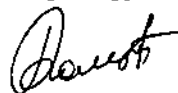


На правах рукописи



**РОМАШОВ МАКСИМ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**ПУСКОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДРОССЕЛЬНЫХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ  
СИСТЕМАХ ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСЕВЫХ ХЛАДАГЕНТАХ**

Специальность 05.04.03. – Машины и аппараты, процессы холодильной  
и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**25 ОКТ 2012**

Москва 2012



**005053685**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» на кафедре Низких температур.

Научный руководитель: к.т.н., доцент кафедры Низких температур  
ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ»  
Лунина Анатолий Иванович

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Техника  
низких температур» им. П.Л. Капицы  
Московского Государственного  
Машиностроительного Университета  
Калнинь Игорь Мартынович

д.т.н., профессор, главный научный  
сотрудник ООО «Газпром ВНИИ ГАЗ»  
Горбачев Станислав Прокофьевич

Ведущая организация ООО «ГП Холодильно – Инженерный Центр»

Защита диссертации состоится 16 ноября 2012 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 212.157.04 при ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ» по адресу: г. Москва, ул. Красноказарменная, 17, корп. Т, каф. ИТФ, ауд. Т-206.

С текстом диссертации можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ». Автореферат диссертации размещен на сайте [www.mpei.ru](http://www.mpei.ru).

Отзывы на автореферат с подписями, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 111250, Москва, Красноказарменная ул., д.14, Ученый совет ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ»

Автореферат разослан «15» октября 2012г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н.



Ястребов А.К.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность работы**

Переход современной низкотемпературной техники на экологически безопасные хладагенты сопровождается подбором новых высокоэффективных рабочих тел. Особенно это актуально при разработке перспективных систем для получения глубокого холода: от  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Такие уровни охлаждения требуются для новых областей современных технологий, таких как криомедицина, нанотехнология, биология, криокалка различных материалов и др. Получение таких температур в дроссельных низкотемпературных системах возможно при использовании каскадных схем. Другим, перспективным способом для решения этих задач служит применение многокомпонентных рабочих тел (МРТ) – смесевых хладагентов. Оптимизация состава смесевого хладагента (как по качественному составу, так и по количественному) и давлений в цикле (конденсации и испарения) обычно проводится по максимальным значениям удельной холодопроизводительности  $q_0$  и холодильного коэффициента  $\epsilon_x$ . Многочисленные результаты таких оптимизаций показывают, что возможно создать низкотемпературные установки со смесевыми хладагентами с высокой энергетической эффективностью на уровне, а зачастую и выше каскадных схем. При этом используется один серийный одноступенчатый холодильный компрессор.

При работе таких низкотемпературных систем со смесевыми хладагентами, кроме расчетных оптимальных режимов, важны и пусковые процессы, особенно для крупных низкотемпературных систем.

**Цель работы** Исследование пусковых процессов в низкотемпературных дроссельных системах, работающих на многокомпонентном рабочем теле. Определение режимов оптимальных пусковых процессов. Разработка методики для контроля изменений в составе смесевого хладагента при заправках рабочего тела из баллона с приготовленной смесью, при дозаправках низкотемпературных систем отдельными компонентами смесевого хладагента в случае небольших утечек. Исследование пусковых процессов на разработанной и созданной установке для сжижения азота из воздуха.

### **Основные задачи исследования.**

1 - Обзор и анализ существующих способов расчетов пусковых периодов низкотемпературных систем.

2 - Разработка методики продукта для расчета утечек и добавок многокомпонентного рабочего тела низкотемпературных систем.

3 - Разработка модели оптимизации пусковых процессов дроссельных низкотемпературных систем при работе на смешевых хладагентах.

4 - Экспериментальное подтверждение рассчитанных пусковых процессов на одноконтурной установке с температурой в термокамере  $T_0 = 173 \text{ K} (-100 \text{ }^\circ\text{C})$ .

5 - Создание каскадной установки сжижения атмосферного азота малой производительности и экспериментальное подтверждение рассчитанных пусковых процессов на ней.

#### Научная новизна

1. Предложен путь по сокращению времени выхода системы на рабочий стационарный режим путем оптимального регулирования давления смешевого хладагента в испарителе с целью получения максимальных значений холодопроизводительности реальной низкотемпературной установки во всем пусковом периоде.
2. Впервые проведены экспериментальные исследования по сокращению пускового периода низкотемпературной установки на температурный уровень в термокамере  $T_0 = 173 \text{ K}$  со смешевым хладагентом.
3. Впервые разработана и изготовлена компактная энергетически эффективная низкотемпературная установка малой производительности по сжижению атмосферного азота, работающая на серийных холодильных компрессорах со смешевым хладагентом.
4. Впервые проведены экспериментальные исследования по сокращению пускового периода созданного сжижителя азота.
5. Впервые разработана методика расчета и прогнозирования изменения состава смешевого хладагента и давления в заправочной емкости.
6. Впервые разработана методика расчета количеств дозаправляемых компонентов смеси в случае возможных утечек из низкотемпературной системы.

#### Практическая значимость работы

1. Разработанная методика расчета изменения состава зеотропного многокомпонентного рабочего тела в заправочном баллоне (системе) при многократных заправках хладагрегатов позволяет определять максимальное количество заправок без заметных изменений характеристик низкотемпературных систем.

