

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

УДК 620.9:662.92; 658.264

Гос. рег. № 01201174544

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе ИГЭУ  
Тютиков В.В.

\_\_\_\_\_ 2012 г.

**ОТЧЁТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

по теме: «Создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии в сетях централизованного теплоснабжения за счет разработки научно-технических основ и способов регулирования отпуска тепла»  
государственный контракт № 16.516.11.6089 от 8 июля 2011 г.

Шифр «2011-1.6-516-037-030»

**Этап 4.** Обобщение и оценка результатов исследований  
(заключительный)

Начальник НИСа

\_\_\_\_\_ Таланов С.Б.  
подпись, дата

Руководитель темы

\_\_\_\_\_ Созинов В.П.  
подпись, дата

Иваново 2012

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, д.т.н., профессор	_____ В.П. Созинов подпись, дата
Исполнители темы: Ответственный исполнитель, ведущий научн. сотр., к.т.н., доцент	_____ А.А. Генварев подпись, дата
К.т.н., доцент	_____ В.В. Сенников подпись, дата
К.т.н., профессор	_____ В.Д.Таланов подпись, дата
Инженер	_____ А.Е. Костров подпись, дата
Инженер	_____ М.Г. Козлов подпись, дата
Инженер	_____ Н.Н. Пронин подпись, дата
Инженер	_____ В.В. Смирнов подпись, дата
Инженер	_____ К.Б. Афонский подпись, дата
Инженер	_____ В.М. Пушков подпись, дата
Инженер	_____ А.М. Смирнов подпись, дата
Инженер	_____ Н.Г.Астафьев подпись, дата
Инженер	_____ Д.А. Голяков подпись, дата
Ассистент	_____ Н.К. Шарафутдинова подпись, дата
Инженер	_____ Д.Р. Залаев подпись, дата

Отчёт 63 с., 3 рис., 5 табл., 11 источников, 4 приложения

## СИСТЕМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, ТЕПЛОВОЙ ПУНКТА, ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ, НАСОСНЫЙ УЗЕЛ СМЕШЕНИЯ, ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД

Объектами исследования и разработки являются технические энергосберегающие устройства: термогидравлический распределитель – устройство позволяющее функционально разделить тепловые сети и потребителей, обеспечив независимость расхода сетевой воды по участкам тепловой сети от изменения расхода потребителей на горячее водоснабжение, насосный узел смешения с ЧРП заменяет элеватор в тепловых сетях и обеспечивает снижение располагаемого напора на источнике тепла, устройство по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном позволяет в двухтрубных тепловых сетях с нагрузкой горячего водоснабжения снизить расход тепла на отопление зданий в весенне-осенние периоды отопительного сезона.

Целью заключительного 4 этапа по теме «Создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии в сетях централизованного теплоснабжения за счёт разработки научно-технических основ и способов регулирования отпуска тепла» является обобщение и оценка результатов исследований новых технических энергосберегающих устройств: термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

На 4 этапе в процессе работы:

- проведено обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном;
- выполнено сопоставление данных научно-информационных источников и результатов теоретических и экспериментальных исследований;
- проведена оценка эффективности разработанных термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном по сравнению с аналогичными техническими системами на современном уровне;
- проведён анализ выполнения требований технического задания на НИР;
- оценена полнота решения задач и достижения поставленных целей НИР;

- разработаны предложения и рекомендации по внедрению термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном;
- разработаны методические рекомендации по применению термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном;
- выполнена технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов по применению термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП устройства по устранению перетопа с ЧРП и регулируемым клапаном;
- в рамках внебюджетного финансирования проведены исследования тепловых сетей с применением насосных узлов смешения, устройств по устранению «перетопа» и термогидравлического распределителя;
- разработаны технические задания на выполнение опытно-конструкторских работ (ОКР) по темам: «Термогидравлический распределитель для тепловых сетей централизованного теплоснабжения», «Насосный узел смешения с ЧРП для подключения потребителей к тепловым сетям централизованного теплоснабжения с повышенным температурным графиком», «Устройство для устранения «перетопа» в двухтрубных тепловых сетях централизованного теплоснабжения».
- получено положительное решение в выдаче патента на полезную модель «Тепловой пункт с термогидравлическим распределителем системы централизованного теплоснабжения» (заявка №2012133399/12(053111); дата подачи заявки 03.08.2012)

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>6</b>
<b>1 ОБОБЩЕНИЕ И ОЦЕНКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ</b> .....	<b>10</b>
1.1 <b>ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	<b>10</b>
1.1.1 <i>Функциональность термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном</i> .....	<b>10</b>
1.1.2 <i>Разработка методики теплогидравлического расчёта тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном</i> .....	<b>11</b>
1.1.3 <i>Методика определения конструктивных размеров для различных тепловых нагрузок термогидравлического распределителя</i> .....	<b>12</b>
1.1.4 <i>Физическое и математическое моделирование работы тепловых сетей централизованного теплоснабжения с установленными на ИТП пластинчатыми теплообменниками горячего водоснабжения</i> ..	<b>13</b>
1.1.5 <i>Теоретическое исследование физических процессов, происходящих при совместной работе новых технических средств: термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП, устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном, с потребителями на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение</i> .....	<b>13</b>
1.1.6 <i>Разработка математической модели регулирования тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном</i> .....	<b>14</b>
1.1.7 <i>Реконструкция тепловой схемы ИТП «Гараж» ИГЭУ путём установки термогидравлического распределителя вертикального типа</i> .....	<b>15</b>
1.1.8 <i>Разработка экспериментального образца насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном</i> .....	<b>15</b>
1.2 <b>СОПОСТАВЛЕНИЕ АНАЛИЗА НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	<b>16</b>
1.3 <b>ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В СРАВНЕНИИ С СОВРЕМЕННЫМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМ УРОВНЕМ</b> .....	<b>19</b>
1.4 <b>АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА НИР</b> .....	<b>21</b>
1.5 <b>ОЦЕНКА ПОЛНОТЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ И ДОСТИЖЕНИЯ ПОСТАВЛЕННЫХ ЦЕЛЕЙ НИР</b> .....	<b>33</b>
<b>2 РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ, НАСОСНОГО УЗЛА СМЕШЕНИЯ С ЧРП И УСТРОЙСТВА УСТРАНЕНИЯ «ПЕРЕТОПА» С ЧРП И РЕГУЛИРУЕМЫМ КЛАПАНОМ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ИХ НАЗНАЧЕНИЕМ, УСЛОВИЯМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ. РАЗРАБОТКА ТЗ НА ОКР</b> .....	<b>38</b>
<b>3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ: ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ, НАСОСНОГО УЗЛА СМЕШЕНИЯ С ЧРП И УСТРОЙСТВА УСТРАНЕНИЯ «ПЕРЕТОПА» С ЧРП И РЕГУЛИРУЕМЫМ КЛАПАНОМ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ИХ НАЗНАЧЕНИЕМ, УСЛОВИЯМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ</b> .....	<b>40</b>
<b>4 ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РЫНОЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ, НАСОСНОГО УЗЛА СМЕШЕНИЯ С ЧРП И УСТРОЙСТВА УСТРАНЕНИЯ «ПЕРЕТОПА» С ЧРП И РЕГУЛИРУЕМЫМ КЛАПАНОМ</b> .....	<b>41</b>
<b>5 ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСОСНЫХ УЗЛОВ СМЕШЕНИЯ, УСТРОЙСТВ ПО УСТРАНЕНИЮ «ПЕРЕТОПА» И ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ</b> .....	<b>48</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>50</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	<b>59</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А ТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ НА ОКР</b> .....	<b>60</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСОСНЫХ УЗЛОВ СМЕШЕНИЯ, УСТРОЙСТВ ПО УСТРАНЕНИЮ «ПЕРЕТОПА» И ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ</b> .....	<b>61</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ, НАСОСНОГО УЗЛА СМЕШЕНИЯ С ЧРП И УСТРОЙСТВА УСТРАНЕНИЯ «ПЕРЕТОПА» С ЧРП И РЕГУЛИРУЕМЫМ КЛАПАНОМ</b> .....	<b>62</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЮ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА «НАСОСНЫЙ УЗЕЛ СМЕШЕНИЯ С ЧРП И УСТРОЙСТВО УСТРАНЕНИЯ «ПЕРЕТОПА» С ЧРП И РЕГУЛИРУЕМЫМ КЛАПАНОМ»</b> .....	<b>63</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Теплоснабжение крупных городов Российской Федерации осуществляется в основном по централизованным системам. На эффективность централизованного теплоснабжения влияют тепловые потери при транспорте, а также технологические, какими являются потери на «перетоп». Это потери вызываемые необходимостью поддерживать в подающей линии температуру сетевой воды достаточную для подогрева горячей воды и превышающую температуру для систем отопления.

Применение до настоящего времени элеваторных узлов смешения, ввиду их низкого коэффициента полезного действия, вызывает значительные затраты электроэнергии на привод сетевых насосов, которые в итоге затрачиваются на дросселирование.

Термогидравлические режимы эксплуатации, а это в том числе обуславливает и экономичность работы источников теплоснабжения, зависят от присоединённых тепловых нагрузок. При практически постоянном расходе сетевой воды на нужды отопления, расход сетевой воды на горячее водоснабжение и вентиляцию носит переменный характер.

Стабилизация расхода сетевой воды для источника теплоснабжения и магистральных участков тепловой сети может быть обеспечена с помощью термогидравлического распределителя.

Выполнено обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

Оценена эффективность полученных результатов по сравнению с современным научно-техническим уровнем, а также проведён анализ выполнения требований технического задания на НИР и проведена оценка полноты решения задач и достижения поставленных целей НИР.

По внедрению в сетях централизованного теплоснабжения термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном разработаны предложения и рекомендации.

Приведены материалы по устройству второго экспериментального термогидравлического распределителя в тепловом пункте общежития №3 ИГЭУ, монтаж которого выполняется в настоящее время и данные по экспериментальному образцу по устранению «перетопа» монтируемого в административном корпусе «Б» ИГЭУ.

Проведены разработки технических заданий на опытно-конструкторские разработки (ОКР) термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

По причине наличия свойств у новых технических устройств, отличных от ранее использовавшихся в эксплуатируемых тепловых сетях, разработаны методические рекомендации по подбору и регулированию этих устройств.

Для оценки возможности применения термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП, устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном проведена оценка рыночного потенциала.

Проведены исследования гидравлических режимов тепловых сетей г. Зеленограда при снабжении теплом от двух районных тепловых станций. Разработана тепловая схема ЦТП с использованием новых технических устройств: термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном. Подобрано основное оборудование ЦТП.

На 1 этапе НИР:

- рассмотрены вопросы функционирования и преимущества применения в тепловых сетях централизованного теплоснабжения технических устройств: термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с частотно-регулируемым приводом (ЧРП) и устройства для предотвращения «перетопа»;
- проведены патентные исследования, по материалам которого сделан вывод о том, что охранных документов – патентов на объекты промышленной собственности, порочащих чистоту объекта разработки, не обнаружено. Исследуемый объект техники обладает патентной чистотой в отношении России, США, Японии, Великобритании и ФРГ;
- по результатам аналитического обзора информации и проведенных ранее авторами теоретических и экспериментальных исследований обоснован выбор направления исследований и оптимальных конструкций термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства для предотвращения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном;
- разработана методика термогидравлического расчета тепловой сети централизованного теплоснабжения с применением указанных выше технических устройств;
- разработана методика определения конструктивных размеров термогидравлического распределителя для различных тепловых нагрузок;
- рассмотрены открытые схемы теплоснабжения с подключением абонентов с насосами смешения, устройствами по устранению «перетопа» и баками-аккумуляторами горячего водоснабжения. Приведены основные уравнения функционирования таких схем в статическом и динамическом режимах;
- реконструирован тепловой пункт системы теплоснабжения ИГЭУ для абонента «гараж» с установкой ТГР;

- в тепловом пункте системы теплоснабжения ИГЭУ абонента «общедомовое №3 и №4» проводятся монтажные работы по установке ТГР для устранения влияния системы ГВС на систему отопления.

На 2 этапе НИР:

- выполнены теоретические исследования физических процессов, на основе которых предложены новые технические средства в области транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии;
- разработаны математические модели регулирования тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном;
- разработаны методические решения для реализации теоретических исследований; проведено моделирование объектов исследований, в том числе моделирование функционирования моделей термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном, обеспечивающих процессы энергосбережения в теплоснабжении;
- разработаны программы и методики проведения исследовательских испытаний;
- изготовлены экспериментальные образцы термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

На 3 этапе НИР:

- разработаны и созданы экспериментальные образцы: термогидравлический распределитель, насосный узел смешения с ЧРП и устройство по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном;
- проведены экспериментальные исследования в соответствии с планом исследования, планом эксперимента термогидравлического распределителя;
- проведены экспериментальные исследования в соответствии с планом исследования, планом эксперимента насосного узла смешения с ЧРП;
- проведены экспериментальные исследования в соответствии с планом исследования, планом эксперимента устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном;
- проведены экспериментальные исследования отдельных характеристик, параметров объекта исследования на основе требований, установленных техническим заданием;
- выполнена доработка документации на методические решения, применяемые при исследовании объектов НИР;



- произведена корректировка технической документации экспериментальных образцов;
- разработана методика и компьютерная программа идентификации элеватора насосному узлу смешения;
- разработана программа расчёта оптимальных параметров универсального термогидравлического распределителя.

