



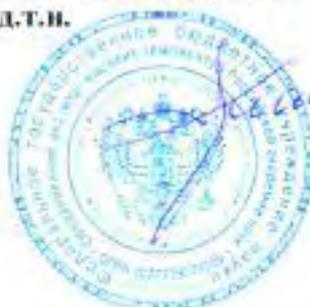
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ**

Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)

УДК 620.9, 621.57
№ гос. регистрации 01201157995

УТВЕРЖДАЮ:
Зам. директора ОИВТ РАН
д.т.н.

Инв. № 87/2012



В.А. Зейгарник

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
по результатам выполнения работ 4-ого этапа
государственного контракта от 21 апреля 2011 года № 16.516.11.6043
(заключительный)

ТЕМА:

**«РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ
СЕЗОННОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ХОЛОДА
ДЛЯ КРУГЛОГОДИЧНОГО ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ
И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ»**
(шифр заявки «2011-1.6-516-012-066»)

Этап 4. Разработка рекомендаций по использованию результатов проведенных НИР.

Руководитель работы
Заведующий лабораторией ОИВТ РАН, д.т.н.

О.С. Понель

Ответственные исполнители

Зав. отделом ОИВТ РАН, д.т.н.

Ю.А. Зейгарник

В.н.с. ОИВТ РАН, к.т.н.

С.Е. Фрид

Москва 2012 г.

Список основных исполнителей, участвовавших в подготовке научно-технического отчета:

| Должность | Раздел отчета | Подпись | Ф.И.О. |
|------------------------------|--|---------|-----------------|
| Зав. лаб., д.т.н. | Введение, заключение, редактирование, Разделы 2, 3, Приложение А | | О.С. Попель |
| Зав. отделом, д.т.н. | Введение, заключение, Разделы 1, 4, Приложения А, Г | | Ю.А. Зейгарник |
| Вед. научн. сотр., к.т.н. | Раздел 2, редактирование, Приложение А | | С.Е. Фрид |
| Вед. научн. сотр., к.ф.-м.н. | Разделы 1, 4, Приложение В | | В.Л. Низовский |
| Мл. научн. сотр., к.т.н. | Раздел 3, Приложение Б, В | | М.Ж. Сулейманов |
| Мл. научн. сотр., к.т.н. | Раздел 3, Приложения Б, В | | Ю.Г. Коломиец |
| Мл. научн. сотр. | Раздел 2 | | А.В. Мордынский |
| Мл. научн. сотр. | Раздел 3, Приложения Б, В | | А.Б. Тарасенко |
| Мл. научн. сотр. | Разделы 3, 5 | | Д.В. Мареничев |
| Вед. инженер | Разделы 1, 4 | | Л.В. Низовский |
| Вед. инженер | Обработка результатов, оформление отчета | | Н.Н. Силина |
| Инженер | Обработка результатов, оформление отчета | | Е.Е. Щедрова |
| Механик | Участие в экспериментах | | Ю.Х. Мустафанов |

РЕФЕРАТ

Отчет содержит 105 с., 28 рис., 8 табл., 2 ист., 4 прил.

ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ, АККУМУЛЯТОР ХОЛОДА, ПРИРОДНЫЙ ХОЛОД, РАСПЫЛИТЕЛЬ ВОДЫ, ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД

Работа выполняется по государственному контракту между Министерством образования и науки Российской Федерации и Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Объединенный институт высоких температур РАН от 21 апреля 2011 г. № 16.516.11.6043 по теме: «Разработка и создание высокоэффективной системы сезонного аккумулирования природного холода для круглогодичного холодоснабжения зданий и сельскохозяйственных объектов».

Объектом исследований и разработки является система холодоснабжения зданий, сельскохозяйственных и других объектов с сезонным аккумулированием природного холода.

Цель работы – разработка оптимальных технических решений, обеспечивающих создание эффективного источника холода холодопроизводительностью 10...100 кВт при температуре холодоносителя +5...+10°C с рекордно высоким холодильным коэффициентом (50 и более) для холодоснабжения зданий, сельскохозяйственных и других объектов в климатических условиях южных районов с малыми продолжительностями периодов года с отрицательной температурой наружного воздуха и снежного покрова.

На отчетном этапе выполнено обобщение результатов экспериментальных исследований распылителей воды для искусственной генерации снега/льда с использованием природного холода, разработано техническое задание на выполнение опытно конструкторских работ по созданию системы сезонного аккумулирования природного холода мощностью до 300 кВт для круглогодичного холодоснабжения сельскохозяйственных и жилых объектов, выполнена технико-экономическая оценка результатов НИР и оценка их рыночного потенциала, разработаны рекомендации по использованию результатов проведенных НИР в реальном секторе экономики, разработана методика расчета основных элементов системы распыла.

В результате выполненных исследований и предварительных проектно-конструкторских разработок на примере крупного овощехранилища в Ростовской области показано, что системы холодоснабжения на основе сезонных аккумуляторов природного холода, создаваемых с использованием искусственной генерации снега/льда путем мелкодисперсного распыления воды в морозный воздух с температурой ниже -5...-7°C, могут найти экономически эффективное практическое применение в южных районах России с малыми продолжительностями периодов года с отрицательной температурой наружного воздуха и снежного покрова для холодоснабжения крупных хранилищ сельскохозяйственной продукции и для создания энергосберегающих систем кондиционирования воздуха зданий (например, в санаторно-курортном и туристско-рекреационных секторах). Для коммерциализации разработок требуется проведение ОКР.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| Введение | 6 |
| 1 Обобщение результатов экспериментальных исследований распылителей воды..... | 11 |
| 1.1 Общие положения..... | 11 |
| 1.2 Расходные характеристики распылителей (форсунок) | 11 |
| 1.3 Формы и размеры факелов распыла..... | 13 |
| 1.4 Дисперсионные характеристики факелов распыла | 14 |
| 1.5 Накопление льда. Структура слоя намерзшего льда..... | 17 |
| 2 Разработка ТЗ на ОКР «Создание системы сезонного аккумулирования природного холода мощностью до 300 кВт для круглогодичного холодоснабжения сельскохозяйственных и жилых объектов»..... | 22 |
| 3 Техничко-экономическая оценка результатов НИР и оценка их рыночного потенциала..... | 25 |
| 3.1 Оценка эффективности внедрения систем сезонного аккумулирования природного холода (САПХ) на примере создания системы холодоснабжения для картофелехранилища емкостью 300 т..... | 26 |
| 3.2 Физические основы достижения высокого коэффициента преобразования энергии при использовании аккумуляторов природного холода, основанных на мелкодисперсном распылении воды в воздух при отрицательных температурах..... | 43 |
| 4 Рекомендации по использованию результатов проведенной НИР в реальном секторе экономики..... | 46 |
| 4.1 Рекомендации по определению эффективных ниш и географических районов для эффективного практического использования таких аккумуляторов в реальном секторе экономики..... | 46 |
| 4.2 Рекомендации по отбору секторов экономики и конкретных потребителей..... | 47 |
| 5 Разработка методики расчета основных элементов системы распыла..... | 50 |
| 5.1 Физические процессы, сопровождающие замерзание распыленной жидкости..... | 51 |
| Заключение..... | 55 |
| Литература..... | 58 |
| Приложение А Проект технического задания на ОКР..... | 59 |
| Приложение Б Сводный расчет стоимости сооружения традиционной холодильной установки с компрессорами FRASCOLD | 93 |
| Приложение В Сводный расчет стоимости. Установка аккумулирования природного холода холодильной емкостью 100 МВтч..... | 97 |
| Приложение Г Методика расчета основных элементов системы распыла..... | 102 |

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- АХ – аккумулятор холода,
ВИЭ – возобновляемые источники энергии,
РВ – распылитель воды,
TRNSYS – программный продукт, используемый для динамического моделирования работы автономной солнечно-ветровой энергоустановки с использованием реальных климатических данных,
ПИЭ – первичный источник энергии,
САПХ – система сезонного аккумулирования природного холода».

ВВЕДЕНИЕ

Расширение масштабов применения систем кондиционирования воздуха в зданиях и холодильных установок для хранения сельскохозяйственной и другой продукции вызывает нарастающие проблемы, связанные с ростом нагрузки на местные электрические сети при ограниченной их пропускной способности по электрической мощности. Наибольшие проблемы возникают в сельской местности, в частности, в агропромышленных, фермерских и подсобных хозяйствах, специализирующихся на производстве продукции, требующей хранения при пониженных температурах (овощехранилища, молочные фермы и т.п.). Слабые сельские электрические сети и существующие ограничения по подключению электрической мощности сдерживают развитие фермерских и подсобных хозяйств. Там же, где электроэнергия доступна, серьезным ограничением является рост тарифов на нее и высокие затраты на подключение к сети.

Обычно для холодоснабжения потребителей применяются парокомпрессионные холодильные установки, как правило, работающие по текущему графику холодильной нагрузки. При этом мощность холодильной установки выбирается из расчета максимальной холодильной нагрузки, которая для большинства типичных потребителей холода (кондиционирование воздуха в помещениях, хранение сельхозпродукции и т.п.) приходится на наиболее жаркие летние дни. Максимальное потребление электроэнергии холодильной установкой относится к дневному времени, усиливая пиковую нагрузку на электрическую сеть. При этом работа холодильной установки приходится преимущественно на часы с максимальными значениями тарифов, что ведет к повышенным эксплуатационным затратам. Кроме того, работа холодильной установки в дневные часы с максимальной температурой наружного воздуха, в который сбрасывается теплота конденсации рабочего тела в холодильном цикле, сопряжена со снижением холодильного коэффициента установки и ведет к увеличению расхода электроэнергии.

Покрытие холодильных нагрузок становится из года в год все более значимой статьей в энергетическом балансе населенных пунктов, сельскохозяйственных комплексов и фермерских хозяйств, в результате чего поиск более эффективных путей холодоснабжения является важной составляющей политики энергосбережения и повышения энергоэффективности экономики. Проблема кондиционирования воздуха на объектах рекреационного сектора, стремящегося к повышению качества обслуживания отдыхающих, также стоит весьма остро в связи с ограниченностью мощности имеющихся электрических сетей.

В настоящем отчете представлены результаты заключительного этапа исследований и разработок систем холодоснабжения на основе сезонного аккумулирования природного холода, накапливаемого путем производства снега/льда в зимнее время и сохранения его в теплоизолированном хранилище с постепенным расходом накопленного «холода» в теплый период года.

Данный подход имеет ряд привлекательных потенциальных преимуществ по сравнению с традиционными системами холодоснабжения.

Применяемые для холодоснабжения парокомпрессионные холодильные машины имеют относительно невысокий холодильный коэффициент, который при получении температуры холодоносителя на уровне $+5...+10^{\circ}\text{C}$ при температуре окружающей среды $20...30^{\circ}\text{C}$ не превышает $2,5...3,5$, что означает, что на 1 кВт затраченной на привод компрессора холодильной машины электрической мощности можно получить лишь $2,5...3,5$ кВт холодильной мощности.

Разрабатываемое в рамках настоящего проекта техническое решение обеспечивает многократное снижение затрат электроэнергии на холодоснабжение различных потребителей. Идея состоит в искусственном производстве снега/льда зимой в холодные периоды при температуре наружного воздуха ниже $-5...-10^{\circ}\text{C}$ путем периодического мелкодисперсного распыления воды в холодном воздухе. Замерзание воды в результате охлаждения микроразмерных капель (диаметром порядка $20...50$ мкм) за время нахождения их в холодном воздухе обеспечивает аккумуляцию природного холода в количестве, пропорциональном массе полученного льда и удельной теплоте кристаллизации воды ($33,3 \cdot 10^4$ Дж/кг). Полученный лед накапливается в теплоизолированном объеме (яме или специально созданном резервуаре). По окончании периодических процессов генерации снега/льда аккумулятор укрывается сверху теплоизоляционным покрытием. За зимний период производство снега/льда осуществляется в наиболее холодные периоды времени, преимущественно ночью. Как показывают предварительные оценки, генерация снега/льда предлагаемым способом может осуществляться при температуре наружного воздуха ниже $-5...-10^{\circ}\text{C}$. Размеры аккумулятора холода выбираются, исходя из годовой нагрузки по холодоснабжению потребителя с учетом неизбежных потерь холода через ограждения аккумулятора в течение года. Для «отбора» холода к потребителю внутри созданного описанным способом аккумулятора размещается теплообменник, по которому прокачивается холодоноситель (антифриз или вода).

Важно отметить, что достигаемый в предлагаемом устройстве холодильный коэффициент, рассчитываемый как отношение теплоты кристаллизации накапливаемого льда к электрической энергии, затраченной на распыл соответствующего количества воды, по предварительным оценкам, может достигать 50 и более, что превышает холодильный коэффициент традиционных холодильных машин на порядок. Последнее означает многократное снижение потребления электроэнергии на нужды холодоснабжения, причем, поскольку генерация льда происходит преимущественно в ночное время, нагрузка на электрическую сеть в результате подключения распылителей воды оказывается малой. В дневное пиковое время нагрузка на сеть связана лишь с работой насосов, обеспечивающих подачу холодоносителя от аккумулятора к потребителю.

Разрабатываемое в рамках проекта техническое решение, прежде всего, предназначено для использования в климатических условиях южных районов с малой продолжительностью периода года с низкими отрицательными температурами наружного воздуха и снежного покрова. К таким районам относится довольно большая часть территории России, где проблемы кондиционирования зданий в жаркий период года стоят особенно остро. Эти районы относятся также к зоне с наиболее развитым сельскохозяйственным производством, где холодоснабжение требуется для хранения сельхозпродукции. Предлагаемая технология получения холода может быть эффективно использована также и в быстро развивающемся в этих районах санаторно-курортном секторе для создания комфортных условий проживания отдыхающих в жаркий период года, когда нагрузки на электрические сети непомерно возрастают.

На первом этапе работ по госконтракту были выполнены обзорные и патентные исследования, которые показали, что использование природного холода и его долгосрочное аккумулирование для холодоснабжения различных типов потребителей начинает привлекать внимание исследователей и разработчиков в Швеции, Японии, Канаде, Китае, в США и в ряде других стран мира, что связано с резким ростом электропотребления в летнее время, необходимостью решения проблем энергоэффективности и энергосбережения, интересом к возобновляемым источникам энергии.

Было показано, что ключевым компонентом разрабатываемых систем холодоснабжения является сезонный аккумулятор холода. В различных странах имеется практический опыт создания крупных аккумуляторов холода емкостью до 10 000 МВтч, что соответствует объему аккумулируемого льда порядка 100 000 м³. Чем крупнее аккумулятор холода, тем меньше потери холодоемкости в связи с притоком тепла из окружающей среды через ограждающие поверхности в теплый период года.

В северных многоснежных странах используется сбор снега с окружающей территории в зимнее время с формированием на специально подготовленной основе так называемых «снежных свалок», из которых в теплый период года производится отбор холодной талой воды для холодоснабжения потребителей. Применяется также послойное намораживание льда путем периодической подачи воды, в том числе разбрызгиваемой, в аккумулятор при низких температурах окружающей среды. Последний способ является довольно медленным, максимальная толщина намораживаемого льда существенно зависит от климатических условий. Кроме того, намораживание льда возможно лишь при большой продолжительности сильных морозов. В иностранной литературе сообщается и об использовании искусственной генерации снега/льда для аккумуляторов холода путем мелкодисперсного распыления воды. Отмечается, что распыление воды в морозном воздухе является наиболее производительным методом, однако в изученной литературе детальная техническая информация об устройствах,

используемых для его практической реализации (дисперсность распыла воды, особенности теплообмена микрокапель с холодным воздухом, ограничения по соотношению расхода воды и воздуха и т.п.) не приводится.

Недостаточно изученной является проблема теплоизоляции хранилищ снега/льда сопряженная с потерей холодоёмкости аккумулятора. Отсутствуют более или менее адекватные математические модели, описывающие теплообмен с учетом размеров аккумулятора и реальных климатических условий эксплуатации.

Отечественные разработки аккумуляторов холода в основном были ориентированы на охлаждение молока. Последние диссертационные работы в этой области выполненные специалистами из сельскохозяйственных научных центров не содержат обстоятельных исследований теплофизических процессов. Созданные установки, тем не менее, демонстрируют практическую привлекательность, эффективность и полезность.

В рамках выполнения данной работы были проведены предварительные расчетные оценки систем аккумуляции природного холода для 5 районов страны с различными климатическими условиями. Была разработана эскизная конструкторская документация на экспериментальный стенд, предназначенный для экспериментальных исследований различных типов распылителей воды с целью получения искусственного льда/снега. Разработана конструкция распылителя воды и изготовлены 2 его макетных образца. Разработаны программа и методики экспериментальных исследований режимов работы распылителя воды. Разработана математическая модель подземного аккумулятора холода, выполнены расчетные оценки в обоснование выбора эффективных способов создания аккумуляторов природного холода и разработаны технические решения по эффективной теплоизоляции и отбору холода от аккумулятора. Разработана рабочая конструкторская документация и создан экспериментальный стенд, на котором проведены предварительные испытания мелкодисперсных распылителей воды, предназначенных для получения льда. Определены базовые параметры системы холодоснабжения с аккумулятором холода до 100 МВтч. Разработаны принципиальные схемы и конструктивный облик систем холодоснабжения с подземным и наземным вариантами создания сезонного аккумулятора холода. Разработана эскизная конструкторская документация на аккумулятор и систему холодоснабжения. Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы распылителей различной производительности, проведены испытания экспериментальных образцов распылителя с определением дисперсионных характеристик факелов распыла воды.

В настоящем заключительном отчете представлены материалы по обобщению результатов экспериментальных исследований распылителей воды для искусственной генерации снега/льда с использованием природного холода, техническое задание на выполнение опытно конструкторских работ по созданию системы сезонного аккумуляции природного холо-

да мощностью до 300 кВт для круглогодичного холодоснабжения сельскохозяйственных и жилых объектов, технико-экономическая оценка результатов НИР и оценка их рыночного потенциала, рекомендации по использованию результатов проведенных НИР в реальном секторе экономики, а также методика расчета основных элементов системы распыла.

1 ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ВОДЫ

1.1 Общие положения

Расчетно-теоретические исследования, наблюдения природных процессов, опыт работы установок по образованию искусственного снежного покрова показали, что образование снежных (ледяных) частиц и эффективное аккумуляирование льда определяется следующими факторами:

- температурой окружающей среды, то есть температурой холодного воздуха, используемого в процессе замораживания воды, которая определяет интенсивность теплоотдачи «воздух – капля» и скорость замерзания капель;

- расходом воздуха, который определяет объемную скорость процесса замерзания капель и намораживания ледяного покрова;

- скоростью воздуха, от которой зависит длина пути пролета замерзающих капель, то есть, длина пути замораживания;

- производительностью распылителя (форсунки), которая должна быть согласована с расходом охлаждающего воздуха и которая также определяет объемную скорость процесса замерзания капель и намораживания ледяного покрова;

- формой и размерами факелов, создаваемых распылителями, которые определяют «зону обслуживания» индивидуальных распылителей и которая также должна быть согласована с расходом распыливаемого воздуха;

- дисперсионным составом факелов распыла, то есть средним размером и распределением капель воды по диаметру, который определяет равномерность толщины намораживаемого льда, его структуру (морфологию) и плотность.

В соответствии с указанными физическими процессами проводились экспериментальные исследования распылителей и определялась возможность реализации процесса сезонного намораживания льда.

1.2 Расходные характеристики распылителей (форсунок)

Типичные расходные характеристики форсунок представлены на рисунках 1.1...1.4.

На них показано влияние давления перед форсункой, диаметра сопла и типа форсунки на ее расходные характеристики. Видно, что расход распыливаемой форсункой воды пропорционален корню квадратному от давления перед форсункой (в общем случае корню квадратному от перепада давлений на форсунке) и квадрату диаметра сопла.

Из представленных данных видно, что необходимая производительность распылителей может быть достигнута при умеренных давлениях перед форсунками, то есть, при 3...5 МПа,

что позволит затратить меньше энергии на распыл.

Экспериментальные данные также показывают, что при одинаковом давлении перед форсунками (точнее, одинаковом перепаде давлений) и одном и том же диаметре сопла расход жидкости, распыливаемой струйными форсунками, больше. Однако, факел распыла струйной форсункой – весьма узкий, что не позволяет эффективно использовать холодильную способность потока воздуха. Поэтому, применение центробежных распылителей по совокупности показателей является предпочтительным.

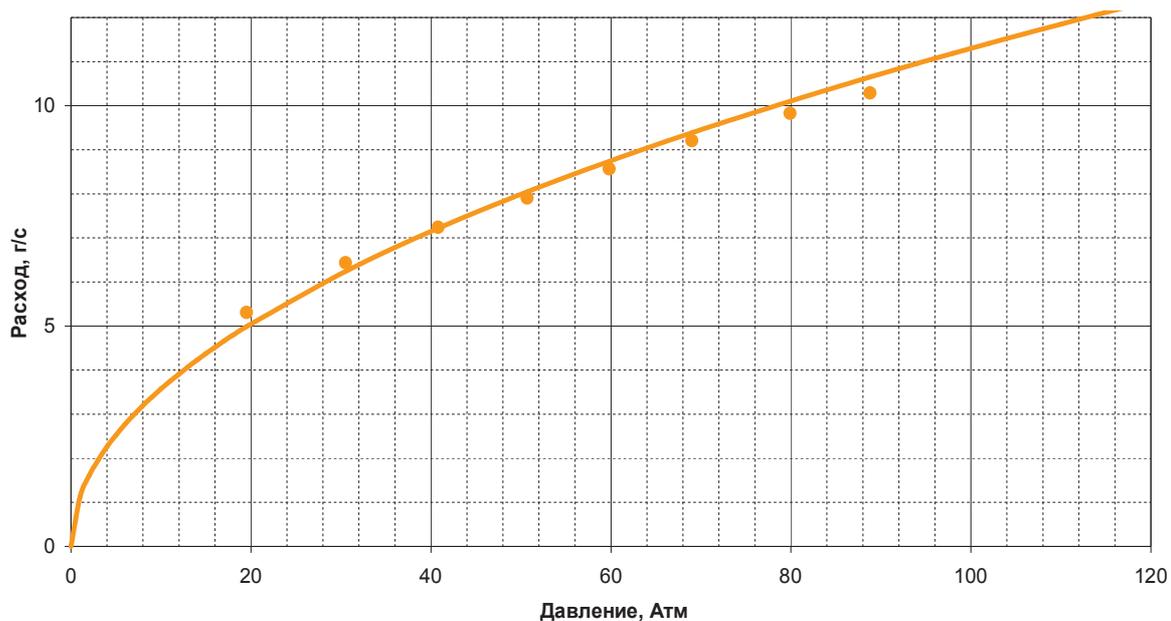


Рисунок 1.1 – Расходные характеристики центробежной форсунки №1

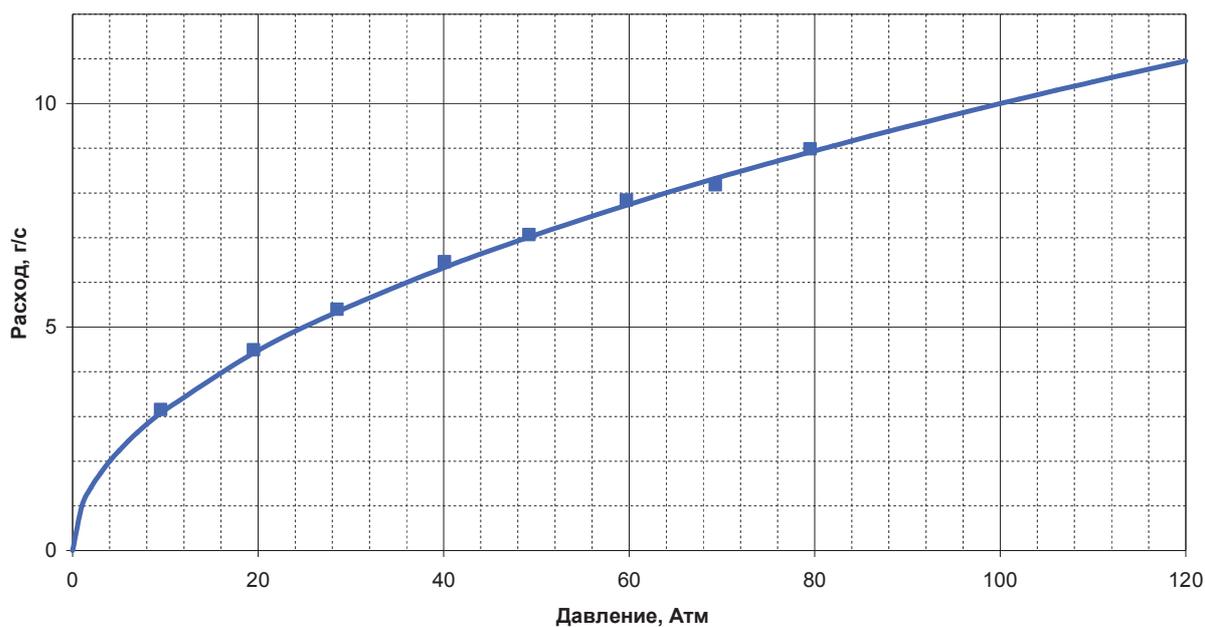


Рисунок 1.2 – Расходные характеристики струйной форсунки

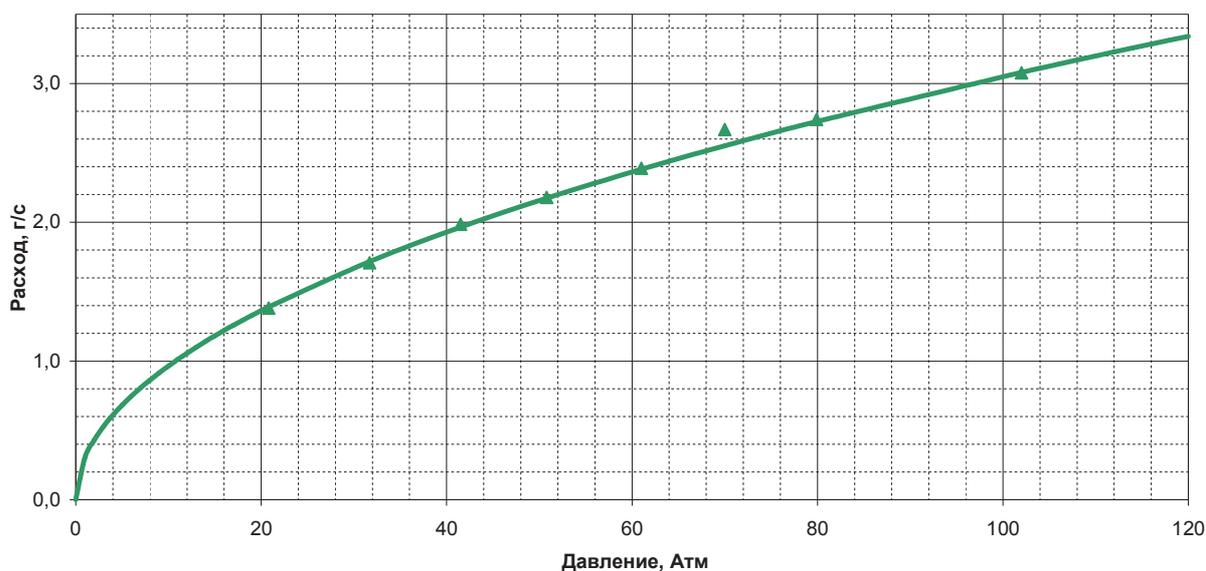


Рисунок 1.3 – Расходные характеристики центробежной форсунки №2

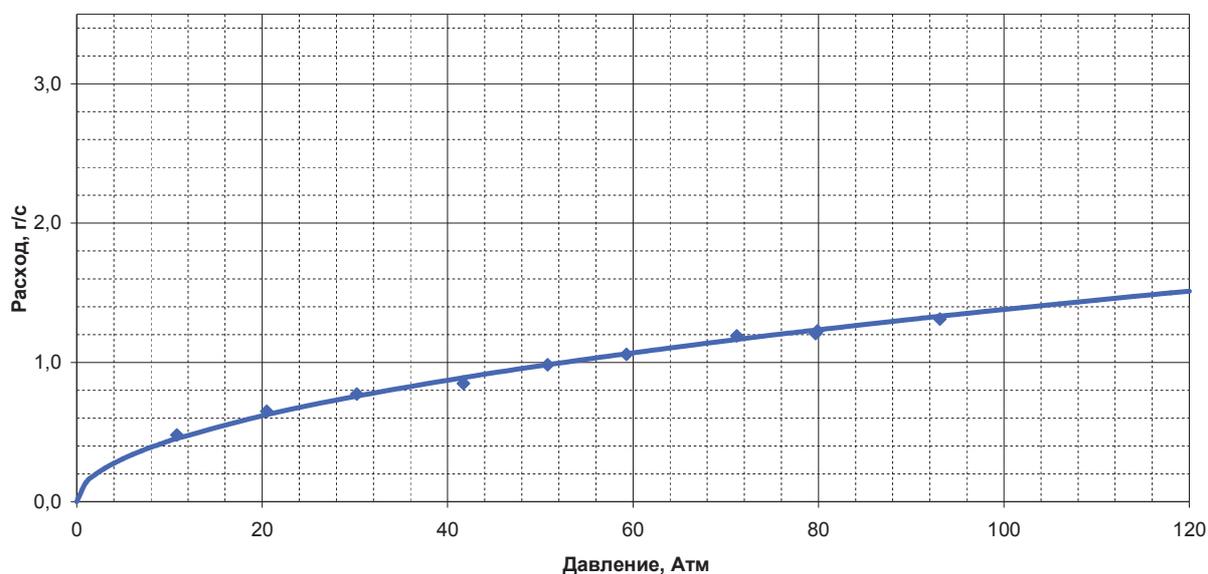


Рисунок 1.4 – Расходные характеристики центробежной форсунки №3

1.3 Формы и размеры факелов распыла

На рисунках 1.5 и 1.6 представлены формы факелов распыла центробежными и струйными форсунками. Видно, что центробежные форсунки обеспечивают более широкий факел распыла. Угол раскрытия факела распыла составляет от 60 до 90°. Струйная форсунка дает факел в виде узко направленной струи. Она охватывается потоком холодного воздуха малого сечения, что снижает возможности замораживания. Увеличение расхода охлаждающего воздуха, необходимое для охлаждения узкой струи, увеличивает длину пути замораживания, что технологически сужает возможности системы намораживания в условиях ограниченного пространства.