2. Разработанная методика оптимизации пускового периода и подбора текущего давления в испарителе позволяет по найденному для конкретных установок закону изменения давления в испарителе снизить время выхода на расчетный стационарный режим низкотемпературной системы со смесевым хладагентом на 45%.
3. Разработанная методика расчета изменения состава и давления в установках и дозатравки многокомпонентного рабочего тела при утечках из низкотемпературных систем позволяет поддерживать работоспособность установок без заметных изменений характеристик.
4. Разработанная и изготовленная установка получения жидкого азота из атмосферного воздуха малой производительности найдет широкое применение во многих отраслях науки, медицины и техники.

#### **Рекомендации к внедрению.**

Результаты работы внедрены в процесс разработки низкотемпературных термокамер и сжижителей азота малой производительности в ООО «Криогенные и вакуумные системы».

Предложенный алгоритм расчета добавок отдельных компонентов смесового хладагента низкотемпературных систем используется в лекционном курсе «Холодильные машины и установки» на кафедре Низких температур «НИУ «МЭИ».

Опытные образцы низкотемпературной системы с температурой в камере  $T_0 = 173 \text{ K} (-100 \text{ }^\circ\text{C})$  и сжижителя азота малой производительности используются в лабораторном практикуме на кафедре Низких температур «НИУ «МЭИ».

**Достоверность** полученных данных обеспечена использованием современных измерительных средств, прежде всего датчиков температур и давлений, сигналы с которых обрабатывались на ЭВМ. Основные уравнения представленных моделей базируются на фундаментальных законах и уравнениях термодинамики и теплопередачи.

#### **Автор выносит на зачетку:**

– результаты расчетных и экспериментальных исследований пусковых процессов в одноконтурной установке, работающей на пятикомпонентном рабочем теле с температурой воздуха в термокамере  $173 \text{ K} (-100 \text{ }^\circ\text{C})$  и в каскадной установке для сжижения атмосферного азота;

– методику расчета утечек и добавок многокомпонентного рабочего тела низкотемпературных систем;

– результаты расчетных и экспериментальных исследований по заправкам и дозаправкам низкотемпературных систем смесевыми рабочими телами.

**Апробация работы.** Основные научные результаты работы были доложены и обсуждены на девяти международных конференциях: на XIII – XVII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (г. Москва, МЭИ, 2007 – 2011 гг.); IV – VI Международной научно-технической конференции «Вакуумная техника, материалы и технология» (г. Москва, Сокольники, 2009 – 2011 гг.); Второй международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур» (г. Москва, МГУИЭ, 2011 г.).

**Личный вклад автора** заключается в разработке алгоритма расчета изменения состава смеси при заправке смеси из баллона и дозаправке отдельными компонентами низкотемпературных систем; модернизации низкотемпературной системы и проведении экспериментальных исследований по пусковым периодам при температуре в термокамере 173 К (– 100 °С); в разработке и изготовлении сжижителя атмосферного азота малой производительности и проведении экспериментальных исследований на нем по пусковым процессам.

**Публикации.** Материалы, изложенные в диссертационной работе, нашли отражение в 14 опубликованных печатных работах, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложения. Работа содержит 164 страницы основного текста, включая 47 рисунков, 6 таблиц и приложение.

#### **Содержание работы**

Во введении обоснована актуальность выбранной темы и сформулирована цель и задачи исследования, изложены научная новизна и практическая значимость.

В первой главе приведен обзор доступных источников, имеющих отношение к достижению поставленной в данной работе цели, и оценена целесообразность использования имеющихся в них результатов.

Анализ существующей литературы показал, что переходные режимы работы, как правило, имеют место при пуске и остановке соответствующего криогенного оборудования, а также при изменениях тепловой нагрузки по производственной необходимости или из-за перемены параметров окружающей среды и при аварийных ситуациях вследствие утечек рабочих тел.

Анализ показывает, что в исследовании пусковых режимов НТУ существует несколько подходов. Одним из них является исследование систем (установок) с помощью сосредоточенных линеаризованных моделей. Методика этого подхода наиболее разработана и реализована при исследовании динамических характеристик, как отдельных элементов, так и всей системы в переходных режимах при «малом» изменении входных параметров. Отсутствие рекомендаций по границе применимости этих моделей несколько снижает их практическую ценность. Другой подход в исследовании – рассмотрение системы с распределенными параметрами. Однако такие модели носят либо упрощенный характер (принимаются допущения о постоянстве термодинамических и теплофизических свойств хладагента и материала, отсутствие накопления газа или жидкости и др.), что снижает их достоверность, либо требуют для вычисления динамических характеристик, даже сравнительно простых (по схемному решению) систем, большого машинного времени, что усложняет их практическое применение. Существует еще один подход – создание комбинированных математических моделей, учитывающих специфику низкотемпературных систем.

Наибольший задел по исследованию нестационарных процессов в режиме пуска системы имеется в микрокриогенной технике. Для дроссельных микрокриогенных машин, работающих на чистых веществах, созданы математические модели, разработаны эффективные алгоритмы с применением аналитических и численных методов расчета.