По теме НИР «Создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии в сетях централизованного теплоснабжения за счёт разработки научно-технических основ и способов регулирования отпуска тепла» государственный контракт № 16.516.11.6089 от 8 июля 2011 г. шифр «2011-1.6-516-037-030» подготовлены промежуточные отчёты:

- Этап 1. Исследование технических энергосберегающих устройств для тепловых сетей централизованного теплоснабжения (промежуточный);
- Этап 2. Исследования тепловых и гидравлических характеристик термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном (промежуточный);
- Этап 3. Экспериментальные исследования термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном (промежуточный).

## **1 Обобщение и оценка полученных результатов**

### **1.1 Обобщение результатов исследований**

В промежуточных отчётах (этап 1, этап 2, этап 3) по теме «Создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии в сетях централизованного теплоснабжения за счёт разработки научно-технических основ и способов регулирования отпуска тепла» приведены результаты исследований технических энергосберегающих устройств для тепловых сетей централизованного теплоснабжения: термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

#### **1.1.1 Функциональность термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном**

На 1 этапе проведены исследования функциональности рассматриваемых технических устройств.

В сетях централизованного теплоснабжения термогидравлический распределитель обеспечивает гидравлическую независимость первичного контура тепловой сети от вторичных контуров потребителей тепла. При этом регулирование тепловой нагрузки подключённых потребителей, например, нагрузки горячего водоснабжения, не вызывает изменения расходов сетевой воды в первичном контуре тепловой сети.

Функциональность насосной схемы смешения с ЧРП заключается в разработке математического аппарата по поддержанию постоянным коэффициента смешения первичной – сетевой и обратной воды после системы отопления за счёт изменения числа оборотов насоса, приводимого в действие от асинхронного электродвигателя с помощью частотно-регулируемого привода (ЧРП). Выполненные аналитические исследования показывают, что изменение числа оборотов насоса в реально существующем диапазоне изменения располагаемого напора на абонентском вводе, находится в технически допустимом диапазоне.

«Перетоп» происходит в двухтрубных тепловых сетях централизованного теплоснабжения с нагрузками отопления и горячего водоснабжения при температурах наружного воздуха выше температуры точки излома температурного графика. Устранение «перетопа» позволяет экономить большое количество топлива на ТЭЦ и котельных и обеспечивать санитарно-гигиенические условия в отапливаемых помещениях.

Техническое устройство по устранению перетопа состоит из насоса с ЧРП и регулируемого клапана, которые обеспечивают снижение температуры сетевой воды, подаваемой в систему отопления, при сохранении постоянным расхода сетевой воды, то есть обеспечивается качественное регулирование тепловой нагрузки отопления.

Для исследуемой схемы по устранению «перетопа» разработан математический аппарат функционирования в период температур наружного воздуха выше температуры точки излома температурного графика. Получена система уравнений для определения сопротивления регулируемого клапана и числа оборотов насоса.

### **1.1.2 Разработка методики теплогидравлического расчёта тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном**

Теплогидравлический расчёт тепловой сети с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном отличается от расчётов тепловых сетей с зависимым и независимым присоединением потребителей.

Разработанная методика теплогидравлического расчёта учитывает взаимозависимость контуров систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и технологии, подсоединённых к термогидравлическому распределителю, и первичного контура тепловой сети, соединённого с источником, на основе решения системы уравнений 1 и 2 законов Кирхгофа.

Присоединение потребителей для температурных графиков выше 95/70°C по схеме с насосным узлом смешения с ЧРП обеспечивает возможность снижения напора сетевых насосов на источнике теплоснабжения на 15 метров водяного столба при температурном графике 150/70 °С, что даёт большую экономию электроэнергии на привод сетевых насосов. Способ расчёта основан на решении системы уравнений потокораспределения для кольцевых гидравлических сетей с уравнением зависимости напора от подачи и от числа оборотов для насоса смешения.

При этом для каждого располагаемого перепада напоров на абонентском узле системы отопления определяется число оборотов насоса смешения, которое поддерживается с помощью ЧРП.

Для двухтрубных тепловых сетей с нагрузками отопления и горячего водоснабжения для устранения «перетопа» в осенне-весенние периоды года применяется схема с

насосом смешения с ЧРП и регулируемым клапаном. Разработана методика теплогидравлического расчёта устройства по устранению «перетопа», основанная на системе уравнений 1 и 2 законов Кирхгофа, и связывающая работу насоса с изменением числа оборотов с помощью ЧРП и изменение сопротивления регулируемого клапана для обеспечения равенства расходов сетевой воды перед устройством по устранению «перетопа» и перед системой отопления при снижении температуры сетевой воды, подаваемой к потребителю.

Применение в сетях централизованного теплоснабжения термогидравлического распределителя требует соблюдения технических требований по напорам в подающей и обратной линиях тепловой сети. Так как, ТГР по своим функциональным особенностям имеет напор в подающей линии на 0,5-1 м.вод.ст. выше чем напор в обратной линии, то это вызывает необходимость поддержания напора в обратной линии не более 60 м.вод.ст., а в подающей линии поддержания напора не ниже напора вскипания сетевой воды. Данные технические требования обеспечиваются установкой типовых устройств: дроссельных диафрагм, регуляторов давления, регуляторов подпора и повысительных насосов.

### **1.1.3 Методика определения конструктивных размеров для различных тепловых нагрузок термогидравлического распределителя**

Конструктивные размеры термогидравлического распределителя зависят от нескольких влияющих факторов: климатических параметров - температуры наружного воздуха, температурного графика тепловой сети, числа часов стояния температур наружного воздуха, величин и соотношений подключённых нагрузок отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и технологии.

Основным показателем для подбора конструктивных параметров, таких как диаметр корпуса ТГР, диаметры подводящих и отводящих патрубков для систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения является минимум суммы квадратов относительных отклонений расходов сетевой воды, поступающей на ТГР, для минимальной и максимальной нагрузки горячего водоснабжения. Тем самым подбираются конструктивные параметры ТГР, обеспечивающие заданные отклонения расходов сетевой воды через ТГР. По разработанной математической системе уравнений гидравлических потерь напора и балансовых уравнений по смешению потоков с различными температурами, составлена компьютерная программа, позволяющая определять конструктивные размеры ТГР для любых исходных данных.

#### **1.1.4 Физическое и математическое моделирование работы тепловых сетей централизованного теплоснабжения с установленными на ИТП пластинчатыми теплообменниками горячего водоснабжения**

В настоящее время в тепловых сетях на ЦТП, на ИТП и на источниках: ТЭЦ и котельных находят широкое применение пластинчатые теплообменники. Исследования, проводимые 10-30 лет назад, по применению теплообменников, были ориентированы на кожухотрубчатые теплообменники.

При этом была выявлена независимость температуры первичного теплоносителя на выходе из кожухотрубчатого теплообменника от величины тепловой нагрузки вторичного теплоносителя – например, горячего водоснабжения. Проведённые теоретические исследования с помощью компьютерной программы CAS-200 пластинчатых теплообменников фирмы «ALFA-LAVAL» выявили, что с ростом нагрузки горячего водоснабжения увеличивается коэффициент теплопередачи и температура первичного теплоносителя на выходе из теплообменника.

#### **1.1.5 Теоретическое исследование физических процессов, происходящих при совместной работе новых технических средств: термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП, устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном, с потребителями на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение**

Теоретическое исследование физических процессов в термогидравлическом распределителе, насосном узле смешения с ЧРП и устройстве по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном при их совместной работе проведены в зависимости от изменения режимных факторов. Математическое описание совместной работы рассматриваемых технических энергосберегающих устройств выполнено на изменение температуры наружного воздуха от  $+8^{\circ}\text{C}$  до расчётной температуры наружного воздуха на проектирование отопления. Температура в подающей линии определяется на основании уравнений для качественного регулирования отопительной нагрузки в диапазоне от температуры точки излома температурного графика до температуры расчётной для проектирования отопления, а в диапазоне от  $+8^{\circ}\text{C}$  до точки излома температурного графика поддерживается постоянной равной  $70^{\circ}\text{C}$  для обеспечения температуры воды на горячее водоснабжение.

Регулирование вентиляционной нагрузки в 1 зоне от  $+8^{\circ}\text{C}$  до точки излома температурного графика и в 3 зоне от расчётной температуры на проектирование вентиляции до расчётной на проектирование отопления производится местным количественным регули-

рованием. Во 2 зоне от точки излома температурного графика до расчётной температуры на проектирование вентиляции производится качественным способом, аналогично регулированию отопительной нагрузки.

Регулирование нагрузки на горячее водоснабжение от  $+8^{\circ}\text{C}$  до точки излома температурного графика поддерживается постоянным расход сетевой воды и температура сетевой воды на выходе из теплообменника. При снижении температуры наружного воздуха ввиду того, что температура воды в подающем трубопроводе увеличивается, и температура и расход сетевой воды после теплообменника ГВС снижаются.

#### **1.1.6 Разработка математической модели регулирования тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смещения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном**

Регулирование нагрузки тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смещения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном осуществляется по типу качественного регулирования.

Математическая модель состоит из следующих взаимосвязанных разделов:

- определение тепловых нагрузок потребителей на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение в диапазоне температур отопительного периода;
- расчёт температуры в подающей и обратной линии тепловой сети, расчёт температур воды после системы вентиляции и горячего водоснабжения с местным количественным регулированием;
- уравнения, описывающие работу подогревателей при изменении расхода горячего водоснабжения во вторичном контуре;
- вычисление расходов сетевой воды потребителей на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение;
- определение потерь тепла трубопроводами при надземной, канальной и бесканальной прокладках с определением падения температуры воды на основании интегрирования системы дифференциальных уравнений падения давления и потерь тепла;
- аналитические зависимости, определяющие функционирование термогидравлического распределителя, насосного узла смещения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

### **1.1.7 Реконструкция тепловой схемы ИТП «Гараж» ИГЭУ путём установки термогидравлического распределителя вертикального типа**

Существенное влияние нагрузки горячего водоснабжения на отопление потребителей позволяет применить термогидравлический распределитель, обеспечивающий стабильность расхода сетевой воды.

В качестве объекта исследования принят индивидуальный тепловой пункт «Гараж» ИГЭУ. Разработан, изготовлен и смонтирован ТГР вертикального типа для устранения влияния ГВС на отопление потребителей.

### **1.1.8 Разработка экспериментального образца насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном**

Разработан, изготовлен и испытан комплексный экспериментальный образец, состоящий из насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

В экспериментальном образце созданы реальные условия, аналогичные для тепловых сетей. Температура сетевой воды достигается нагревом в скоростном подогревателе, охлаждение производится в пластинчатом теплообменнике, циркуляция обеспечивается центробежным насосом, подпитка и удаление растворённого воздуха осуществляется в ёмкостном подогревателе, выполняющем функцию расширительного бака. Данные с датчиков температуры подаются на контроллер, выдающий управляющие сигналы на центробежные насосы и регулируемый клапан.

Поддержание постоянного коэффициента смешения осуществляется контроллером по заданной величине коэффициента смешения и сравниваемой по величине фактического коэффициента смешения, определяемого по измеренным температурам.

Устранение «перетопа» осуществляется при поддержании постоянным расхода сетевой воды на систему отопления, соответствующему качественному регулированию.

Если температура наружного воздуха становится ниже точки излома температурного графика, то для обеспечения подогрева горячей воды в подающем трубопроводе поддерживается температура 70°C, это вызывает «перетоп» в системе отопления.

Контроллер экспериментальной установки вначале по измеренным температурам вычисляет значения двух коэффициентов смешения: в узле подачи от регулируемого клапана и в узле подачи насоса смешения. Далее контроллер выдаёт управляющий сигнал на ЧРП по изменению числа оборотов насоса и на привод регулируемого клапана, чтобы обеспечить равенство двух вычисленных коэффициентов смешения.

## 1.2 Сопоставление анализа научно-информационных источников и результатов теоретических и экспериментальных исследований

Исследования новых энергосберегающих устройств: термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» вызваны известными негативными особенностями при эксплуатации тепловых сетей.

В тепловых сетях с нагрузками отопления, вентиляции и горячего водоснабжения лишь расход сетевой воды на отопление при качественном регулировании поддерживается постоянным, нагрузки на вентиляцию и горячее водоснабжение имеют зоны местного количественного регулирования, что приводит как к суточному, так и по дням недели и месяца к колебаниям расхода воды. Графики расходов сетевой воды приведены в [1]. Особенно значительно влияние нагрузки горячего водоснабжения, которая изменяется в течение суток с коэффициентом максимума от 0 до 2,4 от среднего расхода тепла на горячее водоснабжение [2]. Таким образом, изменение расходов сетевой воды на вентиляцию и горячее водоснабжение приводит к значительным колебаниям суммарного расхода сетевой воды, проходящей через источник тепла: котельную или ЦТП.

