

На правах рукописи



Осипова Наталия Николаевна

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
РЕГИОНАЛЬНЫХ И ПОСЕЛКОВЫХ СИСТЕМ СНАБЖЕНИЯ
СЖИЖЕННЫМ ГАЗОМ**

05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Пенза –2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Официальные оппоненты:

Кушев Леонид Анатольевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Сотникова Ольга Анатольевна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», и. о. заведующего кафедрой проектирования зданий и сооружений им. Н. В. Троицкого

Щелоков Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск

Защита состоится «24» марта 2016 года в 14.30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.184.02 при ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» и на сайте <http://dissovet.pguas.ru/>.

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бикунова Марина Викторовна

Актуальность работы. В настоящее время в мире ежегодная реализация сжиженных углеводородных газов (СУГ) для нужд промышленности, нефтехимических производств, автомобильного хозяйства, жилищного и коммунально-бытового сектора составляет около 290 млн. тонн, в том числе около 16 млн. тонн в Российской Федерации. При этом около половины реализуемого газа приходится на долю коммунально-бытового потребления и жилищно-коммунального хозяйства. В современной России на базе СУГ газифицировано 9,77 млн. квартир, в том числе в городах 4,32 млн. квартир и 5,45 млн. квартир в сельской местности.

Большинство сельского населения в РФ используют баллонный сжиженный углеводородный газ. Главным недостатком баллонного газоснабжения является ограниченная паропроизводительность установок при значительном остаточном уровне газа в баллоне, что не позволяет использовать газовое топливо на нужды отопления и горячего водоснабжения, а также низкая надежность эксплуатации, особенно при наружной установке баллонов.

Наиболее эффективную форму снабжения потребителей сжиженным газом углеводородным обеспечивают подземные резервуарные установки. Последние используются в качестве индивидуальных или централизованных источников поселковых систем снабжения сжиженным газом. В то же время, сооружение резервуарных установок требует значительных материальных и финансовых ресурсов. На их долю приходится свыше 70% затрат по устройству систем газоснабжения. В этой связи разработка и обоснование ресурсосберегающих решений для систем резервуарного газоснабжения является важным резервом повышения их экономической эффективности.

В настоящее время подавляющее большинство резервуарных установок у потребителей работают по принципу естественной регазификации, используя тепло окружающего грунтового массива. Существенным недостатком резервуарных систем с естественной регазификацией является низкая паропроизводительность и, как следствие, значительная металлоемкость на единицу испаренного газа. Указанное обстоятельство обуславливает применение указанных установок преимущественно в области децентрализованного газоснабжения.

В системах централизованного газоснабжения при повышенных объемах потребляемого газа резервуарные установки, как правило, оборудуются специальными теплообменниками – испарителями СУГ. Значительная энергоемкость процессов регазификации в сочетании с высокой стоимостью энергоносителей побуждает изыскивать эффективные технические решения по снижению энергетических затрат в системах с искусственной регазификацией СУГ. Важным резервом повышения эффективности резервуарных установок является применение комбинированной регазификации СУГ, позволяющей максимально использовать естественную испаритель-

ную способность резервуаров в общем балансе генерации паровой фазы, подаваемой потребителю.

Многолетняя практика эксплуатации резервуарных систем газоснабжения свидетельствует о том, что указанные системы в холодный период времени года не всегда обеспечивают надежное газоснабжение вследствие образования ледяных и гидратных пробок в дросселирующих органах регуляторов давления. Большинство применяемых в газовой практике технических решений и мероприятий по предупреждению ледяных и гидратных пробок в системах резервуарного газоснабжения не всегда гарантируют надежную эксплуатацию редуцирующих головок резервуарных установок. В этой связи, разработка и обоснование рациональных технических решений по предупреждению указанных негативных явлений способствует повышению надежности и безопасности систем резервуарного газоснабжения.

Современные системы снабжения населенных пунктов сжиженным газом представляют сложный технологический комплекс, включающий в себя заводы-поставщики СУГ, газонаполнительные станции (ГНС), поселковые и объектовые системы газоснабжения. Проблема эффективного функционирования и развития систем газораспределения и газопотребления на базе сжиженного газа требует комплексной и системной проработки с учетом многообразия структурно-технологических связей и технико-экономических аспектов исследуемой проблематики. В общей структуре затрат в реализацию СУГ по комплексу: завод-потребитель более 70% занимают затраты в сооружение и эксплуатацию поселковых систем газоснабжения и в сопряженные с ними региональные (межпоселковые) системы газораспределения.

В этой связи, проблема совершенствования и развития указанных подсистем газоснабжения приобретает первостепенное значение, а ее реализация является важным резервом повышения эффективности всей газораспределительной отрасли Российской Федерации.

Изложенные выше соображения определяют актуальность научно-технической проблемы и ее научную и практическую значимость для развития поселковых систем газоснабжения на базе сжиженного углеводородного газа.

Степень разработанности темы исследований.

Вопросы эффективного снабжения потребителей сжиженным углеводородным газом широко освещаются в научных публикациях зарубежных и отечественных авторов В.П. Богданова, А.Ф. Вильямса, А.П. Клименко, Н.Н. Морозовой, Н.И. Никитина, Н.И. Преображенского, Д.Б. Робинсона, Н.Л. Стаскевича и др.

Однако эти исследования, проведенные во второй половине прошлого века, выполнены преимущественно в технологическом аспекте без должного внимания технико-экономическому анализу. Предложенные ав-

торами рекомендации и технические решения разработаны на уровне техники предыдущего поколения, в других экономических условиях, зачастую носят фрагментарный характер, базируются на частных предпосылках и не могут быть востребованы в должной мере в условиях современной газовой практики.

В этой связи, формирование научно-методических основ эффективного функционирования и развития систем снабжения СУГ невозможно без комплексной постановки задачи исследований, учета влияния внешних факторов и связей, обеспечивающих системное решение проблемы и включающих вопросы снижения ресурсоемкости систем газоснабжения, выбор наилучшей структуры снабжения потребителей сжиженным углеводородным газом, определение оптимальных схем и режимов функционирования газоснабжающих систем, повышение надежности систем газораспределения.

Таким образом, реализация указанной комплексной задачи является важным резервом повышения эффективности всей системы снабжения сжиженным газом.

Диссертационная работа выполнялась на кафедре «Теплогазоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. в соответствии со следующими планами и программами:

- научно-исследовательской работой «Моделирование и оптимизация энергосберегающих систем газо-, теплоснабжения и строительной климатотехники», СГТУ-344;

- тематическим планом госбюджетной НИР по внутривузовскому заказ-наряду 11В «Разработка современных технологий и материалов для обеспечения энергоресурсосбережения, надежности и безопасности объектов архитектурно-строительного комплекса»;

- программой стратегического развития СГТУ имени Гагарина Ю.А. на 2012-2016 годы. Создание Научно-исследовательского и образовательного центра «Энергоэффективность газораспределения и газопотребления».

В соответствии с изложенным **цель работы** заключается в разработке научно-обоснованных положений и методов проектирования эффективных систем снабжения сельских поселков сжиженным газом, направленных на повышение экономичности, надежности и безопасности использования газового топлива.

Задачи исследований. Поставленная цель реализуется путем решения следующего ряда взаимосвязанных **задач**:

- разработка рекомендаций по применению баллонного газоснабжения с учетом заданной обеспеченности климатических условий эксплуатации и расчетной величины газопотребления;

- разработка и обоснование ресурсосберегающих технических реше-

ний резервуарных установок сжиженного углеводородного газа;

- разработка и обоснование энергоэффективных технических решений испарительных установок сжиженного углеводородного газа;

- разработка и обоснование технических решений по предупреждению кристаллизации влаги в регуляторах давления СУГ с целью повышения надежности эксплуатации резервуарных установок;

- моделирование и обоснование схемно-параметрических решений поселковых систем газоснабжения на базе резервуарных установок сжиженного углеводородного газа;

- моделирование и обоснование схемно-параметрических решений региональных (межпоселковых) систем снабжения сжиженным углеводородным газом;

- выбор масштабов и зон применения сжиженного углеводородного газа при газификации сельских населенных пунктов.

Научная новизна.

1. На основе комплексных исследований схемно-параметрических решений обеспечения потребителей газовым топливом разработаны научные основы расчета и проектирования региональных и поселковых систем снабжения СУГ.

2. С применением основных положений параметрической оптимизации разработана математическая модель, позволяющая определить конструктивные и технологические параметры подземных резервуарных установок, оценить величину годового газопотребления и обосновать оптимальный типоряд вертикальных резервуаров сжиженного углеводородного газа, максимально адаптированный к потребностям современной газовой практики.

3. Методом электротепловой аналогии решена задача тепловой интерференции подземных вертикальных резервуаров сжиженного газа при их групповом размещении в грунте. По результатам корреляционного анализа получена зависимость для определения коэффициента тепловой интерференции с учетом оптимальной компоновки подземных вертикальных резервуаров на территории резервуарного парка, обеспечивающей минимум капитальных вложений в расчете на единицу испаренного газа.

4. На основе уравнений тепловых балансов при естественной и комбинированной регазификации сжиженного углеводородного газа и уравнения газового состояния паровой подушки в подземном резервуаре, разработана математическая модель, позволяющая определить долю естественной испарительной способности резервуара сжиженного углеводородного газа в общем объеме паропроизводительности.

5. С учетом условий кристаллизации влаги в зависимости от компонентного состава СУГ, структуры парожидкостного потока, степени его насыщения влагой, температуры, давления, теплофизических и термодинамических параметров, разработана математическая модель дросселиро-

вания влагосодержащего сжиженного газа в регуляторах давления резервуарных установок с естественной регазификацией сжиженного углеводородного газа.

6. Для различных климатических зон предложено математическое обоснование оптимальной теплозащиты трубопроводной обвязки редуцирующих головок резервуаров, обеспечивающей подачу в регуляторы давления перегретых паров СУГ.

7. На основе системного подхода к учету комплекса климато-технологических факторов разработана математическая модель оптимальной централизации поселковых систем снабжения сжиженным газом. Методом критических точек выявлены рациональные области применения централизованных и децентрализованных систем газоснабжения в зависимости от плотности населения на газифицируемой территории.

8. С учетом специфических особенностей формирования двухступенчатых газораспределительных систем, предусматривающих доставку резервуарного газа с газонаполнительных станций и баллонного газа через сеть газонаполнительных пунктов, предложена математическая модель оптимального функционирования региональных (межпоселковых) систем газоснабжения.

9. Разработаны рекомендации по выбору зон рационального применения природного и сжиженного газа при газификации сельской местности. Предложено и обосновано применение критерия, характеризующего удаленность населенного пункта от магистралей сетевого природного газа и разграничивающего области рационального использования альтернативных видов топлива.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость диссертационных исследований заключается в разработке методов расчета и научном обосновании новых технических решений для реализации мероприятий по снижению материало- и ресурсоемкости резервуарных установок СУГ, повышению надежности, экономичности, безопасности распределения и использования сжиженного углеводородного газа, а именно:

- в разработке математической модели, позволяющей обосновать оптимальные конструктивные параметры вертикальных резервуаров сжиженного углеводородного газа;

- в получении зависимости для определения коэффициента тепловой интерференции с учетом оптимальной компоновки подземных вертикальных резервуаров на территории резервуарного парка;

- в разработке математической модели, позволяющей определить долю естественной испарительной способности резервуара сжиженного углеводородного газа в общем объеме паропроизводительности;

- в разработке математической модели дросселирования влагосодержащего сжиженного газа в регуляторах давления резервуарных установок

при естественной регазификации сжиженного углеводородного газа в подземных резервуарах;

- в разработке научно обоснованных алгоритмов оптимального функционирования систем газоснабжения населенных пунктов на базе резервуарных установок сжиженного углеводородного газа и региональных систем газоснабжения на базе двухступенчатых схем от газонаполнительных станций через сеть газонаполнительных пунктов.

- в разработке рекомендаций по выбору зон рационального применения природного и сжиженного газа при газификации сельской местности.

Практическая значимость диссертационных исследований заключается в разработке новых технических решений, методов проектирования, алгоритмов и программ расчета элементов и систем газоснабжения на базе СУГ, реализующих мероприятия по повышению надежности, экономичности, безопасности распределения и использования сжиженного углеводородного газа.

Результаты диссертационной работы внедрены в виде нормативных отраслевых документов в практику проектирования и эксплуатации систем газоснабжения Главным научно-исследовательским и проектным институтом по использованию газа в народном хозяйстве ГипроНИИгаз (приказы о внедрении №342 от 30.09.2010, №278 от 24.06.2011, №318 от 06.09.2012, №413а от 01.11.2012, №220 от 16.06.2014, №250 от 30.06.2014).

Методические положения по повышению надежности резервуарных систем газоснабжения с естественной регазификацией СУГ реализованы в национальном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р 54982-2012 «Системы газораспределительные. Объекты сжиженных углеводородных газов. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация»:

- раздел 9 (подпункты 9.1.1.16 и 9.1.4.5) в части мероприятий по предупреждению конденсато- и гидратообразования в системах резервуарного снабжения сжиженным углеводородным газом.

С учётом разработанных теоретических положений предложено схемное решение установки вертикальных резервуаров оптимального типа в грунтовом массиве с устройством обратной песчаной засыпкой с помощью перемещаемой опалубки, защищенное патентом на изобретение №2495196 «Способ монтажа подземных вертикальных цилиндрических резервуаров».

На основе экспериментальных исследований разработано техническое решение предупреждения кристаллизации влаги в регуляторах давления, сочетающее в себе перегрев паров СУГ в расходных резервуарах и изоляцию трубопроводной обвязки, защищенное патентом на изобретение №2476759 «Система снабжения сжиженным газом».

Представленные в работе рекомендации по оптимальному функционированию и развитию поселковых и региональных систем газоснабжения использованы в практике проектирования, строительства и реконструкции

объектов на базе СУГ в Российской Федерации (Саратовской, Липецкой, Воронежской, Курской Тамбовской областях) и республики Казахстан организациями ОАО «Гипрониигаз», ООО «Еврогалс», ТОО «Имсталькон», ООО «Экострой», ООО «Газрегионзащита». Акты внедрения диссертационных исследований свидетельствуют о значительном экономическом эффекте мероприятий, предлагаемых автором.

Разработанные программные продукты, позволяющие уменьшить трудоемкость работ и увеличить точность определяемых параметров исследуемых систем, апробированы и получили положительные отзывы в проектных организациях.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования диссертационной работы базируются на использовании фундаментальных положений тепломассообмена, термодинамики, методах математического моделирования, оптимизации параметров и широком использовании ЭВМ.