Исследование пусковых процессов в низкотемпературных дроссельных системах, работающих на многокомпонентных рабочих телах, является наименее изученной областью по данной тематике и представляет собой научную ценность для изучения.

Во второй главе показан ряд особенностей смесевых хладагентов, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации холодильного оборудования. Это наличие переменных температур фазового перехода при постоянном давлении; изменение состава смеси в случае утечки одного или нескольких компонентов из жидкой или из паровой фазы (Рис.1). Такие утечки могут привести к изменениям характеристик низкотемпературных установок и, в последствии, к срыву заданных режимов термостатирования или сжижения технологических потоков.

Для этих случаев решается задача разработки и создания универсального метода расчета изменений параметров низкотемпературных смесевых зетропных хладагентов при возможных утечках из хладоагрегатов или при заправках

низкотемпературных систем из заправочных сосудов. Расчеты основаны на материальных балансах:

$$f_i^V(T, p, y_i) = f_i^L(T, p, x_i); \quad (1)$$

$$\alpha_L + \alpha_V = 1; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n y_i = 0; \quad (3)$$

$$z_i = \frac{x_i M_L + y_i M_V}{\sum_{i=1}^n M_i} = x_i \alpha_L + \alpha_V y_i, \quad (4)$$

где  $i$  изменяется от 1 до  $n$  – количество компонентов в смеси,  $f_i^V, f_i^L$  – fugitivности (летучести),  $x_i, y_i$  – составы  $i$ -ых компонентов в жидкости и паре,  $\alpha_L, \alpha_V$  – мольные доли жидкости и пара,  $M_i, M_L, M_V$  – число молей каждого  $i$ -го компонента в смеси, жидкой и паровой фазах. Выражение (2) представляет собой уравнение материального баланса жидкой и паровой фаз, приведенное к единице объема.

Параметры fugitivности  $f_i^V, f_i^L$  определяются с использованием единого уравнения состояния. Величину  $\gamma_i = f_i/z_i p$  называют коэффициентом летучести компонента смеси, который показывает насколько различается поведение компонента в реальной и идеальной смесях.

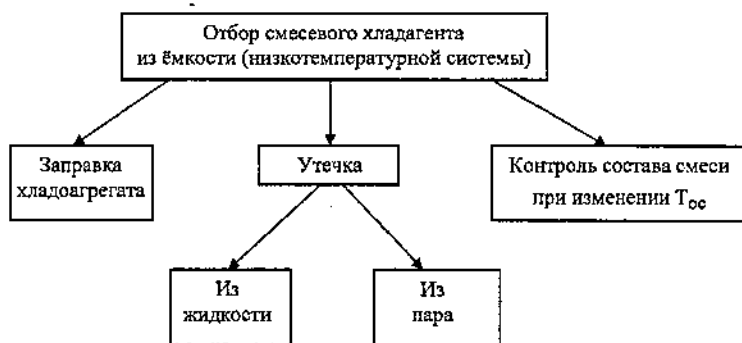


Рис. 1. Наиболее частые причины изменения состава смеси.

Особенностью разработанной программы является наличие двух различных вариантов расчета для моделирования утечек – из паровой или жидкой фазы. На



данные, полученные с помощью программных вычислений, были наложены экспериментальные данные. Пример такого расчета показан на рисунках 2 и 3.

В качестве основы для анализа использовался универсальный пакет прикладных программ, разработанный на кафедре Низких Температур МЭИ под руководством профессора М.Ю. Боярского для расчета свойств смесей и чистых веществ по различным уравнениям состояния.

В главе приведены результаты расчета по разработанной методике.

В третьей главе представлена разработка модели оптимизации пусковых процессов дроссельных низкотемпературных систем при работе на смесевых хладагентах. Приведены основы расчета реального дроссельного цикла, работающего на многокомпонентных рабочих телах. Представлены известные в литературе: методика подбора смеси и расчета холодопроизводительности низкотемпературных дроссельных систем при работе на смесевых хладагентах; основы определения реальных характеристик основных элементов низкотемпературных дроссельных систем (компрессора, двухпоточного и трехпоточного теплообменников).

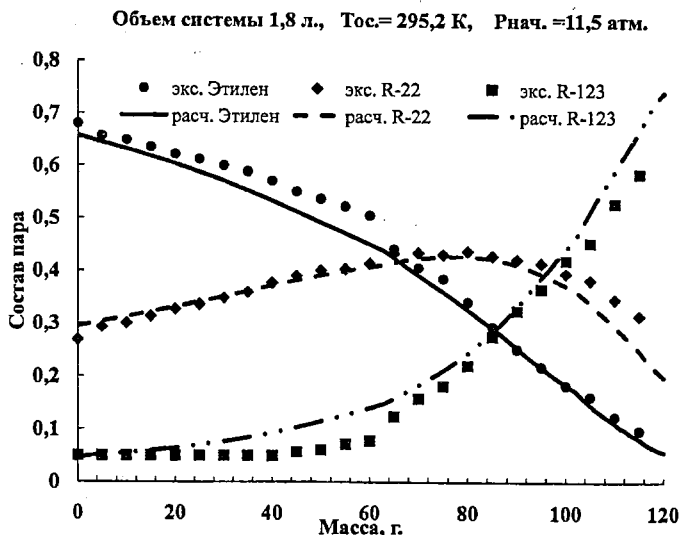


Рис. 2. Изменения состава смеси при отборах из пара.