По требованиям безопасной эксплуатации, паспортные данные содержат нормативные расходы сетевой воды через котлы и теплообменники и допустимые отклонения от них.

Чтобы обеспечить нормативные расходы через котлы и теплообменники применяются различные схемы. Но эти схемы не устраняют колебания расхода по трубопроводам тепловых сетей. Гидравлические потери изменяются пропорционально квадрату изменения расхода. Это уменьшает пропускную способность трубопроводов.

У потребителей тепловых сетей, работающих по температурному графику 115/70, 130/70 и 150/70°C, по санитарным нормам должны быть установлены смешивающие устройства, обеспечивающие подачу сетевой воды в систему отопления с температурой до 95°C. Применяемые в настоящее время водоструйные насосы – элеваторы, имеют чрезвычайно низкий КПД. Так при падении напора в местной отопительной системе в 1 метр водяного столба при температурном графике 150/70°C составляет 14,336 м. вод. ст. Это означает, что наиболее удаленный от источника тепла потребитель должен быть обеспечен таким располагаемым напором и естественно этот располагаемый напор должен быть создан насосами на источнике тепла. Следовательно, элеватор ввиду его низкой энергетической эффективности приводит к увеличению затрат электроэнергии на перекачку сетевой воды на создание дополнительного напора для работы элеваторов.



В двухтрубных тепловых сетях с нагрузкой отопления и горячего водоснабжения в период температур наружного воздуха выше точки излома температурного графика в виду необходимости подогрева воды на горячее водоснабжение поддерживается температура сетевой воды 70°C. При этом температура сетевой воды, подаваемая в систему отопления, выше необходимой по отопительному температурному графику – происходит «перетоп».

«Перетоп» вызывает перерасход топлива и ухудшение санитарно-гигиенических условий в отапливаемых помещениях.

Результаты теоретических исследований функционирования термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» приведены в отчете по второму этапу по данной теме.

На основании теоретических исследований был разработан, изготовлен и испытан экспериментальный образец термогидравлического распределителя, который установлен в ИТП «Гараж» ИГЭУ, а также в научно-исследовательском центре «АСУ в теплоэнергетике» ИГЭУ смонтирован экспериментальный стенд с насосным узлом смешения с ЧРП и устройством устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном. Разработаны управляющая и информационная система автоматизации технологических процессов с широким динамическим диапазоном изменения параметров экспериментального стенда.

Экспериментальные исследования термогидравлического распределителя проведены на ИТП «Гараж» ИГЭУ. В результате исследований получены данные, подтверждающие теоретические выкладки и доказывающие независимость расхода сетевой воды, поступающей на ТГР от изменений расходов циркуляционной воды в контурах системы отопления и ГВС.

Испытания экспериментального образца – насосного узла смешения с ЧРП в совокупности с функционально связанным с ним оборудованием выполнены в соответствии с требованиями, установленными в техническом задании (ТЗ).

Исследования насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» проведены в два этапа. На первом этапе выполнен вычислительный эксперимент, позволяющий выявить основные факторы и свойства изучаемого объекта исследования.

Была разработана компьютерная модель объекта исследования, реализующая абстрактную модель устройства насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном. На втором этапе выполнение экспериментальных исследований на физической модели.

Приёмочной комиссией ИГЭУ установлено, что программа исследовательских испытаний насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и

регулируемым клапаном выполнена полностью; объект и его техническая документация выдержали исследовательские испытания по программе и методикам испытаний.

Результаты вычислительного и физического экспериментов насосного узла с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном подтверждают теоретические предпосылки возможности с помощью ЧРП обеспечить для насосного узла заданный коэффициент смешения, а для устройства по устранению «перетопа» с помощью ЧРП и регулируемого клапана - равенство коэффициентов смешения в узлах подачи от регулируемого клапана и насоса; тем самым устранить «перетоп».

### **1.3 Оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем**

Выполненные исследования термогидравлического распределителя, насосного узла смещения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном подтверждают их эффективность как энергосберегающих устройств.

В настоящее время в тепловых сетях централизованного теплоснабжения с подключёнными нагрузками отопления, вентиляции и горячего водоснабжения наблюдается переменный расход сетевой воды как в течение суток, так и по времени года. Для тепловых сетей переменный расход вызывает и переменные потери напора, что приводит к регулированию насосов на источнике либо дросселированием на клапане, либо числом насосов, либо с помощью ЧРП.

Увеличенные расходы и потери напора приводят к завышенным мощностям насосов и дополнительным затратам на системы регулирования. Кроме того, котельные агрегаты и теплообменные установки, рассчитанные на паспортные расходы, требуют дополнительных рециркуляционных насосов и систем регулирования при сетевых расходах, отличных от паспортных.

Применение термогидравлических распределителей для подключения нагрузок потребителей на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение позволяет обеспечить постоянные расходы сетевой воды как по участкам, так и по источнику тепла. В результате это позволяет снизить мощность сетевых насосов, снизить расход электроэнергии на перекачку теплоносителя и сократить как капитальные, так и эксплуатационные затраты на сети и источники централизованного теплоснабжения.

На современном научно-техническом уровне проектирования и эксплуатации тепловых сетей отсутствуют какие-либо способы обеспечения постоянства расходов сетевой воды по участкам тепловых сетей при нагрузках потребителей отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Альтернативой применения ТГР в настоящее время являются многотрубные тепловые сети, когда системы отопления потребителей подключаются к двухтрубной тепловой сети отопления, системы вентиляции потребителей подключаются к двухтрубной тепловой сети вентиляции, а системы горячего водоснабжения потребителей подключаются к двухтрубной тепловой сети горячего водоснабжения. Многотрубные тепловые сети обеспечивают лишь постоянство расхода сетевой воды на отопление потребителей. В тепловых сетях вентиляции и горячего водоснабжения при применении количественного регулирования тепловой нагрузки поддержание постоянства расхода сетевой воды без применения ТГР невозможно.

Применяемые в настоящее время водоструйные насосы – элеваторы, обеспечивающие смешение потоков сетевой воды до температуры, требуемой санитарно-гигиеническими нормами и создающие напор для преодоления гидравлического сопротивления отопительных систем, при всей их простоте, имеют целый ряд недостатков.

В последние годы производители стали изготавливать стальные элеваторы методом сварки цилиндрической камеры и диффузора, в отличие от ранее изготавливаемых чугунных элеваторов с механической обработкой на токарных станках. Известно [3], что отклонение оси диффузора от оси цилиндрической камеры смещения даже на  $1-2^\circ$  приводит к существенному ухудшению характеристики элеватора. Практические испытания показывают чрезвычайно низкие качества стальных сварных элеваторов. Известно, что чугунный точёный элеватор создаёт максимальный напор около 3 м. вод. ст. А сварной элеватор зачастую может создать напор 1-2 м. вод. ст. Поскольку вопросы деаэрации сетевой воды при подогреве в водогрейных котлах до сих пор не решены, то коррозия трубопроводов отопительных систем вызывает их дополнительное сопротивление, которое становится зачастую больше 3 м. вод. ст. Это приводит к рассверловке сопел элеваторов, уменьшению коэффициента смешения и, как следствие к росту общего циркуляционного расхода сетевой воды, разрегулировке гидравлического режима, увеличению расхода электроэнергии и увеличению расхода топлива на источнике тепла.

Замена элеватора на насосные узлы смешения с ЧРП позволяет создавать необходимый напор для преодоления гидравлического сопротивления отопительных систем, даже более 3 м. вод. ст. и обеспечить заданный коэффициент смешения, не допускает разрегулировки гидравлического режима и возрастания циркуляционного расхода. Кроме того, так как насосный узел смешения с ЧРП не требует располагаемого напора перед ним, то это приводит к снижению напора сетевых насосов источника тепла, что создаёт значительную экономию электроэнергии.

Эксплуатация двухтрубных тепловых сетей централизованного теплоснабжения с нагрузками потребителей отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в настоящее время приводит к «перетопу» в осенне-весенние периоды. Кроме значительного перерасхода топлива на источниках тепла, это нарушает санитарно-гигиенические условия в отапливаемых помещениях.

Применение устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном позволяет обеспечить подачу сетевой воды с температурой, соответствующей отопительному температурному графику качественного регулирования и устранить «перетоп».

## **1.4 Анализ выполнения требований технического задания на НИР**

### ***Научные и научно-технические результаты выполнения НИР***

При выполнении НИР написаны 4 отчёта по 4 этапам.

В отчётах по НИР выполнен:

- обзор и анализ современной научно-технической, нормативной, методической литературы по способам регулирования тепловой нагрузки и техническим устройствам подключения потребителей к тепловой сети с повышенным температурным графиком;
- обоснован выбор направления исследований по применению термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с частотным регулированием привода (ЧРП), и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном в осенне-весенние периоды в двухтрубных тепловых сетях централизованного теплоснабжения с нагрузкой горячего водоснабжения;
- приведены результаты исследований экспериментальных образцов термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном;
- оценена технико-экономическая результативность НИР;
- сделаны обобщения и выводы по результатам НИР;
- приведены рекомендации и предложения по использованию результатов НИР.

Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

Разработана конструкторская документация на экспериментальные образцы термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

При выполнении НИР создана научно-техническая продукция:

- проекты технических заданий на проведение ОКР по теме: «Термогидравлический распределитель для тепловых сетей централизованного теплоснабжения»;
- проекты технических заданий на проведение ОКР по теме: «Насосный узел смешения с ЧРП для подключения потребителей к тепловым сетям централизованного теплоснабжения с повышенным температурным графиком»;
- проекты технических заданий на проведение ОКР по теме: «Устройство для устранения «перетопа» в двухтрубных тепловых сетях централизованного теплоснабжения»;

- разработана методика теплогидравлического расчёта тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства для устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном;
- разработана методика определения конструктивных размеров для различных тепловых нагрузок термогидравлического распределителя; разработана программа расчёта оптимальных параметров термогидравлического распределителя; создана математическая модель регулирования тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства для устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

*Экономия электрической энергии за счёт замены высоконапорных сетевых насосов на низконапорные*

Применяемые в настоящее время тепловые сети централизованного теплоснабжения при зависимом присоединении потребителей с помощью элеваторов и при независимом присоединении с помощью ЦТП требуют применения высоконапорных сетевых насосов для обеспечения работы элеваторов и преодоления сопротивления теплообменников ЦТП.

Применение насосных узлов смешения с ЧРП при зависимом присоединении потребителей и термогидравлических распределителей при независимом присоединении потребителей обеспечивает снижение напора сетевых насосов на 10-20 м. вод. ст.

Мощность сетевых насосов равна:

$$N = \frac{G \cdot H}{3,6 \cdot 102 \cdot \eta}, \text{ кВт}$$

где:  $G$  - расход сетевой воды, перекачиваемой сетевыми насосами, т/ч;

$H$  - напор, создаваемый сетевыми насосами, м. вод. ст.;

$\eta=0,6$  - коэффициент полезного действия сетевых насосов.

Наибольшее распространение в тепловых сетях централизованного теплоснабжения имеет напор сетевых насосов около 100 м. вод. ст.

Тогда экономия электроэнергии может быть определена как

$$\Delta N\% = \frac{\Delta H}{H} \cdot 100 = \frac{(10...20)}{100} \cdot 100 = (10...20)\%$$

*Экономия тепловой энергии за счёт применения термогидравлического распределителя*

Термогидравлический распределитель обеспечивает работу подключённых потребителей даже при минимальном располагаемом напоре на абонентском вводе менее 2 м. вод. ст. Это даёт возможность снизить напор сетевых насосов и обеспечить экономию электрической энергии на привод сетевых насосов. Кроме того, применение ТГР позволяет получить и экономию тепловой энергии.

Практика эксплуатации тепловых сетей с непосредственным (безэлеваторным) присоединением потребителей к тепловым сетям (на температурном графике 95/70 °С) показывает значительное превышение расхода тепла на отопление по сравнению с расчётным.

Это вызвано тем, что величины сопротивлений участков трубопроводов и сопротивлений отопительных систем сопоставимы по величине. Для обеспечения устойчивости теплоснабжения при непосредственном присоединении необходимо, чтобы сопротивления потребителей были как минимум на порядок выше сопротивлений участков трубопроводов тепловых сетей. Так как это требование не выполняется, то приводит к тому, что за счёт увеличения расхода сетевой воды на источнике обеспечивается нормальное теплоснабжение у наиболее удалённых потребителей, а у близко расположенных к источнику потребителей наблюдается значительное превышение тепла на отопление зданий. Поскольку температурный график обязан выполняться по правилам технической эксплуатации, то увеличение расхода тепла происходит за счёт увеличения расхода сетевой воды (циркуляции).

