинамический цикл охлаждения

$t, ^\circ\text{C}$

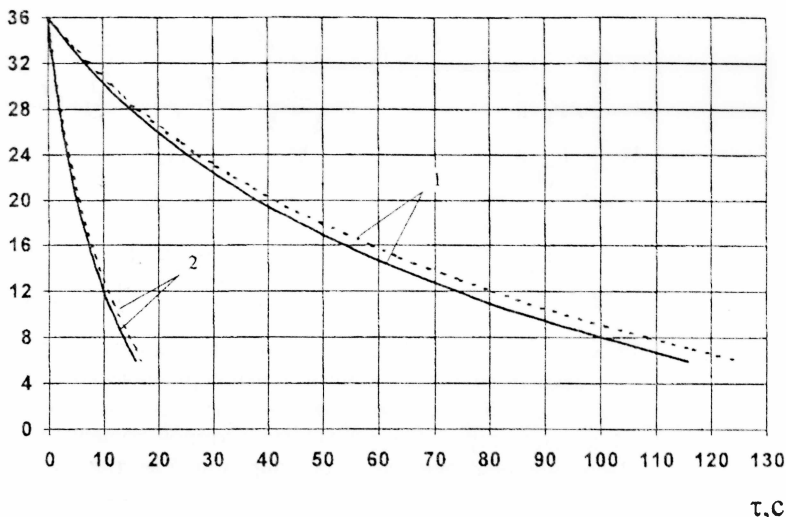


Рисунок 3 – Влияние производительности вакуумного насоса на кинетику вакуумного охлаждения молока и воды для начальной массы воды и молока $m_w = 27,5 \text{ кг}$
1– АВЗ-20Д; 2– АВР-150;
— — молоко; — — — — вода

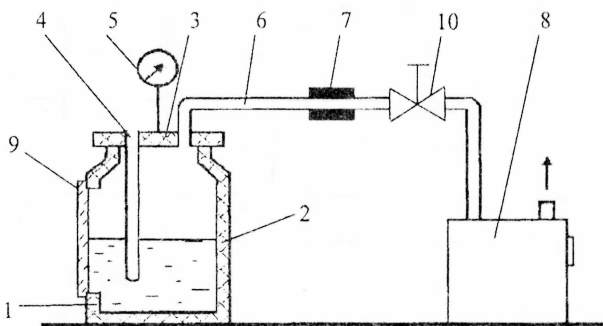


Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки вакуумного охлаждения молока открытого цикла

- 1–молочный бидон; 2–теплоизоляция; 3–самоуплотняющаяся крышка;
4–термогильза; 5–вакуумметр; 6–отсасывающая труба; 7–вакуумный шланг;
8–одноступенчатый вакуумный насос АВЗ-20Д; 9–мерное стекло;
10–регулирующий вентиль

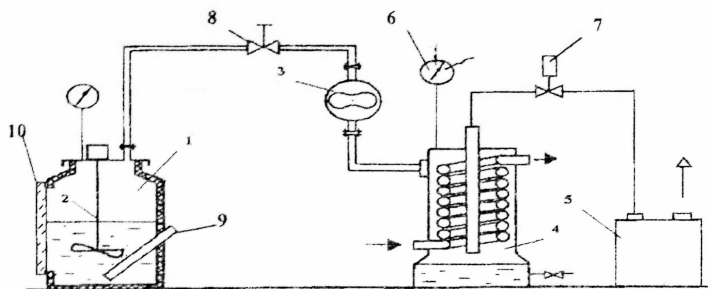


Рисунок 5 – Схема двухступенчатого вакуумного охладителя молока закрытого цикла с конденсацией периодического действия
 1–молочный бидон; 2–мешалка; 3–вакуумный насос первой ступени;
 4–конденсатор; 5–вакуумный насос второй ступени; 6–вакуумметр;
 7–соленоидный вентиль; 8–регулирующий вентиль; 9–термогильза;
 10–уровнемер