Рисунок 1.5 – Факел распыла центробежной форсунки



Рисунок 1.6 – Факел распыла струйной форсунки

1.4 Дисперсионные характеристики факелов распыла

Для нахождения размеров капель, достигаемых при распыле воды форсунками разных типоразмера и производительности и определения распределения капель по размерам, на стенде «Распыл» ОИВТ РАН были выполнены специальные эксперименты с центробежными и струйными форсунками с диаметром сопла 0,20; 0,65 и 2,00 мм. При давлении на входе в центробежную форсунку 8 МПа эти сопла обеспечивали расход воды 2,7; 9,8 и 32 г/с, соответственно. Дисперсионный состав факелов распыла определялся по специально разработан-

ной методике путем измерения индикатрисы рассеяния диагностирующего монохроматического лазерного луча в широком диапазоне углов измерения (модифицированный метод малых углов) с последующим решением обратной задачи рассеяния. Индикатриса рассеяния индивидуальной капли заданного размера рассчитывалась по теории Ми. На рисунках 1.7...1.9 приведены распределения капель воды по размерам (радиусу в мкм) для центробежных форсунок. Аналогичные распределения были получены для струйных форсунок. На этих же рисунках представлены кривые, дающие суммарную объемную долю капель размера от нуля до текущего радиуса r_i .

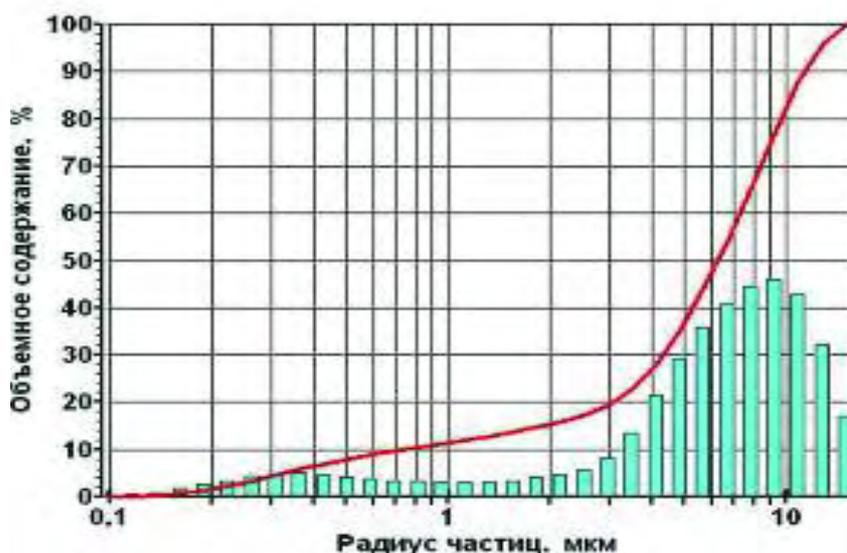


Рисунок 1.7 – Дисперсионные характеристики центробежной форсунки №2.

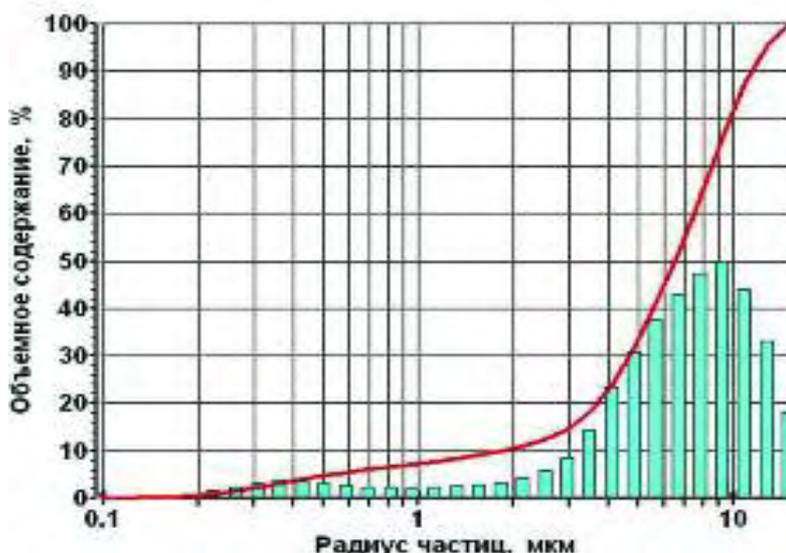


Рисунок 1.8 – Дисперсионные характеристики центробежной форсунки №3.

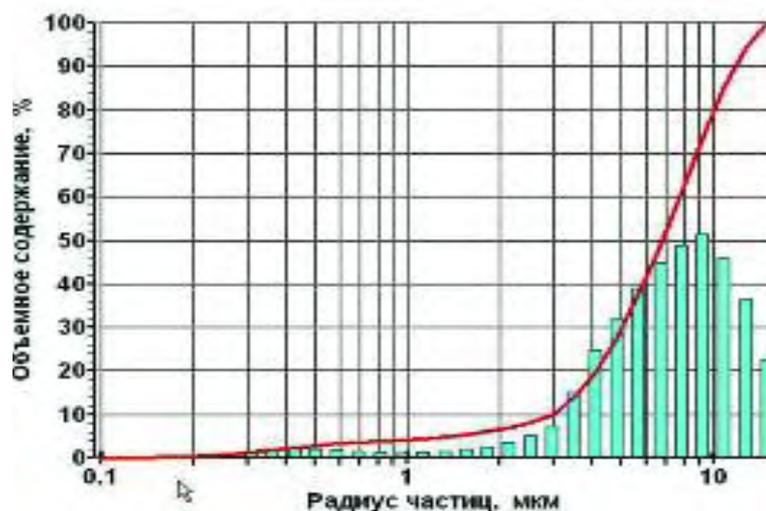


Рисунок 1.9 – Дисперсионные характеристики центробежной форсунки №1.

В таблице 1.1 приведены оценки времени замерзания каплей τ_{\max} в миллисекундах в функции диаметра капли d_k и разности температур $\overline{\Delta t}$ между точкой замерзания (0°C) и температурой охлаждающего воздуха (теплопроводность воздуха $\lambda_{\text{возд}} = 2,5 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К), эффективная теплота замерзания $r_{\text{эф}} = 340$ кДж/кг, плотность воды $\rho_{\text{вод}} = 10^3$ кг/м³).

Таблица 1.1 – Времена замерзания каплей τ_{\max} , мс

| $\overline{\Delta t}$, °C | d_k , мкм | | | | |
|----------------------------|-------------|-----|-----|------|-------|
| | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 |
| 10 | 11 | 44 | 275 | 1100 | 4400 |
| 5 | 22 | 88 | 550 | 2200 | 8800 |
| 3 | 37 | 146 | 915 | 3700 | 14600 |

Видно, что время замерзания каплей диаметром менее 50 мкм не превышает 1 с даже при малых разностях температур ($\overline{\Delta t} = 3^\circ\text{C}$) между охлаждающим воздухом и точкой замерзания. Тем не менее, длина пути замерзания оказывается не столь малой, ее характерные рассчитанные значения приводятся в таблице 1.2 в функции скорости несущего воздуха.

Таблица 1.2 – Длина пути замерзания каплей, м ($\overline{\Delta t} = 5^\circ\text{C}$)

| w , м/с | d_k , мкм | | | | |
|-----------|-------------|-------|------|------|------|
| | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 |
| 1 | 0,022 | 0,088 | 0,55 | 2,2 | 8,8 |
| 2 | 0,044 | 0,176 | 1,10 | 4,4 | 17,6 |
| 5 | 0,110 | 0,440 | 2,75 | 11,0 | 44,0 |
| 10 | 0,220 | 0,880 | 5,50 | 22,0 | 88,0 |

Видно, что при больших скоростях несущего потока охлаждающего воздуха длина пути замерзания крупных капель оказывается значительной, а при скоростях воздуха более 7...10 м/с даже чрезмерной (заметим, кстати, что ветер скоростью около 10 м/с со снегом относится к категории слабой метели). Это ограничивает «свободу маневра» при выборе рабочих параметров системы намораживания. Из данных таблиц 1.1 и 1.2 видно, что практически область рациональных размеров замораживаемых капель ограничивается диаметром капель примерно 50 мкм. Для сравнения укажем, что типичный размер природных снежинок лежит в пределах от 0,5 (мелкозернистый снег) до более чем 2 мм (крупнозернистый снег), т.е. на порядки величины больше при существенно меньшей насыпной плотности.

С помощью специальной исследовательской программы расчета гидродинамики гетерогенных потоков с теплообменом и фазовыми переходами были выполнены расчеты некоторых из режимов, представленных в таблицах 1.1 и 1.2, показавшие хорошее согласие с ними.

Представленные на рисунках 1.7...1.9 дисперсионные характеристики факелов распыла показывают преобладание капель размером менее 50 мкм, что обеспечивает как умеренные времена замерзания, так и приемлемые длины пути замерзания (обратим внимание, что на указанных рисунках по оси абсцисс отложен радиус капли).

1.5 Накопление льда. Структура слоя намерзшего льда

На установке «Распыл» ОИВТ РАН было осуществлено температурное зондирование факела распыла воды в потоке холодного воздуха [$t_{\text{возд}} = -(7...8)^\circ\text{C}$] с помощью термопарных зондов. Температурное зондирование потока позволяет с приемлемой точностью очертить границы зоны, где жидкая фаза претерпевает фазовые переходы.

Типичное распределение температур в факеле распыла показано на рисунке 1.10. Видно, что вблизи среза форсунки (на расстоянии примерно 6 мм) температура капель в ядре воздушно-капельного потока диаметром около 15 мм, экранированном корпусом форсунки, равна $\sim 28^\circ\text{C}$, т.е. температуре впрыскиваемой в воздушный поток воды. Температура в остальной части потока близка к температуре окружающего воздуха минус 8°C (кривая 1). По мере удаления от среза форсунки факел распыла воды расширяется до диаметров примерно 30 и 60 мм (кривые 2 и 3, соответствующие расстояниям 20 и 54 мм от среза форсунки), угол раскрытия конуса составляет $\sim 60^\circ$, температура воздуха понижается, достигая в центре факела температуры, близкой к нулевой (температура замерзания воды). Кривые 4...6 (расстояния от среза форсунки – 119, 196 и 320 мм, соответственно) показывают наличие намерзшего льда на всех датчиках термопарных зондов.

Температура распыливаемой центробежной форсункой (диаметр сопла 2 мм) воды 28°C ; температура воздуха минус 8°C ; скорость воздуха 40 м/с. Расстояние от среза сопла форсун-

ки: (кривая 1) – 6мм; (2) – 20 мм; (3) – 54 мм; (4) – 119 мм; (5) – 196 мм; (6) – 320 мм. Расстояние от стенки канала до оси форсунки 60 мм.

На рисунке 1.11 приведена фотография, иллюстрирующая прогрессирующее намерзание льда на термопарных зондах вдоль по потоку воздуха.

В дополнение к стендовым измерениям размеров капель, масштабов скорости и длины намерзания были проведены серии «натурных» испытаний форсунок в потоках воздуха разной температуры и скорости. опыты проводились при прокачке холодного воздуха вентилятором через прямоугольный канал размером 500×500 мм и длиной 4,0 м, круглый канал диаметром 300 мм, а также в свободном пространстве.

Воздушно-капельный поток направлялся внутрь канала вдоль его оси. Вентилятор с форсункой устанавливались в начале канала. На выходе из канала был установлен отбойный щиток, моделирующий намораживаемую стенку. Использовалась центробежная форсунка производства ММП «Салют»; давление воды перед форсункой 1,5...2,0 МПа; расход воды 4,4 г/с. Вентилятор мощностью 7 Вт обеспечивал номинальную производительность 500 м³/ч (0,14 м³/с, или ~0,18 кг/с). Отношение массовых расходов воздуха и воды: составляло $K \cong 41$.

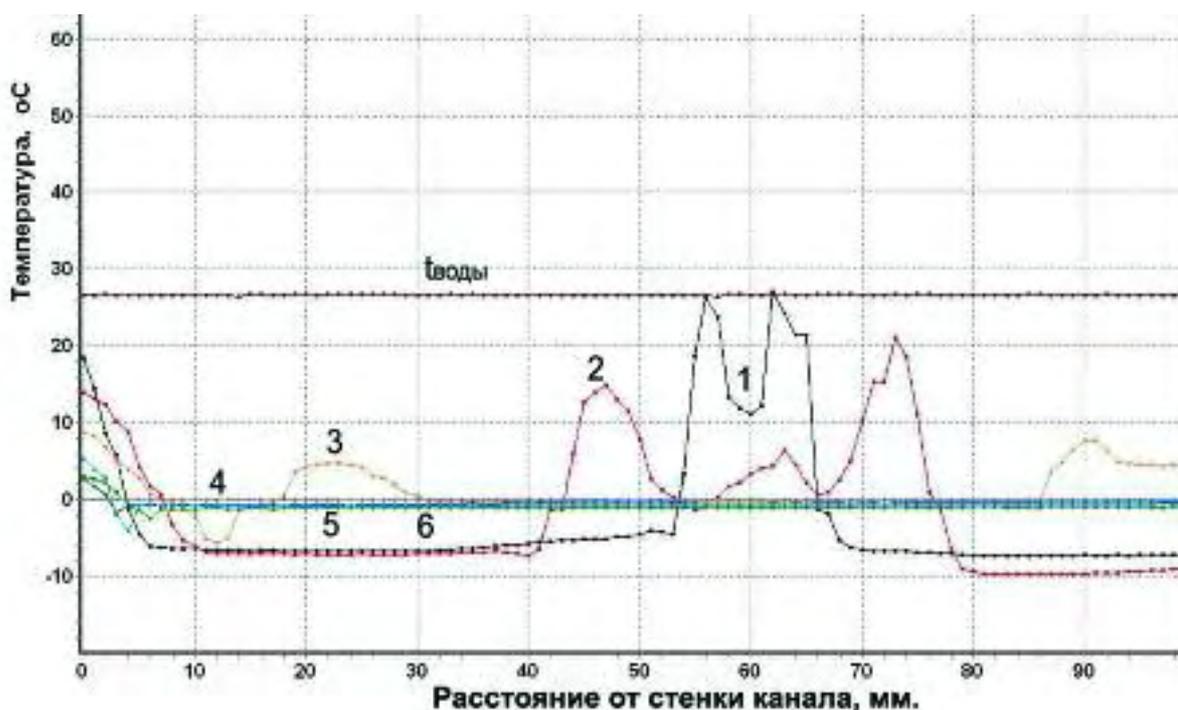


Рисунок 1.10 – Термопарное зондирование воздушного потока с замерзающими каплями воды.

В ходе эксперимента при помощи термоанемометра проводилось измерение скорости воздушного потока в канале, а с помощью термометров сопротивления – термометрирование потока. В конце каждого эксперимента измерялось количество намороженного в канале льда. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.3.



Рисунок 1.11 – Прогрессирующее намерзание льда на термопарных зондах вдоль по потоку воздуха.

Таблица 1.3 – Опыты по намораживанию льда

| Параметр | Дата | | |
|--|------------|------------|------------|
| | 06.02.2012 | 07.02.2012 | 15.02.2012 |
| Температура воздуха, °С | -12 | -11 | -6,5 |
| Температура воздуха на выходе из канала, °С | | | |
| Давление воды, атм | 15-20 | 15-20 | 14-18 |
| Продолжительность опыта, мин | 66 | 66 | 70 |
| Расход воды, л | 17,5 | 17,5 | 17,5 |
| Удельный расход воды, г/с | 4,4 | 4,4 | 4,4 |
| Уловлено в виде льда, л | 14,8 | 15 | * |
| Унос, л | 2,7 | 2,5 | * |
| Скорость воздушного потока, м/с | 0,8-1,0 | 0,8-1,0 | 0,8-1,0 |
| * В ходе данного эксперимента, проводившегося при недостаточно низкой температуре окружающей среды, в нижней части канала собралось большое количество незамерзшей воды, в связи с чем произвести измерение количества образовавшегося льда не представлялось возможным. | | | |

Обращает на себя внимание приемлемый баланс введенной жидкости и замороженного льда при температурах окружающей среды минус 11...12°С. При температуре окружающей среды -6,5°С намораживание льда происходит менее интенсивно.

На фотографии рисунка 1.12 виден сформировавшийся туман из мелких частиц льда. Вид образующегося льда на отбойном щитке на выходе из канала показан на рисунке 1.13, а на

рисунке 1.14 видно равномерное нарастание слоя льда на стенках канала. Более монолитный характер этого слоя льда связан с частичным попаданием на стенки капель воды, которые затем замораживаются обтекающим их потоком.



Рисунок 1.12 – Фото тумана из мелких частиц льда

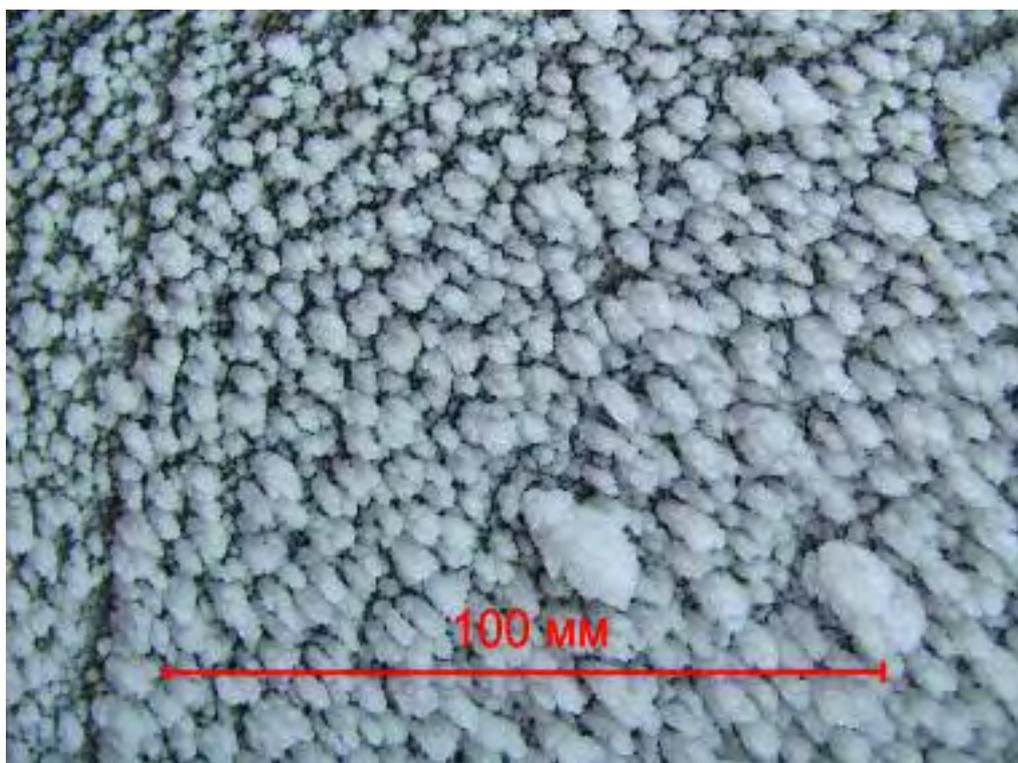


Рисунок 1.13 – Структура намораживаемого на стенке льда



Рисунок 1.14 – Фото нарастающего слоя льда на стенках канала

Таким образом, выполненные эксперименты по определению характеристик распылителей и модельные опыты по намораживанию льда показывают реальность интенсивного направленного намораживания льда при распыле воды на капли диаметром менее 50 мкм в принудительном потоке холодного воздуха с температурой $-4...-5^{\circ}\text{C}$ и ниже.

2 РАЗРАБОТКА ТЗ НА ОКР «СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ СЕЗОННОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ХОЛОДА МОЩНОСТЬЮ ДО 300 КВТ ДЛЯ КРУГЛОГОДИЧНОГО ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ»

Выполненные в рамках проекта расчетно-теоретические и экспериментальные исследования и предварительные конструкторские разработки позволили сформулировать Техническое задание на опытно-конструкторскую разработку пилотного сезонного аккумулятора холода.

Техническое задание сформулировано с участием специалистов Института «Ростовтеплоэлектропроект», г. Ростов-на-Дону на основе изучения потенциальных потребителей разрабатываемых систем холодоснабжения в Ростовской области. Этот регион, как это было показано на первом этапе работ по контракту, является наиболее интересным для использования сезонных аккумуляторов природного холода с искусственной генерацией снега/льда, поскольку характеризуется небольшим числом часов (менее 1000 часов) с отрицательными (ниже -10°C) температурами воздуха (рисунок 2.1) и относительно малоснежными зимами с неустойчивым снежным покровом. В то же время регион характеризуется большой длительностью периода с температурой воздуха более $+25^{\circ}\text{C}$ (более 1500 часов в год, рисунок 2.2).



Рисунок 2.1 – Продолжительность периодов с температурой атмосферного воздуха ниже -10°C

На территории области, являющейся одним из важнейших сельскохозяйственных регионов страны, расположено большое число фермерских хозяйств и хранилищ сельскохозяйственной продукции, нуждающихся в эффективных системах холодоснабжения. Важно также отметить, что область является энергодефицитной с высокими тарифами на электроэнергию (до 5 р./кВтч)

и значительными ограничениями на подключение потребителей к электрическим сетям, что повышает привлекательность использования предлагаемых энергоэффективных систем.

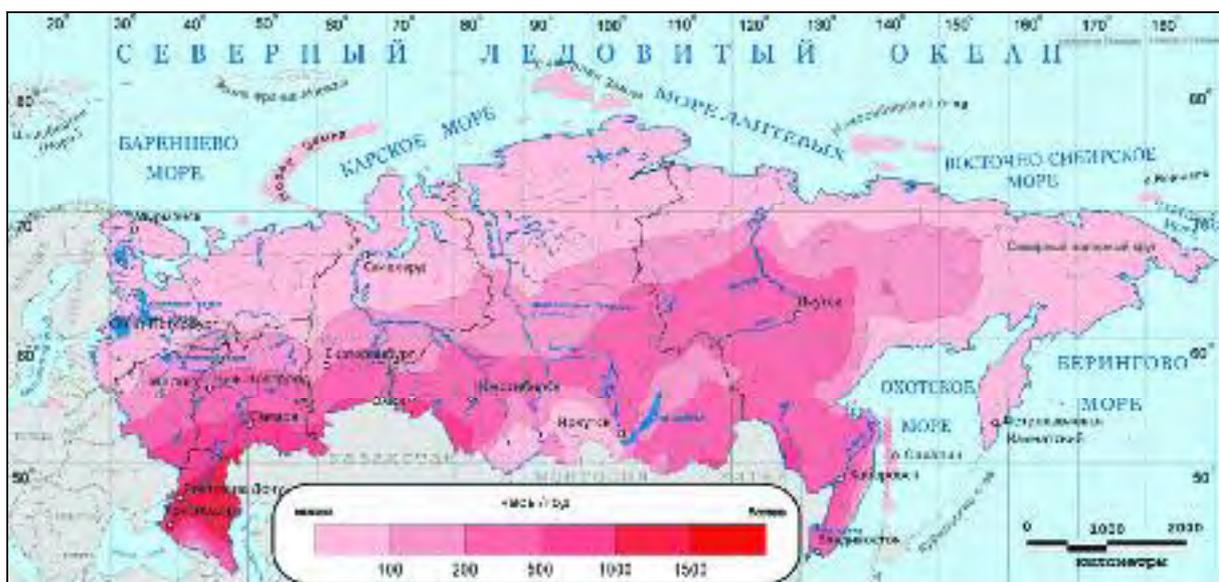


Рисунок 2.2 – Продолжительность периодов с температурой наружного воздуха выше +25°C

Анализ потенциальных потребителей показал, что среди широкого спектра потребителей наиболее привлекательными являются крупные овощехранилища, в большинстве случаев использующие достаточно мощные холодильные парокомпрессионные машины холодильной мощностью до 100 кВт и выше, эксплуатация которых сопряжена со значительными текущими затратами не только на оплату потребляемой электроэнергии, но и с трудовыми затратами на их круглосуточное обслуживание, и с затратами на расходные материалы (масло и др.) и ремонтные мероприятия.

Оптимальные параметры хранения некоторых видов сельскохозяйственной продукции приведены в таблице 2.1. Видно, что, как правило, в овоще- и фруктохранилищах требуется поддержание положительных температур до +10...15°C, что вполне может быть реализовано с помощью предлагаемой технологии.

Следует отметить, что перспективными потребителями разрабатываемых систем холодоснабжения являются и объекты, требующие кондиционирования воздуха внутри помещений. Однако реализация пилотного проекта для таких объектов сопряжена с большим объемом различных согласований и экспертиз и требует значительного времени для подготовки проекта. В то же время создание пилотной системы холодоснабжения для овощехранилищ, как правило, находящихся в частной собственности, представляется более легко реализуемым. Важным фактором является и наличие в пределах территории существующих овощехранилищ свободных земельных участков, которые необходимы для сооружения масштабного сезонного аккумулятора холода.

Указанное выше является основанием для выбора в качестве объекта для создания пилотной системы холодоснабжения овощехранилища.

Таблица 2.1 – Параметры хранения сельскохозяйственной продукции

| Наименование продуктов | Температура, °С | Относительная влажность, % | Примечание |
|----------------------------|-----------------|----------------------------|------------------|
| Баклажаны | +10...15 | 90...95 | Хранение навалом |
| Бананы зеленые | +13...14 | 90...95 | Хранение в таре |
| Виноград | 0...+5 | 90...95 | Хранение в таре |
| Капуста белокачанная | -1...+1 | 95...100 | Хранение навалом |
| Капуста цветная | 0...+1 | 95...98 | Хранение навалом |
| Картофель | +4 | 80...85 | Хранение навалом |
| Лук репчатый | 0 | 65...75 | Хранение навалом |
| Перец сладкий (болгарский) | +7,5 | 95...98 | Хранение навалом |
| Помидоры | +2 | 85...90 | Хранение в таре |
| Яблоки | 0...+2 | 90...95 | Хранение в таре |

Примечание: Данные взяты с сайта <http://www.infrost-agro.ru>

В следующем разделе будут приведены результаты технико-экономического анализа экономической конкурентоспособности предлагаемых систем, и на примере овощехранилища на 300 т картофеля показано, что предлагаемая система холодоснабжения является вполне конкурентоспособной по отношению к традиционной системе холодоснабжения на базе парокомпрессионной холодильной машины, а затраты на ее сооружение окупаются в течение 3...4 лет. Данное обстоятельство является дополнительным аргументом для выбора овощехранилища в качестве первоочередного объекта для конкретной проработки проекта.

Техническое задание на ОКР «Создание системы сезонного аккумулирования природного холода мощностью до 300 кВт для круглогодичного холодоснабжения сельскохозяйственных и жилых объектов» представлено в Приложении А.

3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ НИР И ОЦЕНКА ИХ РЫНОЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА

Выполненные в рамках проекта исследования и разработки показали, что предлагаемая технология использования природного холода может найти применение в разнообразных отраслях народного хозяйства. Приоритетными представляются следующие сферы применения:

- хранение больших объемов продукции во фруктохранилищах, в овощехранилищах при температурах 0...14°C;
- созревание фруктов в охлажденных камерах при температурах 10...20°C;
- хранение молока и молочной продукции при температурах 5...8°C;
- предпродажное хранение мясных и рыбных продуктов без заморозки – при температурах 2...4°C;
- хранение рассады сельхозрастений при температурах 10...15°C;
- хранение черенков и саженцев плодовых деревьев при температурах 5...10°C;
- хранение срезанных цветов декоративных культур при температурах 5...8°C;
- хранение пищевой массы в консервной промышленности при температурах 3...7°C;
- хранение готовой пищевой продукции (колбасы, сыры, полуфабрикаты и т.п.) на складах торгово-закупочных предприятий.

Свою нишу технологии аккумулирования природного холода могут найти также в технологических процессах химических и нефтехимических производств: при получении азота, азотной кислоты, азотных удобрений, аммиака, бутилкаучука и др., где диапазон рабочих температур простирается от –20 до +7°C.

Можно отметить, что сегодня в Российской Федерации действует 25 000 сельхозпредприятий и 257 000 фермерских хозяйств, использующих холодильные технологии электрической мощностью до 35 кВт (холодильная мощность до 100 кВт). Существующее на этих предприятиях традиционное холодильное оборудование является дорогостоящим, энергоемким, требует высокой квалификации обслуживающего персонала, приобретения дорогих запасных частей, смазочных масел, хладагентов. Трудозатраты на проведение текущего обслуживания холодильного хозяйства, например, на ферме в 400 голов крупного рогатого скота составляют более 1000 человеко-часов в год. Во многих хозяйствах холодильное оборудование сильно изношено и требует замены. Внедрение в этих хозяйствах простых и недорогих технологий сезонного аккумулирования природного холода может существенно снизить их производственные издержки и, в конечном итоге, отпускные цены на продовольственную продукцию для населения.

В качестве примера рассмотрим альтернативные варианты (традиционный и предлагаемый нами) системы холодоснабжения картофелехранилища емкостью 300 т.

3.1 Оценка эффективности внедрения систем сезонного аккумулирования природного холода (САПХ) на примере создания системы холодоснабжения для картофелехранилища емкостью 300 т

Исходные данные для сравнительной оценки технико-экономических показателей традиционной и предлагаемой систем холодоснабжения приведены в таблице 3.1. Характеристики и показатели существующей системы холодоснабжения получены от компании, эксплуатирующей систему холодоснабжения картофелехранилища в Ростовской области.

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета системы холодоснабжения

| | |
|--|--|
| Город, регион | Ростов-на-Дону |
| Фирма | Альянс-ВИЭ |
| Сведения о хранилище | |
| Габаритные размеры камеры, мм | Длина/ширина/высота – 25000/10000/6000 |
| Материал стен | железобетон |
| Толщина стены, мм | 200 |
| Материал пола | железобетон |
| Толщина пола, мм | 150 |
| Материал потолка | цементные плиты |
| Толщина потолка, мм | 120 |
| Материал теплоизоляции | Mascout |
| Толщина теплоизоляции, мм | 0,5 мм |
| Размер двери, мм | Ширина/высота/толщина – 2000/2800/120 |
| Приток наружного воздуха в камеру хранилища, м ³ /сутки | 15000 |
| Вытяжка, м ³ /сутки | 15000 |
| Относительная влажность воздуха в холодильной камере, % | 70 % |
| Максимальная температура окружающей среды, °С | +40 |
| Месторасположение камеры | на улице |
| Число сотрудников, работающих в камере | 2 чел. |
| Количество подъёмно-транспортных средств в камере, шт. | 1 шт. |
| Мощность электроприводов подъёмно-транспортного средства, Вт | 1,2 кВт |
| Количество/мощность светильников камеры, шт./Вт | 12 / 10 Вт (светодиодные) |
| Количество/мощность прочих механизмов в камере, шт./Вт | Нет |
| Сведения о хранящемся продукте | |
| Поступающий продукт | Картофель |
| Максимальная загрузка камеры, кг | 300 000 |
| Суточный грузооборот продукта, кг | 10 000 |
| Упаковка продукта | в навал (без упаковки) |
| Температура поступающего продукта, °С | + 5...30 |
| Температура в камере, °С | + 4 |
| Точка замерзания продукта, °С | 0 |

Расчет традиционной системы холодоснабжения картофелехранилища по этим исходным данным, был выполнен специализированной фирмой ООО «Бюро проектирования холода «ПИФАГОР», Москва и дал следующие результаты.