Расчётный расход тепла на отопление потребителей:

$$Q_p = c \cdot G_p \cdot (95 - 70) / 1000, \text{ Гкал}$$

Фактический (увеличенный) расход тепла на отопление потребителей:

$$Q = c \cdot G \cdot (95 - 70) / 1000, \text{ Гкал}$$

Увеличение расхода тепла на отопление равно:

$$\Delta Q\% = \frac{Q - Q_p}{Q} \cdot 100 = \frac{G - G_p}{G} \cdot 100 = 100 - \frac{G_p}{G} \cdot 100\%$$

Известно из практики эксплуатации, что  $G \geq 1,3 \cdot G_p$ , то есть увеличение расхода тепла на отопление больше 30%.

Подключение потребителей с помощью ТГР позволяет экономить более 30% тепловой энергии фактически за счёт организации стабильного, гидравлически устойчивого режима.

*Экономия тепловой энергии за счёт применения насосных узлов смешения с частотно регулируемым приводом*

Применение насосных узлов смешения обеспечивает не только экономию электрической энергии за счёт снижения напора сетевых насосов, но и создаёт экономию тепловой энергии.

К тепловым сетям централизованного теплоснабжения наряду с крупными потребителями с тепловой мощностью 0,1...2 Гкал/час присоединяют и мелкие с тепловой мощностью менее 0,04 Гкал/час. Это приводит к тому, что диаметр сопла элеватора по расчёту получается менее 3 мм, а по условиям эксплуатации (ввиду возможности засорения) принимается к установке сопло диаметром 3 мм. Это приводит к значительному перерасходу тепла на отопление и ухудшению санитарно-гигиенических условий в зданиях.

Определим экономию тепла за счёт применения вместо элеватора насосного узла смешения с ЧРП.

Диаметр сопла элеватора равен [4].

$$d_c = 9,6 \cdot \sqrt[4]{\frac{G^2}{H}}, \text{ мм}$$

где:  $G$  - расход сетевой воды к потребителю, т/ч;

$H$  - располагаемый напор в точке присоединения потребителя к тепловой сети,

м. вод. ст.



Откуда можно выразить расход сетевой воды к потребителю  $G$ .

При среднем располагаемом напоре в тепловой сети централизованного тепло-снабжения  $H=40$  м. вод. ст. и при сопле элеватора, равном 3 мм, расход будет равен:

$$G = \left( \frac{d_c}{9,6} \right)^2 \cdot \sqrt{H} = \left( \frac{3}{9,6} \right)^2 \cdot \sqrt{40} = 0,617632 \text{ т/ч}$$

Этот расход соответствует тепловой нагрузке:

$$Q = c \cdot (150 - 70) \cdot G = 1 \cdot (150 - 70) \cdot 0,617632 / 1000 = 0,049411 \text{ Гкал/ч.}$$

Таким образом, при нагрузке менее 0,049411 Гкал/ч сопло элеватора должно быть менее 3 мм.

При распространённой малой нагрузке потребителя 0,04 Гкал/ч экономия тепла за счёт установки насосного узла смешения с ЧРП составляет:

$$q\% = \frac{0,049411 - 0,04}{0,049411} \cdot 100 = 19,05\%$$

*Экономия тепловой энергии за счёт установки устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.*

Экономия тепловой энергии за счёт установки устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном достигается с помощью снижения температуры сетевой воды, подаваемой на систему отопления. Ниже приведён расчёт экономии тепловой энергии для корпуса «Б» ИГЭУ.

Экспериментальный стенд устройства по устранению «перетопа» смонтирован и прошёл успешные исследовательские испытания. На 2012-2013 гг. запланировано внедрение устройства по устранению «перетопа» в корпусе «Б» ИГЭУ.

Расчет температурного графика без температурного излома приведён в таблице 1.1.

Исходные данные для расчёта:

1) Расчетная температура воздуха внутри отапливаемых помещений, град.С	18
2) Расчетная скорость ветра, м/с	0
3) Расчетная срезка по температуре горячей воды, град.С	0
4) Ограничение по прямой, град.С	95
5) Расчетная температура в подающей, град.С	95
6) Расчетная температура в обратной, град.С	70
7) Расчетная температура смеси, град.С	95

Таблица 1.1 - Расчёт температурного графика без температурного излома

$T_{н}, ^\circ\text{C}$	$T_{н\text{экв}}, ^\circ\text{C}$	$T_{в}, ^\circ\text{C}$	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$
8	8	18,0	39,0	33,8	39,0
7	7	18,0	40,7	35,0	40,7
6	6	18,0	42,4	36,2	42,4
5	5	18,0	44,1	37,3	44,1
4	4	18,0	45,7	38,4	45,7
3	3	18,0	47,3	39,5	47,3
2	2	18,0	48,9	40,6	48,9
1	1	18,0	50,5	41,7	50,5
0	0	18,0	52,1	42,7	52,1
-1	-1	18,0	53,7	43,8	53,7
-2	-2,0	18,0	55,2	44,8	55,2
-3	-3,0	18,0	56,8	45,8	56,8
-4	-4,0	18,0	58,3	46,8	58,3
-5	-5,0	18,0	59,8	47,8	59,8
-6	-6,0	18,0	61,3	48,8	61,3
-7	-7,0	18,0	62,8	49,8	62,8
-8	-8,0	18,0	64,3	50,7	64,3
-9	-9,0	18,0	65,7	51,7	65,7
-10	-10,0	18,0	67,2	52,6	67,2
-11	-11,0	18,0	68,7	53,5	68,7
-12	-12,0	18,0	70,1	54,5	70,1
-13	-13,0	18,0	71,5	55,4	71,5
-14	-14,0	18,0	73,0	56,3	73,0
-15	-15,0	18,0	74,4	57,2	74,4
-16	-16,0	18,0	75,8	58,1	75,8
-17	-17,0	18,0	77,2	59,0	77,2
-18	-18,0	18,0	78,6	59,9	78,6
-19	-19,0	18,0	80,0	60,7	80,0
-20	-20,0	18,0	81,4	61,6	81,4
-21	-21,0	18,0	82,8	62,5	82,8
-22	-22,0	18,0	84,2	63,3	84,2
-23	-23,0	18,0	85,5	64,2	85,5

$T_{н}, ^\circ\text{C}$	$T_{н\text{ЭКВ}}, ^\circ\text{C}$	$T_{в}, ^\circ\text{C}$	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$
-24	-24,0	18,0	86,9	65,0	86,9
-25	-25,0	18,0	88,3	65,9	88,3
-26	-26,0	18,0	89,6	66,7	89,6
-27	-27,0	18,0	91,0	67,5	91,0
-28	-28,0	18,0	92,3	68,4	92,3
-29	-29,0	18,0	93,7	69,2	93,7
-30	-30,0	18,0	95,0	70,0	95,0

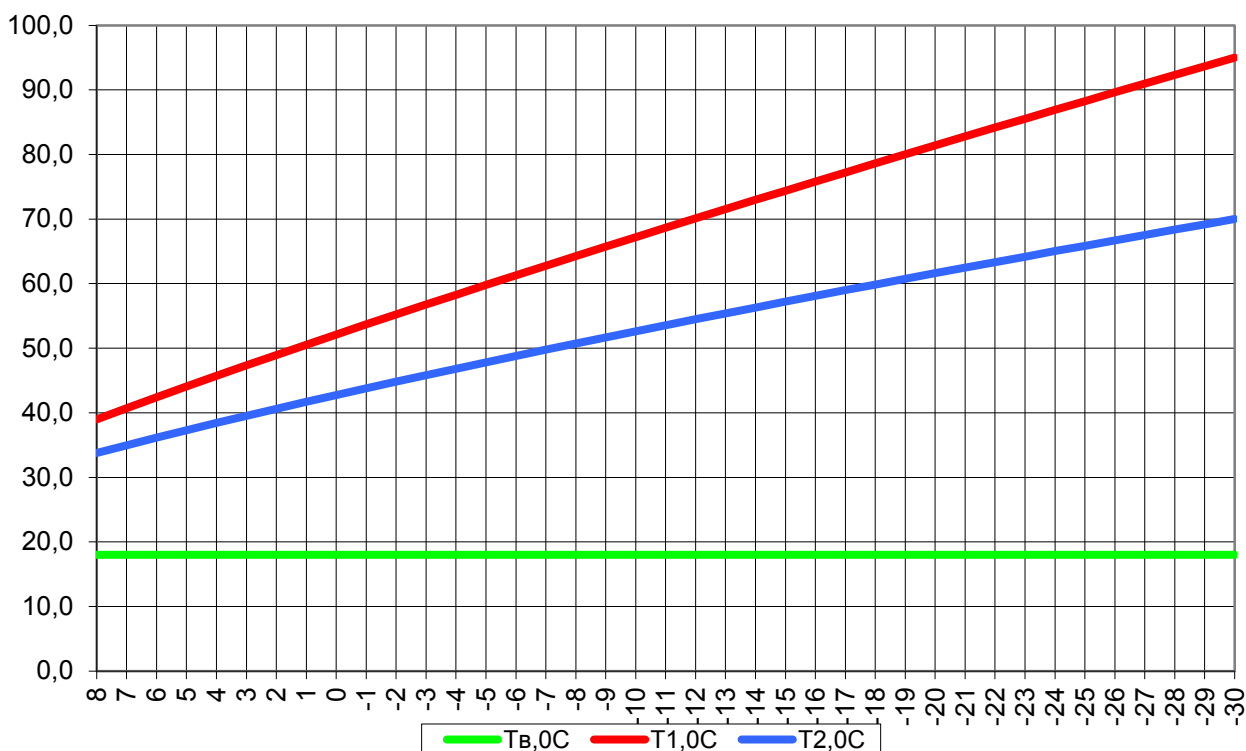


Рисунок 1.1 - Температурный график без температурного излома

Расчет температурного графика с температурным изломом приведен в таблице 1.2

Исходные данные для расчёта:

- |  |     |
|--|-----|
| 1) Расчетная температура воздуха внутри отапливаемых помещений, град.С         | 18  |
| 2) Расчетная температура наружного воздуха на проектирование отопления, град.С | -30 |
| 3) Расчетная скорость ветра, м/с   | 0   |
| 4) Расчетная температура излома по температуре горячей воды, град.С            | 70  |
| 5) Ограничение по прямой, град.С   | 95  |
| 6) Расчетная температура в подающей, град.С                                    | 95  |
| 7) Расчетная температура в обратной, град.С                                    | 70  |
| 8) Расчетная температура смеси, град.С   | 95  |

Таблица 1.2 - Расчёт температурного графика с температурным изломом

$T_{Н}, ^\circ\text{C}$	$T_{НЭКВ}, ^\circ\text{C}$	$T_{В}, ^\circ\text{C}$	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$
8	8	29,9	70,0	58,6	70,0
7	7	29,3	70,0	58,4	70,0
6	6	28,7	70,0	58,2	70,0
5	5	28,1	70,0	58,0	70,0
4	4	27,5	70,0	57,8	70,0
3	3	26,9	70,0	57,6	70,0
2	2	26,3	70,0	57,4	70,0
1	1	25,7	70,0	57,1	70,0
0	0	25,1	70,0	56,9	70,0
-1	-1	24,5	70,0	56,7	70,0
-2	-2,0	23,9	70,0	56,5	70,0
-3	-3,0	23,3	70,0	56,3	70,0
-4	-4,0	22,7	70,0	56,1	70,0
-5	-5,0	22,1	70,0	55,9	70,0
-6	-6,0	21,5	70,0	55,7	70,0
-7	-7,0	20,9	70,0	55,5	70,0
-8	-8,0	20,3	70,0	55,2	70,0
-9	-9,0	19,7	70,0	55,0	70,0
-10	-10,0	19,1	70,0	54,8	70,0
-11	-11,0	18,5	70,0	54,6	70,0
-12	-12,0	18,0	70,1	54,5	70,1
-13	-13,0	18,0	71,5	55,4	71,5
-14	-14,0	18,0	73,0	56,3	73,0
-15	-15,0	18,0	74,4	57,2	74,4
-16	-16,0	18,0	75,8	58,1	75,8
-17	-17,0	18,0	77,2	59,0	77,2
-18	-18,0	18,0	78,6	59,9	78,6
-19	-19,0	18,0	80,0	60,7	80,0
-20	-20,0	18,0	81,4	61,6	81,4
-21	-21,0	18,0	82,8	62,5	82,8
-22	-22,0	18,0	84,2	63,3	84,2
-23	-23,0	18,0	85,5	64,2	85,5
-24	-24,0	18,0	86,9	65,0	86,9
-25	-25,0	18,0	88,3	65,9	88,3
-26	-26,0	18,0	89,6	66,7	89,6
-27	-27,0	18,0	91,0	67,5	91,0
-28	-28,0	18,0	92,3	68,4	92,3
-29	-29,0	18,0	93,7	69,2	93,7
-30	-30,0	18,0	95,0	70,0	95,0