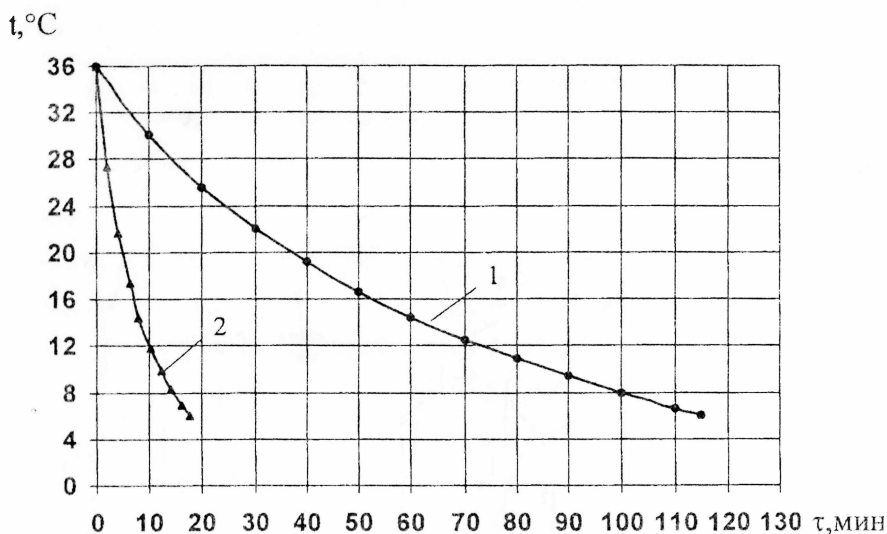


Рисунок 6 – Сравнение кинетики одно- и двухступенчатого вакуумного охлаждения молока

1– АВЗ–20Д; 2– АВР–150

$t, ^\circ\text{C}$

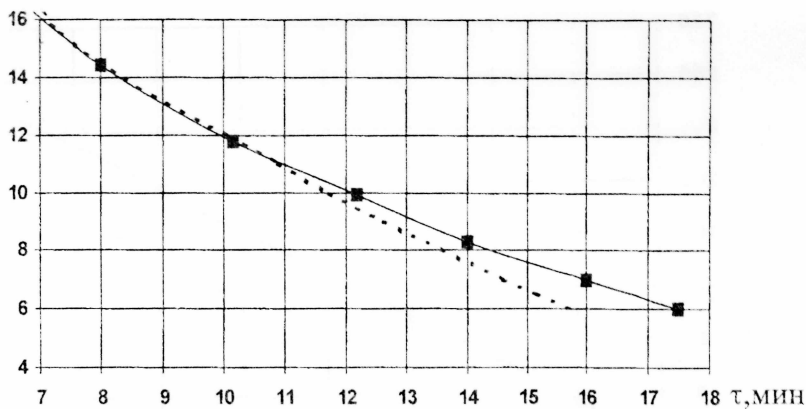


Рисунок 7 – Зависимость (2) из рисунка 7 в интервале температур от 16 °С до 6 °С в крупном масштабе