В соответствии с действующими «Правилами устройства и безопасной эксплуатации фреоновых холодильных установок», требованиями действующих СНиП, СН, норм технологического проектирования, рекомендациями по проектированию холодильных установок и других нормативных документов, для холодоснабжения камеры было предложено использовать компрессорно-конденсаторный агрегат на базе полугерметичного компрессора FRASCOLD (Франция) и кубические воздухоохладители ECO (рисунок 3.1).

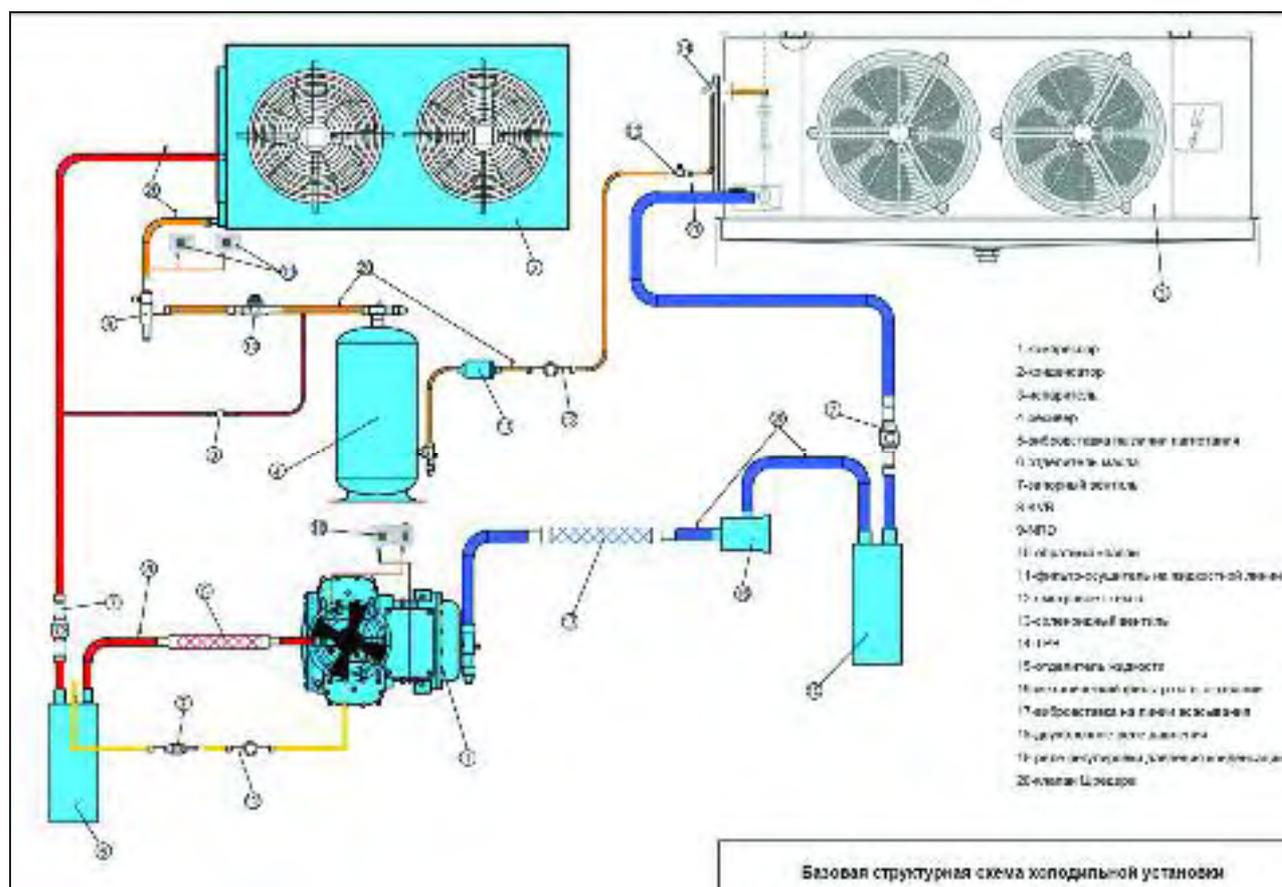


Рисунок 3.1 – Схема пароконпрессорной холодильной установки

Комплектация компрессорно-конденсаторного агрегата:

- компрессор, укомплектованный термисторным реле защиты INT69, запорными вентилями на всасывающей и нагнетательной магистрали, ТЭНом подогрева масла в картере компрессора, системой охлаждения компрессора путём впрыска жидкости в блок цилиндров;
- двухблочное реле давления;
- компрессорно-конденсаторный агрегат, укомплектованный системой отделения и возврата масла в компрессор, которая состоит из: маслоотделителя, линии возврата масла (смотровое стекло и сервисный запорный вентиль), системы подогрева маслоотделителя;

- воздушный конденсатор;
- ресивер с запорным клапаном типа Rotalock;
- несущая рама;
- резиновые виброгасители.

Номинальная холодильная мощность установки – $N_X = 58$ кВт.

Номинальная электрическая мощность компрессора – $N_{ЭЛ} = 32$ кВт.

Коэффициент преобразования холодильной машины: $k = 58/32 = 1,81$.

Среднесезонная холодильная мощность – $N_X^{CP} = 0,55 N_X = 0,55 \times 58 = 31,9$ кВт.

Среднесезонная потребляемая мощность – $N_{ЭЛ}^{CP} = N_{ЭЛ}/k = 32/1,81 = 17,7$ кВт.

Напряжение питания ~380/220 В / 3 фазы / 50 Гц.

В качестве хладагента используется фреон R22. Управление работой агрегата и воздухоохладителя осуществляется автоматически, с выводом контрольных параметров на центральный монитор. Контроль и регулирование температурных параметров камеры осуществляется по заданной программе.

Температура камеры задается электронным термостатом, установленным в шкафу управления установки. Дифференциал включения и отключения задается оператором, далее камера работает в полном автоматическом режиме.

Поставляемый шкаф управления представляет готовый к монтажу модуль со всеми силовыми, системными и пусковыми приборами необходимыми для работы системы.

Количество, продолжительность и интервалы времени дефростации задаются также оператором с панели управления агрегата. Применяемая оттайка – электрическая, ТЭНами, установленными в каждом воздухоохладителе.

Воздухоохладитель ЕСО (рисунок 3.2): кубический, потолочный, однопоточный, индустриальный с внутренним оребрением труб – cross grooved. Перекрёстное оребрение способствует лучшему использованию внутренней поверхности. Напряжение питания ~380/220 В / 3 фазы / 50 Гц, двигатели с тепловой защитой. Данные по дальнобойности соответствуют СЕСОМАF GT6 – 001 (0,25 м/сек.) Корпус воздухоохладителя выполнен из алюминиево-магниевого сплава. Магний играет роль легирующего элемента и придает высокую механическую прочность и коррозионную стойкость. Оттайка производится электрическими ТЭНами мощностью 6,3 кВт. Мощность вентиляторов – 0,74 кВт.

Расчетный приток наружного воздуха – 10-кратный (15 000 куб.м в сутки).

Комплектация щита управления:

- Металлический бокс;
- Монитор напряжения;
- Электронный терморегулятор;

– Пускатели, автоматы, комплектующая автоматика, необходимая для работы компрессорно-конденсаторного агрегата и воздухоохладителей.



Рисунок 3.2 – Общий вид воздухоохладителя ЕСО

Вариант комплектации запорной арматуры «Alco Controls» (Германия):

- Фильтр-осушитель жидкостной магистрали – 1 шт.;
- Фильтр-осушитель на линию всасывания – 1 шт.;
- Смотровое стекло жидкостной магистрали – 1 шт.;
- Соленоидный клапан на жидкостную линию – 4 шт.;
- ТРВ с внешним уравниванием – 4 шт.;
- РД высокого давления – 1 шт.;
- Анаконда на линию всасывания – 1 шт.

Стоимость комплекта поставляемого оборудования с двумя компрессорными агрегатами (рабочий и резервный) – 52 000 €, или 2 080 тыс. р. (на 20.08.2012).

Расчет полной стоимости сооружения рассматриваемой установки холодоснабжения с учетом указанной стоимости оборудования приведен в Приложении Б. Согласно этому расчету общая сумма инвестиций в такую установку составляет (без учета НДС и инфляции в период проектирования и строительства) $K = 11417,8$ тыс. р.

Выполним расчет отпускной цена холода, производимого на рассматриваемой традиционной установке с компрессорами. Общую сумму эксплуатационных затрат рассчитаем по формуле:

$$Z = Z_{ЭЛ} + Z_{В} + Z_{К} + Z_{ОТ} + Z_{СМ} + Z_{РЕМ} + A, \quad (3.1)$$

где $Z_{ЭЛ}$ – затраты на электроэнергию; $Z_{В}$ – затраты на водяное охлаждение; $Z_{К}$ – затраты на канализационные стоки; $Z_{ОТ}$ – затраты на оплату труда обслуживающего персонала; $Z_{СМ}$ – затраты на смазочное масло; $Z_{РЕМ}$ – затраты на ремонты и запасные части; A – амортизационные отчисления.

В качестве дополнительных исходных данных для расчета согласно паспортным данным оборудования, принято:

| | | |
|--|---|-------|
| – расход воды на охлаждение компрессора, м ³ /ч | – | 136,8 |
| – расход смазочного масла, кг/ч | – | 0,4 |
| – срок службы основного оборудования, лет | – | 10 |
| – количество обслуживающего персонала при непрерывной работе в три смены, чел | – | 8 |
| – средняя заработная плата персонала, тыс. руб./мес · чел) | – | 25,0 |
| – накладные расходы на оплату труда, % | – | 50,0 |
| – продолжительность работы в течение года (6 мес.), ч | – | 3000 |
| – коэффициент подпитки системы оборотного водяного охлаждения с применением градирен | – | 0,2 |
| – объем канализационных стоков с химводоочистки, % | – | 30,0 |
| – тариф на потребляемую электроэнергию, руб./кВтч | – | 4,60 |
| – стоимость воды после химводоочистки, р./м ³ | – | 140 |
| – размер платы за канализационные стоки, р./м ³ | – | 29,0 |
| – стоимость смазочного масла, р./кг | – | 60,0 |
| – норма амортизационных отчислений, % | – | 10,0 |
| – размер затрат на регламентные работы и запасные части, % | – | 5,0 |

Затраты на электроэнергию определим из расчета, что холодильные машины используются в весенне-летне-осенний сезон при температуре окружающего воздуха выше +8°С в течение $T \approx 3000$ ч/год (для южных районов России).

Годовое потребление электроэнергии на работу холодильных машин найдем согласно выражению:

$$W_{\text{эл}} = \beta N_{\text{эл}}^{\text{ср}} T, \quad (3.2)$$

где β – коэффициент, учитывающий дополнительный расход электроэнергии на работу насосов, вентиляторов, аппаратуры контроля и управления, устройств оттаивания, систем освещения и др.

Полагая $\beta = 1,3$; $N_{\text{эл}}^{\text{ср}} = 17,7$ кВт и $T = 3000$ ч/год, по формуле (3.2) находим:

$$W_{\text{эл}} = 1,3 \times 17,7 \times 3000 = 69030 \text{ кВтч/год.}$$

Затраты на электроэнергию при среднем тарифе по югу России (с учетом НДС) 4,60 р./кВтч составят:

$$Z_{\text{эл}} = 69030 \times 4,60 \times 10^{-3} = 317,5 \text{ тыс. р./год.}$$

Годовой объем потребляемой химочищенной воды на подпитку системы охлаждения компрессоров: $136,8 \text{ м}^3/\text{ч} \times 3000 \text{ ч/год} \times 0,2 = 82080 \text{ м}^3/\text{год}$, объем канализационных стоков – $82080 \times 30\% = 24624 \text{ м}^3/\text{год}$. В соответствии с этим находим затраты на воду $Z_{\text{в}}$ и канализационные стоки $Z_{\text{к}}$:

$$Z_{\text{в}} = 82080 \times 140 / 1000 = 11491,2 \text{ тыс. р./год.}$$

$$Z_{\text{к}} = 24624 \times 29 / 1000 = 714,1 \text{ тыс. р./год.}$$

Затраты на заработную плату составляют: $8 \times 25 \times 6 = 1200,0 \text{ тыс. р./год}$. Начисления на заработную плату – 30% – 360 тыс. р./год. Накладные расходы – 50,0% – 600,0 тыс. р./год. Общие годовые затраты на оплату труда составляют:

$$Z_{\text{от}} = 1200,0 + 360,0 + 600,0 = 2160,4 \text{ тыс. р./год.}$$

Годовой расход смазочного масла составляет: $0,4 \times 3100 = 1240 \text{ кг}$.

Затраты на смазочное масло:

$$Z_{\text{см}} = 1240 \times 60,0 / 1000 = 74,4 \text{ тыс. р./год.}$$

Стоимость основных фондов холодильной станции, согласно приведенным расчетам (см. Приложение Б), составляет $K = 11417,8 \text{ тыс. р}$. При этом сумма ежегодных амортизационных отчислений составляет:

$$A = 0,1 K = 0,1 \times 11417,8 = 1141,8 \text{ тыс. р./год,}$$

а стоимость затрат на проведение регламентных мероприятий по обслуживанию оборудования (ремонт и запчасти) составляет:

$$Z_{\text{рем}} = 0,05 K = 0,05 \times 11417,8 = 571,0 \text{ тыс. р./год.}$$

Подставляя полученные значения эксплуатационных издержек по статьям затрат в формулу (3.1), получаем:

$$Z = 317,5 + 11491,2 + 714,1 + 2160,4 + 74,4 + 1141,7 + 571,0 = 16470,3 \text{ тыс. р./год.}$$

Количество вырабатываемого холодильной станцией холода составляет:

$$W_{\text{хол}} = N_{\text{х}}^{\text{ср}} T = 31,9 \times 3000 = 95700 \text{ кВтч/год (95,7 МВтч/год).} \quad (3.3)$$

Себестоимость производства одного киловатт-часа энергии холода:

$$C_{\text{ХОЛ}} = 3 / W_{\text{ХОЛ}} = 16470,3 / 95,7 = 172,1 \text{ тыс. р./МВтч} = 172,1 \text{ р./кВтч (хол)}.$$

Примем, что на холодильной станции расчетная прибыль для покрытия ежегодного инфляционного роста цен на электроэнергию, воду и другие товары и услуги, а также для создания некоторой прибавочной стоимости составляет 14%. Тогда отпускную цену на энергию холода можно принять равной (без учета НДС):

$$Ц_{\text{ХОЛ}} = 1,14 \times 172,1 = 196,2 \text{ р./кВтч (хол)}.$$

С учетом НДС (18%) отпускная цена на энергию холода составит:

$$Ц_{\text{ХОЛ}}' = 196,2 \times 1,18 = 231,5 \text{ р./кВтч (хол)}. \quad (3.4)$$

Для расчета эффективности систем сезонного аккумулирования природного холода в сравнении с традиционными холодильными установками примем отпускную цену холода от САПХ вдвое ниже отпускной цены (с учетом НДС) холодильной станции:

$$Ц_{\text{АХ}} = 231,5 / 2 = 115,8 \text{ руб./кВтч (хол)}. \quad (3.5)$$

Емкость аккумулятора природного холода примем равной годовой выработке рассмотренной традиционной установки с компрессионными холодильными машинами, которая согласно выражению (3.3) равна $W_{\text{ХОЛ}} = 95,7$ МВтч/год. Для дальнейших расчетов примем, округленно: $W_{\text{ХОЛ}} = 100$ МВтч/год.

Система САПХ такой мощности с использованием вертикального цилиндрического стального резервуара в качестве аккумулятора холода рассмотрена в отчете по 3-ему этапу контракта. Уточненный расчет затрат на сооружение такой системы САПХ с корректировкой на экономическое окружение на III кв. 2012 года приведен в Приложении В. Общая сметная стоимость строительства САПХ емкостью 100 МВтч согласно расчету без НДС составляет $K = 10652,9$ тыс. р., с учетом НДС – 12570,4 тыс. р. Распределение этих затрат по статьям расходов следующее (без НДС):

| | | |
|---------------------------|---|--------------|
| • оборудование с монтажом | – | 5,82 млн р. |
| • строительные работы | – | 2,99 млн р. |
| • прочие работы и затраты | – | 1,84 млн р. |
| Всего: | – | 10,65 млн р. |

Более половины стоимости системы САПХ составляет оборудование.

В период строительства инфляционные процессы приводят к увеличению стоимости требуемых инвестиций. Всего – с учетом НДС, инфляции и резерва на оборотный капитал для сооружения САПХ потребуется 16,48 млн р.

С учетом этого значения инвестиций были произведены расчеты основных показателей финансово-коммерческой эффективности системы САПХ. Расчеты выполнены в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов», утвержденными Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 № ВК 477 и разработанными на базе широко применяемой в современной международной практике методологии Комитета ООН по промышленному развитию (UNIDO). При расчетах также использованы «Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике», утвержденные Главэкспертизой России 26.05.1999 № 24-16-1/20-113 и приказом ОАО РАО «ЕЭС России» от 26.05.2008 № 155 (М., ОАО «Научный центр прединвестиционных исследований», 2008). В качестве основного инструмента исследований использована сертифицированная компьютерная программа «АЛЬТ-ИнвестTMСумм 5.12 Строительство», разработанная ООО «ALT-Invest», Москва (<http://www.alt-invest.ru>) на основе упомянутых «Методических рекомендаций» Госстроя РФ.

Для расчетов были приняты следующие основные условия.

1 Начало инвестирования средств в строительство – 2012 год. Ввод условно планируется в I кв. 2013 г.

2 Горизонт расчета принят равным сумме периода строительства – 1 год и планируемого минимального срока эксплуатации основного технологического оборудования – 20 лет, т.е. составляет 21 год.

3 Финансирование проекта принято полностью с использованием собственного капитала инвестора (без применения кредитования).

4 Расчеты выполнены в прогнозных (текущих) ценах. Прогнозные цены, соответствующие периодам строительства и эксплуатации, рассчитаны с учетом инфляции и эскалации на базе исходных цен, сложившихся на I кв. 2012 г. и принятых за основу в сметных расчетах.

5 Темпы инфляции и эскалации учтены путем введения индексов цен.

6 Прогнозные индексы цен по отраслям экономики, использованные в расчетах, приняты по средним значениям между оптимистическим и пессимистическим прогнозами развития экономики в РФ и соответствуют уточненному прогнозу, выполненному Министерством энергетики Российской Федерации, Агентством по прогнозированию балансов в электроэнергетике и опубликованному в «Сценарных условиях развития электроэнергетики РФ на период до 2030г.», Москва 2010 г.

7 Соизмерение разновременных показателей выполнено путем их приведения (дисконтирования) к ценности в начальном периоде расчета.

Для расчета безрисковой ставки дисконтирования использована следующая формула из упомянутых «Рекомендаций» Госстроя РФ:

$$E = r / (1 + i/100), \quad (3.6)$$

где: r – ставка рефинансирования Центробанка РФ, %, i – темп (коэффициент) инфляции, %.

Для условий III квартала 2012 года при $r = 8,0\%$ и $i = 7,9\%$ в соответствии с формулой (3.6) получаем:

$$E = 8,0 / (1,0 + 7,9) = 7,4\%$$

Для учета риска инвестиций согласно Постановлению Правительства РФ №1470 от 22.11.1997 г поправку на риск принимаем равной 2,6%. Таким образом, коэффициент дисконтирования принимаем равным $E = 10,0\%$.

8 *Сроки окупаемости* определяются по соответствующим финансовым профилям инвестиционных затрат, как периоды времени от выбранной начальной точки отсчета до момента пересечения кривых с осью абсцисс. За начальную точку принят расчетный условный момент начала инвестирования строительства – 01.01.2012. Дискретные сроки окупаемости, отсчитываемые от момента ввода комплекса в эксплуатацию на полную проектную мощность, уменьшены на период строительства станции – на 1 год.

9 В расчетах использованы существующие на момент выпуска работы ставки налогов и действующая в России система налогообложения – в соответствии с «Налоговым кодексом Российской Федерации». В связи с невозможностью представительного прогноза динамики изменения ставок налогов в пределах расчетного периода, они приняты неизменными на весь период расчета.

Платежи и страховые взносы во внебюджетные фонды с заработной платы приняты согласно Федеральному Закону от 24 июля 2009 г. № 212-ФЗ «О страховых взносах в ПФ РФ, фонд социального страхования РФ, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования и территориальные фонды обязательного медицинского страхования».

10 *Значения норм амортизационных отчислений* приняты согласно действующей «Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы», утвержденной постановлением Правительства РФ от 01.01.2002 № 1. При этом нормы амортизационных отчислений a_{AM} для каждого из видов оборудования, зданий и сооружений определялись по формуле:

$$a_{AM}=100/C_{ПИ}, \quad (3.7)$$

где $C_{ПИ}$ – срок полезного использования имущества, отнесенного к соответствующей группе по «Классификации основных средств»; для расчетов использованы средние значения сроков полезного использования по каждой из групп имущества.

11 В качестве критериев абсолютной экономической эффективности инвестиций рассматриваются следующие показатели:

- чистый дисконтированный доход за расчетный период (чистая приведенная стоимость) – NPV;
- внутренняя норма доходности (рентабельности) – IRR;
- простой срок окупаемости капитальных вложений – PP;
- дисконтированный срок окупаемости – PBP;
- индекс доходности капитальных вложений – PI.

12 Поскольку сроки службы вспомогательного оборудования, как правило, меньше планируемой продолжительности эксплуатации основного, при выполнении расчетов предусмотрены на определенных этапах эксплуатации затраты необходимых средств на замену отслужившего свои сроки оборудования.

13 В расчетах учтены затраты на обслуживание и ремонты оборудования, зданий и сооружений, на запчасти. Предусмотрено проведение капитальных ремонтов каждые 5 лет.

14 Для условий юга России в расчетах приняты следующие средневзвешенные значения тарифов для условий III кв. 2012 г.:

- тариф на покупаемую электрическую энергию принят в размере 4,60 р./кВтч – с учетом НДС (без НДС – 3,90 р./кВтч);
- тариф за использование водопроводной воды составляет 36,0 р./м³ с НДС (без НДС – 30,51 р./м³);
- плата за канализационные стоки – 29,0 р./м³ с НДС (без НДС – 24,58 р./м³).

Тариф на отпуск энергии холода от установки аккумулирования принят, как показано выше, в два раза ниже отпускной цены холода традиционных холодильных установок и составляет с учетом НДС $T_{хол} = 115,8$ р./кВтч (хол.).

На последующие годы расчетного периода предусмотрена индексация всех тарифов в соответствии с планируемым ростом цен на товары и услуги для потребителей юга Российской Федерации.

В соответствии с перечисленными условиями были выполнены расчеты эффективности инвестиций, которые представлены в Приложении В следующими основными фрагментами:

- макроэкономическое окружение;

- объем реализации;
- доходы от продаж;
- персонал и заработная плата;
- текущие затраты;
- постоянные активы;
- оборотный капитал;
- сводный отчет об инвестициях в проект;
- налоги и платежи в фонды;
- отчет о прибылях и убытках;
- отчет о движениях денежных средств;
- проект баланса;
- показатели финансовой состоятельности (рентабельность активов, рентабельность капитала, рентабельность продаж и др.);
- эффективность полных инвестиционных затрат;
- оценка бизнеса (NOPLAT, дисконтированные дивиденды, NPV);
- бюджетная эффективность (БИНТ для федерального, территориального и местного бюджетов);
- основные показатели проекта.

Результаты расчетов основных показателей финансово-коммерческой эффективности создания системы САПХ емкостью 100 МВтч представлены в таблице 3.2. Наглядное представление об основных финансово-коммерческих показателях дают графические зависимости и диаграммы, показанные на рисунках 3.3...3.10: рисунок 3.3 – финансовый профиль проекта для инвестиционных затрат; рисунок 3.4 – финансовый профиль проекта для инвестиционных затрат (увеличенный масштаб); рисунок 3.5 – издержки производства; рисунок 3.6 – кумулятивный денежный поток; рисунок 3.7 – параметры прибыли; рисунок 3.8 – структура актива баланса; рисунок 3.9 – структура пассива баланса; рисунок 3.10 – бюджетная эффективность.

В результате расчетов получены следующие значения основных критериев эффективности инвестиций.

Дисконтированный срок окупаемости инвестиций (PBP), определяющий период полного возврата всех затрат, составляет 3,3 года. *Дискретный дисконтированный срок окупаемости* составляет 2,3 года.

Чистый дисконтированный доход на инвестиции (NPV– сверхприбыль) составляет 79,1 млн р., является положительной величиной и превышает сметную стоимость Проекта более чем в 7 раз.

Таблица 3.2 – Результат исследования финансово-коммерческой эффективности проекта «Установка аккумулирования холода емкостью 100 МВтч»

| НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ | ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ | ЗНАЧЕНИЕ | ПРИМЕЧАНИЕ |
|--|-------------------|------------|------------------|
| ОБЩИЕ ДАННЫЕ | | | |
| Дата начала инвестирования проекта | год | 01.01.2012 | |
| Срок жизни проекта | лет | 21 | |
| Шаг планирования | - | год | |
| Дата ввода в эксплуатацию объектов строительства | | 01.01.2012 | |
| Выход объекта на полную проектную мощность | | 01.01.2013 | |
| Период нормальной эксплуатации | лет | 20 | |
| Период строительства | лет | 1 | |
| ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОКРУЖЕНИЯ ПРОЕКТА | | | |
| Основная валюта расчетов | тыс. руб. | | |
| Используемая в расчетах иностранная валюта | \$ | | доллар США |
| Курс доллара США | руб. / \$ | 30,0 | на I кв. 2012 г. |
| <i>Ставки налогов:</i> | | | |
| - налог на добавленную стоимость | % | 18,0 | |
| - налог на прибыль | % | 20,0 | |
| - налог на имущество | % | 2,2 | |
| - взносы на обязательное страхование от несчастных случаев | % | 0,2 | |
| - единый социальный налог, всего | % | 30,0 | |
| <i>в том числе:</i> | | | |
| - пенсионный фонд | % | 22,0 | |
| - фонд социального страхования | % | 2,9 | |
| - фонд обязательного медицинского страхования | % | 5,1 | |
| СТРУКТУРА ИНВЕСТИЦИЙ | | | |
| Требуемый объем капитальных вложений с НДС (в ценах на I кв. 2012 г.), всего | млн.руб. | 12,57 | без НДС 10,65 |
| <i>в том числе:</i> | | | |
| оборудование с монтажом | млн.руб. | 6,87 | 5,82 |
| строительные работы | млн.руб. | 3,52 | 2,99 |
| прочие затраты | млн.руб. | 2,18 | 1,84 |
| Требуемый объем инвестиций с учетом инфляции | млн.руб. | 16,48 | Доля в % |
| Объем используемого собственного капитала | млн.руб. | 16,48 | 100,0 |
| Объем используемого бюджетного финансирования | млн.руб. | 0,00 | 0,0 |
| Объем используемых кредитных средств | млн.руб. | 0,00 | 0,0 |

| ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФИНАНСОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ | | | |
|--|----------|------------|--|
| ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ЗАТРАТ | | | |
| Чистая приведенная стоимость (NPV) | млн.руб. | 79,11 | |
| Внутренняя норма рентабельности (IRR) | % | 55,82 | |
| Модифицированная IRR (MIRR) | % | 20,59 | |
| Простой срок окупаемости | лет | 3,0 | |
| Дисконтированный срок окупаемости (PBP) | лет | 3,3 | |
| Дискретный дисконтированный срок окупаемости | лет | 2,3 | |
| Норма доходности полных инвестиционных затрат | % | 476,10 | |
| Индекс доходности капитальных вложений | - | 7,29 | |
| Ставка сравнения (дисконтирования) | % | 10,00 | |
| БЮДЖЕТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА | | | |
| Чистый доход бюджетов всех рангов за расчетный период <i>в том числе:</i> | млн.руб. | 151,07 | |
| чистый доход Федерального бюджета | млн.руб. | 140,03 | |
| чистый доход территориального бюджета | млн.руб. | 11,05 | |
| чистый доход местного бюджета | млн.руб. | 0,00 | |
| Чистый дисконтированный доход бюджетов всех рангов <i>в том числе:</i> | млн.руб. | 43,37 | |
| чистый дисконтированный доход Федерального бюджета | млн.руб. | 39,77 | |
| чистый дисконтированный доход территориального бюджета | млн.руб. | 3,60 | |
| чистый дисконтированный доход местного бюджета | млн.руб. | 0,00 | |
| СЕБЕСТОИМОСТЬ ПРИВЕДЕННАЯ К ЦЕНАМ I кв. 2012 г. ПОСЛЕ ВЫХОДА НА ПОЛНУЮ ПРОЕКТНУЮ МОЩНОСТЬ | | | |
| Энергия холода | руб/кВтч | 43,19 | |