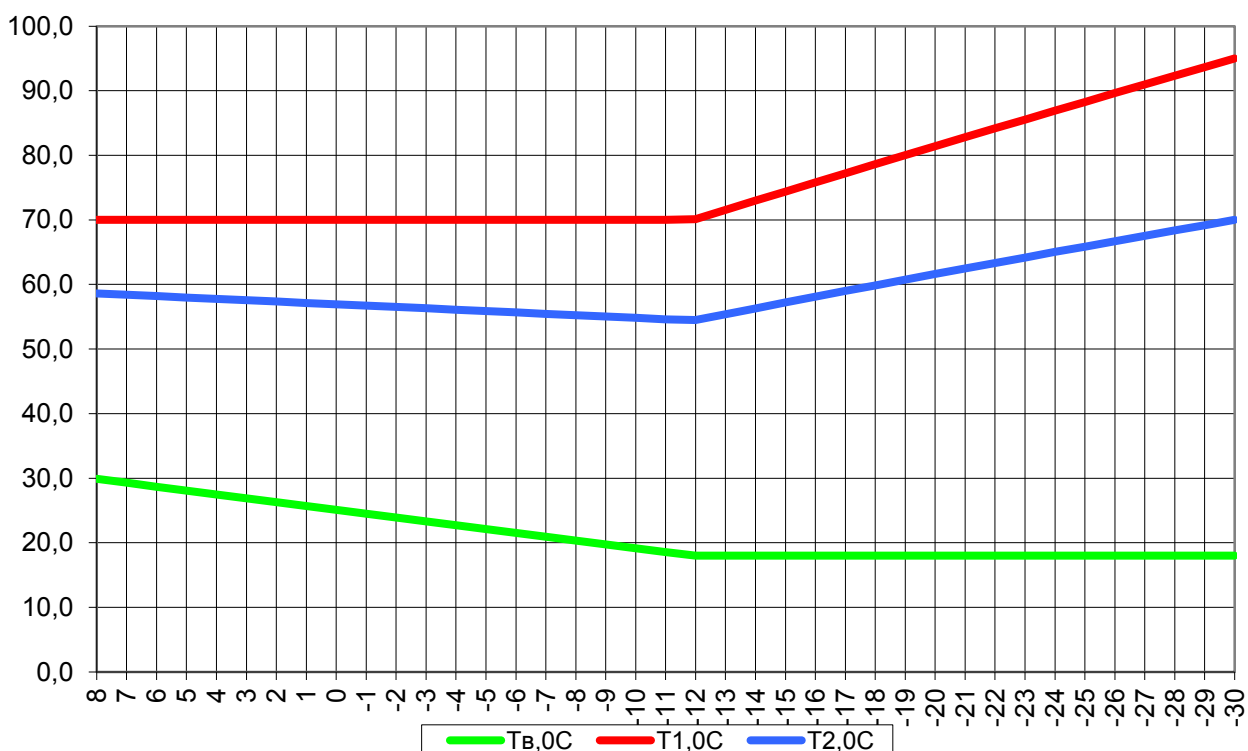


Рисунок 1.2 – Температурный график с температурным изломом

Таблица 1.3 - Число часов стояния температуры наружного воздуха [5]

Температура воздуха, °С	РСФСР												
	Марково (Магаданская обл.)	Махачкала	Минусинск	Могоча (Читинская обл.)	Москва	Мурманск	Нарьян-Мар	Нижнеудинск (Иркутская обл.)	Николаевск-на-Амуре	Оймякон	Олекминск	Олекск	
Ниже —54										385		61	
—54...—52,1										219		44	
—52...—50,1										237	9	70	
—50...—48,1	18									237	18	114	
—43...—46,1	35			9						272	53	131	
—46...—44,1	70		9	18				9		263	61	158	
—44...—42,1	88		9	35				9	18	289	88	184	
—42...—40,1	105		26	61				18	18	254	123	193	
—40...—38,1	105		44	88				26	35	228	175	210	
—38...—36,1	123		53	123				44	53	9	245	193	210
—36...—34,1	140		61	184				61	70	18	210	245	237
—34...—32,1	166		79	210		9	79	79	88	53	210	228	245
—32...—30,1	201		96	237		9	96	96	96	88	193	237	245
—30...—28,1	237		105	254	9	9	114	114	114	158	175	245	228
—28...—26,1	263		114	280	18	35	158	158	158	219	158	245	254
—26...—24,1	298		140	272	26	44	158	175	175	280	158	237	263
—24...—22,1	307		149	289	35	79	175	184	184	289	123	228	280
—22...—20,1	316		166	289	70	114	228	219	219	324	123	219	245
—20...—18,1	342		184	254	88	140	219	236	236	342	140	228	237
—18...—16,1	333		175	263	114	175	254	263	263	333	131	219	928
—16...—14,1	351	18	228	228	131	219	280	272	272	324	105	201	219
—14...—12,1	333	26	237	219	166	280	280	272	272	289	123	201	201
—12...—10,1	307	35	280	219	228	298	342	280	280	307	140	219	202
—10...—8,1	263	44	289	210	254	368	368	307	307	263	150	201	219
—8...—6,1	280	61	298	237	316	465	429	316	316	263	166	210	254
—6...—4,1	254	132	377	245	368	570	517	359	359	280	219	237	254

Температура воздуха, °С	РСФСР											
	Марково (Магаданская обл.)	Махачкала	Минусинск	Могоча (Читинская обл.)	Москва	Мурманск	Нарьян-Мар	Нижнеудинск (Иркутская обл.)	Николаевск-на-Амуре	Оймякон	Олекминск	Оленек
—4...—2,1	254	176	394	280	465	684	588	394	316	237	289	289
—2...—0,1	307	333	421	342	570	762	685	421	421	263	316	343
0... 1,9	368	570	412	333	789	815	702	421	421	289	316	360
2... 3,9	333	658	386	333	526	657	474	386	351	307	324	334
4... 5,9	307	666	359	333	447	631	482	403	359	342	324	316
6... 7,9	351	614	368	351	429	605	473	386	342	342	351	307
8... 9,9	403	552	368	342	465	517	394	429	394	351	368	289
10...11,9	421	447	421	377	517	394	298	412	456	324	386	272
12...13,9	333	456	438	394	561	289	237	438	456	298	368	254
14...15,9	254	508	456	351	543	201	184	377	429	228	351	210
16...17,9	175	508	394	307	500	149	131	333	359	201	280	193
18...19,9	123	578	324	263	368	96	105	237	263	149	228	149
20...21,9	96	648	272	193	298	70	70	201	175	123	193	96
22...23,9	52	683	219	158	219	36	35	149	114	79	123	79
24...25,9	35	543	175	96	131	27	26	131	52	44	90	53
26...27,9	18	324	106	62	70	18	26	70	18	26	79	26
28...29,9		140	71	26	35			26		9	44	9
30...31,9		44	44		9			9			9	
32...33,9			18									
34...35,9												
36...37,9												
38...39,9												
Выше 40												

Определим количество теплоты, которое должно отдаваться потребителю (корпус «Б») по температурному графику без излома

$$Q(t) = Q_0^{\max} \cdot \frac{18 - t_n}{18 + 30},$$

где:  $Q_0^{\max} = 0,788$  Гкал/ч - максимальная тепловая нагрузка на отопление корпуса "Б".

$t_n, ^\circ\text{C}$	$Q(t)$
7	0,18058
5	0,21342
3	0,24625
1	0,27908
-1	0,31192
-3	0,34475
-5	0,37758
-7	0,41042
-9	0,44325
-11	0,47608

$$Q_{\Sigma} = 0,18058 \cdot 429 + 0,21342 \cdot 442 + 0,24625 \cdot 526 + 0,27908 \cdot 789 + 0,31192 \cdot 1570 + 0,34475 \cdot 465 + 0,37758 \cdot 368 + 0,41042 \cdot 316 + 0,44325 \cdot 254 + 0,47608 \cdot 228 = 1661,32 \text{ Гкал}$$

Определим количество теплоты, отдаваемое потребителю (корпус «Б») по температурному графику с изломом.

Расчетный расход воды на корпус «Б» равен  $G = 31,524 \text{ м}^3/\text{ч}$

$t_n, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$Q(t)$
7	58,24	0,370722
5	58	0,378288
3	57,6	0,390898
1	57,1	0,40666
-1	56,7	0,419269
-3	56,3	0,431879
-5	55,9	0,444488
-7	55,5	0,457098
-9	55	0,47286
-11	54,6	0,48547

$$Q_{\Sigma}^{\text{изл}} = 0,37072 \cdot 429 + 0,378288 \cdot 442 + 0,390898 \cdot 526 + 0,40666 \cdot 789 + 0,419269 \cdot 1570 + 0,431879 \cdot 465 + 0,444488 \cdot 368 + 0,457098 \cdot 316 + 0,47286 \cdot 254 + 0,48547 \cdot 228 = 2250,59 \text{ Гкал}$$

Абсолютная годовая экономия теплоты от внедрения устройства устранения «перетопа» в ИТП корпуса «Б»:

$$\Delta Q = 2250,59 - 1661,32 = 589,27 \text{ Гкал}$$

Относительная годовая экономия теплоты от внедрения устройства устранения «перетопа» в ИТП корпуса «Б»:

$$\delta\% = \frac{\Delta Q}{Q_{\Sigma}^{\text{изл}}} = \frac{589,27}{2250,59} \cdot 100 = 26,18\%$$

### ***Результаты исследований, не указанные в техническом задании на НИР***

Выполнена идентификация элеватора и насосного узла смешения с ЧРП.

В тепловых сетях централизованного теплоснабжения источниками гидравлических потерь являются элеваторы, расположенные у наиболее удалённых потребителей.

Таким образом, для потребителей, расположенных близко от источника тепла, не существенно заменять элеватор на насосный узел смешения, так как для оптимального гидравлического режима необходимо устанавливать дроссельные устройства по гашению

избыточного напора. Следовательно, для энергосбережения можно заменять на насосные узлы смешения с ЧРП только элеваторы у наиболее удалённых потребителей. Это значительно сокращает затраты на устройства и на их монтаж.

Проведение наладочных и эксплуатационных гидравлических расчётов осложняется тем, что элеватор является «трёхполюсником» в отличие от участков трубопроводов и участков с насосными станциями, являющихся «двухполюсниками».

В то же время насосный узел смешения с ЧРП является устройством, состоящим из соединённых «двухполюсников», что обеспечивает их применение в существующих компьютерных программах по гидравлическим расчётам сложных многокольцевых тепловых сетей. Поэтому для гидравлического расчёта тепловых сетей разработан математический аппарат и компьютерная программа идентификации элеватора насосному узлу смешения. В результате работы компьютерной программы по заданному номеру элеватора, установленному диаметру сопла, определяются параметры идентичного по потерям напора между точками присоединения к основной схеме насосного узла смешения.

Разработан математический аппарат и компьютерная программа по расчёту оптимальных параметров универсального термогидравлического распределителя.

Известные зарубежные конструкции и методики расчёта ТГР ориентированы на малые тепловые нагрузки – индивидуальных домов или квартир. Применение этих конструкций ТГР в системах централизованного теплоснабжения приводит к созданию ТГР нереально больших диаметров и длины. В то же время с точки зрения теории гидравлических сетей замечательное свойство ТГР заключается в том, что в трубопроводе ТГР величина потери напора близка к нулю за счёт большого диаметра. Для больших нагрузок осуществить это замечательное свойство можно установив насосы с ЧРП на участках между врезками соединительных трубопроводов. Контроллер должен управлять ЧРП насосов таким образом, чтобы разность напоров между точками врезки была близка к нулю. По разработанному математическому аппарату составлена программа, моделирующая работу универсального термогидравлического распределителя, способного обеспечить стабильность расхода сетевой воды при изменениях расходов подключённых потребителей, независимо от величины их нагрузок.



## 1.5 Оценка полноты решения задач и достижения поставленных целей НИР

Поставленные задачи разработки экспериментальных образцов, их изготовлении и исследовании выполнены полностью. Изготовлен и находится в стадии монтажа второй термогидравлический распределитель, установленный в 3 общежитии ИГЭУ.

Опыт эксплуатации ТГР в отопительный сезон 2011-2012 г.г. показал хорошие результаты по снижению влияния нагрузки горячего водоснабжения на отопление зданий.

В промежуточном отчёте по 3 этапу «Экспериментальные исследования термогидравлического распределителя, узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном» в таблице 2.1 приведены результаты испытаний ТГР на влияние нагрузки отопления и горячего водоснабжения на расход сетевой воды. Нагрузки отопления и горячего водоснабжения изменялись с помощью переключения обмоток электродвигателей насосов. Как видно из приведённых данных в таблице, расход сетевой воды через ТГР находится в пределах 4,86-5,04 м<sup>3</sup>/ч при различных соотношениях чисел оборотов насосов системы отопления и системы ГВС. Это подтверждает замечательное свойство ТГР о независимости расхода сетевой воды через ТГР от расходов вторичного контура систем отопления и вентиляции. Потеря напора в трубе ТГР практически близка к нулю. Это означает, что энергетическая эффективность применения ТГР в основном заключается в снижении располагаемого напора на источнике тепла. Так для тепловой сети ИГЭУ в промежуточном отчёте по этапу 3 в приложении Ж приведён теплогидравлический расчёт. Суммарный расход сетевой воды через источник тепла при максимальном горячем водоразборе составляет 404,3 т/ч при располагаемом перепаде 25 м. вод. ст. При установке ТГР на всех потребителях ИГЭУ располагаемый напор на источнике может быть снижен не менее, чем на 10 м. вод. ст., так как наименьший располагаемый напор у потребителя фшк №35 составляет 13,32 м. вод. ст. Следовательно, напор на источнике, котельной ИГЭУ может быть снижен до 15 м. вод. ст.