Экспериментальные исследования основываются на современных методах физического моделирования на опытно-промышленных образцах и лабораторных стендах. Обработка результатов эксперимента проводилась с использованием фундаментальных положений теории вероятностей и математической статистики.

Положения, выносимые на защиту

1. Ресурсосберегающие технические решения подземных резервуарных установок, позволяющие обеспечить экономию материальных и денежных затрат в их сооружение за счет применения резервуаров с вертикальным размещением в грунтовом массиве и устройства обратной песчаной засыпки с помощью перемещаемой опалубки.

2. Теоретические и экспериментальные исследования взаимного теплового влияния вертикальных подземных резервуаров СУГ при их групповом размещении в грунте, позволяющие выявить зависимость для определения коэффициента тепловой интерференции с учетом оптимальной компоновки подземных вертикальных резервуаров на территории резервуарного парка.

3. Математическая модель комбинированной регазификации в резервуарных установках с искусственным испарением СУГ, позволяющая определить долю естественной испарительной способности резервуара сжиженного углеводородного газа в общем объеме паропроизводительности и результаты ее экспериментальной апробации.

4. Математическая модель дросселирования влагосодержащего сжиженного углеводородного газа в регуляторах давления резервуарных установок с естественной регазификацией, обосновывающая условия образования кристаллизации влаги и образования гидратов.

5. Новое техническое решение по предупреждению кристаллизации влаги за счет естественного перегрева паров в расходных резервуарах и теоретическое обоснование оптимальной теплозащиты трубопроводной

обязки редуцирующих головок резервуаров.

6. Математические модели оптимального функционирования поселковых систем газоснабжения на базе подземных резервуарных установок и обоснование рациональных схемных решений по обеспечению потребителей газовым топливом.

7. Математическая модель оптимального функционирования региональных (межпоселковых) систем снабжения сжиженным газом с обоснованием эффективных направлений их совершенствования.

8. Экономико-математическая модель обоснования рациональной области применения сжиженного углеводородного газа в условиях развитой газотранспортной системы на базе сетевого природного газа и методические рекомендации по выбору альтернативных видов газообразного топлива при газификации сельской местности.

Достоверность результатов диссертационной работы Использование современных методов теоретических и экспериментальных исследований, применяемых в диссертационной работе, обеспечивает достоверность результатов и выводов. Результаты сопоставления теоретических исследований с данными экспериментов, проводимых в натуральных и лабораторных условиях, подтверждают их удовлетворительное совпадение. Достоверность разработанных методик расчетов и полученных зависимостей подтверждается результатами внедрения в реальную практику газовыми хозяйствами.

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались:

- на научно-технических конференциях, совещаниях и семинарах ППС СГТУ имени Гагарина Ю.А.;

- на международных конференциях, в том числе «Проблемы и перспективы развития строительства в XXI веке» (г. Магнитогорск, 2002), «Научное пространство - Европа» (г. София, 2008), «Нефтегаз-Интехэко-2009» (г. Москва, 2009), «Новейшие научные достижения -2009» (г. София, 2009), «Энерго- и ресурсосбережение XXI век» (г. Орел, 2009), «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции» (г. Москва, 2007, 2009, 2011, 2015), «Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах» (г. Пенза, 2010), «Энергетика в глобальном мире» (г. Красноярск, 2010), «Актуальные проблемы современного строительства» (г. Санкт-Петербург, 2010, 2011), «Распределение и использование газа - инновационные технологии, материалы, оборудование» (г. Саратов, 2011), «Энергосбережение в системах тепло и газоснабжения. Повышение энергетической эффективности» (г. Санкт-Петербург, 2012), «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность» (г. Томск, 2012); «Стратегические вопросы мировой науки» (г. Белград, 2013); «Новые задачи технических наук и пути их решения» (г. Уфа, 2014);

- на всероссийских конференциях, в том числе «Актуальные пробле-

мы современного строительства» (г. Пенза, 2001), «Использование нового оборудования, новых технологий, технологических процессов при газораспределении и газопотреблении» (г. Саратов, 2007), «Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья» (г. Тольятти, 2009), «Моделирование и создание объектов энергоресурсосберегающих технологий» (г. Волжский, 2009), «Теплогазоснабжение: состояние, проблемы, перспективы» (г. Оренбург, 2011); «Ресурсоэффективные технологии в строительном комплексе региона» (г. Саратов, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015).

Публикации.

Основные положения диссертации изложены в 124 опубликованных работах объемом 38,75 п.л., из них 28,13 п.л. принадлежат лично автору, в том числе 26 работ, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Личное участие автора состоит в разработке научно-обоснованного и концептуального подхода к обеспечению эффективного функционирования и развития газификации страны на базе сжиженного углеводородного газа с учетом проработки вопросов оптимизации на основе системного технико-экономического анализа, включающих получение, анализ и обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований и их внедрение в практику газораспределительных организаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертация содержит: 357 страниц машинописного текста, 51 рисунок, 41 таблицу, 15 приложений, список литературы из 365 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна и практическая значимость работы, основные положения, выносимые на защиту и результаты апробации.

В первой главе рассмотрены основные тенденции и перспективы развития систем снабжения сжиженным газом. Проведен анализ востребованности СУГ в России и в мире. Установлено, что потребление СУГ в качестве источника газового топлива в промышленности, на автомобильном транспорте и в коммунально-бытовом хозяйстве имеет устойчивую тенденцию развития. Массовое строительство загородных домов, коттеджных поселков, объектов спортивного и туристического характера обуславливает широкое развитие инженерной инфраструктуры с использованием автономных систем газоснабжения, в том числе и на базе СУГ.

Общая структура системы обеспечения населения РФ сжиженным углеводородным газом включает в себя совокупность взаимосвязанных подсистем газоснабжения различного территориально-иерархического

уровня, обеспечивающих эффективное снабжение потребителей газовым топливом, как то системы газоснабжения федерального уровня (СГФУ), системы снабжения регионального уровня (СГРУ), поселковые системы газоснабжения (ПСГ) (рисунок 1).

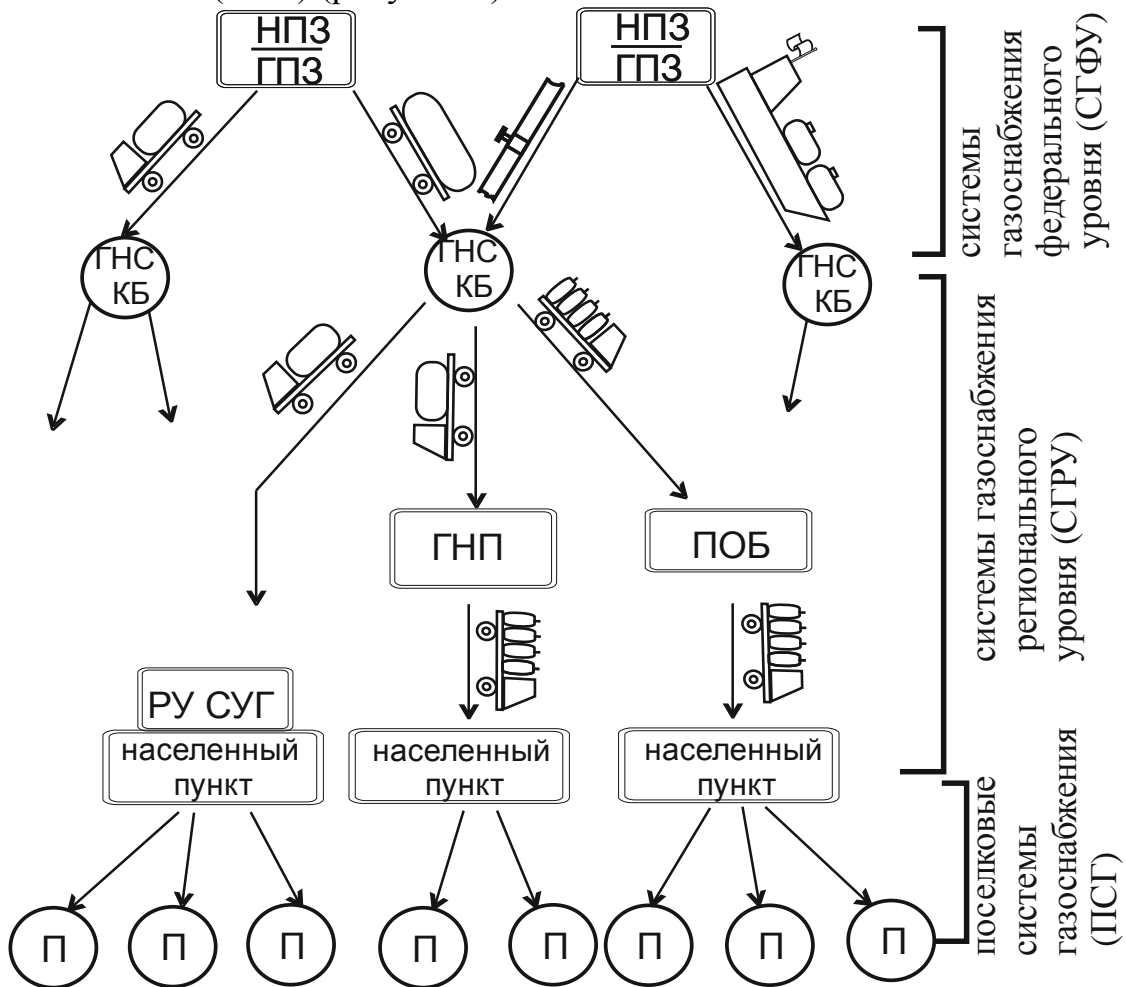
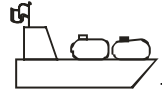



Рисунок 1 – Структура обеспечения потребителей СУГ: НПЗ – нефтеперерабатывающий завод; ГПЗ – газоперерабатывающий завод; ГНС – газонаполнительная станция; КБ – кустовая база; РУ СУГ – резервуарная установка сжиженного углеводородного газа; ГНП – газонаполнительный пункт; ПОБ – пункт обмена баллонов.

 – баллоновоз;  – автоцистерна;  – трубопровод;

 – морской(речной) транспорт;  – железнодорожная цистерна.

Как видно из рисунка 1, системы СГФУ обеспечивают доставку СУГ с НПЗ (ГПЗ) на ГНС (КБ). Доставка СУГ с заводов на ГНС (КБ) осуществляется железнодорожным, автомобильным, морским (речным) или трубопроводным транспортом. Системы СГРУ включают в себя ГНС (КБ, ГНП, ПОБ), осуществляющие прием продукта, поступающего с нефтегазоперерабатывающих заводов и его хранение, а также заправку емкостей различ-

ного объема для последующей доставки СУГ потребителям до резервуарных установок автоцистернами или пункта выдачи баллонов населенных пунктов баллоновозами. В населенных пунктах обеспечение потребителей СУГ осуществляется ПСГ представляющими собой децентрализованные системы газоснабжения, формируемые на базе индивидуальных баллонных (резервуарных) установок или централизованных систем газоснабжения на базе централизованных РУ СУГ с подачей газа потребителям через систему распределительных газопроводов.

Необходимо отметить, что климатические условия Российской Федерации ограничивают применение наземных резервуарных установок и наружных баллонных установок СУГ. Это обусловливается тем, что вследствие низких температур наружного воздуха в холодный период времени года в холодной и умеренно-холодной климатических зонах, в сосудах невозможно обеспечить избыточное давление для устойчивой и надежной работы установок регазификации даже на марке СУГ пропан технический. В умеренно-теплой климатической зоне наружные газобаллонные установки в зимних условиях эксплуатации, требуют высокого остаточного уровня заполнения сосуда газом (не менее 12% при минимальном уровне и не менее 45% при максимальном уровне обеспеченности газопотребления) и наличия газа с высоким содержанием пропана, не ниже марки пропан технический (рисунок 2).

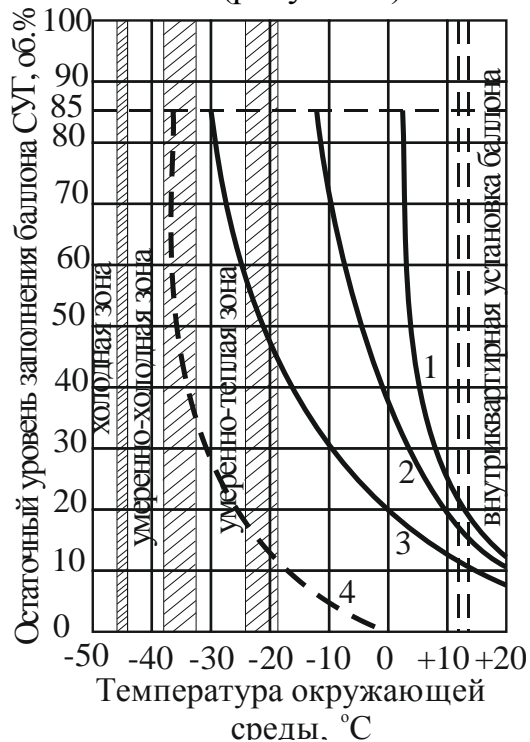


Рисунок 2. Остаточный уровень заполнения баллона сжиженным газом:

1 – сжиженный газ марки бутан технический; 2 – сжиженный газ марки пропан-бутан технический; 3 – сжиженный газ марки пропан технический; 4 – сжиженный газ марки пропан технический.

— — — — — максимальная обеспеченность газопотребления;

- - - - - минимальная обеспеченность газопотребления.

Таким образом применение наружного размещения баллонных установок может быть рекомендовано только для сезонного использования в теплое время года. В то же время, эффективным направлением развития баллонных систем газоснабжения в условиях заданного уровня обеспеченности газопотребления является ликвидация наружных установок и экс-

плуатация баллонов при внутриквартирной установке с обязательным соблюдением необходимого остаточного уровня заполнения сосуда газом.

Анализ надежности снабжения населения сжиженным газом от баллонных установок с внутриквартирным размещением показал, что остаточный уровень газа в баллоне при максимальной обеспеченности газопотребления должен поддерживаться не менее 10-20% от его полного заполнения в зависимости от компонентного состава СУГ. Минимальная обеспеченность газопотребления (наличие в баллоне избыточного давления) имеет место при любом остаточном уровне и компонентном составе газа. В то же время, ограниченная паропроизводительность баллонных установок позволяет использовать СУГ только на цели пищевого приготовления, исключая отопление и горячее водоснабжение зданий.

При повышенном газопотреблении (использование газа на пищевое приготовление, горячее водоснабжение и отопление зданий) рекомендуется использовать подземные резервуарные установки сжиженного углеводородного газа с естественной и искусственной регазификацией СУГ.

В этой связи, применение РУ СУГ является важным резервом повышения эффективности и надежности систем снабжения, сжиженным углеводородным газом в целом и перспективным направлением их развития и совершенствования.