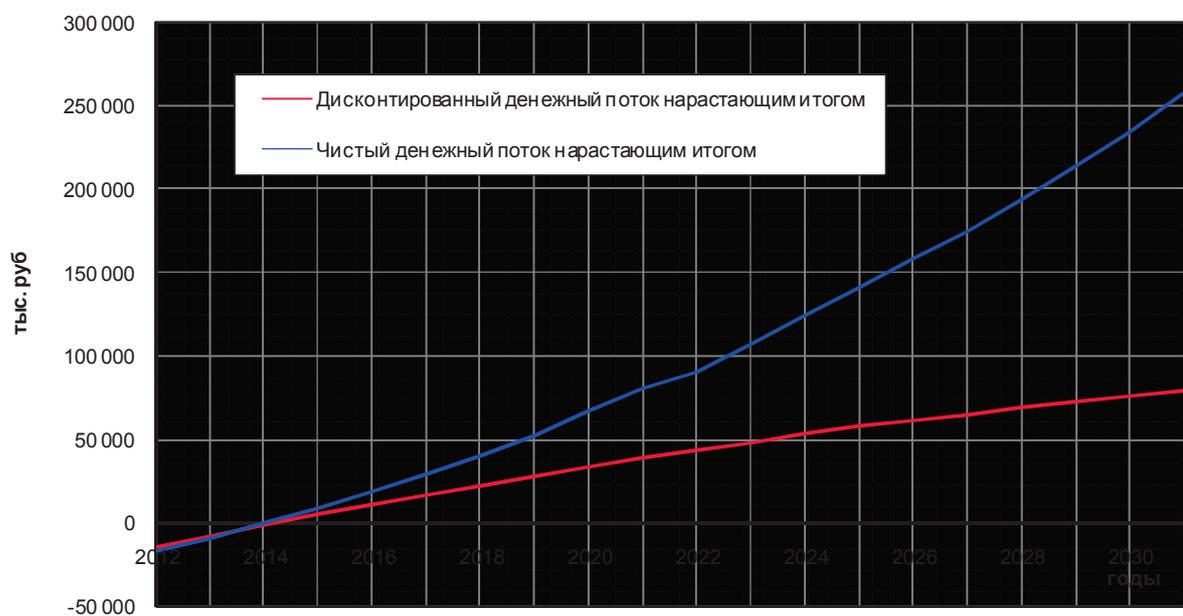


Рисунок 3.3 – Финансовый профиль проекта для инвестиций

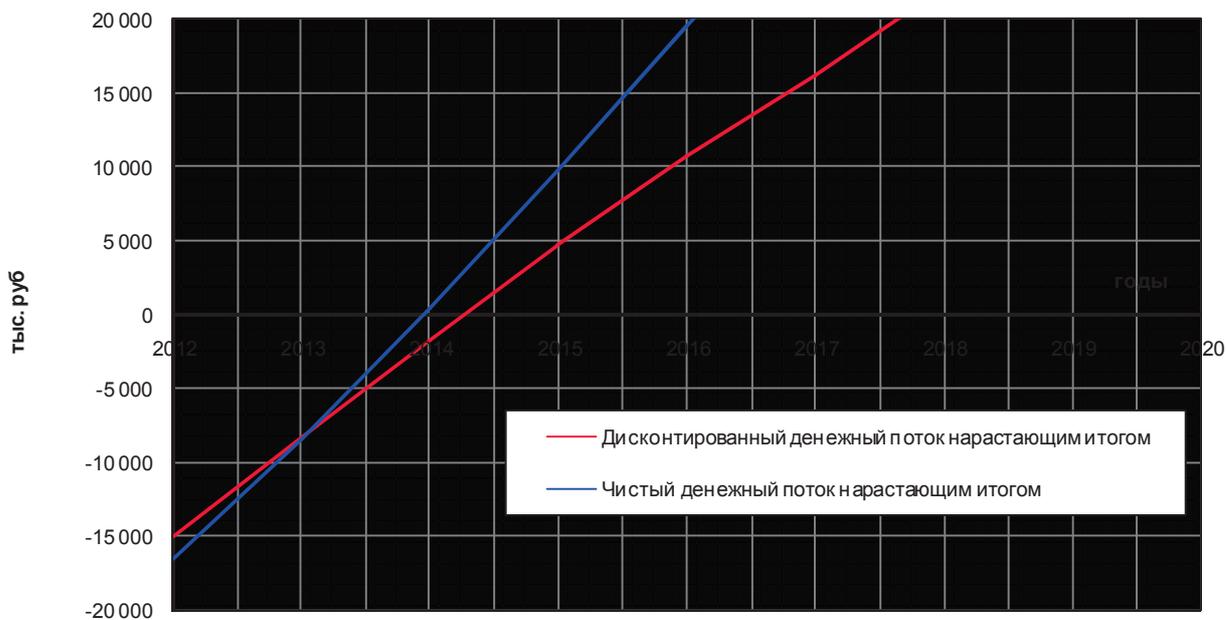


Рисунок 3.4 – Финансовый профиль проекта для инвестиций (увеличенный масштаб)

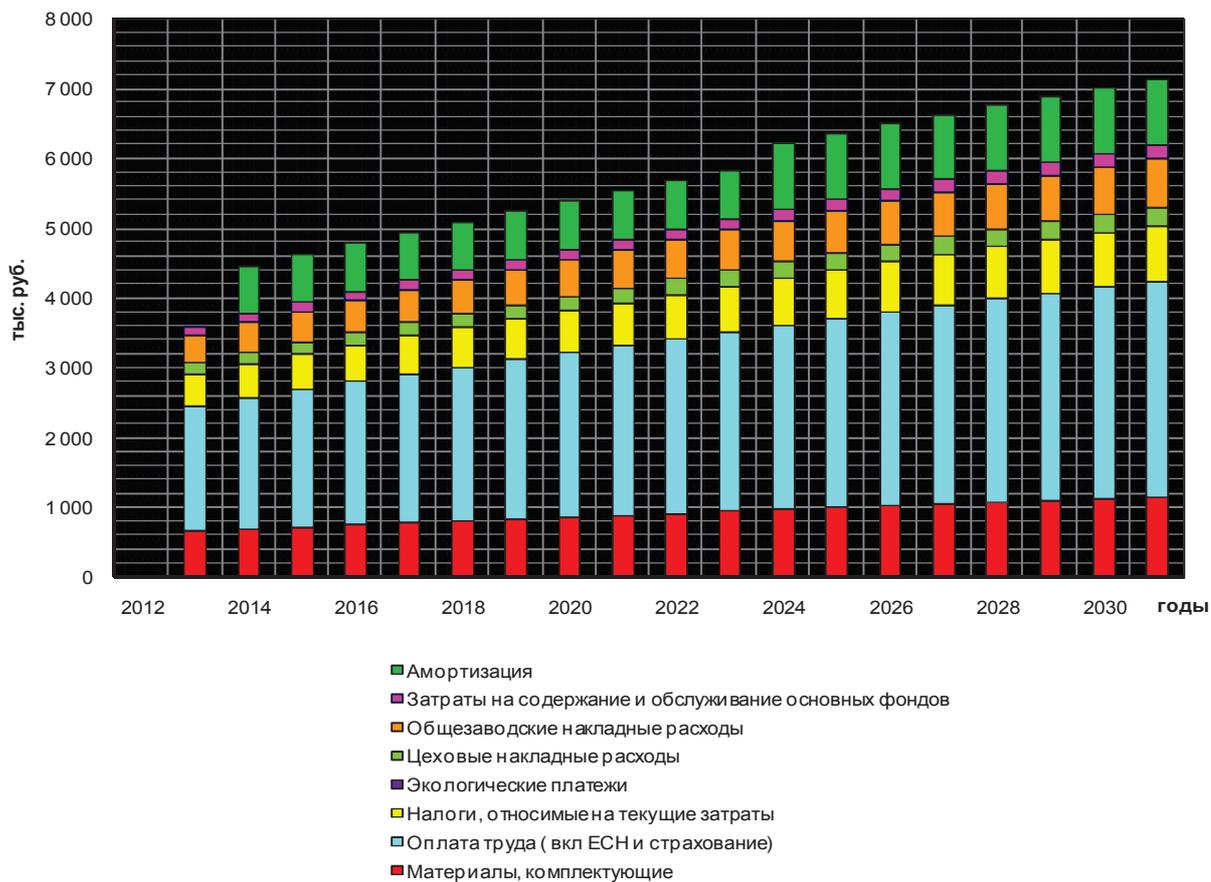


Рисунок 3.5 – Издержки производства

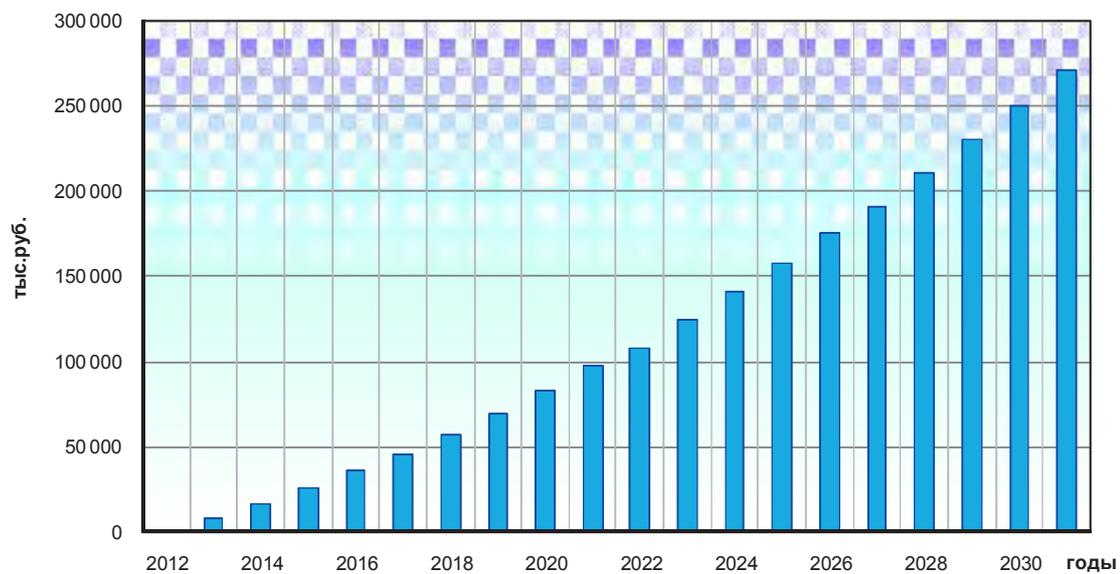


Рисунок 3.6 –Кумулятивный денежный поток

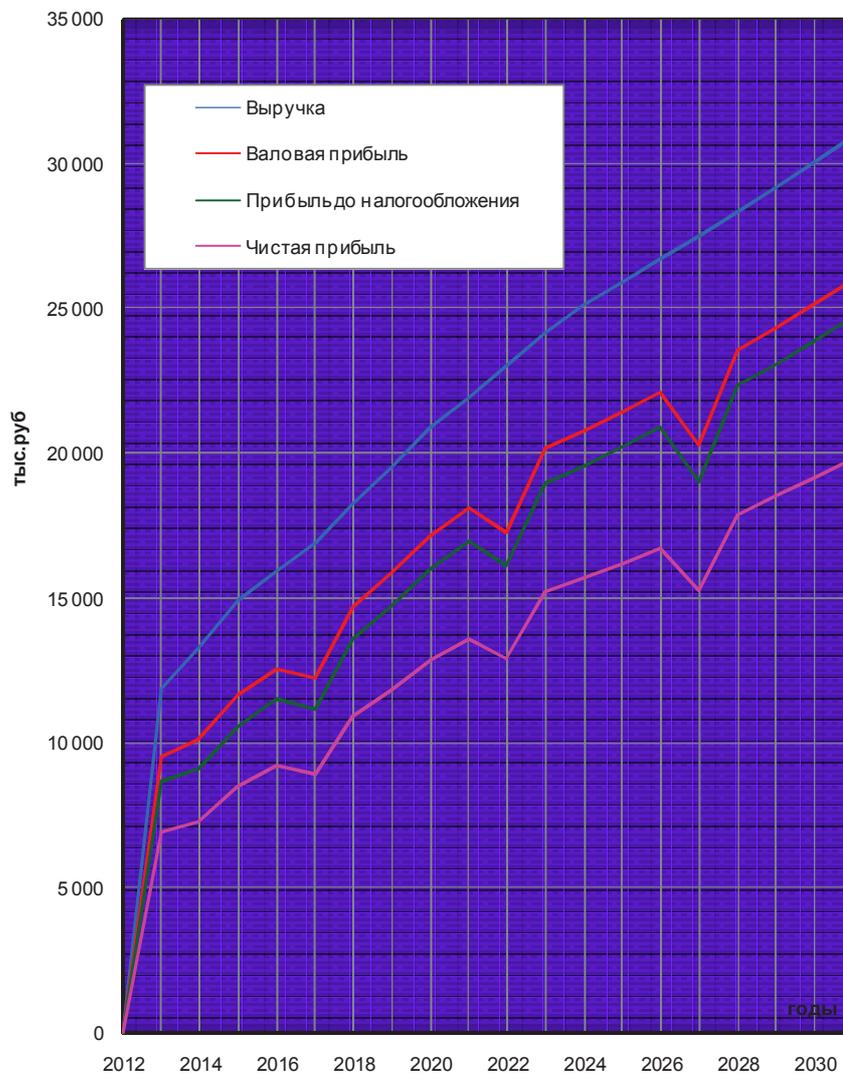


Рисунок 3.7 – Параметры прибыли

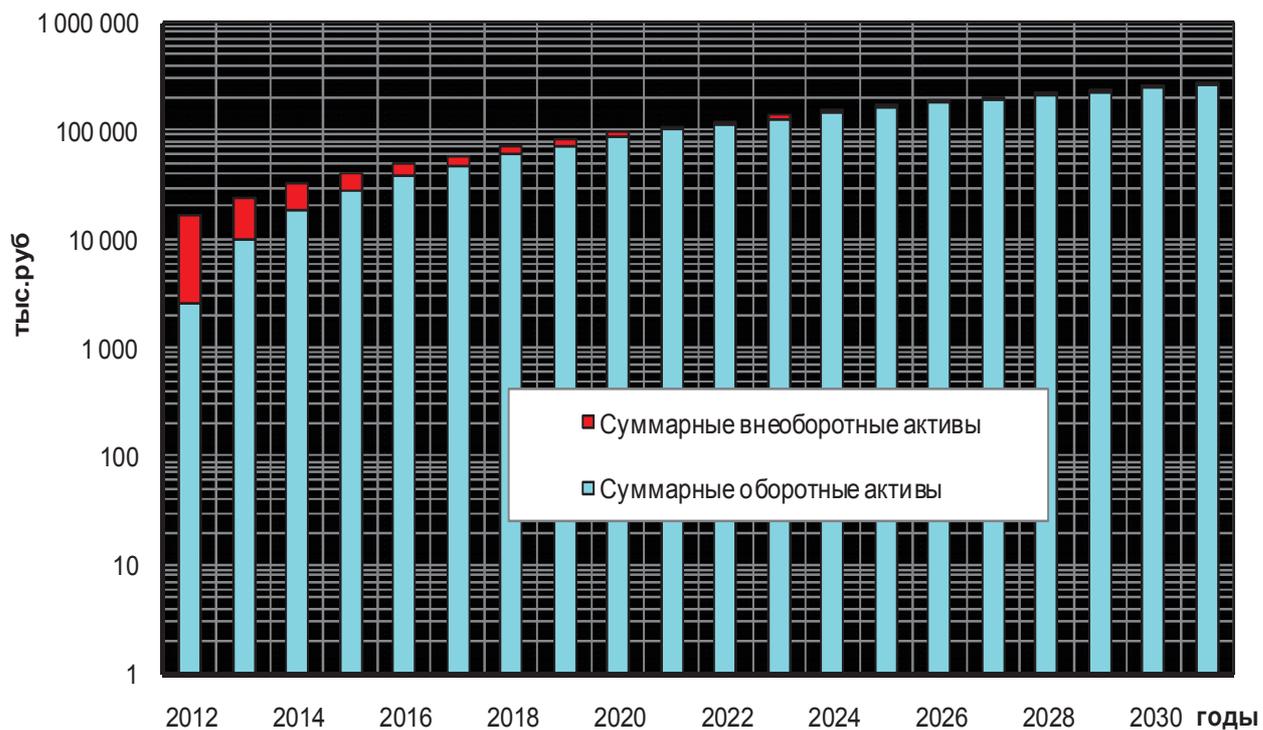


Рисунок 3.8 – Структура актива баланса

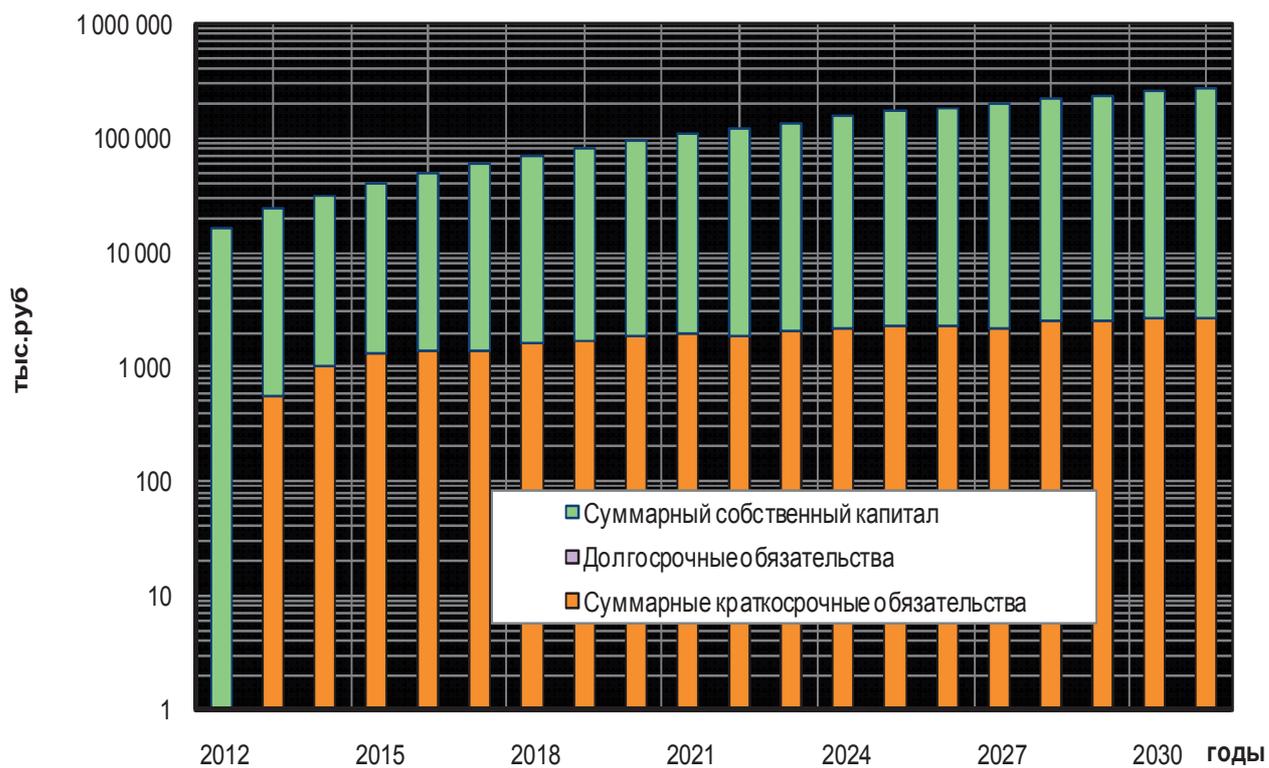


Рисунок 3.9 – Структура пассива баланса

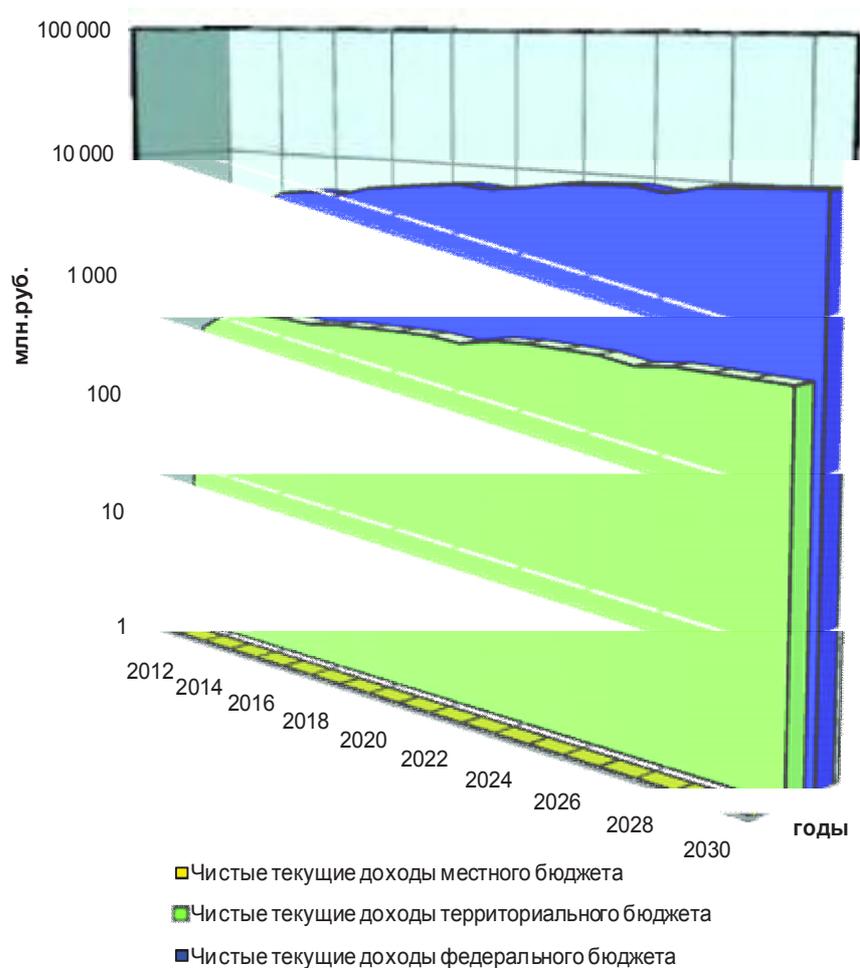


Рисунок 3.10 – Бюджетная эффективность проекта

Внутренняя норма доходности (IRR) составляет 55,8%, что существенно превышает расчетную ставку дисконтирования, составляющую 10,0%.

Индекс доходности составляет (PI) 7,29 – значительно больше единицы, что удовлетворяет условиям высокой рентабельности инвестиций.

Значения *сальдо суммарных аккумулированных денежных потоков* на всех шагах расчета являются положительными величинами (см. рисунок 3.6). Это подтверждает возможность финансовой реализации инвестиционного проекта.

Реализация проекта дает и значительную *бюджетную эффективность* (см. рис. 3.10). Чистый дисконтированный доход Федерального бюджета составляет 39,8 млн р., регионального бюджета – 3,6 млн р.

Таким образом, использование систем САПХ является высокорентабельным.

Интересно отметить, что для рассмотренного овощехранилища, ежедневно поставляющего в торговую сеть 10 т картофеля или около 3 млн кг в год, ежегодные издержки на хранение с учетом амортизационных затрат составляют около 5 млн р./год (см. рисунок 3.5). Отсюда следует, что в стоимость 1 кг картофеля его хранение дает вклад на уровне 1,5...2 руб/кг.

3.2 Физические основы достижения высокого коэффициента преобразования энергии при использовании аккумуляторов природного холода, основанных на мелкодисперсном распылении воды в воздух при отрицательных температурах

Одним из важнейших показателей энергоэффективности разрабатываемой системы холодоснабжения на основе сезонного аккумулятора природного холода является коэффициент преобразования электрической энергии в полезную энергию, направляемую на холодоснабжение потребителя, который, как отмечалось ранее, может на порядок превышать аналогичный холодильный коэффициент традиционных парокомпрессионных холодильных машин. Данное утверждение требует обоснования, которое приведено ниже.

Коэффициент преобразования энергии холодильной машины (холодильный коэффициент) по определению равен отношению ее холодопроизводительности к затраченной на производство холода энергии.

Теоретический холодильный коэффициент идеальной парокомпрессионной машины, работающей по обратному циклу Карно не зависит от вида холодильного агента и определяется выражением $COP_x = T_0/(T - T_0)$, где T_0 и T – абсолютные температуры охлаждаемого объекта и окружающей среды (кипения и конденсации хладагента). При заданной температуре окружающей среды T на единицу полученного искусственного холода затрачивается тем большая энергия, чем ниже температура охлаждаемого объекта. Последняя характеризует термодинамическую ценность холода. Теоретический холодильный коэффициент реальных холодильных циклов всегда меньше COP_x (при одинаковых температурных условиях работы холодильной машины). При получении холода для кондиционирования помещений, в том числе хранилищ сельскохозяйственной продукции, в которых требуется поддержание температуры при положительных температурах вблизи 0°C ($T_0 \approx 273\text{ K}$) и характерных $\Delta T = (T - T_0) \approx 30\text{ K}$ теоретический холодильный коэффициент идеальной парокомпрессионной машины, работающей по обратному циклу Карно составляет около 9. В реальных холодильных парокомпрессионных машинах с учетом имеющихся термодинамических потерь COP_x не превышает 3...3,5, а с учетом затрат на прокачку холодоносителя и других системный COP_x обычно составляет 2...2,5. Таким образом, на 1 кВт затраченной электрической энергии в современных системах холодоснабжения на основе парокомпрессионных холодильных машин потребителю поставляется 2...2,5 кВт холода.

Как отмечалось в предыдущих отчетах, важнейшим энергетическим преимуществом использования систем холодоснабжения на основе сезонного аккумулялирования природного холода является возможность холодоснабжения потребителя с существенно меньшими затратами электрической энергии, чем это приходится делать при использовании традиционных холодильных машин. В зарубежной литературе на основе реальных экспериментальных дан-

ных по эксплуатации «снежных» или «ледяных» аккумуляторов холода приводятся значения COP_x на уровне нескольких десятков, то есть холодоснабжение с использованием природных аккумуляторов холода является в разы более энергоэффективным, чем с помощью традиционных холодильных машин.

Следует отметить, что в случае использования природного холода холодильный коэффициент определяется как отношение направленного потребителю за год холода к суммарным энергозатратам, связанным с наполнением холодохранилища льдом или снегом и с поставкой холода потребителю (затраты на прокачку холодоносителя и др.).

Разработанный в рамках настоящего проекта способ сезонного аккумуляирования холода, основанный на замораживании в зимнее время мелкодисперсно распыленной воды при теплообмене с атмосферным воздухом, находящемся при отрицательных температурах, в первую очередь, связан с энергозатратами на распыление воды.

Получение капель воды малого размера требует определенных энергетических затрат, которые можно оценить по энергии поверхностного натяжения. При этом чем более мелкодисперсный требуется распыл, тем больше энергии необходимо затратить на разрыв струи на капли, преодолевая силы поверхностного натяжения. Затраты энергии на разрыв струи можно считать пропорциональными потенциальной энергии поверхности капли, обусловленной действием сил поверхностного натяжения.

$$E_k = \sigma_b S_k, \quad (4.1)$$

где $\sigma_b = 75 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$ – коэффициент поверхностного натяжения воды при температуре, близкой к 0°C .

«Энергия холода» запасенная в этой капле при ее замерзании равна

$$Q_x \approx \lambda_b \rho_b V_k, \quad (4.2)$$

где V_k – объем капли, $\lambda_b = 33,3 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$ – удельная теплота кристаллизации воды, $\rho_b = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды.

Тогда холодильный коэффициент можно представить в виде:

$$COP_x = \eta_p Q_x / E_k, \quad (4.3)$$

где η_p – КПД распылителя воды, учитывающий тот факт, что при распыле воды с помощью форсунок энергия затрачивается не только на разрыв струи на мелкие капли, но и на преодоление гидравлического сопротивления распылительного устройства, разгон капель в воздухе и на другие процессы.

Площадь поверхности капли $S_k = 4\pi R^2$, а ее объем $V_k = (4\pi R^3)/3$.

Подставляя приведенные соотношения в соотношение для COP_x , получим

$$COP_x = \eta_p \lambda_v \rho_v V_k / (\sigma_v S_k) = 1/3 \eta_p \lambda_v \rho_v R / \sigma_v. \quad (4.4)$$

Видно, что холодильный коэффициент растет с ростом размера капель. Однако, как было показано в предыдущем отчете, требуемая дисперсность распыла воды определяется уровнем температуры воздуха, при которой обеспечивается «замораживание» капель.

В результате расчетно-теоретических и экспериментальных исследований, выполненных на предыдущих этапах работы, было показано, что требуемый для замораживания в воздухе с температурой $-5 \dots -7^\circ\text{C}$ характерный размер водяных капель должен составлять $20 \dots 50$ мкм ($2 \dots 5 \cdot 10^{-5}$ м).

Тогда нетрудно подсчитать, что при радиусе капли воды $R = 25$ мкм ($2,5 \cdot 10^{-5}$ м) теоретический «холодильный коэффициент» равен

$$COP_x = 1/3 \eta_p 33,3 \cdot 10^4 1000 2,5 \cdot 10^{-5} / 75 \cdot 10^{-3} \approx 40000 \eta_p. \quad (4.5)$$

Из последнего соотношения следует, что для получения $COP_x = 50$ кпд распылителя воды η_p должен быть равен 0,00125, или 0,125%. Реально используемые на практике распылители воды для пожаротушения, генерации снега и для других приложений по имеющейся в литературе информации имеют кпд на уровне десятых долей процента [1].

Таким образом, выполненные оценки показывают, что заявленная в проекте величина коэффициента преобразования энергии (не менее 50) является реально достижимой. Тем не менее требуется проведение дополнительных исследований, направленных на более детальное исследование эффективности распылителей воды и путей ее повышения.

4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННОЙ НИР В РЕАЛЬНОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ

Выполненные в рамках настоящего проекта исследования и разработки направлены на создание эффективных систем холодоснабжения различных потребителей с использованием сезонных аккумуляторов природного холода.

На основании выполненной НИР могут быть сформулированы следующие рекомендации, которые могут быть разбиты на три группы:

- рекомендации по определению эффективных ниш и географических районов для эффективного практического использования таких аккумуляторов в реальном секторе экономики;
- рекомендации по отбору секторов экономики и конкретных потребителей;
- рекомендации по отбору эффективных технических решений при создании сезонных аккумуляторов природного холода.

4.1 Рекомендации по определению эффективных ниш и географических районов для эффективного практического использования таких аккумуляторов в реальном секторе экономики

1 Эффективные ниши должны определяться исходя из того, что потенциальный потребитель должен нуждаться в холодоносителе с температурой в диапазоне от +4 до +15°C. Данный диапазон температур обусловлен особенностью предлагаемой технологии аккумулирования холода с использованием, прежде всего, теплоты фазового перехода вода-лед, происходящего при атмосферном давлении при 0°C, а также теплоемкости талой воды.