Таким образом, электрическую мощность на привод сетевых насосов можно рассчитать по формуле:

$$N = \frac{G \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta}, \text{ кВт},$$

где:  $G=404,3$  - расход сетевой воды, т/ч;

$H=25$  - напор, создаваемый на источнике тепла сетевыми насосами, м. вод. ст.;

$\eta=0.6$  – коэффициент полезного действия насоса.

$$N_1 = \frac{404,3 \cdot 1000 \cdot 25}{3600 \cdot 102 \cdot 0,6} = 45,88 \text{ кВт}$$

Мощность на привод сетевых насосов при условии установки ТГР у всех потребителей:

$$N_2 = \frac{404,3 \cdot 1000 \cdot 15}{3600 \cdot 102 \cdot 0,6} = 27,53 \text{ кВт}$$

Снижение энергозатрат на привод сетевых насосов составляет:

$$\delta = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \cdot 100\% = \frac{45,88 - 27,53}{45,88} \cdot 100 = 40\%$$

Таким образом, снижение энергозатрат в тепловых сетях от применения ТГР выше 20%. Повышение ресурса оборудования заключается в стабильной подаче сетевых насосов при отсутствии переходных режимов, снижающих надёжность в эксплуатации технических устройств.

Приводим пояснение по пункту технического задания 6.1.1.1 «... обеспечивать подключение не менее четырех потребителей с отсутствием взаимовлияния на расход сетевой воды в первичном контуре», по требованию к экспериментальному образцу термогидравлического распределителя.

На рисунке 1.3 представлена часть схемы теплоснабжения ИГЭУ от ИТП «Гараж».

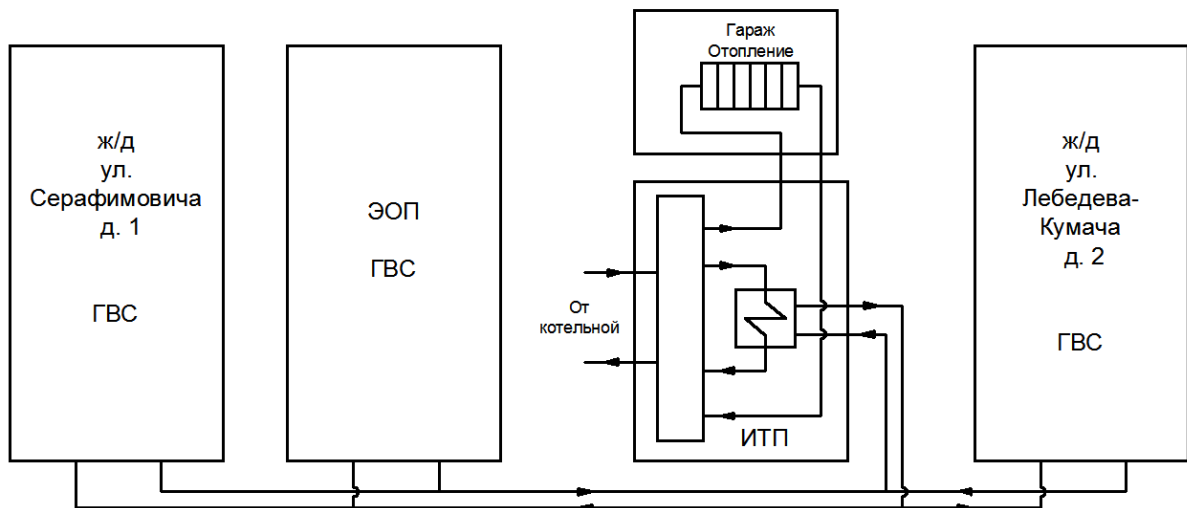


Рисунок 1.3 - Часть схемы теплоснабжения ИГЭУ от ИТП «Гараж»

К ТГР, установленному в ИТП, подключена система отопления объекта «Гараж» и горячее водоснабжение объектов: жилой дом по адресу ул. Серафимовича, д.1; жилой дом по адресу ул. Лебедева-Кумача, д.2 и экспериментально-опытное производство.

Таким образом, требования пункта 6.1.1.1 ТЗ выполнены полностью. В экспериментальных исследованиях ТГР участвовали 4 потребителя.

В приложении А приведены технические задания на опытно-конструкторские работы по темам:

1. Термогидравлический распределитель для тепловых сетей централизованного теплоснабжения;
2. Насосный узел смешения с ЧРП для подключения потребителей к тепловым сетям централизованного теплоснабжения с повышенным температурным графиком;
3. Устройство для устранения «перетопа» в двухтрубных тепловых сетях централизованного теплоснабжения.

## Выводы по 1 главе

1. Выполнено обобщение результатов исследований и функциональность новых технических энергосберегающих устройств – то есть на возможность выполнения предъявляемых к ним технических требований.

2. Проведён анализ разработанной методики теплогидравлического расчёта тепловой сети с потребителями, подключенными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном на соблюдение технических требований при эксплуатации.

3. Рассмотрены влияющие параметры на подбор конструктивных размеров термогидравлического распределителя.

4. На основании физического и теоретического моделирования выявлено, что на ранее применявшихся кожухотрубчатых теплообменниках отсутствовало влияние расхода сетевой воды на горячее водоснабжение, а на пластинчатых теплообменниках такое влияние присутствует.

5. Рассмотрены результаты исследований теоретических физических процессов в термогидравлическом распределителе, насосном узле смешения с ЧРП и устройстве по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

6. Рассмотрены возможности программной реализации математической модели регулирования тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

7. Рассмотрен объект «Гараж», на котором установлен экспериментальный образец термогидравлического распределителя.

8. Рассмотрены условия эксплуатации экспериментального образца – комплексного стенда насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа с ЧРП и регулируемым клапаном.

9. Выполнено сопоставление данных научно-информационных источников и результатов теоретических и экспериментальных исследований.

10. Произведена оценка полученных результатов исследований по сравнению с современным научно-техническим уровнем.

11. Проведён анализ выполнения требований технического задания на НИР. Указано, что требования технического задания выполнены. По данной теме разработаны математический аппарат и компьютерная программа идентификации элеватора и насосного узла смешения. Разработан математический аппарат и компьютерная программа, реализующие работу универсального термогидравлического распределителя.

12. Показано, что поставленные в техническом задании задачи для разработки экспериментальных образцов полностью выполнены. Пояснено, что изготовленный и участвовавший в эксперименте термогидравлический распределитель был подключён к четырём потребителям: одного на отопление и трёх на горячее водоснабжение.

## **2 Разработка предложений и рекомендаций по внедрению термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном, определяемых их назначением, условиями эксплуатации и применения. Разработка ТЗ на ОКР**

Разработанные в данной НИР технические энергосберегающие устройства рекомендуются к применению в тепловых сетях централизованного и децентрализованного теплоснабжения, для закрытых и открытых сетей.

Термогидравлический распределитель (ТГР) необходимо устанавливать у небольших по тепловой нагрузке потребителей, до 5 Гкал/час, а при больших нагрузках универсальный термогидравлический распределитель (УТГР).

На центральных тепловых пунктах (ЦТП), где установлены теплообменники для отопления и горячего водоснабжения, рекомендуется устанавливать УТГР, которые обеспечивают стабильность гидравлического режима первичного контура и снижают требования по величине располагаемого напора в точке присоединения ЦТП.

Устройство насосный узел смешения с ЧРП предлагается использовать в тепловых сетях с температурным графиком 115/70, 130/70 и 150/70°C. Кроме того, нет необходимости заменять все элеваторы, а только у потребителей, находящихся на наибольшем удалении от источника тепла. Рекомендуется применять их в тепловых сетях, к которым присоединены потребители, имеющие коррозионное увеличение потерь напора в отопительных системах. Применение насосных узлов смешения с ЧРП позволяет снизить напор сетевых насосов и экономить электроэнергию, расходуемую на привод сетевых насосов.

Насосный узел смешения с ЧРП предлагается использовать для потребителей с малыми нагрузками, в которых в настоящее время происходит «перетоп» во время всего отопительного периода. Это связано с тем, что даже для элеватора с номером 1 по гидравлическому режиму может потребоваться сопло с диаметром менее 3 мм, что недопустимо из-за возможности засорения окалиной, находящейся в сетевой воде. Из-за этих малых потребителей, например, в тепловых сетях города Иваново суммарная циркуляция сетевой воды увеличивается на 2000 тонн в час, а «перетоп» вызывает значительный пережог топлива на ТЭЦ и котельных.

Также рекомендуется устанавливать групповые насосные узлы смешения с ЧРП в районах с многочисленными малыми потребителями тепла – это районы частной застройки, коттеджные посёлки. Здесь можно пояснить на примере тепловых сетей города Дубна, в котором для групп коттеджей применены элеваторы №0 и №1. Поскольку элеватор может создать напор в лучшем случае не более 3 м. вод. ст., то гидравлический режим тепловых сетей от элеватора при таком малом напоре практически трудно рассчитать и тем

более наладить. Известно, что устойчивость гидравлического режима тепловой сети будет тем выше, чем меньше потери напора в соединительных трубопроводах и чем больше потеря напора в отопительных системах потребителей. Поскольку потери напора в трубопроводах и отопительных системах близки и в пределах 3 м. вод. ст., то гидравлический режим коттеджных тепловых сетей города Дубна чрезвычайно неустойчив.

Применение группового насосного узла смешения с ЧРП позволяет повысить располагаемый напор и создать условия, при которых можно устанавливать дроссельные устройства у потребителей, что повысит гидравлическую устойчивость тепловых сетей.

Устройство по устранению «перетопа» рекомендуется к применению в двухтрубных тепловых сетях с нагрузками отопления и горячего водоснабжения. Устройство позволяет сохранить качественный метод регулирования отопительной нагрузки и сохранить постоянный расход на отопление.

В тепловых сетях с температурным графиком 115/70, 130/70 и 150/70°C возможно применение у потребителей двух устройств: насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном. В этом случае насосный узел смешения будет работать весь отопительный сезон, а в осенне-весенние периоды дополнительно включается устройство по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

### **Выводы по 2 главе**

Разработаны предложения и рекомендации по внедрению термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном в тепловых сетях централизованного и децентрализованного теплоснабжения.

**3 Разработка методических рекомендаций по применению разрабатываемых технических средств: термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном, определяемых их назначением, условиями эксплуатации и применения**

Методические рекомендации по применению разрабатываемых технических средств: термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном, определяемых их назначением, условиями эксплуатации и применения приведены в Приложениях В и Г.



#### 4 Проведение технико-экономической оценки рыночного потенциала по применению термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном

Для продвижения товара (услуги) на рынке необходим план маркетинга для каждого товара (услуги). Такой план определяет выбор стратегии и требуемые ресурсы. На первом этапе составления плана маркетинга, необходимо определить *потенциал рынка*, т.е. совокупный спрос на ассортимент товаров (услуг) и провести предварительную оценку *ёмкости рынка*. Спрос на ассортимент товаров (услуг) называют первичным спросом.

*Текущий потенциал рынка* – это предел, к которому приближается первичный спрос при совокупном объеме маркетинговых усилий, стремящихся к бесконечности в данной среде и в данный отрезок времени.

*Абсолютный потенциал рынка* – общий объем продаж, который наблюдался бы, если бы каждый потенциальный пользователь потреблял товар с оптимальной частотой и в максимальном объеме. Ниже приведены основные методики определения потенциала (ёмкости) рынка [6].

1. На основе *норм потребления*. Емкость рынка равна количеству покупателей, умноженному на норму потребления в год. При данном методе количество покупателей определяется путем проведения опросов, а также с использованием статистических данных и на основе коэффициента проникновения продукта (услуги) на рынок, а норма потребления – также путем проведения опросов – определяется кратностью покупки, умноженной на число покупок в месяц, неделю.
2. *Прямое измерение* предполагает оценку первичного спроса на основе рыночных факторов, непосредственно связанных с покупками потребителей.
3. Оценка рынка предполагает определение числа покупателей и числа покупок *на основе прошлых продаж или обследований*, при этом какие-либо факторы, тесно связанные с первичным спросом, отсутствуют.

Для оценки совокупного рыночного спроса можно использовать формулу:

$$D = n \cdot q \cdot p, \quad (4.1)$$

где:

- n – число покупателей на рынке,
- q – среднее количество покупок в год,
- p – цена.