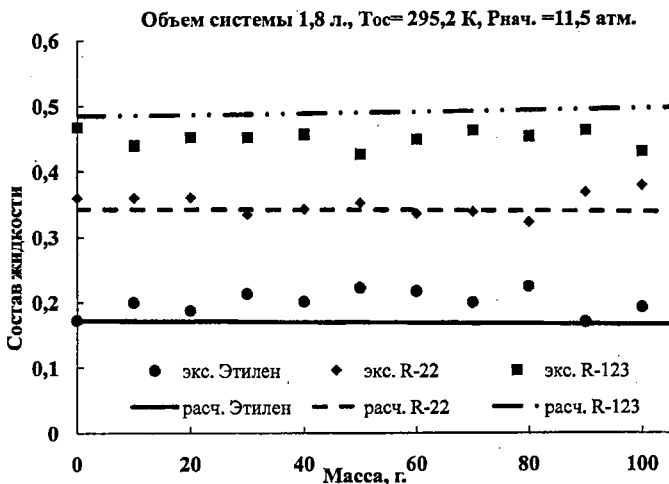


Рис. 3. Изменения состава смеси при отборах из жидкости.

Приведен разработанный алгоритм оптимизации давлений за дросселем в пусковом процессе. Приведены расчетные зависимости холодопроизводительности системы от давления при промежуточных значениях  $T_0$  в пусковом процессе.

В четвертой главе проведена оптимизация пускового процесса конкретной низкотемпературной системы со смесевым хладагентом, предназначенной для сверхбыстрого охлаждения объектов (Рис. 5). Здесь на каждом промежуточном значении температуры в испарителе в процессе пуска обеспечивались максимальные значения холодопроизводительности  $Q_0$  путем регулирования давления в испарителе. При этом учитывались ограничения по нагрузкам на компрессор и температурам хладагента за компрессором.

Первый этап в оптимизации дроссельной низкотемпературной системы, работающей на многокомпонентных рабочих телах, заключался в подборе оптимального состава смеси. Для указанной выше низкотемпературной установки найден оптимальный состав пятикомпонентного смесевого хладагента:  $N_2+R14+R23+R218+R123$ , который позволяет выходить на стационарный режим работы при температуре воздуха в камере 173 К. Далее были построены кривые, описывающие влияние давления за дросселем на суммарную

холодопроизводительность низкотемпературной системы в зависимости от температурного уровня в процессе захлаживания термокамеры (Рис. 4).

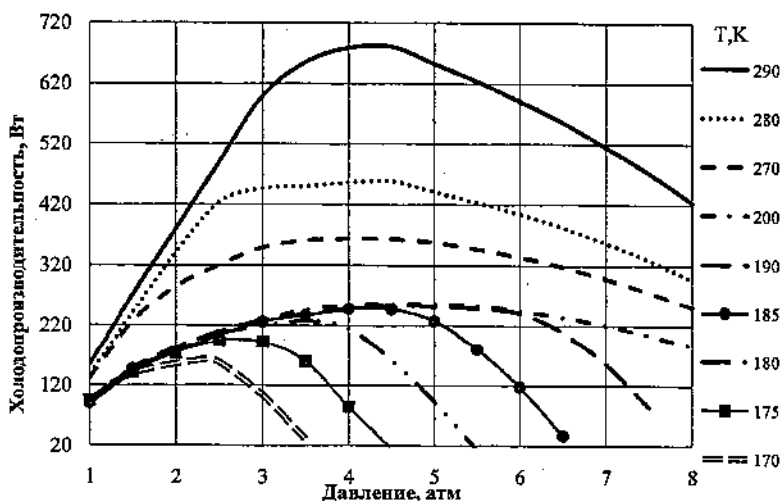


Рис. 4. Влияние давления за дросселем на суммарную холодопроизводительность низкотемпературной системы в зависимости от температурного уровня в процессе захлаживания термокамеры.

Определим закон регулирования пускового периода низкотемпературной системы (Рис. 6). По полученным данным проведены экспериментальные исследования, которые показали возможность сокращения времени пускового периода конкретной установки на 44,5% (Рис. 7).

Таким образом, по изучению пусковых процессов в низкотемпературной системе, работающей на многокомпонентном рабочем теле, можно сделать вывод о том, что оптимальным вариантом регулирования давления за дроссельным вентиляем в процессе пуска служит поддержание максимально возможного давления (в нашем случае – 4,5 ата) на интервале температур воздуха в термокамере от  $T_{0,c}$  до температуры около 185 К, далее проводить линейное регулирование давления до значения 2,3 ата при конечной температуре воздуха в термокамере 173 К. Такое регулирование возможно проводить при помощи современных средств автоматизации холодильных установок, например, используя электронное регулирование дросселя с сервоприводом.