2 Годовая потребность потребителя в «холоде» должна составлять не менее 30...50 МВтч/год, что соответствует объему льдо/снегохранилища более 1000 м³. Ограничение минимальной холодоемкости связано с тем, что с уменьшением объема аккумулятора, что эквивалентно относительному росту площади поверхностей теплообмена с окружающей средой, возрастает теплоприток к аккумулятору из окружающей среды, что приводит к снижению эффективной холодоемкости аккумулятора или требует существенного увеличения затрат на его теплоизоляцию.

3 Географически потребитель должен быть расположен в районе с продолжительностью отрицательных температур воздуха ниже –10°C не менее нескольких сотен часов в год. При этом географический район должен быть относительно малоснежным в зимнее время или характеризоваться неустойчивым снежным покровом (частая смена отрицательных и положительных температур воздуха). В районах с морозными и снежными зимами в качестве

альтернативы предлагаемому сезонному аккумулятору природного холода может быть рассмотрена возможность создания аккумулятора путем намораживания льда или, как это практикуется в некоторых северных странах (Швеция и др.), сбора снега в окрестности расположения потребителя. Заметим, что естественный снежный покров, как правило, имеет плотность 200...300 кг/м³. Таким образом для создания аккумулятора с массой льда/снега на уровне 500...1000 т территория для сбора снега даже при высоком снежном покрове (≈ 100 см) должна составлять порядка 100 га. Технически осуществить такой сбор представляется достаточно сложно. На рисунке 4.1 представлена карта распределения максимального снежного покрова на территории России. Анализ этой карты в сочетании с картой на рисунке 2.1, характеризующей продолжительность периодов с температурой воздуха ниже -10°C и картой на рисунке 2.2, показывающей районы с относительно высокими температурами воздуха в летнее время ($> 25^{\circ}\text{C}$) и, следовательно, имеющих потребителей, нуждающихся в охлаждении, позволяет сделать вывод о том, что перспективными для практического использования разрабатываемой технологии являются многие районы России, включая как юг Европейской части страны, так и юг Сибири и даже значительную территорию Якутии.

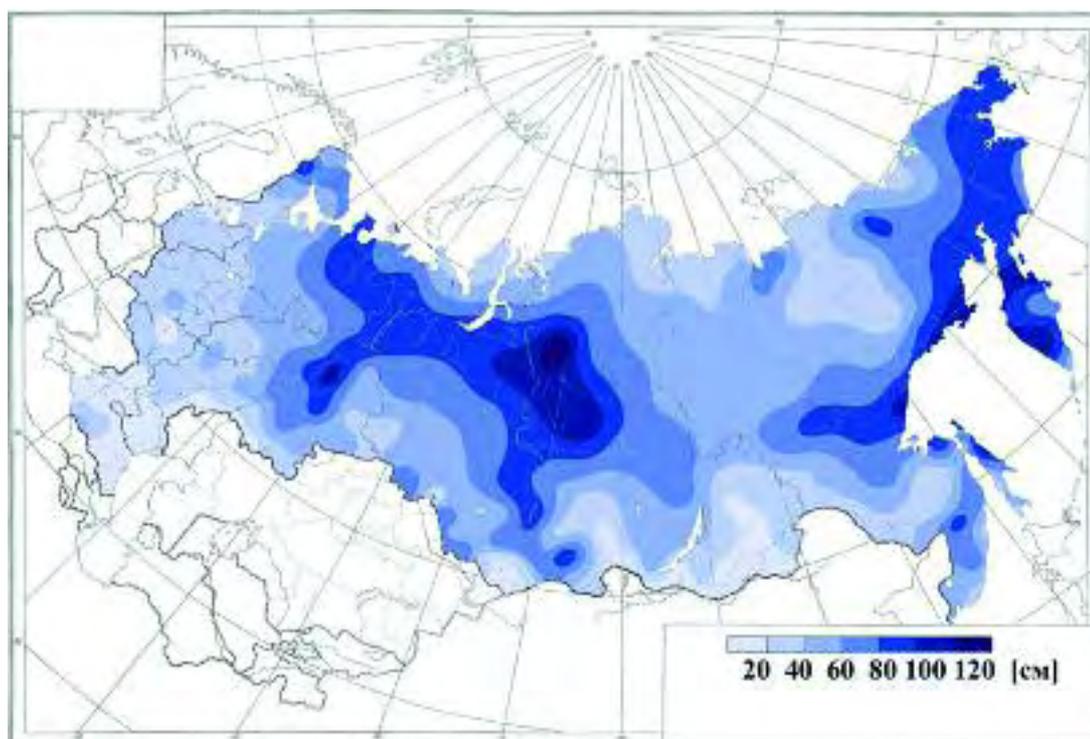


Рисунок 4.1 – Характерная максимальная высота снежного покрова на территории России

4.2 Рекомендации по отбору секторов экономики и конкретных потребителей

Основные потенциальные потребителя разрабатываемых систем холодоснабжения уже неоднократно перечислялись в предыдущих разделах. По нашему мнению, к ним в первую очередь относятся:

– сельскохозяйственные объекты, нуждающиеся в долгосрочном сохранении сельскохозяйственной продукции (фрукто- и овощехранилища, молочные фермы и др.);

– объекты строительства, нуждающиеся в кондиционировании воздуха;

Целесообразность более детальной проработки технико-экономического обоснования применения предлагаемых систем сезонного аккумулирования природного холода показана в предыдущем разделе.

Интересными для дальнейших исследований представляются объекты ряда отраслей промышленности, в частности

– объекты пищевой промышленности. Так в соответствии с действующими нормами хранения пищевых продуктов для шоколадных изделий, многих молочных продуктов требуется температура $+4...+10^{\circ}\text{C}$, для мясной и рыбной гастрономии – $+2...+7^{\circ}\text{C}$, для свежего мяса, свежей рыбы и морепродуктов – $+2^{\circ}\text{C}$. Такие температурные режимы могут быть обеспечены с помощью предложенной технологии.

– объекты энергетики. В ряде стран с резко континентальным климатом (холодная зима и жаркое лето) ледяные аккумуляторы находят применение для охлаждения воздуха на входе в компрессоры газотурбинных установок при повышенных температурах наружного воздуха. Рассматриваются также возможности использования ледяных аккумуляторов для повышения мощности тепловых станций путем снижения температуры конденсатора в жаркое время. При этом могут использоваться как сезонные аккумуляторы холода, так и аккумуляторы с периодической генерацией льда с помощью холодильных машин в часы провала потребления электрической энергии.

На рисунке 4.2 показаны зависимости относительного изменения генерируемой мощности и удельного расхода топлива от температуры воздуха на входе компрессора для двух газовых турбин компании GE мощностью 40,7 и 130,2 МВт. Точка пересечения кривых соответствует параметрам турбин при расчетной температуре воздуха 15°C . Видно, что, например, уменьшение температуры воздуха на входе турбину с 40°C до 10°C позволяет увеличить мощность турбины почти в 2 раза и сократить удельный расход топлива почти на 7%. По оценкам специалистов National Energy Technology Laboratory, США [2], целесообразно использование на газотурбинных энергоустановках (прежде всего, пиковых) ледяных аккумуляторов холода в районах с жарким летним климатом. Рассматриваются также возможности использования аккумуляторов холода для регулирования графиков нагрузки атомных электростанций. При этом речь идет о производстве холода с помощью парокомпрессионных холодильных машин в часы провала нагрузки и повышении мощности АЭС в часы пика нагрузки путем дополнительного охлаждения конденсатора. Для производства льда может быть использована и рассмотренная в рамках настоящего проекта технология мелкодисперсного распыления воды.

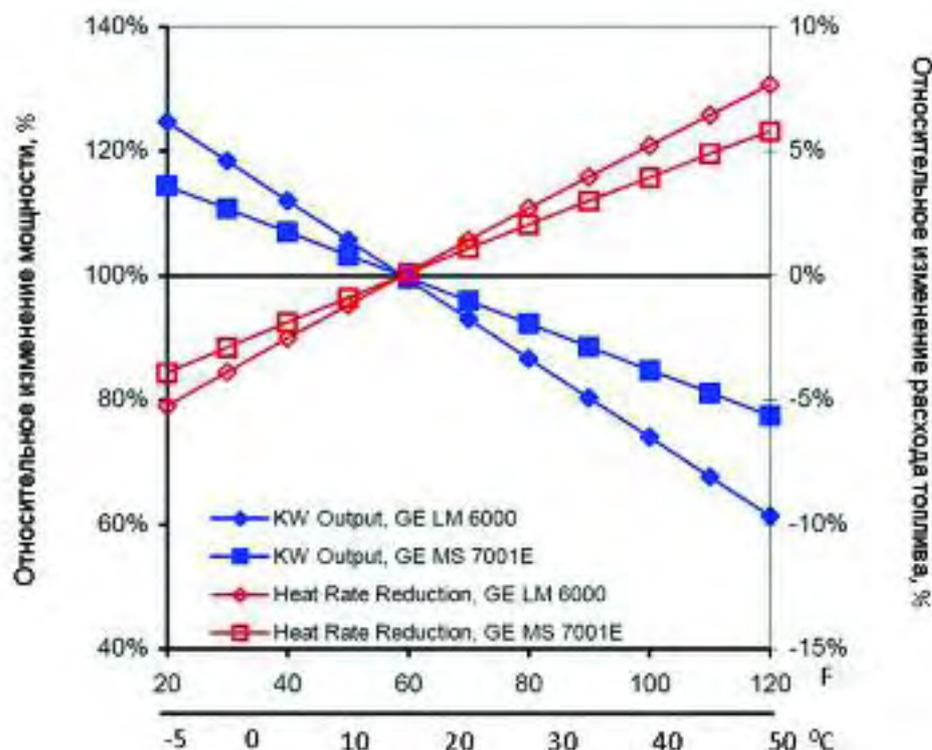


Рисунок 4.2 – Относительное изменение мощности и удельного расхода топлива для газовых турбин в зависимости от температуры воздуха на входе компрессора

Поскольку системы сезонного аккумулирования природного холода могут достаточно широко использоваться на практике, то общегосударственный эффект от их применения только в овощехранилищах можно подсчитать, полагая возможным внедрение минимально по 100 комплектов САПХ средней холодильной емкостью по 100 МВтч в год. При таком объеме внедрения будут достигнуты следующие показатели:

- суммарный объем затрат на внедрение составит 1,1 млрд р.
- чистый дисконтированный доход на инвестиции составит около 8 млрд р.;
- чистый дисконтированный доход Федерального бюджета – около 4 млрд р.;
- чистый дисконтированный доход региональных бюджетов – 0,4 млрд р.;
- дисконтированный срок возврата всех инвестиций – 3,3 года;
- индекс доходности инвестиций – более 7;
- внутренняя норма рентабельности – более 50 %.

Такие показатели свидетельствуют о большой привлекательности рассматриваемой технологии аккумулирования природного холода для инвестиций.

5 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ РАСПЫЛА

При разработке методики расчета основных элементов системы распыла мы опирались на данные тепловых расчетов процесса замерзания капель, результаты наблюдений природных процессов образования снега и результаты экспериментов с распылителями воды, изложенные в разделе 1.

Разработка методики осуществлена для следующих граничных условий:

- холодильная емкость запасаемого льда – около 100 тыс. кВтч;
- аккумулярование холода (образование массы льда) ограничено несколькими неделями, в течение которых держится температура окружающего воздуха на уровне не выше -5°C .

Эффективный уровень наружной температуры для намораживания льда определяется необходимостью срабатывания некоего минимального холодильного потенциала окружающего воздуха (возможным диапазоном его подогрева), по технико-экономическим соображениям составляющего минимум $2...3^{\circ}\text{C}$. При температуре окружающего воздуха выше $-1,5...-2,0^{\circ}\text{C}$ интенсивность намораживания льда существенно снижается.

Намораживание льда осуществляется в результате распыла воды системой большого числа форсунок в несущем охлаждающем воздухе, имеющем отрицательную температуру, и осаждением образующихся частиц льда сначала на ограждающих поверхностях накопителя, а затем путем организованного наращивания образующегося на стенках слоя льда. При правильно выбранных параметрах системы весь образовавшийся лед оказывается в накопителе, и лишь небольшой процент незамерзшей воды дренируется (откачивается из накопителя).

Охлаждающий воздух подается принудительно вентиляторами. Использование естественного ветра (что принципиально возможно) требует совпадения во времени необходимых минусовых температур и достаточной, но не чрезмерной скорости ветра, что неизбежно потребует страховочного резервирования вентиляторами принудительного обдува потока замораживаемых капель.

Соотношение расходов охлаждающего воздуха и замораживаемой воды определяется тепловым балансом

$$K = \frac{G_{\text{возд}}}{G_{\text{вод}}} = \frac{r_{\text{пл}} + C_{p,\text{вод}} \delta t_{\text{вод}}}{C_{p,\text{возд}} \Delta t_{\text{возд}}} = \frac{r_{\text{эф}}}{C_{p,\text{возд}} \Delta t_{\text{возд}}}, \quad (5.1)$$

где $r_{\text{пл}}$ – скрытая теплота плавления (замерзания) льда ~ 295 кДж/кг; $C_{p,\text{вод}}$ и $C_{p,\text{возд}}$ – теплоемкости воды и воздуха; $\delta t_{\text{вод}}$ – превышение распыливаемой водой температуры замерзания; $\Delta t_{\text{возд}}$ – глубина охлаждения несущего охлаждающего воздуха.

При типичных $\Delta t_{\text{возд}} = 3 \dots 5^\circ\text{C}$ (подогрев воздуха от минус $5 \dots 7^\circ\text{C}$ до минус 2°C) и $\delta t_{\text{вод}} \approx 10^\circ\text{C}$ величина $K = 110 \dots 65$, т.е. для замораживания 1 г воды, имеющей температуру 10°C , необходимо $\sim 0,085 \dots 0,060 \text{ м}^3$ воздуха. Это опорные цифры для расчета намораживания льда в аккумуляторе. Работа с меньшим расходом воздуха не позволит наморозить нужное количество льда и оставит незамерзшую воду, которую придется отводить, а подача излишнего воздуха приведет к перерасходу энергии на его прокачку и увеличит длину пути намораживания (длину пролета капли до полного замерзания).

5.1 Физические процессы, сопровождающие замерзание распыленной жидкости

Физическое тепло перегрева капли относительно температуры насыщения (точки замерзания) и скрытая теплота плавления (замерзания) транспортируются по капле к ее свободной поверхности, где передаются конвекцией к несущему каплю воздуху. Соотношение интенсивностей этих двух процессов (теплопроводности по капле и теплоотдачи к воздуху) определяется числом Био:

$$Bi = \frac{\alpha r_k}{\lambda_{\text{вод}}}, \quad (5.2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи к воздуху; $\lambda_{\text{вод}}$ – теплопроводность воды; r_k – радиус капли.

Распыливаемые форсунками мелкие капли в силу своей малой инерционности достаточно быстро (на протяжении 100...200 мм пути) приобретают скорость, близкую к скорости несущего воздуха, при этом формула Ранца-Маршалла, описывающая теплоотдачу к капле,

$$Nu_d = 2 + 0,6 Re_{d_k}^{1/2} Pr_{\text{возд}}^{1/3}, \quad (5.3)$$

где $Nu_d = \frac{\alpha d_k}{\lambda_{\text{возд}}}$ – число Нуссельта ($Re_d = \frac{w_{\text{отн}} d_k}{\nu_{\text{возд}}}$ – число Рейнольдса, рассчитанное по относительной скорости капли в потоке воздуха $w_{\text{отн}}$; $\nu_{\text{возд}}$ – кинематическая вязкость воздуха; d_k – диаметр капли) принимает предельное значение

$$Nu_d = 2, \quad (5.4)$$

и соответственно число Био будет равно

$$Bi \cong \frac{\lambda_{\text{возд}}}{\lambda_{\text{вод}}} \approx 0,05. \quad (5.5)$$

Это означает, что теплообмен капли с охлаждающим ее воздухом определяется теплоотдачей к воздуху и интенсифицируется при уменьшении диаметра капли $\left(\alpha \sim \frac{1}{d_k}\right)$.

Заметим, что реально в рассматриваемом случае мы имеем дело с так называемой задачей Стефана, когда в объеме капли существует перемещающийся фронт замерзания и происходит локализованное внутреннее выделение тепла. Это вносит определенные коррективы в оценки числа Био, но принципиальный вывод об определяющем влиянии конвективной теплоотдачи со свободной поверхности капли в суммарный теплообмен остается в силе.

Оценка времени замерзания воды. Приближенную оценку времени замерзания капли τ_{\max} можно провести, исходя из теплового баланса, считая, что интенсивность теплоотдачи определяется формулой (5.4)

$$\tau_{\max} = \frac{r_{\text{эф}} \rho_{\text{вод}}}{12 \lambda_{\text{возд}}} \frac{d_k^2}{\overline{\Delta t}}, \quad (5.6)$$

где $\overline{\Delta t}$ – средняя по времени процесса замерзания разность температур между точкой замерзания капли и окружающим воздухом.

В таблице 5.1 приведены оценки τ_{\max} в мс в функции d_k и $\overline{\Delta t}$ ($\lambda_{\text{возд}} = 2,5 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К), $r_{\text{эф}} = 340$ кДж/кг, $\rho_{\text{вод}} = 10^3$ кг/м³).

Таблица 5.1 – Времена замерзания капель (мс)

| $\overline{\Delta t}, ^\circ\text{C}$ | $d_k, \text{ мкм}$ | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|-----|-----|------|-------|
| | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 |
| 10 | 11 | 44 | 275 | 1100 | 4400 |
| 5 | 22 | 88 | 550 | 2200 | 8800 |
| 3 | 37 | 146 | 915 | 3700 | 14600 |

Время замерзания капель диаметром менее 50 мкм не превышает 1 с даже при малых разностях температур ($\overline{\Delta t} = 3^\circ\text{C}$) между охлаждающим воздухом и точкой замерзания. Тем не менее, длина пути замерзания оказывается не столь малой, ее характерные значения приводятся в таблице 5.2 в функции скорости несущего воздуха.

При больших скоростях несущего потока охлаждающего воздуха длина пути замерзания крупных капель оказывается значительной, а при скоростях воздуха более 7...10 м/с даже чрезмерной (заметим, кстати, что ветер скоростью около 10 м/с со снегом относится к категории слабой метели). Это ограничивает «свободу маневра» при выборе рабочих парамет-

ров системы намораживания. Из данных таблиц 5.1 и 5.2 видно, что практически область рациональных размеров замораживаемых капель ограничивается диаметром капель примерно 50 мкм. Для сравнения укажем, что типичный размер природных снежинок лежит в пределах от 0,5 (мелкозернистый снег) до более чем 2 мм (крупнозернистый снег), т.е. на порядки величины больше при существенно меньшей насыпной плотности.

Таблица 5.2 – Длина пути замерзания капель, м ($\overline{\Delta t} = 5^\circ\text{C}$)

| w , м/с | d_k , мкм | | | | |
|-----------|-------------|-------|------|------|------|
| | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 |
| 1 | 0,022 | 0,088 | 0,55 | 2,2 | 8,8 |
| 2 | 0,044 | 0,176 | 1,10 | 4,4 | 17,6 |
| 5 | 0,110 | 0,440 | 2,75 | 11,0 | 44,0 |
| 10 | 0,220 | 0,880 | 5,50 | 22,0 | 88,0 |

Эксперименты, выполненные с распылителями разного типа (центробежные и струйные) и разной производительности, результаты которых обобщаются в разделе 1, показали, что дисперсионные составы факелов, образуемых исследованными распылителями, этим задачам отвечают. Центробежные форсунки всех исследованных размеров обеспечивают приемлемо тонкий для наших целей распыл воды. Максимальный диаметр капель не превышает 25 мкм.

В дополнение к стендовым измерениям размеров капель, масштабов скорости и длины наморзания были проведены серии «натурных» испытаний форсунок в потоках воздуха разной температуры и скорости. Опыты проводились при прокачке холодного воздуха вентилятором через прямоугольный канал размером 500 × 500 мм и длиной 4,0 м, круглый канал диаметром 300 мм, а также в свободном пространстве.

На основании обобщения проведенных экспериментальных исследований распылителей были сделаны следующие заключения:

1 Для обеспечения достаточной скорости замерзания капель воды и приемлемо коротких длин пути замораживания необходимо получать на выходе из форсунки капли диаметром менее 50 мкм.

2 Центробежные форсунки с диаметром сопла до 2...3 мм получить капли требуемого размера позволяют.

3 Расходы воздуха, необходимые для обеспечения замерзания 1 г воды, составляют 0,060...0,085 м³ при температуре наружного воздуха –5...–7°С. С понижением температуры окружающей среды требуемые расходы воздуха снижаются.

4 Для достижения приемлемой длины пути замерзания в несколько метров целесообразно ограничивать скорость несущего потока холодного воздуха на уровне 5 м/с. При этом

приемлемая удельная интенсивность намораживания льда в $70\dots80 \text{ г}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$, или $\sim 250 \text{ мм/ч}$ сохраняется.

5 Во время эксплуатации системы намораживания льда необходимо поддерживать зависящее от наружной температуры оптимальное соотношение «воздух–вода».

6 Существует оптимальный шаг компоновки форсунок системы распыла, учитывающий как производительность системы, так и эффект «шнурования» потока мелких капель.

Таким образом, как расчет, так и эксперимент показывают реальность интенсивного направленного намораживания льда при распыле воды на капли диаметром менее 50 мкм в принудительном потоке холодного воздуха с температурой минус $-4\dots-5^\circ\text{C}$ и ниже.

Изложенные выше результаты, наблюдения и заключения составили основу разработанной методики расчета основных элементов системы распыла, приведенной в Приложении Г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В полном соответствии с Техническим заданием и Календарным планом госконтракта:

На первом этапе работы:

Проведен анализ состояния исследований и разработок и выполнены патентные исследования в предметной области проекта. Показано, что имеется интерес к использованию сезонных аккумуляторов природного холода в Швеции, Японии, Канаде, Китае, США, что обусловлено резким ростом потребления электроэнергии на кондиционирование воздуха в жилых и общественных зданиях, а также в сельскохозяйственном производстве для хранения продукции.

Выполнены предварительные расчетные исследования систем аккумулирования природного холода для 5 районов страны с различными климатическими условиями. Проведена статистическая обработка климатических данных и построена карта распределения продолжительности отрицательных температур наружного воздуха на территории России.

Разработана эскизная конструкторская документация на экспериментальный стенд, предназначенный для исследования различных типов распылителей воды с целью получения искусственного льда/снега.

Разработана конструкция распылителя воды и изготовлены 2 его макетных образца;

Разработаны программа и методики экспериментальных исследований режимов работы распылителя воды;

На основе выполненных обзорных и предварительных расчетно-теоретических исследований сформулированы первоочередные задачи дальнейших расчетных и экспериментальных исследований.

На втором этапе работы:

Разработана математическая модель системы холодоснабжения и проведены расчетные оценки в обоснование выбора эффективных способов создания аккумуляторов природного холода.

Предложены технические решения по эффективной теплоизоляции и отбору холода от аккумулятора.

Разработана конструкторская документация и создан экспериментальный стенд, на котором проведены предварительные испытания четырех вариантов мелкодисперсных распылителей воды, предназначенных для получения льда, подтвердившие правильность принятых технических решений при их проектировании.

На третьем этапе работы:

Выполнена корректировка математической модели системы холодоснабжения на базе подземного аккумулятора холода с учетом результатов экспериментальных исследований.

Проведена апробация математической модели и определены базовые параметры системы холодоснабжения с аккумулятором холода на 100 МВтч.

Разработаны принципиальные схемы и конструктивный облик систем холодоснабжения с подземным и наземным вариантами создания сезонного аккумулятора холода.

Разработана эскизная конструкторская документация на систему холодоснабжения и на экспериментальный образец распылителя воды.

Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы распылителей различной производительности, проведены испытания экспериментальных образцов распылителя с определением дисперсионных характеристик факелов распыла воды.

И на отчетном заключительном этапе работы:

Проведено обобщение результатов экспериментальных исследований распылителей воды для искусственной генерации снега/льда с использованием природного холода.

Разработано техническое задание на выполнение опытно конструкторских работ по созданию системы сезонного аккумулирования природного холода мощностью до 300 кВт для круглогодичного холодоснабжения сельскохозяйственных и жилых объектов.

Выполнена технико-экономическая оценка результатов НИР и оценка их рыночного потенциала, разработаны рекомендации по использованию результатов проведенных НИР в реальном секторе экономики.

Разработана методика расчета основных элементов системы распыла.

Выполненные разработки позволили подготовить Заявку «Сезонный аккумулятор природного холода», направленную на рассмотрение в Федеральную службу по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам для выдачи патента Российской Федерации на полезную модель.

В результате выполненных исследований показано, что системы холодоснабжения на основе сезонных аккумуляторов природного холода, создаваемых с использованием искусственной генерации снега/льда путем мелкодисперсного распыления воды в морозный воздух с температурой ниже $-5...-7^{\circ}\text{C}$, могут найти экономически эффективное практическое применение в южных районах России с малыми продолжительностями периодов года с отрицательной температурой наружного воздуха и снежного покрова для холодоснабжения крупных хранилищ сельскохозяйственной продукции и для создания энергосберегающих систем кондиционирования воздуха зданий (например, в санаторно-курортном и туристско-рекреационных секторах). Представляет интерес проведение специальных исследований по обоснованию эффективности практического применения ледяных аккумуляторов в других отраслях экономики, в том числе в энергетике для охлаждения воздуха на входе в компрессор пиковых газотурбинных установок и для регулирования графика нагрузки атомных электростанций.

Выполненные технико-экономические оценки эффективности создания разрабатываемого сезонного аккумулятора природного холода на примере одного из овощехранилищ в Ростовской области, емкостью 300 т показали высокую рентабельность проекта. При затратах на создание аккумулятора для такого хранилища холодоёмкостью 100 МВтч на уровне 11...16 млн р. их окупаемость обеспечивается в течение 3...4 лет. При этом увеличение стоимости 1 кг картофеля в результате затрат на холодоснабжение для его хранения не превышает 1,5...2 р./кг. Предлагаемая технология получения холода является более экономически и экологически эффективной, чем использование традиционных парокомпрессионных холодильных машин. При этом предлагаемая система является на порядок более энергоэффективной (холодильный коэффициент на уровне 50 и более) и не приводит к заметным дополнительным пиковым нагрузкам на электрическую сеть, что особенно важно для энергодефицитных регионов и сельских районов со слабыми электрическими сетями.

Разработанное Техническое задание на ОКР позволяет перейти к созданию пилотного проекта системы холодоснабжения с сезонным аккумулятором природного холода для конкретного потребителя, в качестве которого на основе выполненных технико-экономических исследований предполагается выбрать одно из крупных овощехранилищ на территории Ростовской области.

ЛИТЕРАТУРА

1 Дейч М.Е. Газодинамика двухфазных сред. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1981. 472 с.

2 A Novel Concept for Reducing Water Usage and Increasing Efficiency in Power Generation. Final Report. U. S. Department of Energy. National Energy Technology Laboratory. Pittsburgh, PA. March 2004. DOE Award No.: DE-FG26-02NT41544.

Приложение А
Проект технического задания на ОКР



ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на выполнение опытно-конструкторских работ (ОКР) по теме:
«Создание системы сезонного аккумулирования природного холода
мощностью до 300 кВт для круглогодичного холодоснабжения
сельскохозяйственных и жилых объектов»

1 ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОКР

Требования не устанавливаются

2 ИСПОЛНИТЕЛЬ ОКР

Требования не устанавливаются

3 ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ОКР

Цель работы – повышение эффективности и снижение энергоемкости холодоснабжения сельскохозяйственных и жилых объектов за счет применения сезонного аккумулирования природного холода.

4 НАЗНАЧЕНИЕ ПРОДУКЦИИ

Разрабатываемая система сезонного аккумулирования природного холода (далее по тексту – Система САПХ) – предназначена для круглогодичного холодоснабжения объектов переработки сельскохозяйственной продукции и жилых объектов.

5 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

5.1 СОСТАВ ПРОДУКЦИИ

5.1.1 В состав разрабатываемой Системы САПХ должно входить следующее оборудование и аппаратура.

- 1) **Резервуар**, предназначенный для получения в зимний период и последующего сезонного хранения снеговой массы. Резервуар должен быть оснащен слоями теплоизоляции, гидроизоляции, антикоррозионного покрытия.
- 2) **Система форсунок**, предназначенная для распыливания воды в объеме резервуара, должна обеспечивать получение снеговой массы требуемого качества и объема за заданное время заряда холодоаккумулятора.

3) Насосы, предназначенные для подачи замораживаемой воды на форсунки. При использовании насосов с пульсирующим давлением на выходе (поршневых, плунжерных и т.п.) линии подачи воды от насосов к форсункам должны быть снабжены демпферами для гашения пульсаций потока. В качестве демпферов могут быть использованы стандартные расширительные сосуды на соответствующее давление.

4) Вентиляторы, предназначенные для подачи холодного наружного воздуха в объем резервуара в процессе заряда САПХ, должны обеспечивать эффективное преобразование «факела» водяных капель, распыливаемых форсунками, в снеговую массу.

5) Воздухосбросные устройства, обеспечивающие отвод избыточного давления воздуха из резервуара в атмосферу. Конструкция воздухосбросных устройств может быть принята однотипной с конструкцией стандартных дефлекторов с электроприводными затворами. Затворы, управляемые системой автоматики, должны открываться в периоды заряда холодоаккумулятора, и должны быть закрыты в остальное время работы Системы САПХ во избежание ненужных потерь энергии холода из-за вентиляции объема резервуара наружным воздухом.

6) Устройства водоотведения, предназначенные для удаления избыточной воды из объема резервуара, должны быть выполнены по стандартным схемам водоотведения из нижних точек днища резервуара. При этом запорные задвижки на линии водоотведения должны устанавливаться в колодцах, глубина которых должна превышать максимальную глубину промерзания грунта в районе размещения Системы САПХ.

7) Теплообменные устройства «снег – воздух», предназначенные для эффективной передачи энергии холода, запасенную в снеговой массе, воздуху, подаваемого в охлаждаемые помещения. Конструкции этих устройств должно быть уделено особое внимание, поскольку от их эффективности зависят основные технико-экономические параметры Системы САПХ. Для увеличения поверхности теплообмена целесообразно использовать оребренные металлические трубы.

8) Вентиляторы подачи воздуха в охлаждаемые помещения, предназначенные для обеспечения циркуляции охлаждающего воздуха в процессе поддержания требуемой пониженной температуры в технологических или жилых помещениях в период разряда холодоаккумулятора.