Следует отметить, что компания, зная абсолютный потенциал рынка, а также какую долю рынка она занимает, всегда может определить и *избирательный спрос* – спрос на свою конкретную марку и, соответственно, ожидаемый объем продаж.

4. *Метод цепного показателя* – расширенный вариант оценки абсолютного потенциала рынка. Для этого нужно знать:

$n$  – общее количество потенциальных пользователей;

$q$  – оптимальный уровень использования товара.

5. Метод, основанный на *статистических данных*, дает приблизительные данные, может использоваться для получения первых примерных оценок емкости рынка:

$$E (\text{ёмкость рынка}) = П + (И-Э) + (O_n - O_k) - ВП - З. \quad (4.2)$$

Для некоторых товаров ВП и  $З = 0$ ,

где:

П – произведено продукта внутри страны,

И – объем импорта,

Э – объем экспорта,

$O_n$  и  $O_k$  – остатки товара на начало и конец периода в торговле,

ВП – внутреннее потребление продукта самой компанией,

З – стратегический запас (удаляется с рынка).

6. Метод на основе *исследования намерений покупателей*.

Преимущественно используется для оценки емкости рынка товаров (услуг) длительного пользования: при этом применяется индекс уверенности потребителей (опрос потребителей относительно состояния экономики вообще, их личного экономического положения, намерения о покупке в ближайшие три месяца товаров длительного пользования) и индекс отраслевой уверенности (опрос промышленных компаний – их намерений в отношении инвестиций, занятости, загрузки производственных мощностей, текущего объема заказанной и отгруженной продукции).

7. Метод *с использованием коэффициентов*, применяемый в случае, когда имеется базовая величина емкости рынка, к которой применяются понижающие и повышающие коэффициенты.

$$E = E_{\text{баз}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (4.3)$$

где:

$K$  – поправочные факторы, которые влияют на емкость рынка;

$E_{\text{баз}}$  – емкость рынка (базовая) на данную категорию товаров (услуг).

Необходимо отметить, что при данной методике можно применять любые понижающие или повышающие коэффициенты, если они являются экономически обоснованными. При правильном расчете коэффициентов полученный результат – емкость рынка – будет максимально точно отражать реальную ситуацию на рынке.

Вышеперечисленные методика [6] не является исчерпывающей, однако, отражает основные подходы к расчету рыночного потенциала при продвижения товара (услуги) на рынке.

Для технико-экономической оценки рыночного потенциала разработанных научно-технических основ и способов регулирования отпуска тепловой энергии с применением термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» в осеннее-зимний период в двухтрубных тепловых сетях с нагрузкой горячего водоснабжения используем *метод цепного показателя* с использованием понижающих и повышающих коэффициентов.

Потенциал рынка применения в ИТП и ЦТП термогидравлического распределителя (ТГР) для стабилизации первичного контура источника теплоснабжения и тепловых сетей можно подсчитать следующим образом. В России насчитывается на 1 января 2010 г. 163 города с населением более 100 тыс. человек. В программе вводится понятие узел: например, 5-ти этажный жилой дом с населением 400 человек (100 квартир по 4 жителя в каждой квартире). Для города с населением 100000 жителей оцениваем число зданий, где можно устанавливать ТГР, с учетом понижающего коэффициента  $K = 0,2$  (принимаем, что в 20 % зданий располагаемый напор низкий и не обеспечивает преодоление сопротивления системы отопления отапливаемого здания. Тогда для города количество объектов, где необходимо установить ТГР, равняется

$$E = n \cdot q \cdot K = (100000/4 \cdot 100) \cdot 0,2 = 50.$$

Стоимость реконструкции теплового пункта с установкой ТГР можно оценить в 40000 - 50000 руб. (4 циркуляционных насоса, фильтры тонкой очистки, обратные клапана, приборы КИП и А, стоимость изготовления самого ТГР). Таким образом, ожидаемый объем услуг составляет для городов с населением более 100000 жителей  $163 \cdot 50 \cdot 50000 = 407,5$  млн. руб.

Для оценки потенциала рынка применения в ИТП и ЦТП насосов смешения с частотным регулированием применим аналогичные рассуждения. Стоимость реконструкции теплового пункта можно оценить в 20000 руб. Тогда ожидаемый объем услуг составит  $163 \cdot 50 \cdot 20000 = 163$  млн. руб.

Для оценки потенциала рынка применения схемы устранения «перетопа» в осенне-весенний период отопительного сезона количество объектов, где необходимо реализовать данную схему, равняется (значение понижающего коэффициента – 0,5)

$$N = n \cdot q \cdot K = 100000 / 400 \cdot 0,5 = 125.$$

Ожидаемый объем услуг составляет для городов с населением более 100000 жителей (при стоимости реконструкции 65000 руб.) равняется  $E = n \cdot N \cdot p = 163 \cdot 125 \cdot 65000 = 1324,4$  млн. руб.

### Оценка экономического эффекта от внедрения устройства по устранению «перетопа» в корпусе «Б» ИГЭУ

Капитальные затраты на установку устройства по устранению «перетопа» в корпусе «Б» ИГЭУ и расчёт срока окупаемости приведены ниже.

Экономия газа:

$$\Delta B = \frac{\Delta Q \cdot 10^6}{8000 \cdot 0,9} = \frac{589,27 \cdot 10^6}{8000 \cdot 0,9} = 81843,06 \text{ нм}^3$$

При стоимости газа в г. Иваново 4216,69 руб. (без НДС) за 1000 нм<sup>3</sup>, экономия за счет сокращения природного газа в результате устранения «перетопа» в корпусе «Б» составляет:

$$S = \frac{4216,69 \cdot 1,18 \cdot 81843,06}{1000} = 411571,9 \text{ руб}$$

Таблица 4.1 - Затраты на реконструкцию ИТП "Корпус «Б»" ИГЭУ

№ п/п	Необходимая арматура, насосы	Кол-во	Сумма за ед.	Общая сумма	Примечание
Устройство по устранению "перетопа" с ЧРП и регулируемым клапаном					
1	Клапан проходной седельный запорно-регулирующий фланцевый КПСР-40-16-Sauter	1	29 900,00р.	29 900,00р.	
2	Контроллер Segnetics SMH2G	1	18 000,00р.	18 000,00р.	
3	Насос UPS 65-120F	1	28 300,00р.	28 300,00р.	

№ п/п	Необходимая арматура, насосы	Кол-во	Сумма за ед.	Общая сумма	Примечание
4	Малогобаритный преобразователь частоты переменного тока на IGBT транзисторах E2-mini-1,5кВт	1	5 100,00р.	5 100,00р.	
5	Задвижка МЗВГ Ду100	6	6 000,00р.	36 000,00р.	
6	Балансировочный клапан чугунный ГРАНБАЛАНС PN16 Tmax= 120° С КБЧ-100	2	17 543,00р.	35 086,00р.	
7	Преобразователь избыточного давления ПДТВХ-1-0,2	4	3 780,00р.	15 120,00р.	
8	Термометр сопротивления ТС-Б-Р...Pt-100	9	3 700,00р.	33 300,00р.	
			Итого:	200 806,00р.	

Капитальные затраты на реконструкцию ИТП корпуса «Б» на устройство по устранению «перетопа» с ЧРП с регулируемым клапаном составляют 200806,00 руб.

Срок окупаемости капитальных вложений на реконструкцию ИТП корпуса «Б»:

$$T = \frac{K}{S} = \frac{200806}{411571,9} = 0,49 \text{ года}$$

В большинстве случаев при оценке эффективности капиталовложений в энергетические объекты допустимый срок окупаемости составляет 2-3 года. Так как полученный срок окупаемости капитальных вложений в реконструкцию ИТП корпуса «Б» за счет установки устройства по устранению «перетопа с ЧРП с регулируемым клапаном» меньше допустимого,  $T=0,49 \text{ года} < T_{\text{доп}}=2\div 3 \text{ года}$ , то проект считается экономически выгодным.

Экономия тепловой энергии за счет устранения «перетопа» в корпусе «Б» составит:

$$q = \frac{\Delta Q}{Q_{\Sigma}^{\text{изл}}} = \frac{589,27}{2250,59} \cdot 100\% = 26,18\%$$

В отопительном сезоне 2011-2012 гг. термогидравлический распределитель успешно эксплуатировался в составе ИТП «Гараж». В таблице 4.2 приведены затраты на реконструкцию ИТП «Гараж», которые составили 56169,40 руб.

Таблица 4.2 - Затраты на реконструкцию ИТП "Гараж"

№ п/п	Необходимая арматура, насосы	Кол-во	Сумма за ед.	Общая сумма	Примечание
1	Насос UPS 32-55-180	1	10 140,00р.	10 140,00р.	
2	Насос UPS 32-100-180	1	17 100,00р.	17 100,00р.	
3	Манометр МТП-100 (0-10 кгс/см <sup>2</sup> )	10	400,00р.	4 000,00р.	
4	Термометр биметаллический ТБ-080-1-0...100С-40ММ-1,5 G1/2	6	430,00р.	2 580,00р.	
5	Термогидравлический распределитель	1	3 780,00р.	3 780,00р.	Согласно смете ОГМ на изготовление
6	Автоматический воздухоотводчик du1/2"	1	221,40р.	221,40р.	
7	Трехходовой кран под манометр VT.245.N.04 1/2"	10	250,00р.	2 500,00р.	
8	Гильза под термометр	6	30,00р.	180,00р.	
9	Щит электрический с монтажной панелью ЩМП-3.2.1-074У2	1	1 500,00р.	1 500,00р.	
10	Фильтр ФМФ Ду32	2	5 300,00р.	10 600,00р.	
11	Кран шаровой Ду15	7	120,00р.	840,00р.	
12	Кран шаровой Ду32	4	345,00р.	1 380,00р.	
13	Кран шаровой Ду50	1	798,00р.	798,00р.	
14	Обратный клапан Ду32	2	500,00р.	1 000,00р.	
			<b>Итого:</b>	<b>56 619,40р.</b>	

Оценить экономический эффект, полученный от внедрения ТГР в ИТП «Гараж», невозможно в настоящее время, т.к. необходимо выполнить реконструкцию ряда ИТП ИГЭУ. На 2013-2014 гг. запланирована реконструкция ИТП общежития №3 и №4 с установкой ТГР на 4 потребителя и ИТП корпуса «Б» с установкой устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

#### **Выводы по главе 4**

1. Определён потенциал рынка для применения в ИТП и ЦТП термогидравлического распределителя;
2. Определён потенциал рынка для использования в ИТП и ЦТП насосного узла смешения;
3. Определён потенциал рынка для применения схемы устранения «перетопа» в осенне-весенний период отопительного сезона;
4. Проведена оценка экономия тепловой энергии за счет устранения «перетопа» в корпусе «Б»;
5. Приведены затраты на реконструкцию ИТП «Гараж».

## **5 Проведение исследований тепловых сетей с применением насосных узлов смешения, устройств по устранению «перетопа» и термогидравлического распределителя**

По данной тематике в рамках внебюджетного финансирования выполнена научно-исследовательская работа:

1. Договор №83/12 «Проведение исследований тепловых сетей с применением насосных узлов смешения, устройств по устранению «перетопа» и термогидравлического распределителя». Объем финансирования 1 100 000 руб.
2. Акт сдачи-приемки научно-технической продукции по договору №83/12.
3. Отчет о научно-исследовательской работе №83/12 «Проведение исследований тепловых сетей с применением насосных узлов смешения, устройств по устранению «перетопа» и термогидравлического распределителя»

Собраны исходные данные, определены нагрузки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Выполнены наладочные и режимные расчеты тепловых сетей. Рассчитана тепловая схема ЦТП. Выбрано основное и вспомогательное оборудование. Рассчитана тепловая схема ЦТП с новыми техническими устройствами (термогидравлический распределитель, насосный узел смешения, устройство по устранению «перетопа» с частотно-регулируемым приводом). Выбрано основное и вспомогательное оборудование.

Результаты проведенных исследований, выполненных по внебюджетному финансированию, приведены в Приложении Б.

### **Выводы к главе 5**

1. Представлены результаты исследований тепловых сетей с применением разработанных авторами технических средств: термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП, устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.
2. Выполнены наладочные гидравлические расчеты по определению оптимальной загрузки каждого из 2 источников теплоснабжения. На основании выполненных расче-



тов получены напоры в подающей и обратной линиях тепловой сети в точках подключения ЦТП.

3. Выполнен расчет тепловой схемы ЦТП на заданные нагрузки. Выбрано основное и вспомогательное оборудование ЦТП по традиционной методике с использованием теплообменников систем отопления, вентиляции и кондиционирования и ГВС.
4. Разработана тепловая схема реконструируемого ЦТП с использованием термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП, устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном. Обоснован выбор основного оборудования ЦТП.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы «Создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии в сетях централизованного теплоснабжения за счёт разработки научно-технических основ и способов регулирования отпуска тепла» созданы экспериментальные образцы и проведены теоретические и экспериментальные исследования.