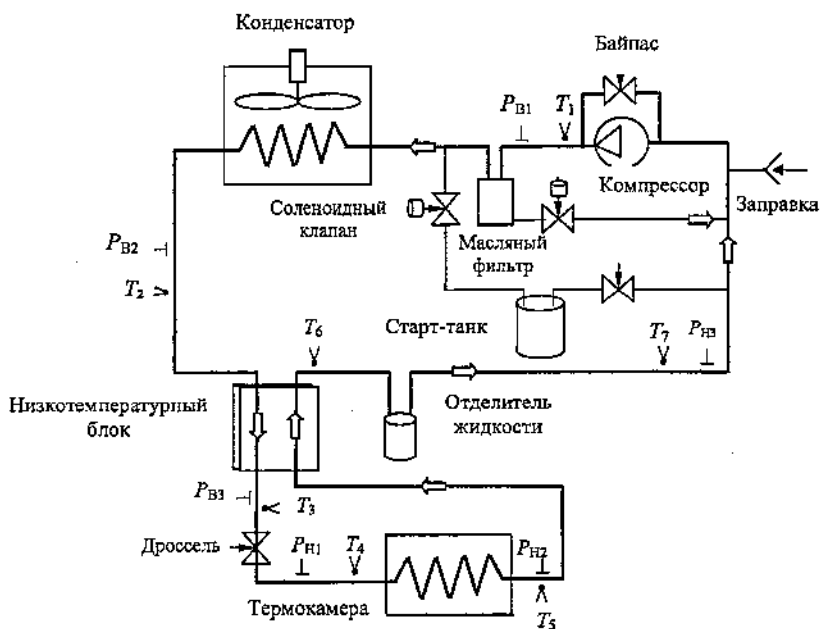


Рис. 5. Принципиальная схема установки сверхбыстрого замораживания.

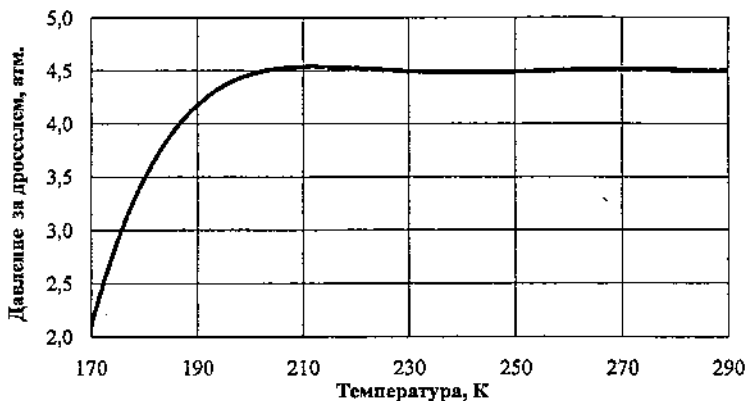


Рис. 6. Оптимальное регулирование пускового процесса низкотемпературной системы.

Вместе с этим, следует отметить, что для малых низкотемпературных систем возможно и одноступенчатое регулирование давления смесового хладагента за дросселем. Например, поддерживать постоянное давление 4,5 ата в интервале температур воздуха в термокамере от Тос до температуры 185 К, затем ступенчато перевести давление до значения 2,3 ата. Это можно легко провести, например, путем включения при помощи соленоидного клапана параллельного капиллярного дроссельного устройства в виде специально спроектированного капилляра.

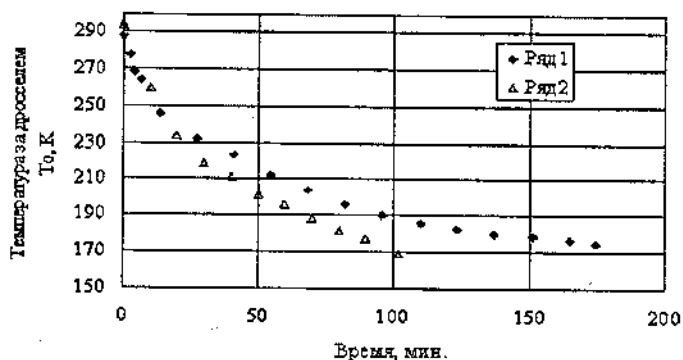


Рис. 7. Экспериментальное исследование пусковых периодов низкотемпературной системы, работающей на смесовом хладагенте:  
ряд 1 – без регулирования; ряд 2 – с регулированием по оптимальному закону.

В пятой главе описана каскадная установка, разработанная на кафедре Низких температур МЭИ – новое направление в создании ожижителей азота малой производительности на основе дроссельного регенеративного цикла со смесовым хладагентом. Преимуществами такого ожижителя малой производительности видятся следующие факторы:

1. простота схемы и, как следствие, относительно малая стоимость;
2. использование высоконадежных и дешевых серийных поршневых смазываемых холодильных компрессоров, предназначенных для бытовых холодильных приборов;
3. в связи с пунктом 2 – высокий срок службы;
4. отсутствие оригинальных, не серийных комплектующих;
5. простота производства, эксплуатации и ремонта.

На рис. 8 представлена принципиальная схема ожижителя азота малой производительности. Рисунок 9 показывает внешний вид установки.