Во второй главе представлены результаты научных исследований по разработке и обоснованию ресурсосберегающих технических решений резервуарных установок сжиженного газа. Практика сооружения систем газоснабжения на базе подземных резервуаров СУГ показывает, что необходим значительный комплекс трудоемких работ, как то земляные работы по устройству котлована, фундаментов под резервуары, монтаж емкостей, обратная засыпка сосудов песчаным грунтом, вывоз грунта в отвал и т.д. Данное обстоятельство с учетом высокой материало- и капиталоемкости самих резервуаров, определяет значительную стоимость систем снабжения СУГ, т.к. стоимость возведения резервуарных установок составляет около 70% стоимости поселковой системы газоснабжения. Применение в практике эксплуатации вертикальных подземных цилиндрических резервуаров, с использованием нового схемного решения установки вертикальных резервуаров в грунтовой массе с частичной обратной засыпкой котлована песком в перемещаемую металлическую опалубку, способствует уменьшению капиталоемкости и материалоемкости резервуарных установок (патент на изобретение № 2495196). В то же время, эффективное применение РУ СУГ на базе подземных вертикальных резервуаров требует научного обоснования и разработки методических рекомендаций по выбору их оптимальных конструктивных параметров, таких как объем одиночного резервуара, его геометрических размеров и количества одиночных резервуаров в групповой резервуарной установке, в зависимости от годового газопотребления газифицируемых объектов.

В целях обоснования оптимальных конструктивных решений подземных резервуарных установок, на основе положений параметрической оптимизации, разработана математическая модель, использующая в качестве критерия оптимальности минимум интегральных дисконтированных затрат в сооружение и эксплуатацию резервуарной установки

$$Z = f[V_p((d;l)Q_{\text{год}};n)] = \min, \quad (1)$$

с учетом ограничений по управляющим и задаваемым параметрам:

$$0,9 \leq d \leq 1,8; 1,5 \leq l \leq 2,2; 2,0 \leq Q_{\text{год}} \leq 100; 2 < n,$$

где V_p – объем одиночного резервуара, м^3 ; d, l – диаметр и длина резервуара, м , n – количество резервуаров в составе групповой резервуарной установки, шт; $Q_{\text{год}}$ – объем годового потребления газа от резервуаров, т/год .

Развернутые зависимости элементов функционала (1) приводятся в диссертационной работе соискателя. В результате численной реализации математической модели методом вариантных расчетов предложен ряд типоразмеров подземных вертикальных резервуаров СУГ максимально адаптированный к современным требованиям потребителей в условиях реальной газовой практики (таблица 1).

Таблица 1 - Основные технические параметры подземных вертикальных резервуаров СУГ

Параметр	Характеристики резервуара			
	РПВ-0,96	РПВ-1,45	РПВ-2,6	РПВ-4,7
Геометрический объем резервуара $V_p, \text{м}^3$	0,96	1,45	2,6	4,7
Внутренний диаметр $d, \text{мм}$	900	1000	1200	1800
Толщина стенки корпуса и днищ, мм	6	6	6	8
Длина резервуара по эллиптическим днищам $l, \text{мм}$	1819	2050	2070	2100
Формфактор резервуара $\Phi = l_{\text{ц}} / d$	1,55	1,5	1,37	0,87

Оценка сравнительной эффективности применения схемного решения установки резервуаров в грунтовом массиве с обратной засыпкой песком в перемещаемую опалубку на базе вертикальных резервуаров предлагаемого типоряда представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Сравнительная эффективность подземных РУ СУГ

Сравниваемые параметры	Резервуар	
	горизонтальный	вертикальный
1	2	3
Объем одиночного резервуара, м^3	2,75	2,6
Общий объем РУ СУГ, м^3	5,5	5,2

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Металлоемкость РУ СУГ, кг	1383	1084
Снижение металлоемкости РУ, %	-	21,6
Объем песка для обратной засыпки котлована, м ³	39,9	17,7
Уменьшение объема песка, %	-	55,5
Отчуждаемая территория под размещение РУ СУГ, м ²	32,6	26,4
Уменьшение отчуждаемой территории, %	-	19
Суммарная длина ограждения РУ СУГ, м	21,3	17,6
Уменьшение длины ограждения, %	-	17,4

В результате проведенных исследований установлено, что применение подземных вертикальных резервуаров СУГ различного объема в сочетании с предлагаемым схемным решением установки резервуаров в грунтовом массиве обуславливает значительную экономию материальных средств при сооружении резервуарных установок.

В третьей главе приводятся результаты разработки и обоснования энергоэффективных технических решений испарительных установок сжиженного газа. Проведенный сравнительный анализ способов регазификации СУГ, позволил обосновать наиболее эффективные схемы снабжения потребителей сжиженным газом. На основании технико-экономических исследований установлено, что при организации поселковых систем снабжения сжиженным газом наиболее предпочтительно применение:

- централизованных систем газоснабжения на базе резервуарных установок с подземными вертикальными резервуарами, оборудованными электрическими испарителями с промежуточным теплоносителем;
- децентрализованных систем газоснабжения на базе индивидуальных резервуарных установок с подземными вертикальными резервуарами с естественной регазификацией СУГ в самих расходных резервуарах с использованием природного тепла грунта.

В целях повышения надежности эксплуатации системы газоснабжения, к установке у потребителя необходимо предусматривать не менее двух резервуаров СУГ. В то же время, групповое размещение резервуаров на территории резервуарного парка обуславливает их взаимное тепловое влияние (тепловую интерференцию), которое снижает паропроизводительность как одиночного резервуара, так и всей резервуарной установки в целом.

Изучение вопросов взаимного теплового влияния цилиндрических полостей в полуограниченном массиве приводится в научных трудах И.А. Иоффе, Е.П. Шубина, Э.М. Андреевой, Н.И. Никитина, Н.И. Преображенского, Б.Н. Курицына. В то же время, теоретические предпосылки, положенные в основу соответствующих аналитических зависимостей определения коэффициентов тепловой интерференции справедливы для протя-

женных сосудов с большим отношением длины к диаметру при фиксированном расстоянии между ними, что не позволяет оценить приток тепла к сосудам компактной конфигурации, находящихся в группе с переменными значениями параметров размещения на территории резервуарного парка.

Для исследования тепловой интерференции группы подземных вертикальных резервуаров СУГ был применен метод электротепловой аналогии. Принципиальная схема установки электротеплового моделирования и методика проведения экспериментальных исследований приводится в публикации соискателя [54]. Экспериментальные исследования проводились в широком диапазоне задаваемых параметров:

- геометрический объем одиночного резервуара $V_p, \text{ м}^3$, в групповой установке, в виде полярных значений предлагаемого типоряда (по таблице 1);

- количество резервуаров в групповой установке $n=2, 3, 4, 5$ шт;

- относительное расстояние между резервуарами $S/d=1,25; 1,5; 2; 3; 4$.

Результаты экспериментальных исследований по определению коэффициента тепловой интерференции представлены на рисунке 3.

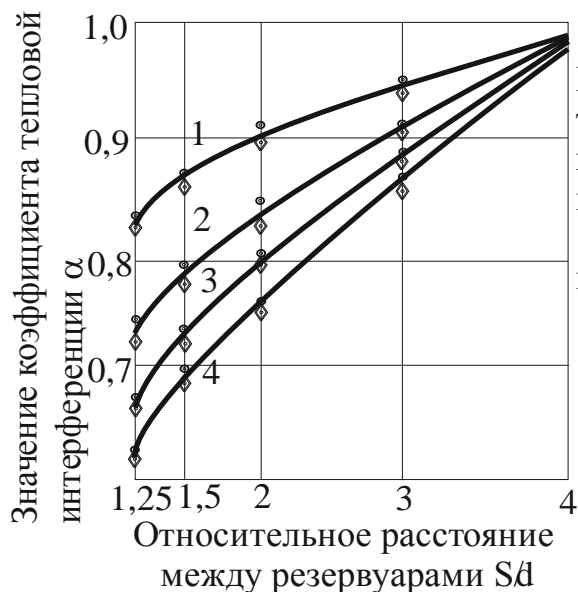


Рисунок 3. Значение коэффициента тепловой интерференции α подземных групповых установок на базе вертикальных резервуаров:
1,2,3,4 - установка из двух, трех, четырех и пяти резервуаров СУГ соответственно.

⊙ - резервуары $V_p=4,7 \text{ м}^3$;

◇ - резервуары $V_p=0,96 \text{ м}^3$.

По результатам исследований установлено, что на величину коэффициента тепловой интерференции значительное влияние оказывают количество резервуаров в групповой установке и относительное расстояние между сосудами. В то же время, влияние объема резервуара на величину коэффициента тепловой интерференции не значительно (расхождение значений коэффициента для исследуемых резервуаров объемами $0,96 \text{ м}^3$ и $4,7 \text{ м}^3$ не превышает 1,7%). Общая погрешность экспериментальных исследований по определению коэффициентов тепловой интерференции составила 5,6% с уровнем доверительной вероятности 0,95.

Для практической реализации полученных результатов и разработки рекомендаций по их применению были проведены дополнительные науч-

ные исследования. Изучение паропроизводительности подземных РУСУГ показывает, что с увеличением расстояния между резервуарами их взаимное тепловое влияние друг на друга уменьшается, а паропроизводительность растет. В то же время, увеличение расстояния между резервуарами приводит к росту капиталовложений в устройство резервуарных установок на территории размещения, за счет увеличения объема земляных работ, площади отчуждаемой территории, периметра ограждения резервуарной установки и т.д.

Условие оптимального размещения подземных вертикальных подземных резервуаров в группе характеризует параметр, представляющий минимум отношения затрат в групповую резервуарную установку к единице ее паропроизводительности

$$K_G = \frac{K}{G_{гр}}(S/d) = \min, \quad (2)$$

при ограничивающем условии $S \geq 1,0$ м,

где K – переменные составляющие капиталовложений в РУ СУГ, руб.; $G_{гр}$ – паропроизводительность резервуарной установки, кг/ч.

Расчетные зависимости для определения переменных составляющих капвложений приводятся в работах соискателя [21, 60]. Реализация выражения (2) методом вариантных расчетов позволила определить оптимальное относительное расстояние между резервуарами, которое для резервуаров предлагаемого типоряда рекомендуется принимать равным $(S/d)_{opt} = 2,5$ с максимальной погрешностью осреднения данных при исследовании полярных типоразмеров резервуаров 1,53%.

С учетом результатов проведенных исследований с помощью программного моделирования на ЭВМ методом многоинтервальной квадратичной интерполяции получена аналитическая зависимость определения коэффициента тепловой интерференции в зависимости от числа резервуаров в групповой установке и оптимального относительного расстояния между сосудами

$$\alpha(n, (S/d)_{opt}) = \frac{Q(Q-1)}{2} [0,16F(I-1; J-1) + 0,56F(I-1; J) + 1,4F(I-1; J+1)] + (3) \\ + (1-Q^2) [0,16F(I; J-1) + 0,56F(I; J) + 1,4F(I; J+1)]$$

где Q , $F(J, I)$ – параметр и функция аппроксимации, зависящие от количества резервуаров в групповой установке.

Апробация предлагаемой зависимости показала ее высокую степень точности (расхождение расчетных и экспериментальных значений коэффициента тепловой интерференции не превышает 1,97 % с доверительной вероятностью 0,95), что позволило рекомендовать ее к практическому применению.

По результатам проведенных исследований установлено, что применение резервуарных установок на базе вертикальных резервуаров СУГ,

размещаемых в грунтовом массиве с оптимальным относительным расстоянием между сосудами $(S/d)_{\text{opt}}$, позволяет увеличить паропроизводительность на 20-25% по сравнению с резервуарными установками на базе горизонтальных резервуаров СУГ аналогичного объема. Указанное обстоятельство обеспечивает эквивалентное повышение расчетной паропроизводительности резервуарных установок и вскрывает дополнительные резервы повышения эффективности резервуарных систем газоснабжения.

Для снижения энергоёмкости процесса искусственного испарения СУГ рекомендуется схема комбинированной регазификации сжиженного углеводородного газа, максимально использующая естественную испарительную способность расходных резервуаров (рисунок 4).

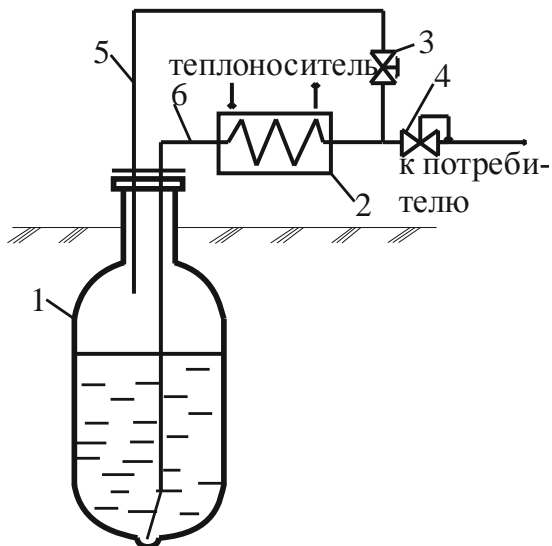


Рисунок 4. Схема комбинированной регазификации СУГ: 1 – подземный резервуар сжиженного газа, 2 – электрический испаритель с промежуточным теплоносителем, 3 – клапан-отсекатель, 4 – регулятор низкого давления; 5 – трубопровод паровой фазы СУГ; 6 – трубопровод жидкой фазы СУГ.

Предлагаемая схема предусматривает два режима эксплуатации резервуарной установки: режим естественной регазификации (при $P > P_{\text{ком}}$) и режим комбинированной регазификации (при $P = P_{\text{ком}}$). В начальный период эксплуатации резервуара осуществляется естественная регазификация СУГ. В процессе отбора паровой фазы из резервуара в нем понижается давление до некоторого минимального значения $P_{\text{ком}}$ (0,15 Мпа (абс.)), клапан-отсекатель начинает закрываться. Образовавшийся в емкости перепад давлений обуславливает подъем жидкой фазы СУГ из резервуара и подачу ее в электрический испаритель с промежуточным теплоносителем, т.е. происходит искусственная регазификация СУГ. Одновременно, снижение температуры и давления газа в резервуаре приводит к понижению величины теплосодержания сжиженного углеводородного газа. Высвобождение некоторого количества тепла за счет изменения начального и конечного теплосодержания СУГ приводит к дополнительной парогенерации сосуда. В то же время, вследствие постоянного притока тепла к СУГ из окружающего подземный резервуар грунтового массива продолжается естественное испарение СУГ в расходном резервуаре, при этом увеличивается температура и давление паровой фазы, обуславливающая открытие клапана-

отсекателя. Дальнейшая работа установки происходит в комбинированном режиме по линии естественной и искусственной регазификации СУГ.