9) Электроуправляемые заслонки (клапаны), предназначенные для переключения направления движения воздуха в трактах заряда и разряда Системы САПХ. Это оборудование может быть выбрано из стандартного ряда серийного производства.

10) Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП), предназначенная для обеспечения автоматического контроля и регистрации основных технологических параметров Системы САПХ, автоматической сигнализации состояния управляемого оборудования и сигнализации отклонений от допустимых значений всех контролируе-

мых параметров, автоматического программного управления работой технологического оборудования системы, автоматического регулирования заданной температуры в охлаждаемых помещениях.

Окончательный состав продукции уточняется в процессе разработки и согласовывается с Заказчиком на этапе 3 – этапе разработки технического проекта Системы САПХ.

5.2 ТРЕБОВАНИЯ К ПОКАЗАТЕЛЯМ НАЗНАЧЕНИЯ

5.2.1 *Выполняемые функции*

Система САПХ должна обеспечивать выполнение следующих функций.

5.2.1.1 Эффективный заряд аккумулятора холода в период зимних морозов – заполнение снежно-ледовой массой всего объема резервуара.

5.2.1.2 Экономичный разряд аккумулятора холода в течение сезона повышенных температур наружного воздуха с автоматическим поддержанием заданного значения температур в контролируемых помещениях.

5.2.1.3 Работу технологического оборудования в автоматическом режиме – без постоянного присутствия обслуживающего персонала.

5.2.1.4 Возможность дистанционного контроля работы технологического оборудования с использованием каналов связи GPS или GPRS.

5.2.2 *Нормы и количественные показатели*

| | |
|--|-----------------------|
| 5.2.2.1 Установленная холодильная мощность системы, кВт | – до 300 |
| 5.2.2.2 Холодильная емкость системы, МВтч (хол.)/год | – до 1000 |
| 5.2.2.3 Продолжительность заряда холодоаккумулятора, не более, ч | – 240 |
| 5.2.2.4 Температура наружного воздуха в период заряда холодоаккумулятора, не более, °С | – минус 10 |
| 5.2.2.5 Продолжительность разряда холодоаккумулятора, тыс.ч не менее, ч | – 2,0...4,0 – 2500 |
| 5.2.2.6 Температура наружного воздуха в период разряда, °С | – 5...40 |
| 5.2.2.7 Температура, поддерживаемая в помещениях хранения и переработки сельхозпродукции, °С | – 0...14 |
| 5.2.2.8 Температура, поддерживаемая в летний период в жилых помещениях, °С | – 22±3 |

5.2.3 *Технические характеристики (параметры)*

Объем резервуара V для получения и хранения снеговой массы должен выбираться из условия:

$$V = m_{\text{СН}} / \gamma_{\text{СН}} k_{\text{зап}}, \text{ м}^3, \quad (5.2.3.1)$$

где m_{CH} – масса снега, которую требуется запастись в резервуаре, кг; γ_{CH} – плотность снеговой массы (см. приложение 1), кг/м³; $k_{ЗАП}$ – коэффициент заполнения резервуара снеговой массой.

Требуемая для сезонного аккумулирования природного холода масса снега в резервуаре должна быть равна:

$$m_{CH} = Q_{ХОЛ} / \lambda_{CH}, \text{ кг}, \quad (5.2.3.2)$$

где $Q_{ХОЛ}$ – расчетная холодильная емкость системы САПХ, кВтч; λ_{CH} – теплота кристаллизации воды, кВтч/кг.

Расчетная холодильная емкость, в свою очередь, должна быть равна:

$$Q_{ХОЛ} = k_{ПОТ} N_{РАЗР}^{CP} T_{РАЗР}, \text{ кВтч}, \quad (5.2.3.3)$$

где $k_{ПОТ}$ – коэффициент учета потерь энергии холода через ограждающие конструкции резервуара с учетом параметров теплоизоляции;

$N_{РАЗР}^{CP}$ – средняя мощность холодопотребления в течение периода разряда холодоаккумулятора, кВт;

$T_{РАЗР}$ – расчетное время разряда холодоаккумулятора, ч.

Объем резервуара для системы САПХ, согласно выражениям (5.2.3.1), (5.2.3.2) и (5.2.3.3), должен составлять:

$$V = k_{ПОТ} N_{РАЗР}^{CP} T_{РАЗР} / (\gamma_{CH} k_{ЗАП} \lambda_{CH}), \text{ м}^3. \quad (5.2.3.4)$$

Время разряда холодоаккумулятора $T_{РАЗР}$ при расчетах емкости резервуаров для САПХ следует принимать равным промежутку времени, в течение которого температура наружного воздуха в районе размещения холодоаккумулятора выше оптимальной температуры хранения сельхозпродукции того или иного вида во фрукто-овощехранилищах. Оно может составлять 2000...4000 часов в течение одного цикла заряда – разряда холодоаккумулятора.

Мощность холодопотребления в зависимости от емкости и конструкции фрукто-овощехранилища, требуемой температуры хранения и температуры наружного воздуха может составлять 10...300 кВт для хранилищ емкостью 100...3000 т.

Коэффициент учета потерь энергии холода в холодоаккумуляторе $k_{ПОТ}$ может составлять от 1,002 до 1,050 в зависимости от качества используемой теплоизоляции ограждающих конструкций резервуара. При расчете этого коэффициента следует иметь в виду, что мощность потерь энергии холода $N_{ПОТ}$ составляет:

$$N_{ПОТ} = \lambda S (t_{НАР}^{CP} - t_{CH}^{CP}) = \lambda S \{t_{НАР}^{CP} - [(t_{ОР} + t_{НР})/2]\}, \text{ кВт}, \quad (5.2.3.5)$$

где λ – приведенный коэффициент теплопроводности теплоизоляции ограждающих конструкций резервуара, Вт/(м².град); S – суммарная площадь ограждающих конструкций резервуара, м²; $t_{НАР}^{CP}$ – среднесезонная температура окружающей среды, °С; t_{CH}^{CP} – среднесезонная температура снеговой массы в резервуаре холодоаккумулятора, °С.

Суммарная производительность $G_{ВОД}$ системы форсунок холодоаккумулятора должна обеспечивать получение снеговой массы требуемого качества и объема за заданное время заряда $T_{ЗАР}$ холодоаккумулятора:

$$G_{ВОД} \geq m_{CH} / T_{ЗАР}, \text{ кг/ч}, \quad (5.2.3.6)$$

или, с учетом выражения (5.2.3.2):

$$G_{\text{ВОД}} \geq Q_{\text{ХОЛ}} / T_{\text{ЗАР}} C_{\text{СН}} (t_{\text{ОР}} - t_{\text{НР}}), \text{ кг/ч.} \quad (5.2.3.7)$$

Основные требования к конструкции форсунок:

- производительность каждой из n форсунок системы распыла воды должна составлять $g_{\text{Ф}} = G_{\text{ВОД}} / (3,6 n)$, г/с при избыточном давлении воды на подводе к форсунке, не превышающем 1,6...2,5 МПа;
- обвязка форсунок в системе распыла воды должна быть выполнена так, чтобы обеспечить равномерное распределение расхода воды по всем форсункам системы;
- диаметр образующихся при распыле капель воды не должен превышать 50 мкм, во избежание увеличения времени замерзания капель более 1 с.

Приближенную оценку максимального времени замерзания капли τ_{max} можно выполнить исходя из теплового баланса:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{r_{\text{эф}} \rho_{\text{вод}}}{12 \lambda_{\text{возд}}} \frac{d_{\text{к}}^2}{\Delta t}, \quad (5.2.3.8)$$

где $r_{\text{эф}}$ – эффективная теплота замерзания капель воды, Дж/г;

$\rho_{\text{вод}}$ – плотность воды при температуре подачи на распыл, г/см³;

$d_{\text{к}}$ – средний диаметр капель воды, см;

$\lambda_{\text{возд}}$ – теплопроводность воздуха, Вт/(см² град);

$\overline{\Delta t}$ – средняя по времени процесса замерзания разность температур между точкой замерзания капли и окружающим воздухом, °С;

Производительность насосов, подающих воду на форсунки, должна иметь значение, определяемое формулой (2.5.3.7), при рабочем давлении форсунок.

Подача воздуха вентиляторами должна соответствовать значению:

$$G_{\text{ВОЗД}} = K G_{\text{ВОД}}, \quad (5.2.3.9)$$

где K – соотношение масс воздуха и воды, подаваемых на замораживание.

Значение K определяется тепловым балансом процесса снегообразования:

$$K = \frac{G_{\text{ВОЗД}}}{G_{\text{ВОД}}} = \frac{r_{\text{пл}} + C_{p,\text{вод}} \delta t_{\text{вод}}}{C_{p,\text{возд}} \Delta t_{\text{возд}}} = \frac{r_{\text{эф}}}{C_{p,\text{возд}} \Delta t_{\text{возд}}}, \quad (5.2.3.10)$$

где $r_{\text{пл}}$ — скрытая теплота плавления (замерзания) льда;

$C_{p,\text{вод}}$ и $C_{p,\text{возд}}$ — теплоемкости воды и воздуха;

$\delta t_{\text{вод}}$ — превышение температуры распыливаемой воды точки замерзания;

$\Delta t_{\text{возд}}$ — глубина охлаждения несущего охлаждающего воздуха.

При типичных $\Delta t_{\text{возд}} = 3...5^\circ\text{C}$ (подогрев воздуха в процессе снегообразования от минус $5...7^\circ\text{C}$ до минус 2°C) и $\delta t_{\text{вод}} \approx 10^\circ\text{C}$, величина $K = 110...65$, т.е. для замораживания 1 г воды, имеющей температуру 10°C , необходимо $0,085...0,060 \text{ м}^3$ воздуха.

Это опорные цифры для расчета намораживания льда в аккумуляторе. Работа с меньшим расходом воздуха не позволит наморозить нужное количество льда и оставит незамерзшую воду, которую придется отводить, а подача излишнего воздуха приведет к перерасходу энергии на его прокачку и увеличит длину пути намораживания (длину пролета капли до полного замерзания).

Суммарная производительность вентиляторов подачи воздуха в охлаждаемые помещения в процессе разряда Системы САПХ должна составлять:

$$G_B = Q_{\text{хол}} / [\rho_{\text{возд}} k T_{\text{РАЗР}} C_{\text{возд}} (t_{\text{охл}}^{\text{CP}} - t_{\text{сн}}^{\text{CP}})], \quad (5.2.3.11)$$

где k – коэффициент передачи энергии холода от снеговой массы к воздуху, подаваемому в охлаждаемые помещения, определяемый конструкцией теплообменников «снег – воздух»; $t_{\text{охл}}^{\text{CP}}$ – средняя за период разряда Системы САПХ температура в охлаждаемом помещении, °С; $t_{\text{сн}}^{\text{C}}$ – средняя за период разряда температура снеговой массы в холодоаккумуляторе, °С.

В Системе САПХ одни и те же вентиляторы могут быть использованы как в для подачи холодного воздуха на образование снежной массы, так и для подачи воздуха из холодоаккумулятора в охлаждаемые помещения. Однако, необходимо иметь в виду, что производительность вентиляторов в этих двух режимах существенно отличается, поскольку время разряда аккумулятора на порядок больше времени его заряда. Для автоматического управления производительностью вентиляторов в этом случае целесообразно применить преобразователи частоты питающего напряжения. Использование схемы с объединенными вентиляторами, подключаемыми через преобразователи частоты, или схемы с отдельными вентиляторами должно обосновываться технико-экономическими расчетами.

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) должна обеспечить выполнение следующих функций.

1) *Автоматический контроль и регистрация* основных технологических параметров:

- температура снеговой массы в резервуаре аккумулятора холода – с помощью датчиков–термопреобразователей;
- температура воздуха в охлаждаемых помещениях – с помощью датчиков–термопреобразователей;
- давление на выходе насосов – с помощью местных приборов – манометров и дистанционно – с помощью датчиков–преобразователей давления;
- расход воды, подаваемой в форсунки в режиме заряда аккумулятора – с помощью датчиков расхода;
- уровень снеговой массы в резервуаре – с помощью датчика уровня.

2) Автоматическая сигнализация:

- состояния управляемого оборудования – насосов, вентиляторов, распределительных и запорных клапанов (технологическая сигнализация);
- отклонений от допустимых значений всех контролируемых параметров – температур, давлений, расходов, уровня (аварийно-предупредительная сигнализация) с введением автоматических защит и блокировок для исключения аварийных режимов работы оборудования;
- стадий ведения технологических процессов.

Появление любого из сигналов должно сопровождаться отображением соответствующих символов на мнемосхеме установки, либо изменением конфигурации этих символов. Появление аварийно-предупредительных сигналов должно также сопровождаться включением индикаторов мигающего света на мнемосхеме установки и включением сопровождающего звукового сигнала.

Квитиование появляющихся мигающих сигналов необходимо осуществлять нажатием кнопки поз.10 на щите управления установкой, съём звуковых сигналов – нажатием кнопки поз.11. Периодическую проверку исправности схемы световой и звуковой сигнализации, схем защит и блокировок необходимо производить с помощью переключателя поз.10 на щите управления.

3) Автоматическое программное управление работой насосов, вентиляторов, распределительных и запорных клапанов системы вентиляции должно осуществляться воздействием на их электрические приводы и исполнительные механизмы с помощью преобразователей и магнитных пускателей. Программное управление должно быть выполнено с корректировкой по температуре наружного воздуха:

- при температурах наружного воздуха ниже $-5 \dots -8$ °С должен обеспечиваться заряд аккумулятора холода;
- при температурах наружного воздуха, превышающих установленную температуру для охлаждающих помещений должен производиться разряд аккумулятора холода;
- при промежуточных значениях температуры наружного воздуха работа аккумулятора холода должна быть заблокирована.

4) Автоматическое регулирование заданной температуры в охлаждаемых помещениях должно выполняться путем воздействия на производительность вентиляторов с помощью преобразователей частоты по сигналам датчиков температуры воздуха в помещениях.

5) АСУ ТП должна быть построена по иерархическому принципу с использованием автоматических микропроцессорных контроллеров на нижнем уровне управления и персональных компьютеров – на верхнем уровне. Представление информации должно осуществляться на мониторах пункта управления и панелях щита (пульта) управления аккумулятором холода. Периодическая автоматическая регистрация параметров и распечатка отчетных документов должна производиться на цветном принтере с выделением красным цветом значений параметров, отклонившихся от допустимых значений.

б) АСУ ТП должна обеспечить возможность работы аккумуляторов холода без постоянного присутствия обслуживающего персонала.

5.2.4 Требования к порядку и способам взаимодействия с сопрягаемыми объектами

Энергия природного холода, запасаемая в аккумуляторе холода в виде снеговой массы в резервуаре, должна поступать в охлаждаемые (кондиционируемые) помещения посредством циркуляции теплоносителя, в качестве которого используется воздух из охлаждаемых помещений. Воздух с помощью вентиляторов системы САПХ охлаждается в теплообменниках «снег – воздух» холодоаккумулятора и подается в помещения в количестве, необходимом для поддержания требуемого температурного режима. Заданная температура воздуха в охлаждаемых помещениях поддерживается системой автоматического регулирования, входящей в состав Системы САПХ. Контроль параметров работающего оборудования и кондиционируемых помещений осуществляется оператором дистанционно – по каналам связи GPS или GPRS.

5.2.5 Требования к совместимости

5.2.5.1 Требования к электромагнитной совместимости

При работе Системы САПХ не должны возникать флюктуационные или импульсные помехи недопустимого уровня, нарушающие работу аппаратуры АСУ ТП, средств вычислительной техники или коммуникационной аппаратуры.

5.2.5.2 Требования к информационной совместимости

Информационная совместимость должна обеспечиваться выбором соответствующих протоколов обмена информацией между приемопередатчиками Системы САПХ и системы дистанционного контроля параметров. Выбор протоколов должен осуществляться при рабочем проектировании Системы САПХ.

5.2.5.3 Требования к биологической совместимости

При работе Системы САПХ в воздух охлаждаемых производственных и жилых помещений не должны вноситься дополнительные биологические микротела (микробы, бактерии, вирусы) из трактов воздухоподачи охлаждающего воздуха. Должна быть предусмотрена биоло-

гическая очистка внутренних поверхностей теплообменников «снег – воздух», воздуховодов и вентиляторов с помощью, например, ультрафиолетовых осветительных устройств, ионизационных генераторов и т.п.

5.2.5.4 Требования к метрологической совместимости

Применяемая в Системе САПХ аппаратура контроля и управления должна использовать в информационных и управляющих каналах унифицированные аналоговые и дискретные входные и выходные сигналы согласно стандартам единой системы измерений РФ.

5.2.6 Требования по мобильности

Разрабатываемое изделие должно быть выполнено в стационарном исполнении.

5.3 ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПИТАНИЮ

5.3.1 Электропитание Системы САПХ должно осуществляться трехфазным напряжением переменного тока 0,4 кВ (~ 380/220 В + 10...-15 %) с частотой 50 Гц ($\pm 1...2$ %). При обслуживании холодом помещений для хранения сельскохозяйственной продукции, относящимся к категориям, не допускающим длительного перерыва в подаче электропитания и энергии холода, Система САПХ должна быть запитана от двух внешних независимых источников электропитания.

5.3.2 Питание аппаратуры АСУ ТП должно производиться с помощью источников бесперебойного питания, обеспечивающих работу системы в течение 20...30 минут при полном исчезновении питающих напряжений на обоих вводах. Это необходимо с целью предотвращения возможности возникновения аварийных ситуаций, а также с целью обеспечения возможности произвести останов работы Системы САПХ в запрограммированных для этих случаев режимах с регистрацией всех выполняемых операций в памяти вычислительного комплекса.

5.3.3 Для защиты персонала от попадания под действие электронапряжения на площадке САПХ должно быть установлено защитное заземление с параметрами, определяемыми Правилами устройства электроустановок – ПУЭ, Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) и Правилам техники безопасности (ПТБ) при эксплуатации электроустановок потребителей. К указанному заземлению должны быть подключены корпуса коммутационной аппаратуры (контакторов, магнитных пускателей), корпуса электродвигателей, корпуса щитов управления и прочего оборудования, корпуса которого могут оказаться под напряжением вследствие ухудшения или пробоя электрической изоляции. Заземлению также подлежат металлические оболочки кабелей и трубы, используемые для прокладки в них проводов и кабелей. При этом электрические цепи, связанные с нулевыми проводами электропитания, не должны иметь общих связей с цепями защитного заземления.

5.3.4 В процессе эксплуатации Системы САПХ защитное заземление должно проходить периодические испытания на соответствие его параметров требованиям ПУЭ, ПТЭ и ПТБ.

5.3.5 При разработке ОКР внимание должно быть уделено вопросам рационального использования и экономии энергетических ресурсов. Поскольку Система САПХ планируется к использованию взамен традиционной системы холодоснабжения с применением энергоемких холодильных машин, необходимо представить расчет экономии электроэнергии при использовании новой технологии холодоснабжения. Должны быть отражены методы учета расхода электрической и тепловой энергии на технологические процессы и вспомогательные нужды Системы САПХ.

5.4 ТРЕБОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ

5.4.1 Требования по безотказности

Разрабатываемая Система САПХ должна удовлетворять следующим требованиям.

5.4.1.1 Вероятность безотказной работы системы должна составлять не менее $P(t) \geq 0,999$ за время работы 1000 часов.

5.4.1.2 Средняя наработка на отказ должна составлять не менее $t_0 \geq 10\ 000$ часов.

5.4.1.3 Средняя частота отказов должна быть не более $\lambda \leq 10^{-4}$ отказов в час.

5.4.1.4 Среднее время восстановления должно быть не более $t_B \leq 4$ часа.

5.4.2 Требования по долговечности

Разрабатываемая Система САПХ должна удовлетворять следующим требованиям.

5.4.2.1 Ресурс между средними ремонтами должен быть не менее двух лет.

5.4.2.2 Ресурс между капитальными ремонтами должен быть не менее 6 лет.

5.4.2.3 Полный ресурс до списания должен быть не менее 20 лет.

5.4.3 Требования по сохраняемости

Средний срок сохраняемости Системы САПХ должен быть не менее 30 лет.

5.4.4 Критерии отказов и предельного состояния изделия

5.4.4.1 Отказом разрабатываемой Системы САПХ считают:

- 1) потерю герметичности резервуара со снеговой массой;
- 2) потерю работоспособности группы форсунок в количестве более 5 % от общего числа используемых форсунок;
- 3) аварийный останов двух или более вентиляторов подачи холодного воздуха в резервуар или в охлаждаемые помещения;
- 4) аварийный останов двух или более насосов системы;
- 5) потерю работоспособности системы водоотведения;

- 6) потерю работоспособности группы теплообменных устройств «снег - воздух» в количестве более 5 % от общего их числа;
- 7) потерю работоспособности двух или более электроприводных устройств управляемых заслонок (клапанов);
- 8) прекращение выполнения любой из требуемых функций АСУ ТП.

5.4.4.2 *Предельным состоянием* разрабатываемой Системы САПД считают:

- 1) отказ одной или нескольких составных частей системы, восстановление или замена которых на месте эксплуатации не предусмотрена эксплуатационной документацией и должна выполняться в ремонтных органах;
- 2) снижение наработки на отказ ниже уровня; установленного требованиями п. 5.4.1.2 настоящего технического задания;
- 3) превышение установленного уровня текущих (суммарных) затрат на техническое обслуживание и ремонты, определяющее экономическую нецелесообразность дальнейшей эксплуатации.

5.4.5 *Подтверждение требований* по п.п. 5.4.1...5.4.4 настоящего технического задания производится:

- 1) расчетным методом в соответствии с ГОСТ 27.301-95 – на этапе разработки изделия и этапе предварительных испытаний;
- 2) экспериментальным (расчетно-экспериментальным) методом по методике, согласованной с Заказчиком – на этапе приемо-сдаточных испытаний.

5.5 КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

5.5.1 Конструктивное исполнение входящих в разрабатываемую Систему САПХ устройств и агрегатов, должно обеспечивать:

- 1) удобство эксплуатации;
- 2) возможность ремонта;
- 3) свободный доступ ко всем элементам, узлам и блокам, требующим регулирования или замены в процессе эксплуатации.

5.5.2 Все элементы системы, имеющие рабочую температуру, отличную от температуры окружающего воздуха, должны быть снабжены теплоизоляцией, предотвращающей повышенные потери энергии в окружающую среду.

5.5.3 Все части системы, вступающие в контакт с водой и снеговой массой, должны быть изготовлены из коррозионно-стойких материалов или защищены коррозионно-стойкими покрытиями по ГОСТ 9.301-86.

5.5.4 Покрyтия должны обеспечивать необходимую коррозионную стойкость, надежную работу и декоративный вид разрабатываемой системы.

5.5.5 Технические требования к металлическим и неметаллическим неорганическим покрытиям должны соответствовать ГОСТ 9.301-78.

5.5.6 Требования к лакокрасочным покрытиям по внешнему виду должны соответствовать ГОСТ 9.032-74.

5.5.7 Внешние электрические соединители (разъемы) должны иметь маркировку, позволяющую определить те части разъемов, которые подлежат соединению между собой. Ответные части одного и того же разъема должны иметь одинаковую маркировку. Маркировка должна наноситься на корпусах ответных частей разъемов на видном месте.

5.6 ТРЕБОВАНИЯ ПО ЭРГОНОМИКЕ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭСТЕТИКЕ

5.6.1 Комплекс оборудования и аппаратуры, составляющих Систему САПХ и приведенный в разделе 5.1, должен удовлетворять современным требованиям технической эстетики и представлять собой композиционную целостность с рациональными архитектурными формами при обеспечении требуемой функциональности системы и простотой контроля и управления технологическими процессами. По эргономике и технической эстетике разрабатываемая система должна соответствовать требованиям ГОСТ 20.39.108-85.

5.6.2 Все средства отображения информации на пульте управления Системой САПХ, органы управления и контроля параметров системы должны быть скомпонованы на лицевой панели пульта управления в соответствии с требованиями к информационным моделям по ГОСТ 20.39.108-85.

5.6.3 Кодирование и компоновка средств отображения информации, органов управления на пульте, цветовое оформление лицевой панели пульта разрабатываемой системы должны обеспечивать безошибочность и быстродействие операторов, удобство и безопасность работы в любое время суток.

5.7 ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЛУАТАЦИИ, УДОБСТВУ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Конструкция Системы должна обеспечивать необходимые удобства для работы обслуживающего персонала и обеспечения требований безопасности при обслуживании Системы:

- постоянные рабочие места для обслуживающего персонала должны быть организованы на пункте управления Системой;

- пункт управления системой должен быть размещен в отдельном помещении, оснащенном устройствами освещения, связи, оповещения, отопления и кондиционирования воздуха в соответствии с существующими нормативами;
- на пункте управления размещаются щиты и пульта управления, средства вычислительной техники, средства представления информации оператору и средства регистрации информации, входящие в состав АСУ ТП;
- управление работой оборудования Системы САПХ должно осуществляться, преимущественно, в автоматическом режиме, но должен быть предусмотрен и режим дистанционного (со щита) управления каждым из технологических элементов системы – на случай выполнения наладочных работ, подрегулировки параметров системы и возникновении неисправностей в системе автоматического контроля и управления;
- работа персонала внутри резервуара – накопителя энергии холода должна быть минимизирована и производиться в периоды межсезонных простоев САПХ;
- для обслуживания оборудования, размещенного на высоте более 2 м должны быть предусмотрены площадки обслуживания с соответствующими лестницами и ограждениями в виде перил;
- при работе на высоте, например, на крыше резервуара-холодоаккумулятора, персонал должен быть оснащен монтажными поясами с карабинами, которые должны пристегиваться к надежно укрепленным элементам конструкции;
- при работе внутри резервуаров и в колодцах работающий должен быть обязательно снабжен страховочным канатом, конец которого должен находиться в руках страхующего работника, расположенного снаружи;
- в помещениях технологического оборудования размещение вентиляторов, насосов, трубопроводной арматуры и т.п. должно быть выполнено с соблюдением требуемых разрывов (не менее 0,7...1,0 м) между ними и между стенками помещения и оборудованием для обеспечения удобного доступа ко все узлам и элементам системы;
- освещение в помещениях щита управления и технологического оборудования должно быть достаточным для проведения работ без напряжения зрения и должно соответствовать действующим нормам и правилам;
- для проведения работ в местах недостаточного освещения необходимо предусмотреть использование переносных осветительных приборов – сетевых низковольтных фонарей или переносных автономных фонарей с аккумуляторным электропитанием;
- для систем наружного и внутреннего освещения зданий и сооружений Системы САПХ необходимо использовать энергосберегающие светодиодные источники света, имею-

щие большую продолжительность срока службы и в 8...10 раз меньшую потребляемую мощность;

- для обеспечения безопасности работы персонала, корпуса всего электрооборудования и металлические оболочки кабелей должны быть надежно присоединены к контуру защитного заземления, соединенного с внешним заземлителем.

5.7.1 Требования к стойкости к внешним воздействующим факторам

Вопросы живучести Системы САПХ и ее устойчивости к внешним воздействиям должны решаться на стадии рабочего проектирования этой системы. Для обеспечения живучести следует предусматривать необходимое дублирование элементов системы с автоматическим вводом в работу резервного оборудования, дублирование источников питания, использование модульной схемы построения системы с применением многочисленных групп оборудования, выполняющих однотипные функции (группы форсунок для распыла воды, группы насосов, вентиляторов и т.п.).

Для обеспечения устойчивости к внешним воздействиям должны предусматриваться системы молниезащиты, системы защиты от вторичных проявлений молний, исполнение зданий и сооружений, при необходимости, в сейсмостойком исполнении, в градоустойчивом исполнении и т.п.

Следует также рассматривать опасность влияния самого объекта на соседние здания и сооружения при возникновении на объекте чрезвычайных ситуаций.

Устойчивость к внешним воздействиям должна соответствовать следующим требованиям.

5.7.1.1 Разрабатываемая Система должна соответствовать группе климатического исполнения УХЛ по ГОСТ 15150-69.

5.7.1.3 Степень защиты оболочкой внешних элементов разрабатываемой системы, работающих на открытом воздухе, должна соответствовать группе IP-67 по ГОСТ 14254-96, а элементов системы, размещаемых на пункте управления - группе IP-54 по ГОСТ 14254-96.

5.7.1.4 Элементы системы, устанавливаемые на открытом воздухе (резервуар, форсунки, устройства вентиляции с электрическими исполнительными механизмами и т.п.) должны быть устойчивы к воздействию следующих климатических факторов:

| | | |
|--|---|----------------|
| температура окружающего воздуха в диапазоне, °С | – | минус 50...+50 |
| относительная влажность воздуха при температуре 30°С, не мене, % | – | 90 |
| атмосферное давление в диапазоне, кПа | – | 84...107 |

5.7.1.5 Элементы Системы, устанавливаемые в помещении пункта управления должны быть устойчивы к воздействию следующих климатических факторов:

| | | |
|---|---|----------|
| температура окружающего воздуха в диапазоне, °С | – | +5...+35 |
|---|---|----------|

| | | |
|--|---|----------|
| относительная влажность воздуха при температуре 25°C, не менее, % | – | 60 |
| атмосферное давление в диапазоне, кПа | – | 84...107 |

5.7.1.6 При монтаже и эксплуатации Системы ее оборудование и аппаратура не должны подвергаться механическим воздействиям, превышающим паспортные значения для каждого из комплектующих изделий.

5.7.2 Требования к эксплуатационным показателям

5.7.2.1 Разрабатываемая Система должна обслуживаться эксплуатационным персоналом в количестве и с квалификацией, указанным в табл.5.7.2.1

Таблица 5.7.2.1

| № п/п | Наименование должности, специальности, профессии | Количество | Требуемая квалификация |
|-------|--|------------|------------------------|
| 1 | Должность - начальник установки Специальность - автоматизированные системы управления Профессия – инженер-электрик | 1 | Инженер |
| 2 | Должность – слесарь по обслуживанию и ремонту тепломеханического оборудования Специальность - слесарь-тепломеханик | 1 | Слесарь 6-го разряда |
| 3 | Должность – электромеханик Специальность – электрик | 1 | Электрик 6-го разряда |
| | Всего штатный персонал | 3 | |

Представленный в табл.5.7.2.1 персонал предназначен для работы в одну смену и обеспечивает функции эксплуатации и профилактических осмотров оборудования Системы. Система в целом функционирует в режиме автоматического управления и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Для проведения ремонтных работ должен привлекаться по аутсорсингу персонал из специализированных организаций по каждому из видов оборудования. Проведение капитальных ремонтов должно планироваться в периоды межсезонных простоев технологического оборудования Системы САПХ.