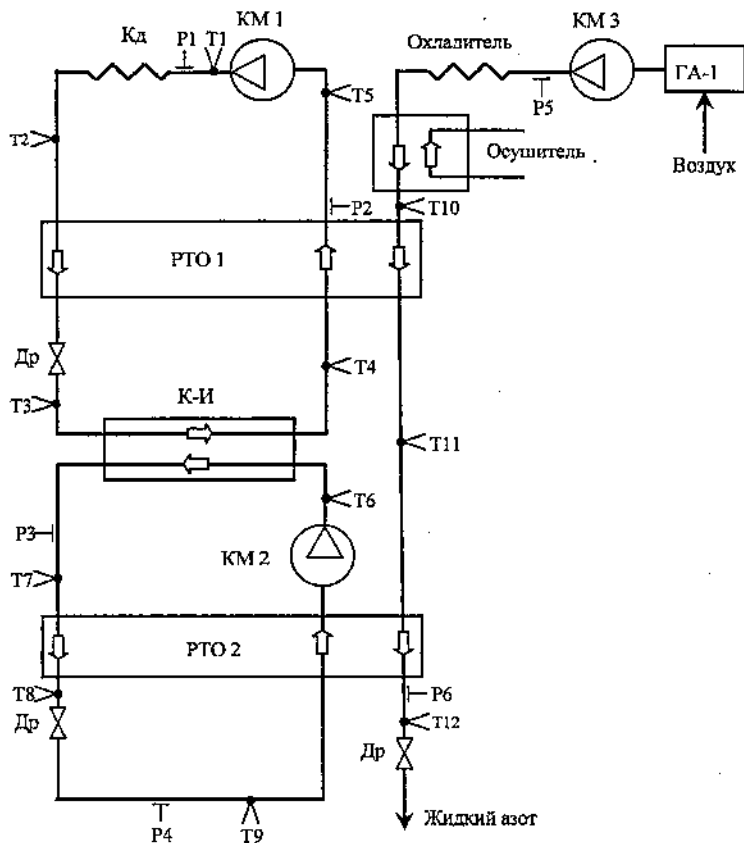
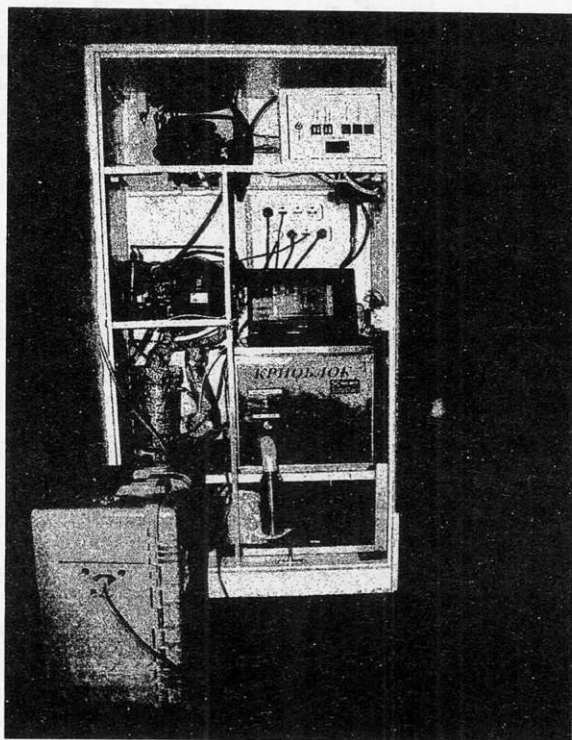


Рис. 8. Принципиальная схема ожижителя азота со смешевыми хладагентами.

Анализ пусковых процессов для каскадной низкотемпературной системы ожижения азота проведен аналогично анализу пусковых процессов низкотемпературной установки сверхбыстрого охлаждения. В рамках этого исследования рассмотрены пусковые процессы верхнего и нижнего контуров двухкаскадной низкотемпературной установки. Показано, что нецелесообразно

регулировать пусковой период верхнего каскада установки из-за его короткого времени пуска.

Получен закон регулирования пускового периода и экспериментальные данные изменения температуры смесового хладагента нижнего контура от начала охлаждения с температуры окружающей среды до температуры 102,1 К, при которой начинается сжижение азота при давлении 0,9 МПа (рис 10, рис. 11). Экспериментально показано, что без регулирования давления в испарителе нижнего контура в 1,8 раза возрастает время пуска до начала ожижения азота (рис. 12, рис. 13).



*Рис. 9. Внешний вид опытного образца сжижителя азота малой производительности.*

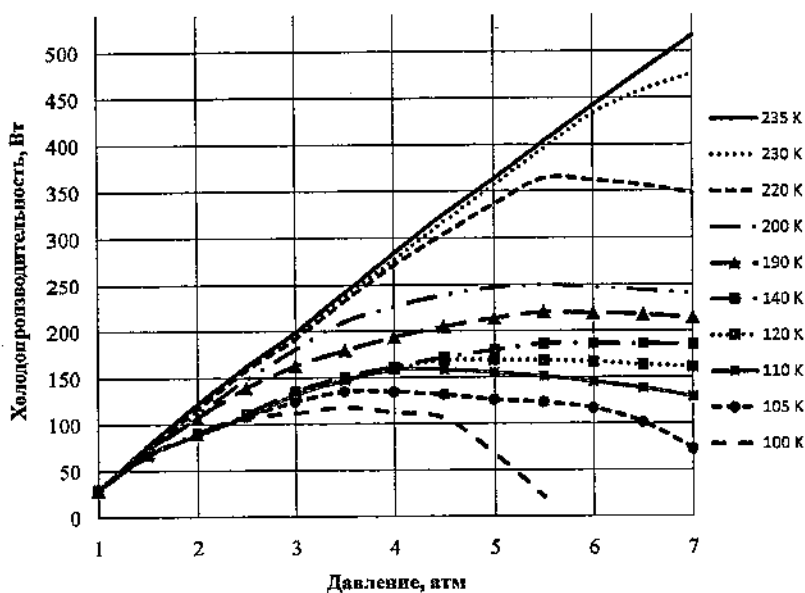


Рис. 10. Влияние давления за дросселем на холодопроизводительность нижнего контура на различных температурах пускового периода.