В целях теоретического обоснования предлагаемой схемы на основе уравнений тепловых балансов при естественной и искусственной регазификации СУГ и уравнения газового состояния паровой подушки в подземном резервуаре разработана математическая модель, описывающая механизм функционирования резервуарной установки при эксплуатации в режиме комбинированной регазификации.

Уравнение теплового баланса в i -ый интервал времени (естественная регазификация) для системы: подземная резервуарная установка – грунт, при условии $G=G_p$, имеет вид

$$K_i^H F_{cm,i}^H (t_{гр} - \frac{t_{ж,i}^H + t_{ж,i}^K}{2}) \Delta\tau + (C_M M_{m,i}^H + C_{ж} M_{ж,i}^H)(t_{ж,i}^H - t_{ж,i}^K) = r(G - \Delta G) \Delta\tau. \quad (4)$$

Уравнение теплового баланса в k -ый интервал времени (комбинированная регазификация) для системы: подземная резервуарная установка – грунт, при условии $G=G_p+G_{и}$, имеет вид

$$K_k^H F_{cm,k}^H (t_{гр} - \frac{t_{ж,k}^H + t_{ж,k}^K}{2}) \Delta\tau = (C_M M_{m,k}^H + C_{ж} M_{ж,k}^H)(t_{ж,k}^K - t_{ж,k}^H) + rG_p \Delta\tau, \quad (5)$$

Уравнение газового состояния паровой подушки резервуара для i -го временного интервала имеет следующий вид

$$P_i V_p (1 - \varphi_i) = (R_{пр} \psi_{n,пр,i} + R_б (1 - \psi_{n,пр,i})) M_{n,i} T_{ж,i}, \quad (6)$$

где K – коэффициент теплопередачи резервуара, Вт/(м² °С); F_{cm} – смоченная поверхность резервуара, м²; $t_{ж}$ – температура жидкой фазы газа в резервуаре, °С; $t_{гр}$ – температура грунта на середине высоты вертикального резервуара, °С; $C_M, C_{ж}$ – массовые теплоемкости металлического корпуса подземного резервуара и СУГ, кДж/(кг °С); M_m – масса металлического корпуса резервуара, ограниченная смоченной поверхностью резервуара, кг; $M_{ж}$ – масса газа в резервуаре, кг; r – скрытая теплота испарения газа, кДж/кг; G – общая паропроизводительность резервуара, кг/ч; ΔG – прирост паропроизводительности резервуара за счет снижения давления паровой подушки, кг/ч; G_p – генерация паровой фазы в расходном резервуаре, кг/ч; $G_{и}$ – генерация паровой фазы в испарителе, кг/ч; P_i – давление паровой подушки, МПа (абс.); V_p – полный объем резервуара, м³; φ_i – уровень заполнения резервуара газом, доли ед.; $R_{пр}, R_б$ – газовые постоянные паровой фазы для пропана и бутана; $\psi_{n,пр,i}$ – молярная концентрация пропана в паровой фазе СУГ, доли ед; $M_{n,i}$ – масса паровой подушки, кг; $T_{ж,i}$ – абсолютная температура жидкой фазы СУГ, К.

Индексы «н» и «к» означают начало и конец расчетного интервала времени. Уравнения, раскрывающие содержание конкретных элементов выражений (4-6), приводятся в публикациях соискателя [18, 25, 26, 36].

Математическая модель (4-6) реализуется средствами вычислительной техники в соответствии с программным обеспечением, разработанным при участии соискателя.

Для подтверждения достоверности математической модели были проведены экспериментальные исследования по определению эксплуатационных параметров резервуарной установки, работающей в режимах попеременного отбора жидкой и паровой фаз. В качестве объекта исследований использовалась опытно промышленная установка на базе подземного резервуара объемом $2,5 \text{ м}^3$, оснащенная клапаном–отсекателем на линии естественного редуцирования паров СУГ. Компонентный состав газа: пропан 64,2% и бутан – 35,8%. Детальное описание экспериментальной установки, методика планирования и проведения исследований представлено в публикации соискателя [26].

Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 5, в виде точек. В виде сплошных линий представлены результаты численной реализации математической модели (4-6), предложенной соискателем.

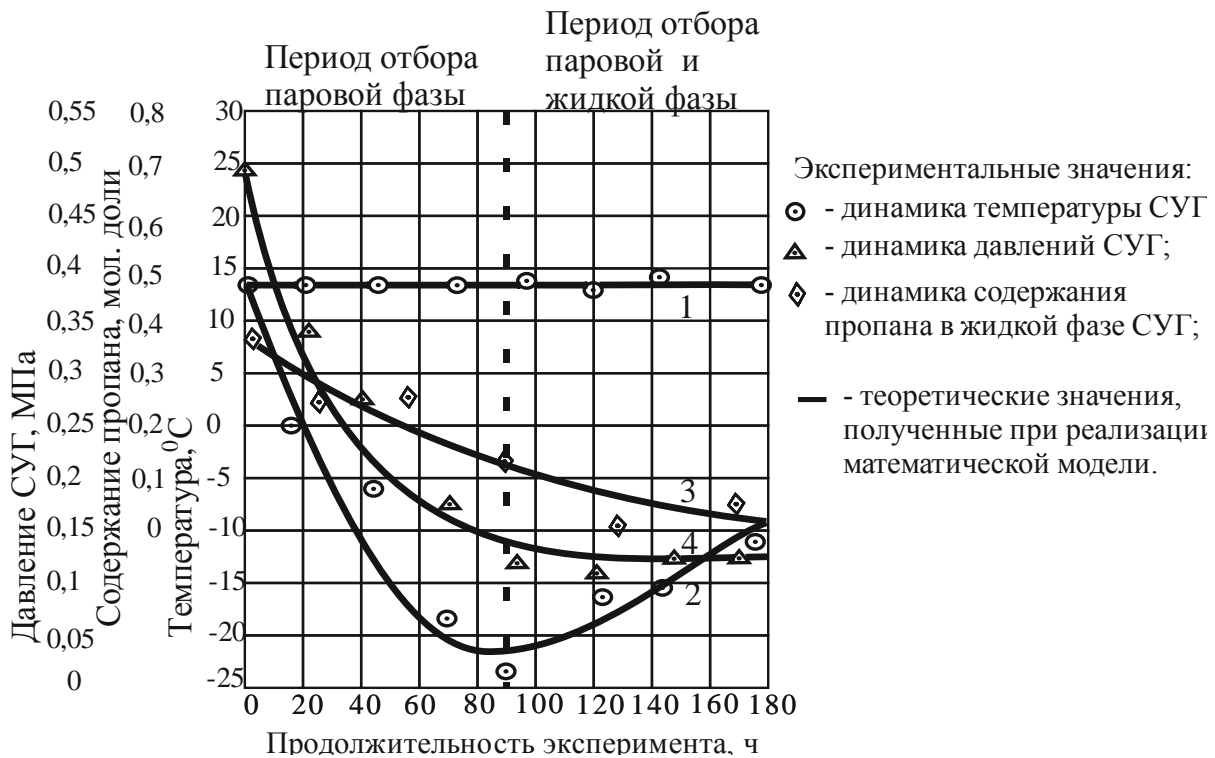


Рисунок 5. Параметры подземной резервуарной установки, эксплуатируемой в режиме комбинированной регазификации СУГ.

Как видно из графиков (рисунок 5) теоретические значения исследуемых параметров коррелируются с экспериментальными данными. Расхождение теоретических и экспериментальных данных составляет не более 16,5% с доверительной вероятностью 0,95. Результаты экспериментальных исследований подтверждают корректность предложенной математической модели и дают основание для ее применения в реальной инженерной прак-

тике.

Оценка энергоэффективности резервуарных систем газоснабжения при комбинированной регазификации СУГ, проведенная в соответствии с теоретическими положениями математической модели (4-6) для разных типоразмеров подземных резервуаров сжиженного газа, эксплуатируемых в различных климатических зонах РФ в разрезе годового цикла представлена в таблице 3.

Таблица 3 -Эффективность естественной парогенерации резервуара при комбинированной регазификации СУГ

Климатическая зона эксплуатации РУ СУГ	Доля естественной испарительной способности РУ СУГ в общем объеме паропроизводительности ξ , %, при объеме резервуара V_p , м ³	
	2,6	4,7
Умеренно-тёплая	56	68
Умеренно-холодная	48	62
Холодная	42	57

Как показывают результаты исследований, применение схемы комбинированной регазификации обеспечивает снижение энергопотребления установками регазификации от 42 до 68%.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений в РУ СУГ при переводе их на режим комбинированной регазификации составляет не более 1,7 года, при этом, в зависимости от объема резервуара и климатической зоны эксплуатации обеспечивается годовая экономия электрической энергии, затрачиваемой на регазификацию СУГ от 2,7 до 4,4 МВт·ч на одну резервуарную установку.

В четвертой главе представлены результаты исследований по разработке и обоснованию технических решений предупреждения гидратообразования в регуляторах давления при дросселировании влажного сжиженного углеводородного газа. Установлены условия растворения воды в паровой и жидкой фазах индивидуальных углеводородов (пропана и бутана) и образования гидратов в сжиженных углеводородных газах.

Для теоретического обоснования процесса гидратообразования при дросселировании влажного газа в редуцирующих устройствах предложена математическая модель, комплексно учитывающая компонентный состав СУГ, его температуру и давление, степень сухости парожидкостного потока и другие теплотехнические и термодинамические показатели. Изменение основных параметров сжиженного углеводородного газа в процессе дросселирования описывается выражениями

$$\Delta t = \left(\frac{(a_{np} \Psi_{np} + a_o(1 - \Psi_{np}))'}{T} - (b_{np} \Psi_{np} + b_o(1 - \Psi_{np}))' \right) \Delta P; \quad (7)$$

$$\Delta X = \frac{(c_{\text{п}}^{\text{пр}} \frac{\Psi_{\text{ж}} P_{\text{пр}}(t)}{P(t)} + c_{\text{п}}^{\text{б}} (1 - \frac{\Psi_{\text{ж}} P_{\text{пр}}(t)}{P(t)}))X + (c_{\text{ж}}^{\text{пр}} \Psi_{\text{ж}} + c_{\text{ж}}^{\text{б}} (1 - \Psi_{\text{ж}}))(1 - X)}{r_{\text{пр}} \Psi_{\text{ж}} + r_{\text{б}} (1 - \Psi_{\text{ж}})} \Delta t, \quad (8)$$

где $a_{\text{пр}}$, $a_{\text{б}}$, $b_{\text{пр}}$, $b_{\text{б}}$ – эмпирические коэффициенты, для пропана и бутана; $\Psi_{\text{пр}}$ – молярное содержание компонента - пропан в парообразной фазе газа; T – осредненная температура паровой фазы в период дросселирования, К; ΔP – изменение давления в период дросселирования, МПа; $c_{\text{п}}^{\text{пр}}$, $c_{\text{п}}^{\text{б}}$ – массовые теплоемкости паровой фазы пропана и бутана, соответственно, кДж/(кг·°C); $\Psi_{\text{ж}}$ – молярное содержание пропана в жидкой фазе СУГ; $P_{\text{пр}}(t)$, – давление насыщенных паров пропана при соответствующей температуре, МПа (абс.); $P(t)$ – давление смеси пропан-бутана, МПа (абс.); X – степень сухости смеси в процессе дросселирования; $c_{\text{ж}}^{\text{пр}}$, $c_{\text{ж}}^{\text{б}}$ – массовые теплоемкости жидкой фазы пропана и бутана, соответственно, кДж/(кг·°C); $r_{\text{пр}}$, $r_{\text{б}}$ – скрытая теплота испарения пропана и бутана, соответственно, кДж/кг.

Максимальное количество влаги в парожидкостной смеси в зависимости от степени сухости паровой фазы X и компонентного состава сжиженного газа определяется

$$W_{\text{ГЖ}}^{\text{max}}(t) = W_{\text{п}}^{\text{max}}(t)X + W_{\text{ж}}^{\text{max}}(t)(1 - X); \quad (9)$$

$$W_{\text{п}}^{\text{max}} = (W_{\text{п}}^{\text{пр}})^{\text{max}} \Psi_{\text{пр}} + (W_{\text{п}}^{\text{б}})^{\text{max}} (1 - \Psi_{\text{пр}}); \quad (10)$$

$$W_{\text{ж}}^{\text{max}} = (W_{\text{ж}}^{\text{пр}})^{\text{max}} \Psi_{\text{ж}} + (W_{\text{ж}}^{\text{б}})^{\text{max}} (1 - \Psi_{\text{ж}}). \quad (11)$$

Теоретическими исследованиями установлено, что кристаллизация влаги в регуляторах давления имеет место только при дросселировании насыщенной жидкости или парожидкостной смеси СУГ (условие $W > W^{\text{max}}$), дросселирование насыщенных или перегретых паров СУГ (условие $W < W^{\text{max}}$) кристаллизации влаги не вызывает.

Для проверки корректности выводов, полученных при реализации математической модели (7-11) и изучения условий кристаллизации влаги в регуляторах давления в процессе дросселирования были проведены экспериментальные исследования на лабораторной установке. В качестве объекта исследований использовался регулятор давления газа РДГБ-6. Состав СУГ в эксперименте принимался: этан 1,9%; пропан 82,8%; бутан – 14,7% и пентан 0,6 %. Описание экспериментальной установки и планирование эксперимента подробно представлено в работах соискателя [20, 25].

Моделирование условий для образования кристаллогидратов в регуляторе давления проводилось в широком диапазоне задаваемых параметров путем варьирования их различных сочетаний, при этом изменение температуры газа осуществлялось в диапазоне от -10°C до +20°C, состава газа по компоненту пропан от 35 до 85 мол.%, степени сухости парожид-

костной смеси СУГ от 0 до 1. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты экспериментальных исследований

Параметры исследуемого газа							Образование гидратов в регуляторе, да/нет
в расходной емкости				перед регулятором давления			
температура t , °С	давление P , МПа (абс.)	пропан, мол. %		температура t_p , °С	давление P_p , МПа (абс.)	степень сухости, X	
		жидкая фаза $\Psi_{ж}$	паровая фаза $\Psi_{пр}$				
паровая фаза СУГ							
-9,8	0,24	85,0	93,8	-8,2	0,24	1,0	нет
-9,3	0,28			-5,1	0,27	1,0	нет
-8,9	0,26			12,4	0,25	1,0	нет
1,1	0,27	45	87,6	1,5	0,26	1,0	нет
0,5	0,26			9,9	0,26	1,0	нет
0,1	0,28			14,8	0,27	1,0	нет
парожидкостная смесь СУГ/ насыщенная жидкость							
-10,0	0,171	35,2	73,1	-10,9	0,169	0,94	да
-9,7	0,173			-15,7	0,173	0,47	да
-9,4	0,175			-22,1	0,174	0	да
0,4	0,36	63,7	82,4	-1,4	0,34	0,75	да
0,8	0,33			-3,1	0,33	0,63	да
0,9	0,35			-7,1	0,34	0,14	да
19,9	0,79	81,2	92,6	20,3	0,78	0,95	да
18,6	0,71			18,02	0,7	0,44	да
19,1	0,76			15,4	0,76	0	да

Полученные результаты лабораторных исследований, подтверждают основные выводы математической модели (7-11) об условиях кристаллизации влаги при дросселировании СУГ в регуляторах давления.