5.7.2.2 Разрабатываемая Система САПХ должна функционировать в следующих режимах:

- 1) основной – полное функционирование Системы;
- 2) аварийный – автоматический безопасный останов функционирования.

5.7.2.3 Разрабатываемая Система должна обеспечивать в период разряда холодоаккумулятора непрерывную круглосуточную работу с проведением операций по обслуживанию без остановок Системы. Заряд холодоаккумулятора должен производиться эпизодически в зимний

период при температуре наружного воздуха не выше минус 10 °С.

5.7.2.4 Должна быть обеспечена аварийная остановка разрабатываемой Системы при возникновении следующих ситуаций:

- 1) несанкционированное воздействие на органы управления Системы;
- 2) отклонение контролируемых параметров за пределы допустимых значений.

5.7.2.5 Периодическое техническое обслуживание (текущие ремонты) разрабатываемой Системы должны проводиться не реже двух раз в год – в периоды весенний и осенних технологических простоев.

5.7.2.6 Периодическое техническое обслуживание должно включать в себя обслуживание всех составных частей Системы.

5.7.2.7 К обслуживанию Системы должны допускаться лица, имеющие квалификационную группу по технике безопасности не ниже третьей и имеющие допуск к работе с электроустановками напряжением до 1000 В.

5.7.2.8 Гарантийный срок эксплуатации разрабатываемой Системы должен составлять не менее двух лет.

5.7.3 Требования по ремонтпригодности

5.7.3.1 При проведении ремонтов должна быть обеспечена возможность доступа к составным частям системы без демонтажа других составных частей.

5.7.3.2 Обслуживание и ремонт оборудования Системы должны производиться с применением инструмента и приспособлений, входящих в комплект поставки каждого из видов оборудования.

5.7.3.3 Комплект запасных частей, поставляемых вместе с оборудованием системы должен обеспечить поддержание работоспособного состояния соответствующего оборудования в течение гарантийного периода, составляющего не менее двух лет.

5.7.3.4 Требования к составу ЗИП уточняются на этапе технического проекта.

5.7.4 Экологические требования

В работе должна быть показана экологическая эффективность систем САПХ в сравнении с традиционными системами холодообеспечения. Конструктивное исполнение САПХ должно обеспечивать минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду. А экономия электрической и тепловой энергии, обеспечиваемая САПХ, должна быть положена в основу экологических расчетов сокращения вредных стоков в системе водоподготовки питающей электростанции, снижения расходования органического топлива на этой электростанции и соответствующее сокращение вредных выбросов в атмосферу.

5.8 Требования безопасности

5.8.1 Технические средства разрабатываемой Системы САПХ по требованиям защиты человека от поражений электрическим током должны относиться к классу 1 и должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 12.2.007-0-75.

5.8.2 Разрабатываемая Система при монтаже, наладке, обслуживании и ремонте должна соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.003-74 и ГОСТ 12.3.002-75.

5.8.4 Условия работы персонала разрабатываемой Системы должны соответствовать санитарным нормам по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

5.8.5 Уровни шума и звуковой мощности в местах расположения персонала не должны превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003 и санитарными нормами.

5.8.6 Требования безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте разрабатываемого Комплекса должны быть приведены в эксплуатационной документации.

5.9 ТРЕБОВАНИЯ К УПАКОВКЕ И МАРКИРОВКЕ

5.9.1 Требования к упаковке

5.9.1 Упаковка отдельных компонентов системы при доставке их на строительную площадку и хранении перед монтажом должна быть выполнена из материалов, обеспечивающих защиту от воздействий климатических факторов.

5.9.2 Упаковка компонентов должна соответствовать требованиям ГОСТ 23170-78.

5.9.3 Методы и средства к консервации и упаковки должны соответствовать требованиям ГОСТ 9.014-78 и обеспечивать сохранность компонентов системы без обслуживания в период складского хранения перед монтажом.

5.9.2 Требования к маркировке

5.9.2.1 Маркировка должна наноситься на доступных для обзора несъемных частях оборудования и аппаратуры, входящих в комплект Системы.

5.9.2.2 Надписи, цифры, буквы и знаки, нанесенные при маркировке, должны быть хорошо видны, и сохранять четкость в течение всего срока эксплуатации.

5.9.2.3 Маркировка упаковки для транспортирования должна содержать основные, дополнительные, информационные надписи и манипуляционные знаки: “Штабелирование ограничено”, “Хрупкое. Осторожно”, “Беречь от влаги” и т.п.

5.10 Требования к консервации, хранению и транспортированию

5.10.1 Составные части разрабатываемой Системы должны храниться в упакованном виде в отапливаемых и вентилируемых помещениях при температуре от 5 до 35 °С и относительной

влажности воздуха не выше 80 % (при температуре 25 °С) при отсутствии в этих помещениях конденсации влаги, паров химически активных веществ и источников электромагнитных полей;

5.10.2 Срок хранения компонентов разрабатываемой Системы в условиях отапливаемых хранилищ – в соответствии с паспортными данными на оборудование и аппаратуру, но не менее 5 лет.

5.10.3 Компоненты разрабатываемой Системы должны транспортироваться в упаковке:

- воздушным транспортом на любое расстояние;
- железнодорожным транспортом до 10000 км;
- автомобильным транспортом до 1000 км.

5.10.4 Условия транспортирования:

- температура окружающей среды: от минус 50 до 50 °С;
- относительная влажность до 95 % при температуре 30 °С;
- атмосферное давление от 84 до 107 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.);
- воздействие ударных нагрузок многократного действия с пиковым ускорением не более 15g (147 м/с^2) при длительности действия ударного ускорения 10–15 мс.

5.10.5 Гарантийный срок хранения компонентов разрабатываемой Системы в заводской упаковке в отапливаемом помещении - не менее одного года.

5.10.6 Подготовка оборудования и аппаратуры к консервации и консервация должны производиться в соответствии с требованиями ГОСТ 9.014-78.

5.10.7 Упаковка Прибора должна производиться в частично разобранном виде и выполняться после консервации.

5.10.8 На компонентах разрабатываемой Системы должны быть прикреплены таблицы по ГОСТ 12969-67, на которых должно быть указано следующее:

- 1) наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;
- 2) наименование оборудования и аппаратуры с обозначением типа;
- 3) дата выпуска.

5.11 Требования стандартизации, унификации и каталогизации

5.11.1 Разработка должна вестись с учетом технической и экономически обоснованной унификации, стандартизации и взаимозаменяемости используемых деталей и узлов.

5.11.2 В составных частях разрабатываемой Системы должна быть сведена к минимуму номенклатура используемых видов оборудования и аппаратуры.

5.11.3 Используемые конструктивы должны быть унифицированы во всех составных частях разрабатываемой Системы.

5.11.4 Для электропитания составных частей разрабатываемой Системы должно использоваться минимальное количество номинальных значений питающих напряжений.

6 ТРЕБОВАНИЯ ПО ВИДАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

6.1 ТРЕБОВАНИЯ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

6.1.1 Метрологическое обеспечение разрабатываемой Системы должно включать в себя совокупность организационных мероприятий, технических средств, требований, положений, правил, норм и методик, необходимых для обеспечения единства измерений и требуемой точности измерений и вычислений.

6.1.2 Метрологическое обеспечение разрабатываемой Системы должно отвечать требованиям ГОСТ 8.009.

6.1.3 Методики выполнения измерений, применяемые для контроля параметров разрабатываемой Системы при испытаниях и эксплуатации, должны соответствовать требованиям ГОСТ 8.010.

6.1.4 Испытательное оборудование должно быть аттестовано по ГОСТ Р 8.568-97.

6.1.5 Метрологическое обеспечение разрабатываемой Системы осуществляется в процессе:

1) проектирования - проведением метрологической экспертизы конструкторской документации;

2) изготовления - проведением испытаний оборудования с целью утверждения типа средств измерений, входящих в состав Системы, в соответствии с МИ 2441-97;

3) внедрения Системы - приемкой из монтажа и наладки с проведением метрологической аттестации измерительных каналов АСУ ТП Системы;

4) эксплуатации ПТК - путем поверки и /или калибровки измерительного комплекса Системы, осуществлением метрологического надзора.

6.2 Требования по программному обеспечению

6.2.1 В состав программного обеспечения (ПО) АСУ ТП разрабатываемой Системы должны входить следующие программные подсистемы и компоненты:

- система управления базами данных (заимствуется);

- аутентификации и управления иерархией прав доступа (дорабатывается на стадии технического проекта);

- модуль обработки данных средств измерений (разрабатывается)

6.2.1 Для АСУ ТП разрабатываемой Системы должно быть разработано программное обеспечение в составе:

- управляющая программа;

- программное обеспечение для аутентификации и управления иерархией прав доступа;

- программа, реализующая модели работы с данными и управление системой;

- программное обеспечение, реализующее распределенную систему управления базами данных (СУБД);

- программа управления мониторингом основных функций Системы;
- информационные программные средства.

6.2.2 Общие требования к специальному ПО:

- ПО должно быть написано на языке программирования высокого уровня.

6.2.3 Прикладное ПО должно иметь открытую, сертифицированную архитектуру построения в виде законченных алгоритмов и функциональных модулей.

6.2.4 Разрабатываемый пакет программ должен работать под управлением операционной системы WINDOWS на персональных компьютерах со следующими параметрами:

- размер оперативной памяти – не более 250 Мб;
- тактовая частота процессора – не более 1,2 ГГц.

6.2.5 Интерфейс пользователя должен обеспечивать визуализацию рабочего процесса. Язык интерфейса пользователя – русский;

6.2.6 Программное обеспечение должно обеспечивать возможность:

- управления комплексом оборудования Системы;
- управления функцией аварийно-предупредительной сигнализации и блокировок, предотвращающих аварийный выход оборудования из строя;
- управления функцией архивирования контролируемых параметров Системы;
- регистрацию параметров Системы с заданным интервалом времени;
- регистрацию аварийных событий в Системе в течение расчетных промежутков времени в предаварийном и поставарийном режимах;
- прогнозирования состояния технологического оборудования и комплекса аппаратуры АСУ ТП;
- ведения журнала (лог-файла).

6.2.7 Требования к надёжности программного комплекса

Программный комплекс должен устойчиво функционировать и обеспечивать работоспособность Системы САПХ в следующих ситуациях:

- изменение конфигурации программно-аппаратных средств, не влекущей за собой переустановку основной операционной системы компьютера;
- ошибки во входных данных;
- некритические сбои и отказы технических и программных средств компьютера, не ведущих к его перезагрузке и переустановке основной операционной системы;
- СПО должно обеспечивать защиту от ошибок оператора;
- СПО должно обеспечивать вывод сообщений об ошибках и автоматическое ведение

журнала ошибок;

- СПО должно обеспечивать автоматическое восстановление текущего режима и параметров работы при аварийном завершении программы.

6.2.8 Требования к информационной безопасности

Информационная безопасность должна обеспечиваться:

- сертифицированными средствами защиты от несанкционированного доступа к хранимым данным;

- сертифицированными средствами разграничения доступа к данным зарегистрированных пользователей;

- сохранением последних по времени данных при аппаратно-программных сбоях;

- информационным предупреждением от ошибок оператора;

- обеспечением защиты от вирусов.

7 ТРЕБОВАНИЯ К ДОКУМЕНТАЦИИ

7.1 Виды, состав и комплектность технической документации установлены "Перечнем технической документации, разрабатываемой в рамках государственного контракта", приведенной в Приложении 3 к настоящему техническому заданию.

7.2 Техническая (конструкторская, технологическая, программная, эксплуатационная) документация должна соответствовать требованиям стандартов ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД.

7.3 Перечень технической и другой отчетной документации, подлежащей оформлению и сдаче Исполнителем Заказчику на этапах выполнения работ, определяется требованиями настоящего технического задания и нормативными актами.

7.4 Техническая и другая отчетная документация представляется Заказчику или уполномоченной им организации на бумажном носителе в двух экземплярах и в электронном виде на оптическом носителе в одном экземпляре.

8 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

8.1 ТРЕБОВАНИЯ К ИСПЫТАНИЯМ

8.1.1 Для подтверждения и проверки выбранных конструктивно-схемных, конструктивно-технологических и технических решений, а также требований надежности и других, предъявляемых к опытному образцу разрабатываемой Системы, его составным частям (сборочным единицам) должны быть изготовлены и испытаны следующие макеты.

1) На этапе Эскизного проекта:

а) макет блока форсунок для получения снеговой массы;

б) макет теплообменника «снег – воздух».

2) На этапе Технического проекта:

а) макет устройства автоматического регулирования температуры в охлаждаемых помещениях;

б) макет АСУ ТП Системы САПХ.

8.1.2 Испытания макетов должны быть проведены по утвержденным программам и методикам головного исполнителя ОКР.

8.1.3 Для подтверждения соответствия разрабатываемой продукции требованиям настоящего технического задания и нормативно-технической документации должны быть проведены следующие испытания опытного образца разрабатываемого Комплекса:

1) предварительные испытания с целью предварительной оценки соответствия опытного образца требованиям настоящего технического задания, а также для определения готовности опытного образца к приемочным испытаниям;

2) государственные приемочные испытания с целью оценки всех определенных настоящим техническим заданием характеристик Системы САПХ, проверки и подтверждения соответствия опытного образца требованиям настоящего технического задания в условиях, максимально приближенных к условиям реальной эксплуатации разрабатываемой Системы, а также для принятия решений о возможности его промышленного производства и реализации.

8.1.4 Для проведения испытаний должно быть изготовлено следующее количество опытных образцов разрабатываемой Системы:

1) для предварительных испытаний – 2 шт.;

2) для государственных приемочных испытаний - 2 шт.

8.1.5 Предварительные испытания опытного образца должны быть проведены по утвержденной программе и методикам головного исполнителя ОКР.

8.1.6 Государственные приемочные испытания опытного образца должны быть проведены по утвержденной программе и методикам головного исполнителя ОКР, согласованным с Заказчиком.

8.1.7 Для обеспечения испытаний должны быть разработаны следующие средства:

1) испытательный стенд, предназначенный для проверки характеристик разрабатываемой Системы САПХ по разделу 5 настоящего технического задания;

2) отладочный стенд, предназначенный для настройки и отладки оборудования и программного обеспечения АСУ ТП разрабатываемой Системы.

8.1.8 Место проведения испытаний должны быть определены в Программе и методиках соответствующих испытаний.

8.2 ТРЕБОВАНИЯ К РАБОТАМ, ВЫПОЛНЯЕМЫМ С УЧАСТИЕМ ИНОСТРАННЫХ ПАРТНЕРОВ

Участие иностранных партнеров не планируется

9 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

9.1 ОСНОВНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

9.1.1 Разрабатываемая Система САПХ должна обеспечить:

- стимулирование внедрения и использования эффективных, оптимальных по стоимости систем сезонного аккумулирования природного холода;
- создание унифицированного решения для организации АСУ ТП Систем САПХ;
- обеспечение маркетинго-рекламной информации для широкого внедрения Систем САПХ в ближайшей перспективе.

9.1.2 Разрабатываемая Система должна быть ориентирована на коммерческое применение в различных сельскохозяйственных и пищевых производственных процессах:

- хранение больших объемов продукции во фруктохранилищах, в овощехранилищах при температурах 0...14 °С;
- дозревание фруктов в охлажденных камерах при температурах 10...20 °С;
- хранение молока и молочной продукции при температурах 5...8 °С;
- предпродажное хранение мясных и рыбных продуктов без заморозки – при температурах 2...4 °С;
- хранение рассады сельхозрастений при температурах 10...15 °С;
- хранение черенков и саженцев плодовых деревьев при температурах 5...10 °С;
- хранение срезанных цветов декоративных культур при температурах 5...8 °С;
- хранение пищевой массы в консервной промышленности при температурах 3...7 °С;
- хранение готовой пищевой продукции (колбасы, сыры, полуфабрикаты и т.п.) на складах торгово-закупочных предприятий.

Другая область применения коммерческого применения Систем САПХ – кондиционирование воздуха в помещениях жилых и общественных зданий и сооружений.

Свою нишу технологии аккумулирования природного холода могут найти и в технологических процессах химических и нефтехимических производств: при получении азота, азотной кислоты, азотных удобрений, аммиака, бутилкаучука и др., где диапазон рабочих температур простирается от -20 до +7 °С.

9.1.3 Должны быть проведены маркетинговые исследования состояния рынка разрабатываемых

мой продукции и разработано обоснование социально-экономической эффективности использования результатов проекта;

9.1.4 Должен быть разработан бизнес-план производства разработанной продукции. Бизнес-план должен быть разработан в соответствии с требованиями «Методических рекомендаций по оценке эффективности инвестиционных проектов».

9.2 ТРЕБОВАНИЯ К ДОСТИЖЕНИЮ ПРОГРАММНЫХ ИНДИКАТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В процессе выполнения ОКР должны быть достигнуты следующие значения программных индикаторов.

| Наименование | ед. изм. | Год | | | |
|---|----------|------|------|------|------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Индикаторы | | | | | |
| И2.N ¹ .1 Число разработанных технологий, соответствующих мировому уровню либо превосходящих его | единиц | | 1 | | |
| И2.N.2 Число завершённых проектов, перешедших в стадию коммерциализации ² | единиц | | | 1 | |
| И2.N.3 Число патентов ³ (в том числе международных) на результа- | единиц | | 2 | 2 | |

¹ В обозначениях индикаторов N выбирается в соответствии с номером мероприятия Программы и равен 2, 3, 4, 5, 6.

² Переход проектов в стадию коммерциализации должен быть подтверждён:

- для проектов, выполняемых в рамках мероприятия 2.7 (3.2) – Актом передачи комплекта завершённой разработкой документации Инициатору проекта для полномасштабной коммерциализации;
- для остальных проектов - Актом о присвоении литеры «О₁» комплекту разработанной документации или Актом по результатам государственных приемочных (опытно-промышленных испытаний) испытаний или другим документом, установленным для соответствующей отрасли, свидетельствующим о завершении разработки и её пригодности для промышленного освоения.

³ Под термином «патент» понимаются следующие документы (далее именуемые "Охранный документ") на результаты интеллектуальной деятельности (далее – РИД):

- для изобретения, полезной модели, промышленного образца, селекционного достижения – патент и зарегистрированная заявка на выдачу патента;
- для программ для ЭВМ, баз данных, топологии интегральных микросхем – свидетельство о регистрации (если во владении правами на РИД должна участвовать Российская Федерация) или документ, подтверждающий создание указанного РИД;
- для секретов производства (ноу-хау) – копия приказа на введение режима коммерческой тайны на соответствующие сведения.

Дата получения охранного документа (регистрации заявки) должна приходиться на период выполнения этапа проекта, по которому предоставляется отчет, но не ранее трех месяцев с даты начала работ.

Хотя бы один из авторов должен являться одним из исполнителей проекта.

РИД, на который оформляется охранный документ, должен соответствовать теме и требованиям технического задания и документации, разработанной в рамках выполнения проекта.

| | | | | | |
|--|---------|--|---|---|--|
| ты интеллектуальной деятельности, полученные в рамках выполнения комплексных проектов | | | | | |
| И2.N.4 Численность молодых специалистов ⁴ , привлеченных к проведению исследований в рамках комплексных проектов (докторов наук, кандидатов наук, докторантов, аспирантов, сотрудников без ученой степени, специалистов, студентов) | человек | | 4 | 3 | |
| И2.N.5 Число диссертаций на соискание ученых степеней, защищенных в рамках выполнения комплексных проектов ⁵ | единиц | | | 1 | |
| И2.N.6 Число публикаций ⁶ , со- | единиц | | 4 | 4 | |

⁴ Под «молодыми специалистами, привлеченными к выполнению исследований и разработок», понимаются работники не старше 35 лет включительно, имеющие высшее или среднее профессиональное образование, либо учащиеся последнего курса учреждения профессионального образования, в т.ч. начинающие самостоятельную работу, не имеющие опыта работы.

Время участия молодых специалистов в проведении исследований должно быть не менее двух недель непрерывно.

Один молодой специалист может быть учтен в течение отчетного года только один раз и на том отчетном этапе проекта, на котором он впервые в отчетном году был привлечен к участию в проекте. В последующие годы привлечение молодого специалиста к проведению исследований учитывается аналогичным образом

⁵ Под термином «защищённая диссертация» понимаются диссертационные работы, получившие положительное решение о присвоении учёной степени кандидата и доктора наук по результатам предварительного рассмотрения диссертации по месту ее выполнения или заседания диссертационного совета.

РИД, на который оформляется охранный документ, должен соответствовать теме и требованиям технического задания и документации, разработанной в рамках выполнения проекта.

Тематика и результаты диссертационной работы должны соответствовать результатам работ, полученным в рамках выполнения проекта.

Дата предварительного рассмотрения или защиты диссертации должна приходиться на период выполнения этапа проекта, но не ранее 6 месяцев с даты начала работ по проекту.

Автор диссертационной работы должен являться одним из исполнителей проекта.

⁶ Под публикацией понимается документ, доступный для массового использования, предназначенный для распространения содержащейся в нем информации, прошедший редакционно-издательскую обработку, имеющий выходные сведения. К ним относятся статьи и монографии;

Под ведущими научными журналами понимаются издания, приведенные в «Перечне ведущих рецензируемых научных журналов и изданий», формируемом Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации, а также электронные научные издания, зарегистрированные НТЦ «Информрегистр» в «Реестре электронных научных изданий» (<http://db.inforeg.ru/eni/vakList.asp>), публикации в которых приравниваются к опубликованным работам.

К зачёту принимаются монографии, изданные в научных издательствах и имеющие шифр ISBN;

Содержание публикации должно соответствовать результатам интеллектуальной деятельности, полученным в рамках выполнения проекта;

Дата публикации должна приходиться на период выполнения этапа проекта, по которому предоставляется отчет, но не ранее одного месяца с даты начала работ;

| | | | | | |
|---|--------------|--|--|--|--|
| держащих результаты интеллектуальной деятельности, полученные в рамках выполнения комплексных проектов | | | | | |
| Показатели | | | | | |
| Объем привлеченных внебюджетных ⁷ средств (не менее 48 % от общей стоимости работ в каждом году) | млн. руб. | | | | |
| Объем дополнительного производства новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции за счет коммерциализации созданных передовых технологий ⁸ | млн. руб. | | | | |

Хотя бы один из авторов публикации должен являться одним из исполнителей проекта.

⁷ Привлекаемые внебюджетные средства (ВБС) должны быть направлены на обеспечение выполнения работ, указанных в ТЗ, в том числе, направленных на вовлечение результатов исследований в хозяйственный оборот, включая:

- оплату подготовки заявки на охранный документ (патент, свидетельство);
- оплату государственных пошлин при подаче заявки на охранный документ;
- участие в мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию промежуточных и окончательных результатов ОКР (конференции, семинары, симпозиумы, выставки и т.п., в том числе, международные);
- расходы на проведение оценки РИД, полученных при выполнении ОКР, с целью их вовлечения в хозяйственный оборот;
- расходы на проведение маркетинговых исследований с целью изучения перспектив коммерциализации РИД, полученных при выполнении НИР;
- разработку бизнес-плана (БП), включающего сквозной сетевой график выполнения проекта в целом;
- технологическую подготовку производства для изготовления опытного образца (опытной партии);
- закупку необходимого технологического и контрольно-измерительного оборудования;
- разработку проектно-сметной документации (ПСД) на реконструкцию производства под серийное производство;
- выполнение строительно-монтажных работ (СМР) на производственных участках;
- оснащение технологических участков в соответствии с утвержденным планом реконструкции производства;
- организацию сбыта;
- пуско-наладочные работы (ПНР) на серийном технологическом оборудовании;
- организацию и ведение рекламной компании;
- маркетинговую работу на внешнем рынке;
- изготовление установочной партии;
- проведение квалификационных испытаний;
- сертификацию продукции;
- расходы на организацию новых рабочих мест исследователей и разработчиков;
- прочие не прямые (накладные) расходы.

Работы, закупки и др. мероприятия, финансируемые за счет ВБС, в состав работ по ТЗ не включаются, но должны быть отражены в Календарном плане отдельной строкой по каждому этапу работ.

⁸ В первый год по окончании проекта не менее 25% от общего объема бюджетного финансирования проекта. Во второй год по окончании проекта не менее 50% от общего объема бюджетного финансирования проекта

| | | | | | |
|--|-----------|--|---|----|----|
| Дополнительный объем экспорта высокотехнологичной продукции ⁹ | млн. руб. | | | | |
| Количество новых рабочих мест ¹⁰ , созданных в рамках реализации проектов, для высококвалифицированных работников ¹¹ | единиц | | 6 | 12 | 20 |

10 ТРЕБОВАНИЯ К ПАТЕНТНОЙ ЧИСТОТЕ И ПАТЕНТОСПОСОБНОСТИ

10.1 На этапах 1 и 2 проведения ОКР должны быть проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96.

10.2 Должны быть представлены сведения об охранных и иных документах, которые будут препятствовать применению результатов работ в Российской Федерации (и в других странах – по требованию заказчика), и условия их использования с представлением соответствующих обоснованных предложений и расчетов.

10.3 Патентная чистота на методы изготовления и конструктивные решения должна быть обеспечена в отношении Российской Федерации и стран, куда возможна поставка изделий, а также передача технической, информационной и другой документации.

10.4 РИД, полученные в ходе выполнения ОКР, подлежат регистрации и охране в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации.

11 ПЕРЕЧЕНЬ, СОДЕРЖАНИЕ, СРОКИ ВЫПОЛНЕНИЯ И СТОИМОСТЬ ЭТАПОВ

11.1 НАИМЕНОВАНИЕ ЭТАПОВ И ВЫПОЛНЯЕМЫЕ РАБОТЫ

Этап 1. Техническое предложение

1.1 Разработка и согласование с Заказчиком "Комплектности технической документации,

⁹ По окончании выполнения проекта.

¹⁰ Рабочим местом называется пространственная зона трудовой деятельности, оснащенная необходимыми основными и вспомогательными средствами; закрепленная за одним или группой работников для выполнения определенных производственных или управленческих работ; определенная на основании трудовых и других норм.

К высококвалифицированным работникам относятся следующие категории работников:

- имеющие диплом о высшем образовании;
- имеющие диплом о среднем профессиональном образовании по программе углубленной подготовки;
- имеющие диплом о начальном или среднем профессиональном образовании базового уровня в основной области и прошедшие переподготовку или повышение квалификации – решение по такой категории работников принимается индивидуально в каждом случае на основании соотнесения присвоенной работнику квалификации с тарифно-квалификационной сеткой, установленной для его профессии.

Новое рабочее место признаётся созданным при выполнении двух условий:

- издан приказ о введении в штатное расписание новой штатной единицы;
- издан приказ о зачислении работника в штат или по совместительству на вновь созданную штатную единицу.

¹¹ По окончании выполнения проекта

разрабатываемой в рамках государственного контракта" (далее Комплектность ТД).

1.2 Проведение патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011.

1.3 Разработка технического предложения, в том числе:

- проработка результатов предшествующих НИР;
- проработка результатов прогнозирования;
- предварительные расчеты;
- сравнительная оценка рассматриваемых вариантов;
- изготовление и испытания макетов;
- обоснование и выбор оптимального варианта (вариантов) технического решения

(решений).

1.4 Разработка технической документации в соответствии с согласованной Комплектностью ТД.

1.5 Оформление документации технического предложения в соответствии с ГОСТ 2.118-73, его рассмотрение и утверждение на научно-техническом совете.

1.6 Реализация мероприятий по достижению технико-экономических показателей (раздел 5 настоящего ТЗ).

1.7 Разработка отчетной документации в соответствии с требованиями Регламента.

Этап 2. Эскизный проект

2.1 Разработка эскизного проекта, в том числе:

- исследование, обоснование и формулировка назначения, области применения и основных технических характеристик Системы САПХ;
- конструкторская проработка вариантов возможных решений, выбор конструкции;
- изготовление и испытания макетов;
- проведение ориентировочных расчетов по показателям работоспособности, надежности изделия и экономическим показателям;
- оценка разрабатываемой Системы по показателям технологичности, стандартизации и унификации, эргономики и технической эстетики;
- проверка соответствия вариантов требованиям техники безопасности и производственной санитарии.

2.2 Проведение патентных исследований.

2.3 Разработка конструкторской, эксплуатационной документации в соответствии с согласованным Перечнем (комплектностью).

2.4 Оформление документации эскизного проекта в соответствии с ГОСТ 2.119-73, его рассмотрение и утверждение на научно-техническом совете.

2.5 Реализация мероприятий по достижению технико-экономических показателей.

2.6 Разработка отчетной документации в соответствии с требованиями Регламента.

Этап 3. Технический проект

3.1 Разработка технического проекта, в том числе:

- разработка конструктивных решений Комплекса и его составных частей;
- разработка и обоснование технических решений, обеспечивающих показатели надежности;
- выполнение необходимых расчетов;
- разработка, изготовление и испытание макетов;
- оценка соответствия Комплекса требованиям технического задания;
- оценка технологичности изготовления.

3.2 Разработка конструкторской, эксплуатационной документации в соответствии с согласованным Перечнем (комплектностью).

3.3 Оформление документации технического проекта в соответствии с ГОСТ 2.120-73, его рассмотрение и утверждение на научно-техническом совете.

3.4 Реализация мероприятий по достижению технико-экономических показателей.

3.5 Разработка отчетной документации в соответствии с требованиями Регламента.

Этап 4. Разработка рабочей конструкторской документации

4.1 Разработка конструкторской документации на Систему САПХ.

4.2 Разработка проектов ТУ и эксплуатационной документации.

4.3 Разработка технологической документации для изготовления опытного образца Системы.

4.4 Экспертиза разработанной рабочей конструкторской документации.

4.5 Разработка программы и методик предварительных испытаний.

4.6 Реализация мероприятий по достижению технико-экономических показателей (раздел 5 ТЗ).

4.7 Разработка отчетной документации в соответствии с требованиями Регламента.

Этап 5. Изготовление опытного образца и проведение предварительных испытаний

5.1 Подготовка опытного производства для изготовления опытного образца.

5.2 Изготовление специального оборудования для проведения предварительных испытаний.

5.3 Изготовление опытного образца Системы.

5.4 Проведение предварительных испытаний опытного образца.

5.5 Корректировка РКД Системы САПХ по результатам предварительных испытаний, присвоение РКД литеры "О".

5.6 Доработка опытных образцов Комплекса в целом по результатам предварительных испытаний.

5.7 Разработка программы и методик приемочных (государственных) испытаний.