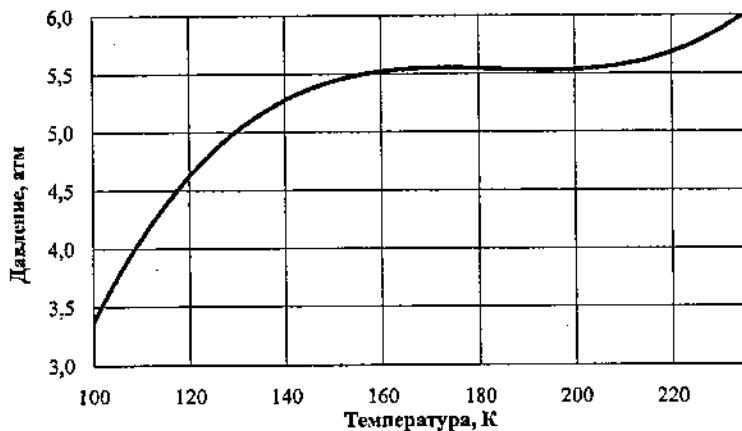


Рис. 11. Изменение давления за дросселем нижнего контура при оптимальном пусковом периоде.



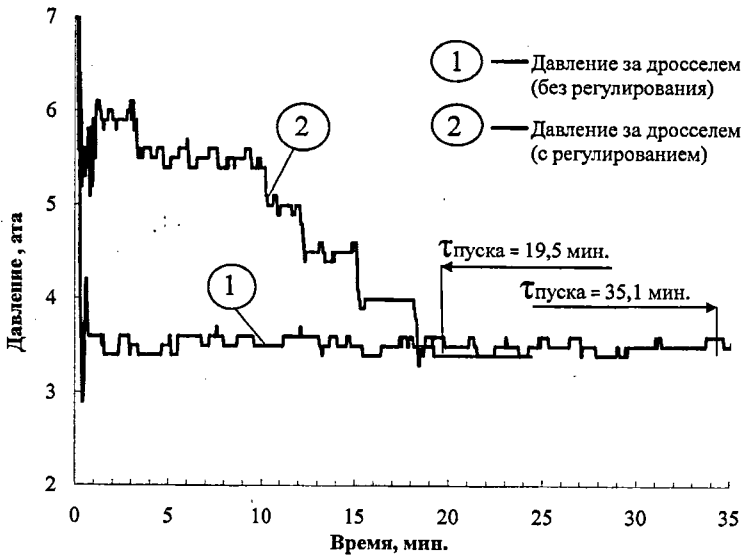


Рис. 12. Экспериментальное исследование пусковых периодов нижнего контура.

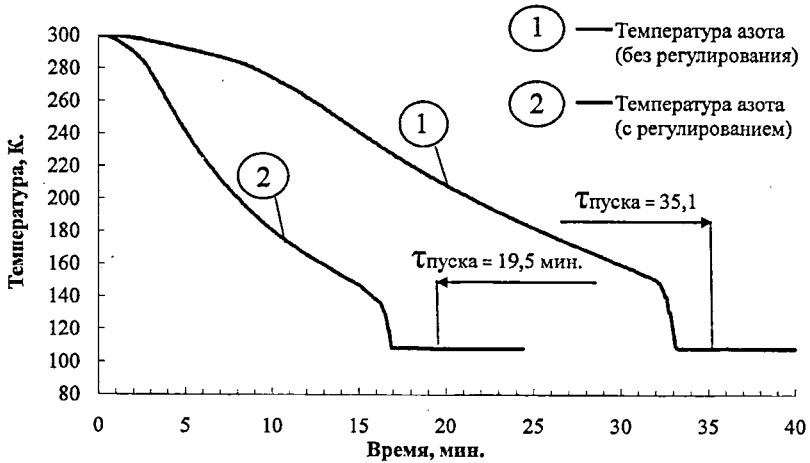


Рис. 13. Сравнение пусковых периодов двухкаскадной холодильной машины без регулирования давления за дросселем нижнего контура и с регулированием.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ**