С учетом проведенных исследований и анализа существующих технических решений по предотвращению гидратообразования разработано и запатентовано техническое решение предупреждения кристаллизации влаги в регуляторах давления (патент на изобретение № RU 2476759), сочетающее естественный перегрев паровой фазы СУГ в самих расходных резервуарах и тепловую изоляцию трубопроводной обвязки узла редуцирования РУ СУГ (рисунок 6).

Для теоретического обоснования предлагаемого технического решения разработана математическая модель теплообмена паровой подушки расходного резервуара сжиженного газа с грунтовым массивом, в условиях

естественной генерации паров за счет теплопритока из окружающего грунта.

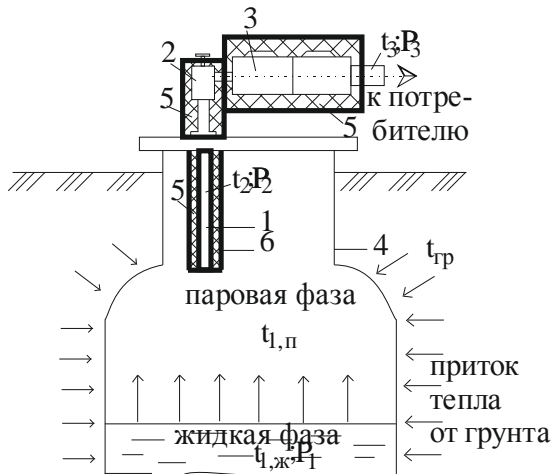


Рисунок 6. Принципиальная схема технического решения по предупреждению гидратообразования: 1 – подземный резервуар; 2 – клапан запорный угловой; 3 – регулятор низкого давления; 4 – внутренний участок трубопровода для забора паровой фазы из резервуара; 5 – герметичный защитный футляр; 6 – теплоизоляция.

Установлено, что величина перегрева паровой фазы СУГ зависит от температурных режимов эксплуатации резервуарных установок и величины расчетного газопотребления и может быть представлена функционалом

$$\Delta t_{\text{пер}} = f(k_{\text{п}}; F_{\text{п}}; t_{\text{гр}}; G_{\text{р}}; t_{\text{ж}}; t_{\text{п}}), \quad (12)$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент теплопередачи от грунтового массива к паровой фазе газа, Вт/(м² · К); $F_{\text{п}}$ – поверхность резервуара, контактирующая с паровой фазой, м²; $t_{\text{п}}$ – температура паров СУГ на выходе из резервуара, °С.

Для сохранения степени перегрева паровой фазы газа в резервуаре при естественной регазификации, все участки трубопроводной обвязки редуцирующего узла предлагается покрывать тепловой изоляцией при условии минимизации вложений в ее сооружение. Условие оптимальности толщины тепловой изоляции теплоотводящих элементов реализует минимум функции капитальных вложений

$$K = \sum_{i=1}^n K_i = \sum_{i=1}^n f(k_{\text{т.и.}i}(d_{\text{в}i}; \delta_{\text{т.и.}i})) = \min, \quad (13)$$

с учетом ограничивающего условия:

$$\varphi = Q_{\text{пт}} - Q_{\text{пер}} = \sum_{i=1}^n (\lambda_{\text{т.и.}i}; t_{\text{п}}; t_{\text{ж}}; l_i; d_i; \delta_{\text{т.и.}i}) - f(k_{\text{п}}; F_{\text{п}}; t_{\text{гр}}; t_{\text{ж}}; t_{\text{п}}) = 0, \quad (14)$$

где $k_{\text{т.и.}}$ – стоимость тепловой изоляции, руб./м³; $d_{\text{в}i}$, d_i – внутренний диаметр тепловой изоляции и диаметр i -го участка трубопроводной обвязки, м; l_i – протяженность i -го участка трубопроводной обвязки, м; $\delta_{\text{т.и.}i}$ – толщина тепловой изоляции i -го участка трубопроводной обвязки, м; $Q_{\text{пер}}$ – теплота перегрева паров, Вт; $Q_{\text{пт}}$ – тепловые потери трубопроводной обвязки редуцирующего узла, Вт; $\lambda_{\text{т.и.}}$ – коэффициент теплопроводности тепловой изоляции, Вт/(м · К).

Для нахождения минимума капитальных вложений в изоляцию участков системы (13) при заданном ограничении (14) используется функция Лагранжа, которая в общем виде имеет вид

$$\Phi(\delta_{т.и_1}, \delta_{т.и_2}, \delta_{т.и_3}) = K(\delta_{т.и_1}, \delta_{т.и_2}, \delta_{т.и_3}) + \varphi \xi(\delta_{т.и_1}, \delta_{т.и_2}, \delta_{т.и_3}), \quad (15)$$

где ξ - множитель Лагранжа.

Система уравнений, реализующая условия минимума функции капитальных вложений в тепловую изоляцию трубопроводной обвязки паровой фазы имеет вид

$$\begin{cases} \Phi'_{\delta_{т.и_1}}(\delta_{т.и_1}, \delta_{т.и_2}, \delta_{т.и_3}) = 0, \\ \Phi'_{\delta_{т.и_2}}(\delta_{т.и_1}, \delta_{т.и_2}, \delta_{т.и_3}) = 0, \\ \Phi'_{\delta_{т.и_3}}(\delta_{т.и_1}, \delta_{т.и_2}, \delta_{т.и_3}) = 0, \\ \Phi'_{\xi}(\delta_{т.и_1}, \delta_{т.и_2}, \delta_{т.и_3}) = 0. \end{cases} \quad (16)$$

С учетом ограничивающих условий независимых переменных:

$$\delta_{т.и_1}^{\min} \leq \delta_{т.и_1} \leq \delta_{т.и_1}^{\max}, \delta_{т.и_2}^{\min} \leq \delta_{т.и_2} \leq \delta_{т.и_2}^{\max}, \delta_{т.и_3}^{\min} \leq \delta_{т.и_3} \leq \delta_{т.и_3}^{\max}. \quad (17)$$

Численная реализация математической модели (13-17) осуществляется средствами вычислительной техники с помощью программы для ЭВМ.

Анализ экономической эффективности предлагаемого технического решения предупреждения кристаллизации влаги в регуляторах давления показал, что его внедрение в практику эксплуатации по сравнению с перегревом паров в трубчатом грунтовом теплообменнике снижает капитальные вложения в систему защиты от гидратообразования РУ СУГ на 76%.

В пятой главе проведено обоснование схемно-параметрических решений поселковых систем газоснабжения на базе подземных РУ СУГ. Анализ литературных источников и статистических материалов газораспределительных организаций показывает, что в общей структуре затрат в систему газоснабжения СУГ свыше 70% занимают затраты в поселковые системы и сопряженные с ними элементы внепоселковой части газораспределительных систем. В то же время, имеющиеся рекомендации по вопросам эффективной организации систем газоснабжения населенных пунктов базируются в основном на исследованиях 60-70 годов прошлого века и имеют весьма противоречивый характер вследствие неоднозначности исходных предпосылок и допущений, принятых при постановке задачи. Указанные обстоятельства обуславливают значительный перерасход материальных и денежных средств в сооружение и эксплуатацию поселковых систем газоснабжения и не отвечают современным экономическим требованиям. Учитывая определяющую роль указанных подсистем в общей структуре газоснабжающей системы, а также отсутствие научно-обоснованных рекомендаций по их оптимальному развитию последние были приняты в качестве объектов для дальнейших диссертационных исследований.

В целях научного обоснования совершенствования систем газоснабжения сельских поселков на основе системного подхода к учету комплекса климато-технологических факторов разработана экономико-математическая модель оптимальной централизации поселковых систем снабжения СУГ на базе подземных резервуарных установок, отражающая реальную специфику систем газоснабжения населенных пунктов РФ.

В качестве целевой функции задачи принят минимум (на одну газифицируемую квартиру) дисконтированных затрат в сооружение и эксплуатацию системы газоснабжения по комплексу: резервуарная установка – распределительные газовые сети

$$Z_{\text{ПСГ}}(n) = Z_{\text{ГРУ}}(n) + Z_{\text{УГРС}}(n) = \frac{1}{n} \{ (E + \varphi_{\text{ГРУ}}) f[\Phi_{\text{opt}}, V_p^{\text{opt}}(g_{\text{год}}^{\text{СУГ}}, n)] + (E + \varphi_{\text{И}}) \psi(g_{\text{год}}^{\text{СУГ}}, n) + \xi(g_{\text{год}}^{\text{СУГ}}, n, \xi) + (E + \varphi) f\{d[\Delta P, G_{\text{час}}^{\text{СУГ}}(g_{\text{час}}^{\text{СУГ}}, n), L[l(q, S), n]]\} + \mu L[l(q, S), n] \} \quad (18)$$

При ограничениях к заданным и управляющим параметрам:

$$1 \leq n \leq n_{\text{max}}; \quad 0 \leq \xi \leq 1,0; \quad g_{\text{час}}^{\text{min}} \leq g_{\text{час}} \leq g_{\text{час}}^{\text{max}}; \quad g_{\text{год}}^{\text{min}} \leq g_{\text{год}} \leq g_{\text{год}}^{\text{max}}; \quad d \geq 40 \text{ мм}; \\ 0 \leq \Delta P \leq \Delta P_{\text{н}} = 1200 \text{ Па}; \quad 6 \leq q < 75 \text{ чел./га}.$$

В выражении (18) используются следующие буквенные обозначения параметров:

$\varphi_{\text{ГРУ}}$, $\varphi_{\text{И}}$ – доля годовых отчислений на эксплуатацию подземных резервуаров и испарителей СУГ, 1/год; $g_{\text{час}}^{\text{СУГ}}$, $g_{\text{год}}^{\text{СУГ}}$ – максимальный часовой, (кг/ч·кв) и годовой, (кг/год·кв), расходы газа одной квартирой; ξ – доля естественной испарительной способности резервуарной установки в общем балансе паропроизводительности; L – суммарная протяженность газовых сетей в расчете на одну РУ СУГ, м/РУ; d – средний диаметр уличных распределительных газовых сетей, м; ΔP – перепад давлений в уличных распределительных газопроводах, Па; $G_{\text{час}}^{\text{СУГ}}$ – максимальный часовой расход газа от РУ СУГ, кг/ч; l – протяженность распределительных газопроводов в расчете на одну газифицируемую квартиру (здание), м/кв; q – плотность населения газоснабжаемой территории, чел./га; S – средний коэффициент заселенности квартир, чел./кв; μ – стоимость годового обслуживания газовых сетей, руб./ (год·п.м.).

Уравнения, раскрывающие содержание конкретных элементов исходного функционала, приводятся в публикациях соискателя [2, 6, 8, 18].

По результатам численной реализации математической модели (18) установлено, что определяющее влияние на централизацию поселковых систем снабжения СУГ на базе подземных резервуарных установок с комбинированной регазификацией СУГ имеет структура застройки населенного пункта, плотность населения газоснабжаемой территории и тип газифицируемых зданий. Влияние указанных факторов обуславливает широкий диапазон централизации поселковых систем газоснабжения от 14 квартир

(при плотности населения 6 чел/га и двухрядной застройке населенных пунктов) до 112 квартир (при плотности населения 75 чел/га и многорядной застройке населенных пунктов), подключаемых к одной РУ СУГ и составляет в среднем 50-60 квартир.

В то же время, специфичные особенности застройки населенных пунктов, плотность населения на газоснабжаемой территории, обособленность потребителей на селитебных территориях населенного пункта, характер потребления газового топлива обуславливают применение альтернативных вариантов - децентрализованных систем газоснабжения на базе индивидуальных резервуарных установок с естественной регазификацией СУГ в самих расходных резервуарах.

Рациональная область применения централизованных и децентрализованных систем снабжения СУГ на базе подземных резервуарных установок при газификации сельских населенных пунктов определяется методом критических точек, путем сравнения конкурирующих вариантов систем газоснабжения

$$Z_{\text{ПСТ}}^{\text{min}}(q, n_{\text{opt}}) = Z_{\text{СДГС}}, \quad (19)$$

где $Z_{\text{ПСТ}}^{\text{min}}$ – затраты в поселковую систему газоснабжения в условиях оптимальной централизации, руб./((год·кв)); $Z_{\text{СДГС}}$ – затраты в систему децентрализованного газоснабжения на базе РУ СУГ с естественной регазификацией, руб./((год·кв).

Установлено, что сравниваемые системы газоснабжения экономически равноценны при значении управляющего параметра, равного $q_{\text{кр}}$, определяемого по обобщенной аналитической зависимости

$$q_{\text{кр}} = \sqrt[y]{\frac{zn_{\text{opt}}^x}{(Z_{\text{СДГС}} - cn_{\text{opt}}^{-h})10^{4y}}}, \quad (20)$$

где z , c , x , y , h – коэффициенты и показатели степени, принимаемые в зависимости от структуры застройки населенного пункта, типа зданий и вида газоиспользующего оборудования у потребителя.

Анализ затрат в системы газоснабжения показывает, что при $q < q_{\text{кр}}$ целесообразно применение децентрализованных систем газоснабжения на базе РУ СУГ с естественной регазификацией, при $q > q_{\text{кр}}$ целесообразно применение централизованных систем газоснабжения на базе резервуарных установок с комбинированной регазификацией СУГ.

Как показывают результаты исследований, децентрализованные системы газоснабжения сельских поселков имеют ограниченную область применения – только при значительной рассредоточенности потребителей (при плотности населения $q \leq 6-15$ чел./га). При бóльшей плотности населения целесообразно использование систем централизованного газоснабжения.