5.8 Реализация мероприятий по достижению технико-экономических показателей (раздел 5 ТЗ).

5.9 Разработка отчетной документации в соответствии с требованиями Регламента.

Этап 6. Проведение приемочных (государственных) испытаний

6.1 Подготовка РКД и опытного образца Системы к приемочным (государственным) испытаниям.

6.2 Проведение приемочных (государственных) испытаний опытного образца Системы.

6.3 Проверка и оценка проектов ТУ и ЭД.

6.4 Корректировка РКД, ЭД Комплекса по результатам приемочных (государственных) испытаний, присвоение РКД литеры "О₁".

6.5 Доработка опытных образцов Комплекса по результатам приемочных (государственных) испытаний.

6.6 Реализация мероприятий по достижению технико-экономических показателей (раздел 5 ТЗ).

6.7 Разработка отчетной документации в соответствии с требованиями Регламента.

11.2 Сроки исполнения и финансирование по этапам

Перечень документов, разрабатываемых на этапах выполнения ОКР, сроки исполнения и контрактная цена приведены в календарном плане (приложение к государственному контракту).

12 Порядок выполнения и приемки этапов ОКР

12.1 Работа должна выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ 34.601-90, РД 50-680-88 (с учетом требований ГОСТ 15.005-86).

12.2 Сдача и приемка выполненных работ (этапов работ) осуществляется в порядке, установленном актами Заказчика, и в соответствии с требованиями настоящего технического задания.

Руководитель проекта, д.т.н.

О.С. Попель



**Перечень
технической документации, разрабатываемой в рамках ОКР
по теме:
«СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ СЕЗОННОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ПРИРОДНОГО
ХОЛОДА МОЩНОСТЬЮ ДО 300 кВт ДЛЯ КРУГЛОГОДИЧНОГО ХОЛОДО-
СНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ»**

1. Конструкторская документация

| № п.п. | Наименование документа | Код | Стадия разработки¹² по ГОСТ 2.103 | № этапа по КП |
|---------------|--|------------|---|----------------------|
| | <i>1 Система сезонного аккумулирования природного холода мощностью до 300 кВт для круглогодичного холодоснабжения сельскохозяйственных и жилых объектов (на Изделие в целом)</i> | | | |
| 1.1 | Пояснительная записка | ПЗ | ТПР, ЭП, ТП | 1,2,3 |
| 1.2 | Схема деления | Е1 | ТПР | 1 |
| 1.3 | Ведомость технического предложения | ПТ | ТПР | 1 |
| 1.4 | Ведомость эскизного проекта | ЭП | ЭП | 2 |
| 1.5 | Чертеж общего вида | ВО | ЭП | 2 |
| 1.6 | Габаритный чертеж | ГЧ | ЭП | 2 |
| 1.7 | Схема функциональная | С2 | ЭП | 2 |
| 1.8 | Схема структурная | С1 | ЭП | 2 |
| 1.9 | Ведомость технического проекта | ТП | ТП | 3 |
| 1.10 | Технические условия | ТУ | ТП | 3 |
| 1.11 | Ведомость покупных изделий | ВП | ТП | 3 |
| 1.12 | Ведомость разрешения применения покупных изделий | ВИ | ТП | 3 |
| 1.13 | Спецификация | | РКД | 4 |
| 1.14 | Ведомость спецификаций | ВС | РКД | 4 |
| 1.15 | Монтажный чертеж | МЧ | РКД | 4 |
| 1.16 | Электромонтажный чертеж | МЭ | РКД | 4 |
| 1.17 | Сборочный чертеж | СБ | РКД | 4 |
| 1.18 | Упаковочный чертеж | УЧ | РКД | 4 |
| 1.19 | Программа и методики предварительных испытаний | ПМ | РКД | 4 |
| 1.20 | Программа и методики приемочных (государственных) испытаний | ПМ | ПИ | 5 |
| 1.21 | Комплект конструкторской документации с литерой «О» | | ПИ | 5 |
| 1.22 | Комплект конструкторской документации с литерой «О ₁ » | | При | 6 |
| 1.23 | Каталожный лист продукции | | При | 6 |

¹² Стадии разработки обозначают «Техническое предложение» – «ТПР», «Эскизный проект» – «ЭП», «Технический проект» – «ТП», «Рабочая конструкторская документация» – «РКД», изготовление опытного образца и проведение предварительных испытаний «ПИ», проведение государственных приемочных испытаний «При».

| № п.п. | Наименование документа | Код | Стадия разработки ¹² по ГОСТ 2.103 | № этапа по КП |
|--|--|------|---|---------------|
| 1.24 | Патентный формуляр | | ТПР, ЭП, ТП, РКД, ПИ, При | 1,2,3,4,5,6 |
| 2 Конструкторская документация на каждую сборочную единицу | | | | |
| 2.1 | Спецификация | | РКД | 4 |
| 2.2 | Сборочный чертеж | СБ | РКД | 4 |
| 2.3 | Монтажный чертеж | МЧ | РКД | 4 |
| 2.4 | Электромонтажный чертеж | МЭ | РКД | 4 |
| 2.5 | Схема функциональная | С2 | РКД | 4 |
| 2.6 | Комплект чертежей деталей | | РКД | 4 |
| 2.7 | Комплект конструкторской документации с литерой «О» | | ПИ | 5 |
| 2.8 | Комплект конструкторской документации с литерой «О ₁ » | | При | 6 |
| 3 Документы эксплуатационные | | | | |
| 3.1 | Руководство по эксплуатации | РЭ | РКД | 4 |
| 3.2 | Формуляр | ФО | РКД | 4 |
| 3.3 | Ведомость ЗИП | ЗИ | РКД | 4 |
| 3.4 | Ведомость эксплуатационных документов | ВЭ | РКД | 4 |
| 3.5 | Комплект эксплуатационной документации с литерой «О» | | ПИ | 5 |
| 3.6 | Комплект эксплуатационной документации с литерой «О ₁ » | | При | 6 |
| 4 Эскизная конструкторская документация (для изготовления спецоборудования по ТЗ и макетов) | | | | |
| 4.1 | Схема структурная | С1 | [...] | [...] |
| 4.2 | Схема функциональная | С2 | [...] | [...] |
| 4.3 | Схема электрических соединений и подключения | ЭО | [...] | [...] |
| 4.4 | Формуляр | ФО | [...] | [...] |
| 5 Макеты системы САПХ и ее узлов (на каждый макет) | | | | |
| 5.1 | Схема структурная макета (при наличии работ по макетированию) | С2 | [...] | [...] |
| 5.2 | Схема функциональная макета (при наличии работ по макетированию) | С1 | [...] | [...] |
| 5.3 | Схема принципиальная (электрическая, оптическая и т.п.) | Э... | [...] | [...] |
| 5.4 | Перечень элементов | ПЭ | [...] | [...] |
| 5.5 | Спецификация | | [...] | [...] |
| 5.6 | Сборочный чертеж | СБ | [...] | [...] |
| 5.7 | Программа и методика испытания макета (при наличии работ по макетированию) | ПМ | [...] | [...] |

2. Программная документация

| № п.п. | Наименование документа | Код | Стадия разработки по ГОСТ 19.102 | № этапа по КП |
|---|---|-----|----------------------------------|---------------|
| 2.1 Общее и специальное программное обеспечение АСУ ТП Системы САПХ | | | | |
| 2.1.1 | Пояснительная записка | 81 | ТПР, ЭП, ТП | 1, 2, 3 |
| 2.1.2 | Спецификация | | РКД | 4 |
| 2.2 Программные компоненты ОПО и СПО АСУ ТП Системы САПХ (на каждый программный компонент) | | | | |
| 2.2.1 | Спецификация | | | |
| 2.2.2 | Текст программы | 12 | РКД | 4 |
| 2.2.3 | Описание программы | 13 | РКД | 4 |
| 2.3 Документы эксплуатационные | | | | |
| 2.3.1 | Описание применения | 31 | РКД | 4 |
| 2.3.2 | Руководство системного программиста | 32 | РКД | 4 |
| 2.3.3 | Руководство программиста | 33 | РКД | 4 |
| 2.3.4 | Руководство оператора | 34 | РКД | 4 |
| 2.3.5 | Комплект программной документации с литерой «О» | | ПИ | 5 |
| 2.3.6 | Комплект программной документации с литерой «О ₁ » | | При | 6 |

3. Технологическая документация

| № п.п. | Наименование документа | Усл. обозн. по ГОСТ 3.1102 | Стадия разработки | № этапа по КП |
|--------|--|----------------------------|-------------------|---------------|
| 3.1 | Маршрутная карта изготовления опытного образца | МК | РКД | 4 |
| 3.2 | Маршрутная карта изготовления опытного образца с литерой «О» | МК | ПИ | 5 |
| 3.3 | Маршрутная карта изготовления опытного образца с литерой «О ₁ » | МК | При | 6 |

Приложение Б
**Сводный расчет стоимости сооружения традиционной холодильной
установки с компрессорами FRASCOLD**

СВОДНЫЙ РАСЧЕТ СТОИМОСТИ
сооружения традиционной холодильной установки с компрессорами FRASCOLD
(наименование стройки)

Составлен в ценах по состоянию на III кв. 2012 года

тыс. руб.

| Обоснование | Наименование глав, объектов, работ и затрат | Стоимость | | | | Общая стоимость |
|---|--|--------------------|-----------------|----------------------------------|---------------|-----------------|
| | | строительных работ | монтажных работ | оборудования, мебели и инвентаря | прочих затрат | |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| По данным исполнителей работ и поставщиков оборудования | Глава 1. Подготовка территории строительства | 42,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 42,00 |
| | Итого по главе 1: | 42,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 42,00 |
| | Глава 2. Основные объекты строительства Комплект оборудования поставки ООО "ПИФАГОР" | 520,00 | 416,00 | 2080,00 | 0,00 | 3016,00 |
| | Вспомогат. оборудование и трубопроводная арматура | 0,00 | 52,00 | 520,00 | 0,00 | 572,00 |
| | Устройство теплоизоляции воздуховодов, трубопроводов и арматуры с использованием покрытия MASCOAT [®] | 340,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 340,00 |
| | Система автоматического управления | 0,00 | 82,00 | 820,00 | 0,00 | 902,00 |
| | Короба вентсистем, трубопроводы и пр. | 800,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 800,00 |
| | Итого по главе 2: | 1660,00 | 550,00 | 3420,00 | 0,00 | 5630,00 |
| | Глава 3. Объекты подсобного и обслуживающего назначения | 300,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 300,00 |
| | Итого по главе 3: | 300,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 300,00 |
| | Глава 4. Объекты энергетического хозяйства | 61,00 | 122,00 | 1220,00 | 0,00 | 1403,00 |
| | Итого по главе 4: | 61,00 | 122,00 | 1220,00 | 0,00 | 1403,00 |
| | Глава 5. Объекты транспортного хозяйства и связи | | | | | |

| | | | | | | | |
|--|---|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| | Автомобили | 85,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 85,00 |
| | Итого по главе 5: | 85,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 85,00 |
| | Глава 6. Внешние инженерные сети | | | | | | |
| | Водоснабжение и водоотведение | 20,00 | 200,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 220,00 |
| | Электроснабжение | 36,00 | 90,00 | 360,00 | 0,00 | 0,00 | 486,00 |
| | Итого по главе 6: | 56,00 | 290,00 | 360,00 | 0,00 | 0,00 | 706,00 |
| | Глава 7. Благоустройство и озеленение территории | | | | | | |
| | Итого по главе 7: | 50,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 50,00 |
| | Итого по главам 1-7: | 2254,00 | 962,00 | 5000,00 | 0,00 | 0,00 | 8216,00 |
| | Глава 8: Временные здания и сооружения | | | | | | |
| | Временные здания и сооружения | 123,97 | 52,91 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 176,88 |
| | Итого по главе 8: | 123,97 | 52,91 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 176,88 |
| | Справочно: В том числе возврат материалов: | 18,60 | 7,94 | | | | 26,53 |
| | Итого по главам 1- 8: | 2377,97 | 1014,91 | 5000,00 | 0,00 | 0,00 | 8392,88 |
| | Глава 9. Прочие работы и затраты | | | | | | |
| | Дополнительные затраты при производстве | | | | | | |
| | строительно-монтажных работ в зимнее время | 76,10 | 32,48 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 108,57 |
| | Премия за ввод построенных объектов | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 96,70 | 96,70 |
| | Пусконаладочные работы | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 250,00 | 250,00 |
| | Средства на покрытие затрат строительных организаций по платежам на добровольное страхование | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 101,79 | 101,79 |
| | Итого по главе 9: | 76,10 | 32,48 | 0,00 | 0,00 | 448,48 | 557,06 |
| | Итого по главам 1- 9: | 2454,07 | 1047,39 | 5000,00 | 448,48 | 448,48 | 8949,94 |
| | Глава 10. Содержание службы заказчика-застройщика (технического надзора) строящегося предприятия | | | | | | |
| | Содержание дирекции (технического | | | | | | |
| | Приложение 2 к приказу | | | | | | |

| | | | | | | | |
|--|--|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Росстроя от 15.02.2005 №36 1, 10% | надзора) строящегося предприятия | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 98,45 | 98,45 |
| | Итого по главе 10: | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 98,45 | 98,45 |
| | Итого по главам 1-10 | 2454,07 | 1047,39 | 5000,00 | 5000,00 | 546,93 | 9048,38 |
| | Глава 11. Подготовка эксплуатационных кадров Подготовка кадров | | | | | 200,00 | 200,00 |
| | Итого по главе 11: | | | | | 200,00 | 200,00 |
| | Итого по главам 1-11 | 2454,07 | 1047,39 | 5000,00 | 5000,00 | 746,93 | 9248,38 |
| | Глава 12. Проектные и изыскательские работы Проектные работы (10 % от п.27) Изыскательские работы (2 % от п.27) Авторский надзор 0,2% от затрат по гл.1...9 (п.25) | 0 0 | 0 0 | 0 0 | 0 0 | 904,84 180,97 | 904,84 180,97 |
| МДС 81-35.2004 п.12.3; 0,2% Постановление Пра- вительства от 05.03.07 г. № 145 3,06% | Авторский надзор 0,2% от затрат по гл.1...9 (п.25) Затраты на проведение экспертизы проекта 3,06% от ПИР | | | | | 17,90 | 17,90 |
| | Итого по главе 12: | | | | | 27,69 | 27,69 |
| | Итого по главам 1-12: | 2454,07 | 1047,39 | 5000,00 | 5000,00 | 1131,39 | 1131,39 |
| Справочно: 10% | Резерв средств на непредвиденные работы и затраты | 245,41 | 104,74 | 500,00 | 500,00 | 187,83 | 1037,98 |
| 18% | Итого по сводному расчету: в том числе справочно: возврат материалов НДС | 2699,47 18,60 485,90 | 1152,13 7,94 207,38 | 5500,00 990,00 | 5500,00 990,00 | 2066,16 371,91 | 11417,76 26,53 2055,20 |
| 1,18 | Всего по сводному расчету с НДС в ценах на III кв.2012 года: в том числе справочно: возврат материалов с НДС | 3185,38 21,94 | 1359,51 9,37 | 6490,00 | 6490,00 | 2438,07 | 13472,95 31,31 |

Приложение В
**Сводный расчет стоимости. Установка аккумулялирования природного
холода холодильной емкостью 100 МВтч**

СВОДНЫЙ РАСЧЕТ СТОИМОСТИ
Установка аккумулялирования природного холода холодильной емкостью 100 МВтч
(наименование стройки)

Составлен в ценах по состоянию на III кв. 2012 года

Тыс. руб.

| № п.п. | Обоснование | Наименование глав, объектов, работ и затрат | Стоимость | | | | Общая стоимость |
|--------|---|--|--------------------|-----------------|----------------------------------|---------------|-----------------|
| | | | строительных работ | монтажных работ | оборудования, мебели и инвентаря | прочих затрат | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | По данным исполнительных работ и поставщиков оборудования | Глава 1. Подготовка территории строительства | 50,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 50,00 |
| | | Итого по главе 1: | 50,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 50,00 |
| | | Глава 2. Основные объекты строительства | | | | | |
| 2 | | Насосы дозирочные НД2,5-800-25К14 (12 комплектов) | 18,20 | 13,00 | 260,00 | 0,00 | 291,20 |
| 3 | | Вентиляторы ВО14-320-12,5 (12 комплектов) | 0,00 | 7,00 | 140,00 | 0,00 | 147,00 |
| 4 | | Форсунки снегообразующие (тип 1 - 240 комплектов) | 0,00 | 7,50 | 150,00 | 0,00 | 157,50 |
| 5 | | Пучки трубные с U-образными трубами (12 комплектов) | 0,00 | 12,50 | 250,00 | 0,00 | 262,50 |
| 6 | | Вспомогат. оборудование и трубопроводная арматура | 0,00 | 18,00 | 180,00 | 0,00 | 198,00 |
| 7 | | Рытье котлована объемом 150 м ³ экскаватором типа ЭО-3323А (обратная лопата) с ковшом емкостью 0,5 м ³ | 17,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 17,30 |
| 8 | | Отвозка грунта самосвалом 5 т на расстояние до 2 км (600 Т-км) | 36,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 36,70 |
| 9 | | Железобетонные работы при сооружении фундамента объемом 80 м ³ для установки резервуара | 800,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 800,00 |
| 10 | | Монтаж резервуара стального вертикального объемом 2000 м ³ на бетонном фундаменте | 0,00 | 440,00 | 2200,00 | 0,00 | 2640,00 |

| | | | | | | | | | |
|----|--|---|----------------|---------------|----------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| 11 | | Устройство теплоизоляции и гидроизоляции резервуара 1100 м ² , воздуховодов, трубопроводов и арматуры с использованием покрытия MASCOAT [®] | 730,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 730,00 |
| 12 | | Система автоматического управления | 0,00 | 92,00 | 920,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1012,00 |
| 13 | | Короба вентсистем, трубопроводы и пр. | 430,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 430,00 |
| | | Итого по главе 2: | 2032,20 | 590,00 | 4100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6722,20 |
| 14 | | Глава 3. Объекты подсобного и обслуживающего назначения | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | Итого по главе 3: | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 15 | | Глава 4. Объекты энергетического хозяйства | 21,50 | 43,00 | 430,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 494,50 |
| | | Итого по главе 4: | 21,50 | 43,00 | 430,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 494,50 |
| | | Глава 5. Объекты транспортного хозяйства и связи | | | | | | | |
| 16 | | Автодороги | 98,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 98,00 |
| | | Итого по главе 5: | 98,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 98,00 |
| 17 | | Глава 6. Внешние инженерные сети | 230,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 230,00 |
| 18 | | Водоснабжение и водоотведение | 5,90 | 14,75 | 59,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 79,65 |
| | | Электроснабжение | | | | | | | |
| | | Итого по главе 6: | 235,90 | 14,75 | 59,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 309,65 |
| 19 | | Глава 7. Благоустройство и озеленение территории | 55,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 55,00 |
| | | Итого по главе 7: | 55,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 55,00 |
| - | | Итого по главам 1-7: | 2492,60 | 647,75 | 4589,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 7729,35 |
| 20 | ГСН 81-05-01-2001 прил.1 п.2 т.ч п.2.1 5,50% | Глава 8: Временные здания и сооружения | 137,09 | 35,63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 172,72 |
| | | Временные здания и сооружения | | | | | | | |
| | | Итого по главе 8: | 137,09 | 35,63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 172,72 |
| | | Справочно: В том числе возврат материалов: | 20,56 | 5,34 | | | | | 25,91 |
| | | Итого по главам 1- 8: | 2629,69 | 683,38 | 4589,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 7902,07 |
| 21 | ГСН 81-05-02 2001, прил.1, п.50 Т.4, Р.2 п.2.1 3,20% | Глава 9. Прочие работы и затраты | 84,15 | 21,87 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 106,02 |
| | | Дополнительные затраты при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время | | | | | | | |
| 22 | Письмо Минтруда и Минстроя России от | Премия за ввод построенных объектов | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 94,42 | 94,42 |

| | | | | | | | |
|----|---|---|--|---|--|--|---|
| 23 | 15.03.93 г. № 463-РБ, №7-13/32 р.И, п.3. 2,85% Справочно 5% | Пусконаладочные работы | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 229,45 | 229,45 |
| 24 | МДС 81-35-2004 г. Прил.8 п.9.9 0,2% | Средства на покрытие затрат строительных организаций по платежам на добровольное страхование Итого по главе 9: | 0,00 84,15 | 0,00 21,87 | 0,00 0,00 | 6,63 330,50 | 6,63 436,52 |
| 25 | | Итого по главам 1-9: Глава 10. Содержание службы заказчика- застройщика (технического надзора) строящегося предприятия Содержание дирекции (технического надзора) строящегося предприятия | 2713,84 | 705,24 | 4589,00 | 330,50 | 8338,59 |
| 26 | Приложение 2 к приказу Росстроя от 15.02.2005 №36 1,10% | Итого по главе 10: | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 91,72 | 91,72 |
| 27 | | Итого по главам 1-10 | 2713,84 | 705,24 | 4589,00 | 422,22 | 8430,31 |
| 28 | | Глава 11. Подготовка эксплуатационных кадров Подготовка кадров | | | | 200,00 | 200,00 |
| 29 | | Итого по главе 11: | | | | 200,00 | 200,00 |
| 30 | | Итого по главам 1-11 | 2713,84 | 705,24 | 4589,00 | 622,22 | 8630,31 |
| 31 | | Глава 12. Проектные и изыскательские работы Проектные работы (10 % от п.27) Изыскательские работы (2 % от п.27) | 0 0 | 0 0 | 0 0 | 843,03 168,61 | 843,03 168,61 |
| 32 | МДС 81-35.2004 п.12.3; 0,2% | Авторский надзор 0,2% от затрат по гл.1...9 (п.25) | | | | 16,68 | 16,68 |
| 33 | Постановление Правительства от 05.03.07 г. № 145 3,06% | Затраты на проведение экспертизы проекта 3,06% от ПИР | | | | 25,80 | 25,80 |
| 34 | | Итого по главе 12: | | | | 1054,11 | 1054,11 |
| 35 | Справочно: 10% | Итого по главам 1-12: Резерв средств на непредвиденные работы и затраты Итого по сводному расчету: в том числе справочно: возврат материалов НДС | 2713,84 271,38 2985,23 | 705,24 70,52 775,77 | 4589,00 458,90 5047,90 | 1676,33 167,63 1843,97 | 9684,42 968,44 10652,86 |
| 36 | 18% | | 20,56 537,34 | 5,34 139,64 | 908,62 | 331,91 | 25,91 1917,52 |
| 37 | | Всего по сводному расчету с НДС в ценах на III кв.2012 года: | 3522,57 | 915,41 | 5956,52 | 2175,88 | 12570,38 |

| | | | | | | |
|--|------|--|-------|------|--|-------|
| | 1,18 | В том числе справочно: возврат материалов с НДС | 24,27 | 6,31 | | 30,57 |
|--|------|--|-------|------|--|-------|

Приложение Г

Методика расчета основных элементов системы распыла



МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ РАСПЫЛА

Представленная методика базируется на результатах экспериментальных исследований распылителей воды (форсунок) а также модельных испытаний элементов системы распыла и данных по намораживанию льда на модельных поверхностях в условиях принудительного обдува холодным воздухом.

Опорные цифры являют собой определенный компромисс между параметрами в очень многих случаях разнонаправленного действия. В силу этого обстоятельства они могут быть подвергнуты корректировке применительно к конкретной ситуации заданного объекта.

1 Холодильная производительность объекта (аккумулятора льда) Q_x определяется техническим заданием на объект.

2 На основании климатических данных (климатических карт) оценивается средняя продолжительность периода $\tau_{\leq 5}$ с температурой ниже -5°C , находятся средняя температура наружного воздуха за этот период $t_{\text{вср}}$ и $\Delta t_{\text{вср}} = (-t_{\text{вср}} - 2)$ – глубина охлаждения несущего охлаждающего воздуха.

3 Определяется продолжительность времени намораживания τ_n . Она должна быть меньше $\tau_{\leq 5}$. Согласно оценкам оптимальное по эксплуатационным затратам τ_n составляет 15 дней (360 часов). Если $\tau_{\leq 5} < 30$ дней, то величина τ_n принимается равной $(0,5 \dots 0,6) \tau_{\leq 5}$

4 Определяется скорость намораживания Q_n

$$Q_n = \frac{Q_x}{\tau_n K_n}, \quad (1)$$

где K_n – коэффициент использования намораживающей установки, $K_n = 0,7 \dots 0,75$.

5 Выбирается производительность одиночного распылителя (форсунки) G_f . Выбор осуществляется, исходя из необходимости получения капель диаметром менее 50 мкм при давлении перед распылителем 3...4 МПа и с учетом склонности факела капель малого размера к «шнурованию». Оценки показали, что оптимальное значение

$$G_f = 1 \dots 1,5 \text{ г/с.}$$

Центробежные форсунки такой производительности генерируют капли диаметром менее 25 мкм.

6 Предпочтительный тип форсунки – центробежная с углом раскрытия факела 60°.

7 Отношение расходов охлаждающего воздуха и замораживаемой воды рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{G_{\text{возд}}}{G_{\text{вод}}} = \frac{r_{\text{пл}} + C_{\text{р,вод}} \delta t_{\text{вод}}}{C_{\text{р,возд}} \Delta t_{\text{возд}}} = \frac{r_{\text{аа}}}{C_{\text{р,возд}} \Delta t_{\text{возд}}}, \quad (2)$$

где $r_{\text{пл}}$ – скрытая теплота плавления (замерзания) льда, ~ 300 кДж/кг, $C_{\text{р,вод}}$ и $C_{\text{р,возд}}$ – теплоемкости воды и воздуха; δt – превышение распыливаемой водой температуры замерзания (0°C); $\Delta t_{\text{возд}}$ – глубина охлаждения несущего охлаждающего воздуха.

Для первичной оценки K можно принять равным 0,060...0,085 м³ воздуха на 1 г воды, что соответствует $t_{\text{охл}} = -5...-7^\circ\text{C}$.

8 Скорость охлаждающего воздуха выбирается из условия обеспечения приемлемой длины пути замерзания частиц воды $l_{\text{зам}}$. Она составляет 4...6 м/с. Такая скорость обеспечивает также приемлемое время замерзания капель воды $\tau_{\text{зам}}$.

Для ориентировочной оценки этих параметров можно использовать графики рис. 1 и 2.

При скорости 5 м/с интенсивность намораживания льда составит 70...80 г/(м²с) или $g_n \sim 250$ мм/ч.

9 Факел распыла, содержащий капли диаметром менее 50 мкм, имеет склонность к «шнурованию» в потоке воздуха. Поэтому при выборе «площади обслуживания» одной форсунки производительностью $G_{\text{ф}} = 1...1,5$ г/с следует ориентироваться на струю воздуха диаметром 120...150 мм.

Выбор оптимальных характеристик системы распыла является многопараметрической задачей, сильно зависящей от конкретных условий. Поэтому приведенные выше цифры следует не как строго регламентирующие, а как, своего рода, рекомендации.

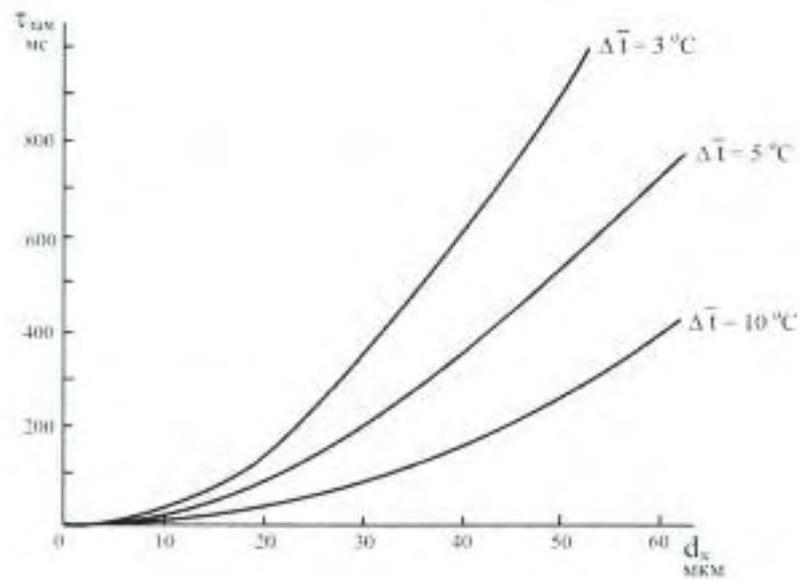


Рисунок 1 – Зависимость времени замерзания капле воды от диаметра капли и разности между температурой капли и температурой замерзания.

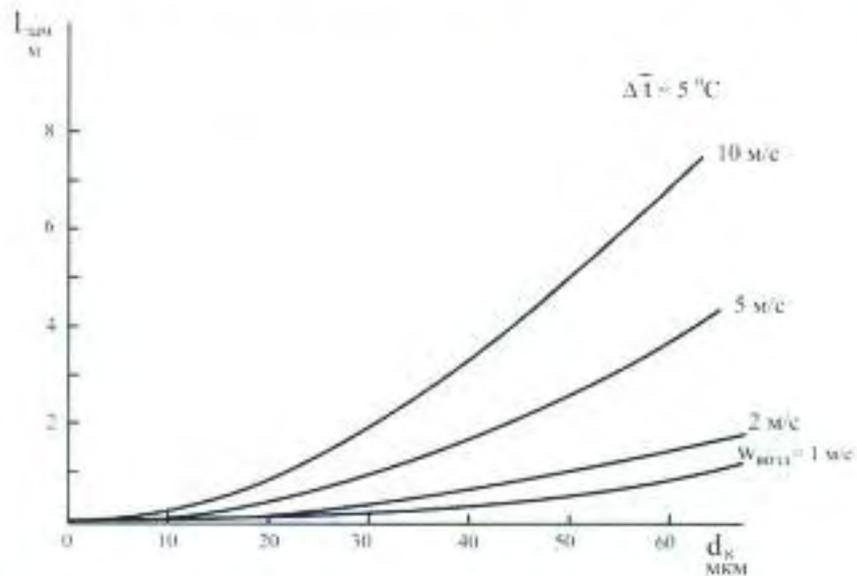


Рисунок 2 – Зависимость длины пути замерзания капле от их диаметра и скорости охлаждающего воздуха.

Исполнители

Зав. отделом ОИВТ РАН, д.т.н.

Ю.А. Зейгарник

В.н.с. ОИВТ РАН, к.ф.-м.н.

В.Л. Низовский