1. Полученная оптимизационная кривая значений давления в испарителе для пускового режима двух низкотемпературных установок со смесевыми хладагентами характеризуется значениями максимальной холодопроизводительности на каждом температурном уровне в испарителе во время пускового периода.
2. Проведенный эксперимент с конечной температурой в низкотемпературной камере  $T_0 = 173 \text{ K}$  ( $-100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) с использованием оптимизационного закона регулирования показал, что уменьшение длительности пускового периода составило 44,5% по сравнению с нерегулируемым пуском.
3. Разработанная и созданная низкотемпературная двухкаскадная установка малой производительности со смесевым хладагентом для ожижения атмосферного азота показала свою высокую эффективность и простоту конструкции.
4. Пусковой период верхнего контура установки ожижения азота регулировать нецелесообразно из-за малого времени выхода на температурный режим предварительного охлаждения  $T_{0,пр.} = 240 \text{ K}$ .
5. Отсутствие регулирования давления после дросселя нижнего контура малого ожижителя азота по найденному закону приводит к увеличению общего времени пуска установки, по сравнению с регулируемым пуском, в 1,8 раза.
6. Разработанная методика прогнозирования изменения состава смеси при многократных отборах из заправочного баллона позволяет определять максимальное количество заправок без заметных изменений характеристик низкотемпературной системы.

### **Основное содержание диссертации опубликовано в работах:**

1. М.А. Ромашов «Исследование характеристик холодильной установки для ледяного катка» // Тезисы докладов 13-й Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». М.: Изд. дом МЭИ, 2007. Т.3. С. 39.
2. М.А. Ромашов «Повышение качества льда искусственных катков путем использования низкотемпературных холодильных машин, работающих на смесевых хладагентах» // Тезисы докладов 14-й Международной научно-

- технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». М.: Изд. дом МЭИ, 2008. Т.3. С. 37-38.
3. А.И. Лунин, М.А. Ромашов, В.Н. Коваленко «Вопросы заправки холодильных агрегатов смесевыми хладагентами» // Материалы 4-й Международной научно-технической конференции «Вакуумная техника, материалы и технология». Под редакцией доктора технических наук, профессора С.Б. Нестерова. М.: ОМР. ПРИНТ, 2009. С. 76-80.
  4. М.А. Ромашов «Методика расчета изменения состава смесового хладагента в низкотемпературных дроссельных системах при возможных утечках» // Тезисы докладов 15-й Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». М.: Изд. дом МЭИ, 2009. Т.3. С. 84-85.
  5. \*А.И. Лунин, М.А. Ромашов, В.Н. Коваленко «Изменение состава смесового хладагента в низкотемпературных системах» // Надежность и безопасность энергетики, 2009. №3. С. 58-60.
  6. А.И. Лунин, Данг Ван Лай, М.А. Ромашов «Энергетически эффективный способ замораживания пищевых продуктов» // Материалы 5-й Международной научно-технической конференции «Вакуумная техника, материалы и технология». Под редакцией доктора технических наук, профессора С.Б. Нестерова. М.: НОВЕЛЛА, 2010. С. 232-236.
  7. А.И. Лунин, М.А. Ромашов, В.Н. Коваленко, Данг Ван Лай «Оптимизация пускового периода дроссельных низкотемпературных систем со смесевыми хладагентами» // Материалы 5-й Международной научно-технической конференции «Вакуумная техника, материалы и технология». Под редакцией доктора технических наук, профессора С.Б. Нестерова. М.: НОВЕЛЛА, 2010. С. 237-242.
  8. М.А. Ромашов «Оптимизация пусковых периодов низкотемпературных систем, работающих на смесевых хладагентах» // Тезисы докладов 16-й Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». М.: Изд. дом МЭИ, 2010. Т.3. С. 108-109.
  9. \*А.И. Лунин, Данг Ван Лай, М.А. Ромашов «Сопоставление методов расчета быстрого замораживания рыбопродуктов» // Холодильная техника, 2010. №8. С. 48-51.

12

10. \*А.И. Лунин, М.А. Ромашов, В.Н. Коваленко, Данг Ван Лай «Дроссельная низкотемпературная система со смесевым хладагентом» // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2010. №9. С. 25-27.
11. М.А. Ромашов «Влияние изменений внешней среды на работу дроссельных низкотемпературных систем со смесевым хладагентом» // Тезисы докладов 17-й Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». М.: Изд. дом МЭИ, 2011. Т.3. С. 97-99.
12. А.И. Лунин, М.А. Ромашов, Данг Ван Лай «Характеристики дроссельных низкотемпературных систем со смесевым хладагентом при изменении температуры окружающей среды» // Материалы 6-й Международной научно-технической конференции «Вакуумная техника, материалы и технология». Под редакцией доктора технических наук, профессора С.Б. Нестерова. М.: НОВЕЛЛА, 2011. С. 74-76.
13. А.И. Лунин, Данг Ван Лай, М.А. Ромашов «Сопоставление расчетных и экспериментальных данных по низкотемпературному замораживанию рыбопродуктов» // Материалы 6-й Международной научно-технической конференции «Вакуумная техника, материалы и технология». Под редакцией доктора технических наук, профессора С.Б. Нестерова. М.: НОВЕЛЛА, 2011. С. 77-81.
14. \* А.И. Лунин, Данг Ван Лай, М.А. Ромашов. Влияние параметров низкотемпературного воздуха на процесс замораживания морепродуктов // Холодильная техника, 2011, № 7. С. 48-52.

Подписано в печать 9.10.2012 Зак. 324 Тир. 100 П.л. 1,25  
Полиграфический центр МЭИ  
Красноказарменная ул., д.13