В шестой главе приводятся результаты исследований, связанных с

оптимизацией схемно-параметрических решений региональных (межпоселковых) систем газоснабжения. Анализ существующих межпоселковых систем газоснабжения показал, что основная схема снабжения потребителей сжиженным углеводородным газом, представлена технологической цепочкой ГНС-потребитель. При этом сооружение газонаполнительных станций в основном производится на базе типовых проектов с мощностью 6-25 тыс. тонн в год, с отдельной реализацией СУГ в баллонах или автоцистернах. Указанное обстоятельство существенно увеличивает затраты на сооружение и эксплуатацию опорных пунктов систем газоснабжения и себестоимость реализуемого газа. Перспективным направлением развития существующих систем снабжения потребителей СУГ является применение двухступенчатой схемы с использованием промежуточных газонаполнительных пунктов. Преимущество такой схемы газоснабжения заключается в том, что основная часть транспортных расходов в пределах радиуса действия ГНС приходится на доставку СУГ с ГНС на ГНП, которая осуществляется по более дешевому варианту (автоцистернами), более дорогой вариант доставки СУГ (баллоновозами) осуществляется с ГНП и ограничивается его радиусом действия.

В целях научного обоснования двухступенчатых систем газоснабжения разработана экономико-математическая модель, основные положения которой приводятся в последующих уравнениях.

Задача сводится к минимизации целевой функции (дисконтированных затрат) в расчете на 1 т/год реализуемого продукта по комплексу ГНС-потребитель. Основные параметры модели связаны функционалом следующего вида

$$Z_{\text{ГНС-П}} = f(N_{\text{ГНС}}; R_{\text{ГНС}}; N_{\text{ГНП}}; R_{\text{ГНП}}; q; \beta) = \min, \quad (21)$$

где $N_{\text{ГНС}}$, $N_{\text{ГНП}}$ – годовая пропускная способность (мощность) ГНС и ГНП, соответственно, т./год; $R_{\text{ГНС}}$, $R_{\text{ГНП}}$ – радиус действия ГНС и ГНП, соответственно, км; q – плотность газопотребления на территории, обслуживаемой газонаполнительной станцией, т/(год·км²); β – относительная доля газа, реализуемая через резервуарные установки.

Функционал (21) конкретизируется в виде следующей зависимости

$$Z_{\text{ГНС-П}} = \frac{A_p}{\pi^{0,8} q^{0,8} R_{\text{ГНС}}^{1,6}} + a_p + 0,8b_p R_{\text{ГНС}} + \frac{A_6 (1-\beta)^{0,2}}{\pi^{0,8} q^{0,8} R_{\text{ГНП}}^{1,6}} + (a_6 + 0,8b_6 R_{\text{ГНП}}) \times (1-\beta) + Z_p \beta + Z_6 (1-\beta) \quad (22)$$

С учетом взаимосвязи управляющих параметров

$$N_{\text{ГНС}} = \pi q R_{\text{ГНС}}^2; \quad N_{\text{ГНП}} = \pi q R_{\text{ГНП}}^2$$

где A_p , A_6 – стоимостные параметры ГНС и ГНП, зависящие от способа реализации СУГ (через резервуарные или баллонные установки); a_p , a_6 , b_p , b_6 – стоимостные параметры, принимаемые в зависимости от вида дорожного покрытия и автотранспорта (автоцистерны или баллоновозы); Z_p – затраты

в резервуары, устанавливаемые у потребителя, руб/т·год; Z_6 – затраты в баллоны, устанавливаемые у потребителя, руб/т·год.

Численная реализация экономико-математической модели (21-22) методом вариантных расчетов, позволила выявить оптимальные параметры ГНС и ГНП в зависимости от плотности газопотребления на газоснабжаемой территории и доли газа, реализуемого через резервуарные установки (рисунок 7 и рисунок 8).

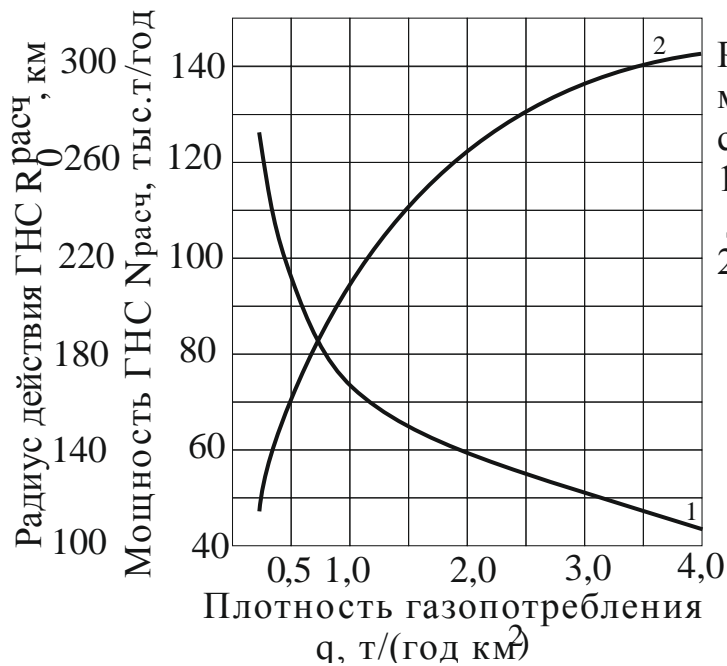


Рисунок 7. Расчетные параметры газонаполнительной станции СУГ:
1 - расчетный радиус действия ГНС;
2 - расчетная мощность ГНС

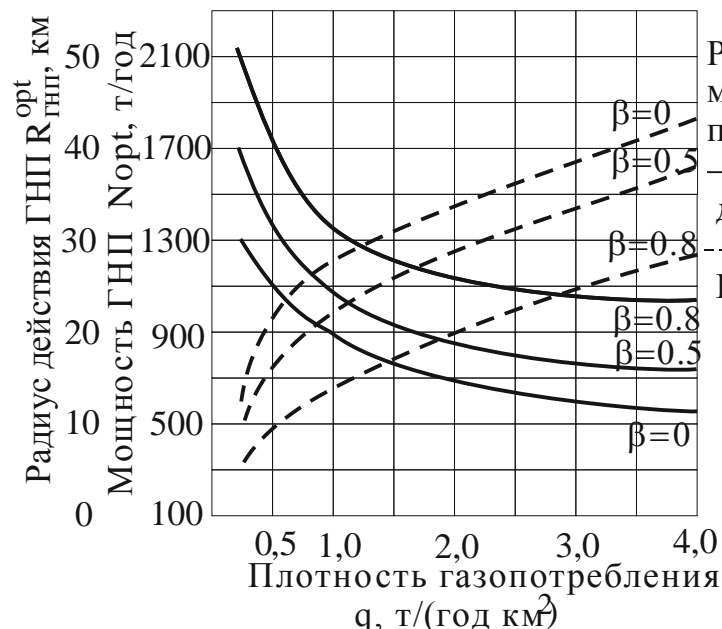


Рисунок 8. Оптимальные параметры газонаполнительного пункта СУГ:
— - оптимальный радиус действия ГНП;
- - - - оптимальная мощность ГНП.

Результаты проведенных исследований доказывают, что эффективное функционирование систем газоснабжения обеспечивается двухступенчатой системой снабжения потребителей: от ГНС через сеть ГНП. При этом требуется сооружение ГНС областного и межобластного характера

мощностью от 40 до 140 тыс. т/год с радиусом действия 100-250 км и ГНП районного масштаба с мощностью от 400 до 1800 т/год и радиусом действия 12-50 км.

Выбор оптимального размещения ГНП на территории административного района принималась из условия минимизации суммарных транспортных расходов по доставке СУГ потребителям в k населенных пунктов

$$Z = \sum_{i=1}^k Z_i(a_{\bar{6}}; b_{\bar{6}}; l_i^{\bar{6}}; Q_i) = \min, \quad (23)$$

где Z_i – затраты по транспортировке газа с ГНП в i -тый населенный пункт из k населенных пунктов на территории района, руб/т·км; Q_i – годовое газопотребление i -м населенным пунктом из k населенных пунктов на территории района, т./год; $l_i^{\bar{6}}$ – дальность доставки баллонного газа i -му потребителю, км.

Общие дисконтированные затраты по транспортировке газа с ГНП всем потребителям на территории района

$$Z = \sum_{i=1}^k Z_i(x_i; y_i) = \sum_{i=1}^k Q_i(a_{\bar{6}} + 1, 2b_{\bar{6}} \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}). \quad (24)$$

где $x_i; y_i$ – координаты i -го населенного пункта из k населенных пунктов на территории района.

Искомые координаты места расположения газонаполнительного пункта на территории административного района x_{opt}, y_{opt} определяются из полученной системы уравнений при дифференцировании функции (19) по управляющим параметрам x и y . Предложенная модель (23-24) реализуется на ЭВМ в соответствии с программным обеспечением, разработанным соискателем с использованием среды программирования C++Builder 8.0.

Проведенными исследованиями установлено, что перевод одноступенчатых систем газоснабжения на двухступенчатые и укрупнение мощности газораспределительных систем позволяет снизить затраты в сооружение и эксплуатацию региональных систем газоснабжения до 30 %. При этом дополнительные капитальные вложения в реконструкцию систем окупаются в течение 3-5 лет при баллонном газоснабжении потребителей СУГ и в течение 4-10 лет при смешанном (баллонном и резервуарном) газоснабжении.

В седьмой главе представлены исследования по обоснованию рациональной области применения СУГ в условиях конкуренции с сетевым природным газом.

В качестве целевых функций данной задачи были приняты удельные дисконтированные затраты в соответствующие системы газоснабжения $Z_{\text{пг}}$ и $Z_{\text{суг}}$.

$$Z_{\text{пг}} = f \{ c_{\text{пг}}; g_{\text{год}}^{\text{пг}}; l; d; q; n_{\text{opt}} \}; \quad (25)$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{СУГ}} = f \left\{ c_{\text{СУГ}}; g_{\text{год}}^{\text{СУГ}}; R_{\text{ГНС}}^{\text{opt}}(q, \beta, R_{\text{ГНП}}^{\text{opt}}); V_{\text{р}}^{\text{opt}}(g_{\text{год}}^{\text{СУГ}}, n_{\text{opt}}) \right. \\ \left. \xi; d(\Delta P, G_{\text{час}}^{\text{СУГ}}(g_{\text{час}}^{\text{СУГ}}, n_{\text{opt}}), L[(q, S), n_{\text{opt}}]) \right\}. \end{aligned} \quad (26)$$

где $c_{\text{пг}}$ – стоимость природного газа, руб./м³; $g_{\text{год}}^{\text{пг}}$ – годовое потребление природного газа газифицируемой квартирой, м³/(год·кв); $c_{\text{СУГ}}$ – стоимость сжиженного газа, в привязке к заводам поставщикам руб./т; $g_{\text{год}}^{\text{СУГ}}$ – годовое потребление сжиженного газа газифицируемой квартирой, т/(год·кв); l – протяженность межпоселкового газопровода, км; n_{opt} – количество газифицируемых квартир в населенном пункте, кв. d – диаметр межпоселкового газопровода, м.

Совместное решение уравнений (25) и (26) методом критических точек позволило определить искомое значение управляющего параметра $l_{\text{кр}}$, при котором альтернативные варианты систем газоснабжения экономически равноценны. Предельная удаленность населенного пункта, от межпоселкового газопровода $l_{\text{кр}}$, км, при котором его целесообразно газифицировать природным газом, определяется по выражению

$$l_{\text{кр}} = \frac{n(c_{\text{СУГ}}g_{\text{год}}^{\text{СУГ}} - c_{\text{пг}}g_{\text{год}}^{\text{пг}} + g_{\text{год}}^{\text{СУГ}}(Z'_{\text{ГНС}} + Z'_{\text{ат}} + Z'_{\text{гру}}) + Z_{\text{агрс}} - Z_{\text{спгг}})}{1,13'_{\text{мст}}} \quad (27)$$

где $Z'_{\text{ГНС}}$ – затраты по ГНС, руб./т, определяемые в главе 6 диссертационной работы соискателя, в условиях оптимальной централизации региональных систем газоснабжения; $Z'_{\text{ат}}$ – затраты в доставку газа автомобильным транспортом, руб./т, определяются в главе 6 диссертационной работы соискателя, в условиях оптимальной централизации региональных систем газоснабжения; $Z'_{\text{гру}}$ – затраты в РУ СУГ, оборудованные электрическими испарителями, руб./т, определяемые в главе 5 диссертационной работы соискателя, в условиях оптимальной централизации поселковых систем газоснабжения; $Z_{\text{агрс}}$ – затраты в автоматическую газораспределительную станцию (АГРС), руб./((год·кв); $Z_{\text{спгг}}$ – затраты в систему газоснабжения природным газом населенного пункта, руб./((год·кв); $Z'_{\text{мст}}$ – затраты в газопровод вне населенного пункта, руб./((год·км).

Анализ выражения (27) показывает, при $l > l_{\text{кр}}$ целесообразна газификация СУГ, при $l < l_{\text{кр}}$ целесообразна газификация населенного пункта природным газом. Численная реализация модели в широком диапазоне задаваемых параметров, показала, что величина $l_{\text{кр}}$ зависит от плотности населения (газопотребления) на газоснабжаемой территории поселковых и региональных систем газоснабжения, структуры застройки сельских поселков, технических характеристик газоснабжаемых зданий и климатических условий их эксплуатации, газового оборудования квартир и режимов его использования и т.д. При наличии в регионе развитой газотранспортной системы на базе сетевого природного газа потенциальными объектами га-

зификации СУГ являются сельские поселки численностью до 300 жителей, удаленные от межпоселковых газопроводов природного газа на расстояние более 15 км с учетом текущих цен на газовое топливо и более 11 км в условиях перехода на мировые цены стоимости энергоресурсов.

В восьмой главе приведены результаты внедрения методических положений и разработанных технических решений в практику проектирования, реконструкции и эксплуатации газораспределительными организациями.

Внедрение резервуарных установок на базе вертикальных подземных резервуаров с применением схемного решения по установке сосудов в грунте с частичной обратной засыпкой песка в перемещаемую опалубку, оснащаемых системами комбинированной и естественной регазификации сжиженного углеводородного газа в сочетании с техническим решением предупреждения гидратообразования осуществлялось организациями ООО «Газрегионзащита», ТОО «Имсталькон». Основные экономические показатели по внедряемым решениям представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Сводные данные по внедряемым решениям

Наименование внедряемого мероприятия	Объем внедрения	Экономический эффект, руб./ед	Суммарный экономический эффект от внедрения
Схемное решение установки вертикальных резервуаров сжиженного газа в грунте с применением перемещаемой опалубки	14 РУ (всего 28 резервуаров с единичным объемом 2,6 м ³)	78895 руб.	1104540 руб.
	4 резервуара с единичным объемом 4,7 м ³	93835 руб.	375340руб.
Схемное решение по предупреждению гидратообразования	7 РУ	10352 руб.	73239руб.
Оснащение клапаном-отсекателем линии редуцирования естественной регазификации СУГ	7 РУ	9002 руб/год	63015 руб/год

Общий экономический эффект применения указанных мероприятий составляет более 1,6 млн руб. (в ценах 2015 г.).