■ – эксперимент; --- – расчет по мат. модели

$E, \text{Вт}\cdot\text{ч}$

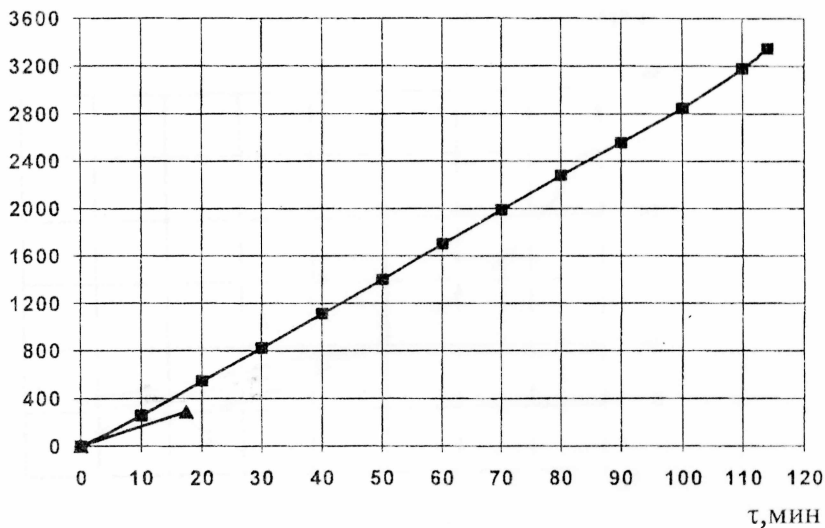


Рисунок 8 – График расхода электроэнергии для вакуумных охладителей молока на базе вакуумных агрегатов АВЗ-20Д (□) и АВР-150 (Δ)

Е,Вт·ч

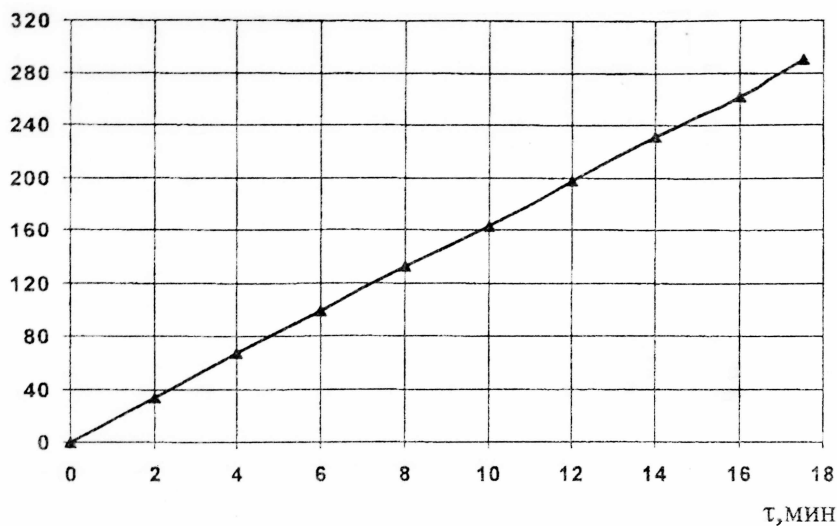


Рисунок 9 – График расхода электроэнергии для двухступенчатого вакуумного охлаждения молока на базе вакуумного насоса АВР-150

$t, ^\circ\text{C}$

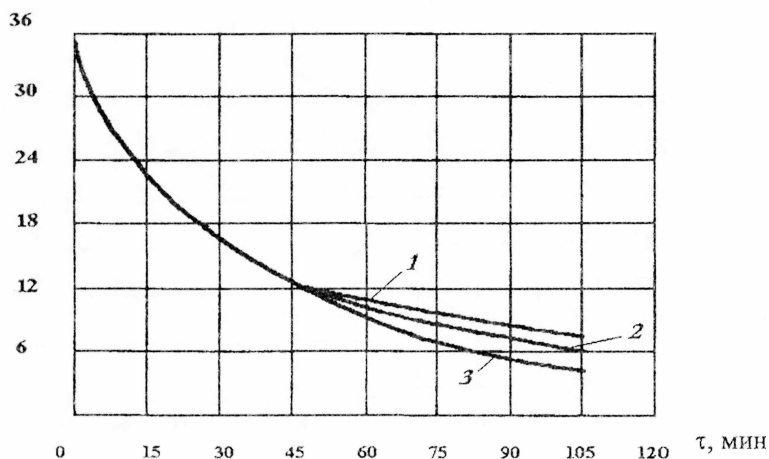


Рисунок 10 – График распределения температур в молоке при вакуумном охлаждении с помощью агрегата АВЗ-20Д