Технико-экономическое обоснование реконструкции газонаполнительной станции сжиженных углеводородных газов в Липецкой области проводилось с использованием разработанных соискателем методических рекомендаций и внедрено ООО «Еврогалс». К рассмотрению было принято два варианта:

- модернизация газораспределительной системы на базе существующих ГНС в Липецкой и Курской областях с увеличением их мощности и формировании одноступенчатой схемы газоснабжения с частичным использованием существующих ГНП (базовый вариант);

- реконструкция ГНС в Липецкой области с увеличением ее мощности и формирование региональной системы газоснабжения на базе двухступенчатой схемы с созданием расширенной сети ГНП в Воронежской, Тамбовской, Курской и Липецкой областях (предлагаемый вариант).

Основные технические и экономические показатели сравниваемых вариантов представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 - Технические показатели по сравниваемым вариантам

Наименование областей РФ	Базовый вариант	Предлагаемый вариант
1	2	3
Газифицируемые области		
Липецкая	Полностью	Полностью
Курская	Полностью	Полностью
Тамбовская	Частично	Полностью
Воронежская	Частично	Полностью
Количество ГНС, шт		
Липецкая область	1	1
Курская область	1	-
Мощность ГНС, тыс.т/год		
Липецкая область	86	134
Курская область	48	-
Радиус действия ГНС, км		
Липецкая	80	290
Курская	80	-
Количество ГНП, шт		
Липецкая	5	13
Курская	3	6
Тамбовская	5	6
Воронежская	10	18
Единичная мощность ГНП, т/год		
Липецкая	250	1300
Курская	400	1750
Тамбовская	600	1550
Воронежская	900	1700

Продолжение табл.6

1	2	3
Радиус действия ГНП, км		
Липецкая	10	16
Курская	8	12
Тамбовская	12	15
Воронежская	10	14

Таблица 7 – Экономические показатели по сравниваемым вариантам

Наименование областей РФ	Затраты в реализацию СУГ, руб/т							
	по базовому варианту				по предлагаемому варианту			
	по объекту СУГ		в доставку транспортом с		по объекту СУГ		в доставку транспортом с	
	ГНС	ГНП	ГНС	ГНП	ГНС	ГНП	ГНС	ГНП
Липецкая	4161	14183	6568	541	8620	9862	4154	4896
Курская	4161	5843	6509	520	-	3588	-	4523
Тамбовская	-	7040	-	563	-	3955	-	4802
Воронежская	-	10181	-	541	-	11017	-	4710
итого				60811				60127

Снижение затрат в реконструируемую систему газоснабжения по реализации сжиженного газа с ГНС через сеть ГНП (альтернативный вариант) по сравнению с модернизацией существующих одноступенчатых систем газоснабжения (базовый вариант) составляет 684 руб. на одну тонну реализуемого продукта, что обеспечивает экономический эффект от внедрения мероприятия в размере 91,656 млн. руб./год (в ценах 2015 г.).

Технические решения, представленные в диссертационной работе по повышению эффективности и надежности систем газоснабжения, позволяют увеличить конкурентные преимущества сжиженного углеводородного газа, как альтернативного источника топлива для потребителей в РФ и обеспечивают значительный народнохозяйственный эффект в размере более 93,256 млн. руб/год.

Результаты диссертационных исследований рекомендуются к широкому использованию при проектировании и реконструкции региональных и поселковых систем снабжения сжиженным газом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа ранее проведенных отечественных и зарубежных научных исследований установлено, что современная система снабжения населения сжиженным углеводородным газом представляет собой

сложную и ресурсоемкую совокупность взаимосвязанных подсистем газоснабжения различного территориально-иерархического уровня, обеспечивающих снабжение потребителей газовым топливом. Комплексные исследования схемно-параметрических решений обеспечения потребителей газовым топливом позволили разработать в диссертации научные основы расчета и проектирования региональных и поселковых систем снабжения СУГ, путем решения целого ряда взаимосвязанных задач, к числу которых относятся: снижение материало-энергоемкости систем газоснабжения, повышение надежности и безопасности их эксплуатации, совершенствование структуры распределения СУГ.

2. С учетом основных положений параметрической оптимизации разработана математическая модель, реализация которой позволила предложить оптимальный типоряд вертикальных цилиндрических резервуаров СУГ, объемом от 0,96 до 4,7 м³. В целях снижения ресурсоемкости резервуарных систем газоснабжения предложено новое схемное решение, предусматривающее вертикальную установку резервуаров в грунтовом массиве и устройство обратной песчаной засыпки с помощью перемещаемой опалубки, защищенное патентом на изобретение № RU 2495196. Внедрение в практику эксплуатации подземных вертикальных резервуаров предлагаемого типоряда с учетом нового схемного решения обеспечивает снижение металлоемкости резервуарных установок на 21,6%, сокращение площадей, отчуждаемых под размещение резервуарных установок на 19 %, снижение расхода песка для обратной засыпки котлована на 55,5 % и целый ряд других преимуществ экономического и технологического характера.

3. Методом электротепловой аналогии решена задача тепловой интерференции подземных вертикальных резервуаров сжиженного газа при их групповом размещении в грунте. Получена зависимость для определения коэффициента тепловой интерференции с учетом оптимальной компоновки подземных вертикальных резервуаров на территории резервуарного парка, обеспечивающей минимум капитальных вложений в расчете на единицу испаренного газа. Установлено, что групповые резервуарные установки с вертикальными сосудами менее подвержены взаимному тепловому влиянию и обеспечивают более высокий (на 20-25%) паросъем, способствующий повышению их конкурентоспособности по сравнению с горизонтальными.

4. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено применение схемы комбинированной регазификации сжиженного углеродородного газа для снижения энергоемкости процесса искусственного испарения СУГ. Установлено, что естественный теплоприток к подземным резервуарным установкам из грунтового массива и учет аккумулирующей способности паровой подушки расходных резервуаров позволяет снизить расход энергоносителей на испарение газа до 68%, при этом дополнитель-

ные капитальные вложения в перевод резервуарных установок с режима искусственного испарения СУГ на режим комбинированной регазификации окупаются в течение 1,7 года.

5. Выявлены условия кристаллизации влаги в регуляторах давления при дросселировании влагосодержащего газа с учетом компонентного состава СУГ, структуры и влагоемкости дросселируемого парожидкостного потока, температуры, давления, теплофизических и термодинамических параметров процесса. Установлено, что дросселирование насыщенной жидкости и парожидкостного потока приводит к образованию ледяных и гидратных пробок, дросселирование насыщенных и перегретых паров сжиженного углеводородного газа кристаллизации влаги не вызывает.

6. Предложено новое техническое решение предупреждения ледяных и гидратных пробок в дросселирующих органах регуляторов давления базирующееся на сохранении перегрева паров СУГ, полученного в расходных резервуарах, защищенное патентом на изобретение № RU 2476759 и обеспечивающее снижение капитальных вложений в систему защиты редуцирующих головок резервуаров от кристаллизации влаги в размере 76% в расчете на одну резервуарную установку СУГ.

7. Разработаны математические модели оптимального функционирования поселковых систем газоснабжения на базе подземных резервуарных установок, отличительной особенностью которых является системная постановка задачи и алгоритмов численной реализации с учетом многообразия определяющих климато-технологических факторов. Доказано, что оптимальная централизация поселковых систем газоснабжения изменяется в широком диапазоне от 14 до 112 квартир и составляет в среднем 50-60 квартир, подключаемых к одной резервуарной установке. Децентрализованные системы газоснабжения сельских поселков имеют достаточно ограниченную область применения и эффективны только при большой рассредоточенности потребителей (при плотности населения на селитебной территории 6-15 чел./га). При большей плотности населения целесообразно применять централизованные системы газоснабжения.

8. Разработана математическая модель оптимального функционирования региональных (межпоселковых) систем газоснабжения, принципиальной особенностью которой является системная постановка задачи и алгоритм ее численной реализации с учетом многообразия определяющих факторов: технические характеристики газонаполнительных станций, способ доставки СУГ потребителям, наличие и характеристики дорожной и транспортной инфраструктуры, схемно-параметрических решений поселковых систем газоснабжения. Установлено, что совершенствование региональных систем газоснабжения требует увеличения централизации существующих газораспределительных систем путем сооружения крупных ГНС областного характера, мощностью до 140 тыс.т/год, а также применения двухступенчатых систем газоснабжения с развитой сетью ГНП по реализа-

ции баллонного газа мощностью до 1800 т/год. Для определения размещения газонаполнительного пункта на территории административного района разработан программный продукт, обеспечивающий поиск оптимального решения в зависимости от объема годового газопотребления объектами газификации и условиями доставки продукта.

Перевод одноступенчатых систем газоснабжения на двухступенчатые позволяет снизить затраты в сооружение и эксплуатацию до 30%, при этом дополнительные затраты в реконструкцию существующих систем окупаются в течение 3-10 лет.

9. Разработаны рекомендации по выбору вида используемого топлива при газификации сельских населенных пунктов, учитывающие удаленность населенного пункта от магистрального сетевого природного газа и перспективную динамику цен на энергоресурсы. При наличии в регионе развитой газотранспортной системы сетевого природного газа потенциальными объектами газификации СУГ являются сельские поселки численностью до 300 жителей, удаленные от межпоселковых газопроводов на расстояние более 15 км с учетом текущих цен на газовое топливо и более 11 км в условиях перехода на мировые цены альтернативных энергоресурсов.

10. По результатам диссертационных исследований разработаны и внедрены в практику эксплуатации нормативные отраслевые документы, регламентирующие выбор и оптимизацию параметров поселковых и региональных систем снабжения сжиженным углеводородным газом и их отдельных элементов.

11. Результаты теоретических и экспериментальных исследований апробированы при проектировании, сооружении и реконструкции систем газоснабжения и их отдельных элементов в Саратовской, Липецкой, Тамбовской, Воронежской, Курской областях Российской Федерации, а также в Атырауской и Западно-Казахстанской областях республики Казахстан. Суммарный годовой экономический эффект от внедрения научных разработок составил более 93,256 млн. руб.

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования проектными, строительско-монтажными и специализированными организациями, занимающимися вопросами газоснабжения населённых пунктов.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. **Осипова, Н.Н.** Оптимизация региональных систем снабжения сжиженным углеводородным газом / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, Л.В. Смирнова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2009. – вып.3 (15). – С. 7–13.

2. **Осипова, Н.Н.** К выбору оптимальной централизации резервуар-

ных систем снабжения сжиженным углеводородным газом / Н.Н. Осипова // Приволжский научный журнал. – 2009. – №4. – С.74–79.

3. **Осипова, Н.Н.** Системы снабжения сжиженным углеводородным газом от индивидуальных резервуарных установок / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, Л.В. Смирнова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2009. – №35 (168). – С.43–48.

4. **Осипова, Н.Н.** Техничко-экономическое обоснование систем газоснабжения на базе резервуарных установок сжиженного газа / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – 1(22). – С. 134–141.

5. **Осипова, Н.Н.** Оптимизация тепловой защиты зданий в условиях динамики стоимости энергоресурсов / Н.Н. Осипова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2010. – Вып.18(37). – С. 98–104.

6. **Осипова, Н.Н.** Экономико-математическое моделирование оптимального функционирования централизованных систем снабжения потребителей смесью паров сжиженного углеводородного газа с воздухом / Н.Н. Осипова // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. – 2010. – №1. – С. 126–129.

7. **Осипова, Н.Н.** Выбор оптимальных параметров поселковых систем газоснабжения на базе резервуарных установок с искусственным испарением сжиженного углеводородного газа / Н.Н. Осипова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010. – Вып.1. – №4 (49). – С. 182 – 187.

8. **Осипова, Н.Н.** Экономическая целесообразность повышения уровня тепловой защиты индивидуальных жилых зданий при отоплении от установок автономного газоснабжения / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2010. – вып.4 (20). – С. 42–49.

9. **Осипова, Н.Н.** Моделирование оптимального функционирования одноступенчатых систем снабжения сжиженным газом на базе газонаполнительных станций / Н.Н. Осипова // Научно-технический журнал: Вестник ТГАСУ. – 2010. – вып.4 (29). – С. 150–155.

10. **Осипова, Н.Н.** Оптимизация энергопотребления индивидуальных жилых зданий / Н.Н. Осипова, Н.С. Рогова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010. – Вып.3. – №4 (51). – С. 133 – 140.

11. **Осипова, Н.Н.** К выбору оптимальной централизации резервуарных систем снабжения на базе огневых испарителей сжиженного углеводородного газа / Н.Н. Осипова // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – №1(26). – С. 124–128.

12. **Осипова, Н.Н.** Исследование теплообмена при хранении и регазификации сжиженного углеводородного газа в подземных резервуарных установках / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.А. Максимов и др. // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – 3(28). – С. 82–87.

13. **Осипова, Н.Н.** Моделирование региональных систем газоснабжения на базе сжиженного углеводородного газа / Н.Н. Осипова // Научный журнал: Вестник ИрГТУ. – 2011. – №2(49). – С. 84–89.

14. **Осипова, Н.Н.** Выбор рациональной области применения централизованных и децентрализованных систем снабжения сжиженным углеводородным газом / Н.Н. Осипова // Научно-технический журнал: Строительство и реконструкция. – 2011. – №5(37). – С. 39–45.

15. **Осипова, Н.Н.** Системы автономного газоснабжения населенных пунктов / Н.Н. Осипова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2011. – Вып. 22(41). – С. 115–121.

16. **Осипова, Н.Н.** Объективный выбор толщины тепловой изоляции участков трубопроводной обвязки узла редуцирования с целью предупреждения гидратообразования / Н.Н. Осипова, Б.Н. Курицын, С.А. Максимов // Научно-технический журнал: Вестник МГСУ. – 2011. – №7. – С.525–530.

17. **Осипова, Н.Н.** Выбор схемно-параметрических решений поселковых систем газоснабжения / Н.Н. Осипова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2011. – Вып.24(43). – С. 97–103.

18. **Осипова, Н.Н.** Разработка математической модели комбинированной регазификации сжиженного углеводородного газа / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.С. Кузнецов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – Вып.1. – №4 (59). – С. 218 – 224.

19. **Осипова, Н.Н.** Исследование процесса гидратообразования при редуцировании влажного газа / Н.Н. Осипова // Приволжский научный журнал. – 2012. – №3 (23). – С.112–117.

20. **Осипова, Н. Н.** Оптимизация параметров групповых подземных резервуарных установок сжиженного углеводородного газа / Н.Н. Осипова // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – №2(31). – С. 190–197.

21. **Осипова, Н. Н.** Моделирование теплообмена при хранении сжиженного газа в подземных резервуарных установках под воздействием естественных температур грунта и наружного воздуха / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.А. Максимов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2012. – Вып.2 (26). – С. 35 – 46.

22. **Осипова, Н.Н.** Выбор рациональной области применения систем газоснабжения при газификации населенных пунктов / Н.Н. Осипова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного

университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2012. – Вып.29(48). – С. 167–174.

23. **Осипова, Н.Н.** Разработка и обоснование технических решений по предупреждению гидратообразования в системах резервуарного снабжения сжиженным газом / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.А. Максимов // Приволжский научный журнал. – 2013. – №1 (25). – С.73–80.

24. **Осипова, Н.Н.** Особенности эксплуатации регуляторов давления резервуарных установок сжиженного углеводородного газа / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.А. Максимов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2013. – Вып.30(49). – С. 216–221.

25. **Осипова, Н.Н.** Экспериментальное исследование эксплуатационных параметров комбинированной схемы регазификации сжиженного углеводородного газа / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.С. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2014. – Вып.1 (33). – С. 28 – 34.

26. **Осипова, Н.Н.** Определение эксплуатационных параметров резервуарных установок при комбинированной регазификации сжиженного углеводородного газа / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.С. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2015. – Вып.3. – №3 (39). – С. 11 – 17.

Монографии

27. **Осипова, Н.Н.** Газоснабжение населенных пунктов: монография / Н.Н. Осипова, О.Н. Медведева. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2011. – 104 с.

Патенты РФ и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

28. Патент на изобретение 2476759 Российская Федерация, МПК F17D1/18 Система снабжения сжиженным углеводородным газом / Осипова Н.Н., Курицын Б.Н.: приоритет изобретения от 27 июля 2011 года, зарегистрировано в государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 февраля 2013г.

29. Патент на изобретение 2495196 Российская Федерация, МПК E02D27/38 (2006.01) Способ монтажа подземных вертикальных цилиндрических резервуаров / Осипова Н.Н., Курицын Б.Н., Кузнецов С.С.: приоритет изобретения от 11 марта 2012 года, зарегистрировано в государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 октября 2013г.

30. Свидетельство № 2015613129 о государственной регистрации программы для ЭВМ. Определение толщины тепловой изоляции трубопроводной обвязки узла редуцирования резервуарной установки: зарегистрировано

стрировано в Реестре программ для ЭВМ, 15.03.2015 / Осипова Н.Н., Курицын Б.Н.

31. Свидетельство № 2009612726 о государственной регистрации программы для ЭВМ. Оптимизация параметров систем газоснабжения на базе газонаполнительных пунктов: зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ, 28. 05.2009 / Осипова Н.Н.

32. Свидетельство № 2014462234 о государственной регистрации программы для ЭВМ. Расчет тепло-массообмена подземной резервуарной установки сжиженного газа: зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ, 26. 11.2014 / Курицын Б.Н., Осипова Н.Н., Кузнецов С.С.

Отраслевые документы

33. Стандарт организации. Выбор параметров систем газоснабжения сельских населенных пунктов на базе природного и сжиженного углеводородного газов: СТО 03321549-005 / Н.Н. Осипова и др. – Саратов: ОАО Росгазификация, ОАО Гипрониигаз, 2010. – 17 с.

34. Стандарт организации. Оптимизация параметров межпоселковых систем газоснабжения на базе природного и сжиженного углеводородного газов: СТО 03321549-014-2011 / Н.Н. Осипова и др. – Саратов: ОАО Росгазификация, ОАО Гипрониигаз, 2011. – 19 с.

35. Стандарт организации. Техничко-экономическое обоснование параметров систем газоснабжения: СТО 03321549-020-2012 / Н.Н. Осипова и др. – Саратов: ОАО Росгазификация, ОАО Гипрониигаз, 2012. – 18 с.

36. Стандарт организации. Предупреждение образования ледяных и гидратных пробок в системах резервуарного снабжения сжиженным газом: СТО 03321549-021-2012 / Н.Н. Осипова и др. – Саратов: ОАО Росгазификация, ОАО Гипрониигаз, 2012. – 19 с.

37. Стандарт организации. Обоснование ресурсо-энергосбережения систем снабжения сжиженным углеводородным газом: СТО 03321549-032-2014 / Н.Н. Осипова и др. – Саратов: ОАО Росгазификация, ОАО Гипрониигаз, 2014. – 15 с.

38. Стандарт организации. Рекомендации по использованию сжиженного углеводородного газа для коммунально-бытового потребления: СТО 03321549-030-2014 / Н.Н. Осипова и др. – Саратов: ОАО Росгазификация, ОАО Гипрониигаз, 2014. – 27 с.

Публикации в других изданиях

39. **Осипова, Н.Н.** Экономическая эффективность резервуарных систем снабжения сжиженным углеводородным газом / Н.Н. Осипова, О.Н. Медведева // Проблемы и перспективы развития строительства в XXI веке: материалы междунар. науч –практ. конф. – Магнитогорск, 2002. – С. 56-59.

40. **Осипова, Н.Н.** Децентрализованные системы снабжения сжиженным от индивидуальных газобаллонных установок/ Н.Н. Осипова, Б.Н. Курицын, Е.В. Иванова // Научно-технический журнал: Строительная инженерия. – Москва: ЗАО «Актион-Медиа». – 2006. – №6. – С. 48–52.

41. **Осипова, Н.Н.** Децентрализованные системы снабжения сжиженным от индивидуальных резервуарных установок / Н.Н. Осипова, Б.Н. Курицын, Е.В. Иванова // Научно-технический журнал: Строительная инженерия. – Москва: ЗАО «Акцион-Медиа». – 2006. – №7-8.

42. **Осипова, Н.Н.** Децентрализованные системы снабжения сжиженным от индивидуальных резервуарных установок / Н.Н. Осипова, Б.Н. Курицын, Е.В. Иванова // Научно-технический журнал: Строительная инженерия. – Москва: ЗАО «Акцион-Медиа». – 2006. – №9. – С. 25–30.

43. **Осипова, Н.Н.** Условия образования ледяных и гидратных пробок в регуляторах давления сжиженного газа / Н.Н. Осипова, Б.Н. Курицын, С.Г. Евдокимов // Научно-технический журнал: С.О.К. – Москва: Медиа Текнолоджи. – 2006. – №12. – С. 54–57.

44. **Осипова, Н.Н.** Централизация региональных систем снабжения сжиженным газом / Н.Н. Осипова / Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. – М. МГСУ, 2007. – С. 322–327.

45. **Осипова, Н.Н.** Повышение надежности эксплуатации резервуарных установок сжиженного газа с естественной регазификацией / Н.Н. Осипова / Использование нового оборудования, новых технологий, технологических процессов при газораспределении и газопотреблении: материалы II Всероссийск. конф. – Саратов: Гипрониигаз, 2007. – С. 103–113.

46. **Осипова, Н.Н.** Испарительные установки сжиженного газа с трубчатыми грунтовыми теплообменниками / Н.Н. Осипова, Б.Н. Курицын, М.В. Павлутин // Научно-технический журнал: Инженерные системы. – С.-Пб: АВОК-Северозапад, 2007. – №1(27). – С.57–63.

47. **Осипова, Н.Н.** Выбор мощности и местоположения опорного пункта газоснабжения на базе природного и сжиженного углеводородного газов / Н.Н. Осипова // Научное пространство Европа-2008: материалы IV междунар. науч –практ. конф. – София: Бял ГРАД-БГ, 2008. – Том 29. – С. 68-74.

48. **Осипова, Н.Н.** Оптимизация поселковых систем снабжения сжиженным углеводородным газом на базе резервуарных установок с электрическим испарителем / Н.Н. Осипова, Б.Н. Курицын // Научно-технический журнал: Инженерные системы. – С.-Пб: АВОК-Северозапад, 2008. – №4(37). – С.54-58.

49. **Осипова, Н.Н.** Оптимизация параметров распределительных газовых сетей при использовании сжиженного газа на нужды пищевого приготовления и отопления зданий/ Н.Н. Осипова, Б.Н. Курицын // Научно-технический и производственный журнал: Газ России – С.-Пб: Бекар, 2008. – №3. – С.87–90.

50. **Осипова, Н.Н.** Снабжение потребителей сжиженным углеводородным газом на базе подземных резервуарных установок / Н.Н. Осипова // Новейшие научные достижения-2009: материалы V междунар. науч–

практ. конф. – София: Бял ГРАД-БГ, 2009. – С. 29–33.

51. **Осипова, Н.Н.** Технические решения по совершенствованию межпоселковых систем газоснабжения / Н.Н. Осипова, О.Н. Медведева // НЕФТЕГАЗ-ИНТЕХЭКО-2009: материалы Междунар. конф. – М.: ООО ИНТЕХЭКО, 2009. – С. 27–29.

52. **Осипова, Н.Н.** Перспективные направления развития региональных систем газоснабжения / Н.Н. Осипова, О.Н. Медведева // Научно-теоретический и практический журнал: Оралдын Ғылым Жаршысы. – Уральск: Уралнауцкнига, 2009. – №9(24). – С.75–81.

53. **Осипова, Н. Н.** Экономическая целесообразность реконструкции региональных систем снабжения сжиженным газом / Н.Н. Осипова, Е.Г. Кашина // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо (АГЗК+АТ). – 2009. – №1(43). – С.17–19.

54. **Осипова, Н.Н.** Тепловая интерференция подземных резервуаров сжиженного газа при групповом размещении в грунте / Н.Н. Осипова // Разработка современных технологий и материалов для обеспечения энергосбережения, надежности и безопасности объектов архитектурно-строительного и дорожного комплекса: сб. науч. тр. – Саратов: СГТУ, 2010. – С.137–142.

55. **Осипова, Н.Н.** Температурные режимы хранения сжиженного углеводородного газа в подземных резервуарных установках газа / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.А. Максимов // Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: сб. тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2010. – С. 166–169.

56. **Осипова, Н.Н.** Техничко-экономические показатели резервуарных и баллонных систем снабжения сжиженным газом / Н.Н. Осипова // Актуальные вопросы социально-экономического развития регионов: Сб. ст. Всеросс. науч.-практ. конф. – Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2010. – Ч. 2. – С 61–64.

57. **Осипова, Н.Н.** Рациональная область применения децентрализованных систем газоснабжения / Н.Н. Осипова // Актуальные проблемы современного строительства: материалы 63 Междунар. науч.-технич. конф. молодых ученых. – С-Пб: СПбГАСУ, 2010. – Ч. 3. – С.80–83.

58. **Осипова, Н.Н.** Получение аналитических зависимостей расчета удельных приведенных затрат в сооружение и эксплуатацию резервуарных установок с искусственной регазификацией сжиженного углеводородного газа / Н.Н. Осипова, Л.В. Смирнова // Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Прага, 2010. – С.83–86.

59. **Осипова, Н.Н.** Резервуарные системы снабжения сжиженным газом с комбинированным отбором жидкой и паровой фаз/ Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.С. Кузнецов // Вестник строительства и архитектуры: Сб. науч. тр. – Орел: Изд-во ООО ПФ «Картуш», 2010. – №1. – С. 352–356.

60. **Осипова, Н. Н.** Определение приведенных затрат в сооружение и эксплуатацию групповых резервуарных установок, оборудованных огневыми испарителями / Н.Н. Осипова, С.Л. Шилкин, Н.С. Банников // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения: межвуз. науч. сб. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2010. – С.158–163.

61. **Осипова, Н.Н.** Надежность газоснабжения от баллонных установок сжиженного углеводородного газа / Н.Н. Осипова, К.В. Быстрова // Современная наука: теория и практика: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2011. – Т. 2. – С.70–73.

62. **Осипова, Н.Н.** Объективный выбор регазификаторов сжиженного углеводородного газа / Н.Н. Осипова // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: матер. IX Междунар. науч. конф. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. – С.207–213.

63. **Осипова, Н.Н.** Разработка рекомендаций для повышения энергетической эффективности индивидуальных жилых зданий / Н.Н. Осипова // Энергосбережение в системах тепло и газоснабжения. Повышение энергетической эффективности: сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. – С.-Пб, 2012. – С. 127–133.

64. **Осипова, Н.Н.** Экономическая эффективность использования газового топлива в качестве источника энергоснабжения / Н.Н. Осипова, М.В. Павлутин // Стратегические вопросы мировой науки-2013: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. – Польша: Nauka I studia, 2013. – Т. 30. – С. 94–96.

65. **Осипова, Н.Н.** Совершенствование региональных систем газоснабжения / Н.Н. Осипова, Н.А. Фрягин // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: Материалы XII Междунар. научн. конф. – Волгоград: ВолгГасу, 2014. – С.219–224.

66. **Осипова, Н.Н.** Сравнение вариантов автономного газоснабжения потребителей с искусственной регазификацией сжиженного углеводородного газа / Н.Н. Осипова, Ю.С. Ряписова // Культурно-историческое наследие строительства: вчера, сегодня, завтра: материалы междунар. научн.-практ. конф. – Саратов: Буква, 2014. – С.99–102.

67. **Осипова, Н.Н.** Выбор варианта газоснабжения населенного пункта / Н.Н. Осипова, И.В. Зузуля // Ресурсо-энергоэффективные технологии в строительном комплексе: материалы II Междунар. научн.-практ. конф. – Саратов: СГТУ, 2014. – С.159-161.

68. **Осипова, Н.Н.** Энергоэффективность использования газового топлива в системах снабжения сжиженным газом с комбинированной регазификацией / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.С. Кузнецов // Ресурсо-энергоэффективные технологии в строительном комплексе: материалы III Междунар. научн.-практ. конф. – Саратов: СГТУ, 2015. – С.308–311.

69. **Осипова, Н.Н.** Экспериментальные исследования взаимного теп-

лового влияния подземных резервуаров сжиженного углеводородного газа / Н.Н. Осипова, Ю.С. Ряписова // Современные технологии в строительстве, теплогасоснабжении и энергообеспечении: материалы междунар. научн.-практ. конф. – Саратов: Буква, 2015. – С.99–102.

70. **Осипова, Н.Н.** Централизация региональных систем снабжения сжиженным газом / Н.Н. Осипова, Ю.А. Рыль / Теоретические основы теплогасоснабжения и вентиляции: материалы VI Междунар. научн.-техн. конф. – М.: МГСУ, 2015. – С. 322–327.

Осипова Наталия Николаевна

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
РЕГИОНАЛЬНЫХ И ПОСЕЛКОВЫХ СИСТЕМ СНАБЖЕНИЯ
СЖИЖЕННЫМ ГАЗОМ**

Специальность 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано в печать ____ 2015. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 150 экз. Заказ № ____

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии

Издательства учебной литературы и учебно-методических пособий
Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.
410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77.