### *Краткие выводы по результатам выполнения отдельных этапов:*

#### **1 этап**

1. Проведён аналитический обзор информационных источников по энергосберегающим устройствам для применения в тепловых сетях централизованного теплоснабжения.
2. Исследованы функциональность и преимущества применения в тепловых сетях термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.
3. Проведено патентное исследование по ГОСТ 15.011-96.
4. Намечены направления исследований и оптимизации конструкций термогидравлического распределителя, насосного узла смешения и устройства по устранению «перетопа».
5. Выполнена разработка методики теплогидравлического расчёта тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.
6. Разработана методика определения конструктивных размеров для различных тепловых нагрузок термогидравлического распределителя.
7. Разработана компьютерная программа для определения конструктивных параметров термогидравлического распределителя для различных тепловых нагрузок абонентов: отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.
8. Рассмотрены открытые схемы теплоснабжения с подключением абонентов с насосами смешения, устройствами по устранению «перетопа» и баками-аккумуляторами горячего водоснабжения. Приведены основные уравнения функционирования таких схем в статическом и динамическом режимах.

## 2 этап

1. Выполнено физическое и математическое моделирование работы пластинчатого теплообменника, установленного в ИТП «Гараж». Проведенные исследования показывают, что при условии поддержания постоянной температуры воды после подогревателя ГВС с помощью регулятора температуры.

2. Проведено теоретическое исследование физических процессов, происходящих при совместной работе новых технических средств:

- термогидравлического распределителя – как устройства, обеспечивающего независимость первичного контура (сети теплоснабжения) от вторичных контуров (сети отопления, вентиляции и горячего водоснабжения);

- насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном – как устройств, обеспечивающих регулирование параметров теплоносителя вторичного контура согласно температурному графику регулирования.

3. Построены графики изменения основных параметров тепловой сети при совместной работе новых технических устройств. Представлена схема совместной работы новых технических устройств с подключённым потребителем тепла с нагрузками отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Результаты расчетов доказывают эффективность применения термогидравлического распределителя; так суммарный расход воды, подаваемой абоненту с разнородной нагрузкой, остается практически неизменным, что обеспечивает надежную работу источника теплоснабжения.

4. Представлены расчетные зависимости для определения тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и ГВС, а так же для расчета тепловых потерь трубопроводами горячего водоснабжения.

5. Представлены расчеты для определения температуры воды в подающем трубопроводе тепловой сети для качественного регулирования и обратном трубопроводе после систем отопления, вентиляции и ГВС при качественном и местном количественном регулировании.

6. На основании характеристик теплообменных аппаратов выполнены исследования влияния коэффициента максимума горячего водоразбора на величину температуры сетевой воды после подогревателей ГВС и расхода сетевой воды на подогреватели ГВС. Выявлена независимость значения температуры воды после подогревателей кожухотрубчатого типа системы ГВС от коэффициента максимума ГВС.

7. Приведены расчетные зависимости для определения расходов сетевой воды на отопление вентиляцию и ГВС.

8. Разработаны системы дифференциальных уравнений для определения потерь давления и температуры в трубопроводах тепловой сети для надземной, канальной и бесканальной прокладок.

9. Разработаны математические модели регулирования тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

10. На основании теоретических исследований были созданы:

- экспериментальный образец термогидравлического распределителя в ИТП «Гараж» ИГЭУ. Опытный пуск реконструируемого ИТП доказал обоснованность высказанных ранее теоретических предположений. Составлен акт изготовления объекта исследований;

- в научно-исследовательском центре «АСУ в теплоэнергетике» смонтирован экспериментальный стенд с насосным узлом смешения с ЧРП и устройством устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном. В настоящее время проводится наладочные работы для построения управляющих и информационных систем автоматизации технологических процессов с широким динамическим диапазоном изменения параметров. Составлен акт изготовления объекта исследований.

11. Проведено исследования режимов работы термогидравлического распределителя, установленного в ИТП «Гараж» ИГЭУ, на действующей тепловой сети котельной ИГЭУ. Моделирование теплогидравлических режимов реальной тепловой сети выполнено с помощью компьютерной программы TGRTS.

12. По результатам наладочного расчёта выполнены поверочные теплогидравлические расчёты, моделирующие изменение параметров тепловой сети в зависимости от влияющих факторов. Так, суточное изменение нагрузки горячего водоснабжения (в зависимости от графика водопотребления) приводит к значительному изменению расхода сетевой воды источника теплоснабжения и к изменениям расходов воды на отопление подключённых абонентов. В зависимости от места расположения потребителя в схеме и соотношений нагрузок потребителей, наблюдается в основном снижение расхода сетевой воды на отопление потребителей при увеличении коэффициента максимума нагрузки горячего водоснабжения, что является доказательством необходимости применения термогидравлического распределителя для подключения потребителей в сетях централизованного теплоснабжения.

13. Разработана программа и методики проведения исследовательских испытаний экспериментального образца термогидравлического распределителя.

14. Разработана программа и методики проведения исследовательских испытаний экспериментального образца насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

15. Проведено обследование и собраны исходные данные по всем участкам тепловой сети и котельной.

16. Спроектирован, изготовлен и настроен на рабочие параметры термогидравлический распределитель, установленный в ИТП «Гараж».

17. Выполнены наладочный и поверочный теплогидравлические расчёты, по которым произведены наладочные работы к отопительному сезону 2011-2012 г.г.

18. В Приложениях к настоящему отчету представлены:

- методика регулирования теплогидравлических режимов тепловых сетей с подключением потребителей с помощью термогидравлического распределителя;
- методика расчета пластинчатых теплообменников;
- программы расчёта совместной работы термогидравлического распределителя, насосного узла смешения и потребителя тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение на языке «Maple»;
- программы совместной работы термогидравлического распределителя, насосного узла смешения, устройства по устранению «перетопа» и потребителя тепловой нагрузки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение на языке «Maple»;
- программа расчёта потерь давления и температуры тепловой сети при надземной, канальной и бесканальной прокладках на языке «Maple»;
- теплогидравлический расчет тепловых сетей ИГЭУ с максимальной нагрузкой ГВС.

19. Разработан способ регулирования тепловой нагрузки с подключением потребителей с помощью термогидравлического распределителя, заключающийся в поддержании системой автоматического регулирования котлом постоянства расхода воды через котел и температуры сетевой воды, подаваемой в тепловую сеть, соответствующую принятому температурному графику качественного регулирования.

### **3 этап**

1. Разработан и смонтирован экспериментальный образец термогидравлического распределителя и экспериментальные образцы насосного узла смешения с ЧРП и устройство устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном. Акт изготовления экспери-

ментального образца термогидравлического распределителя и экспериментальных образцов насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном представлены в Приложении В. Разработана конструкторская документация (КД) на экспериментальный образец термогидравлического распределителя и экспериментальных образцов насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном, без присвоения литеры, по ГОСТ 2.103-68\* с изменением №1.

2. В соответствии с программой и методикой исследовательских испытаний проведены экспериментальные исследования термогидравлического распределителя и насосного узла смешения с ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

3. Разработана методика идентификации водоструйных насосов – элеваторов, применяемых в зависимых системах теплоснабжения при повышенных температурных графиках, насосным узлам смешения.

4. Проведена модернизация экспериментального стенда с термогидравлическим распределителем, т. к. значения температуры воды на горячее водоснабжение после водоподогревателя была ниже нормативно-требуемых значений. Выполнен поверочный гидравлический расчет тепловых сетей ИГЭУ, заменена диафрагма в ИТП «Гараж».

#### **4 этап**

1. Выполнено обобщение результатов исследований и функциональность новых энергосберегающих устройств – то есть на возможность выполнения предъявляемых к ним технических требований.

2. Проведён анализ разработанной методики теплогидравлического расчёта тепловой сети с потребителями, подключенными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном на соблюдение технических требований при эксплуатации.

3. Рассмотрены влияющие параметры на подбор конструктивных размеров термогидравлического распределителя.

4. На основании физического и теоретического моделирования выявлено, что на ранее применявшихся кожухотрубчатых теплообменниках отсутствовало влияние расхода сетевой воды на горячее водоснабжение, а на пластинчатых теплообменниках такое влияние присутствует.

5. Рассмотрены результаты исследований теоретических физических процессов в термогидравлическом распределителе, насосном узле смешения с ЧРП и устройстве по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

6. Рассмотрены возможности программной реализации математической модели регулирования тепловой сети централизованного теплоснабжения с потребителями, подключёнными с помощью термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

7. Рассмотрен объект «Гараж», на котором установлен экспериментальный образец термогидравлического распределителя.

8. Рассмотрены условия эксплуатации экспериментального образца – комплексного стенда насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа с ЧРП и регулируемым клапаном.

9. Выполнено сопоставление данных научно-информационных источников и результатов теоретических и экспериментальных исследований.

10. Произведена оценка полученных результатов исследований по сравнению с современным научно-техническим уровнем.

11. Проведён анализ выполнения требований технического задания на НИР. Указано, что требования технического задания выполнены. Кроме того, по данной теме разработаны математический аппарат и компьютерная программа идентификации элеватора и насосного узла смешения. Разработан математический аппарат и компьютерная программа, реализующие работу универсального термогидравлического распределителя.

12. Показано, что поставленные в техническом задании задачи для разработки экспериментальных образцов полностью выполнены. Пояснено, что изготовленный и участвовавший термогидравлический распределитель был подключён к четырём потребителям: одного на отопление и трёх на горячее водоснабжение.

13. Разработаны предложения и рекомендации по внедрению термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном в тепловых сетях централизованного и децентрализованного теплоснабжения.

14. Определён потенциал рынка для применения в ИТП и ЦТП термогидравлического распределителя.

15. Определён потенциал рынка для использования в ИТП и ЦТП насосного узла смешения.

16. Определён потенциал рынка для применения схемы устранения «перетопа» в осенне-весенний период отопительного сезона.

17. Представления результаты исследований тепловых сетей с применением разработанных авторами технических средств: термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП, устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

18. Выполнены наладочные гидравлические расчеты по определению оптимальной загрузки каждого из 2 источников теплоснабжения. На основании выполненных расчетов получены напоры в подающей и обратной линиях тепловой сети в точках подключения ЦТП.

19. Выполнен расчет тепловой схемы ЦТП на заданные нагрузки. Выбрано основное и вспомогательное оборудование ЦТП по традиционной методике с использованием теплообменников систем отопления, вентиляции и кондиционирования и ГВС.

20. Разработана тепловая схема реконструируемого ЦТП с использованием термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП, устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном. Обоснован выбор основного оборудования ЦТП.

#### *Оценка полноты решений поставленных задач*

Поставленные задачи разработки экспериментальных образцов, их изготовления и исследования выполнены полностью. Изготовлен и находится в стадии монтажа второй термогидравлический распределитель, установленный в ИТП общежития № 3 и 4 ИГЭУ.

Опыт эксплуатации ТГР и ИТП «Гараж» в отопительный сезон 2011-2012 г.г. подтвердил теоретические предположения о снижении влияния нагрузки горячего водоснабжения на системы отопления подключённых к ТГР зданий.

#### *Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов НИР.*

Разработанные в данной НИР технические энергосберегающие устройства рекомендуются к применению в тепловых сетях централизованного и децентрализованного теплоснабжения, для закрытых и открытых сетей.

Термогидравлический распределитель (ТГР) необходимо устанавливать у небольших по тепловой нагрузке потребителей, до 5 Гкал/час, а при больших нагрузках универсальный термогидравлический распределитель (УТГР).

На центральных тепловых пунктах (ЦТП), где установлены теплообменники для отопления и горячего водоснабжения, рекомендуется устанавливать УТГР, которые обес-



печивают стабильность гидравлического режима первичного контура и снижают требования по величине располагаемого напора в точке присоединения ЦТП.

Устройство насосный узел смешения с ЧРП предлагается использовать в тепловых сетях с температурным графиком 115/70, 130/70 и 150/70°C. Кроме того, нет необходимости заменять все элеваторы, а только у потребителей, находящихся на наибольшем удалении от источника тепла. Рекомендуется применять их в тепловых сетях, к которым присоединены потребители, имеющие коррозионное увеличение потерь напора в отопительных системах. Применение насосных узлов смешения с ЧРП позволяет снизить напор сетевых насосов и экономить электроэнергию, расходуемую на привод сетевых насосов.

Насосный узел смешения с ЧРП предлагается использовать для потребителей с малыми нагрузками, в которых в настоящее время происходит «перетоп» во время всего отопительного периода.

Также рекомендуется устанавливать групповые насосные узлы смешения с ЧРП в районах с многочисленными малыми потребителями тепла – это районы частной застройки, коттеджные посёлки.

Устройство по устранению «перетопа» рекомендуется к применению в двухтрубных тепловых сетях с нагрузками отопления и горячего водоснабжения. Устройство позволяет сохранить качественный метод регулирования отопительной нагрузки и сохранить постоянный расход на отопление.

В тепловых сетях с температурным графиком 115/70, 130/70 и 150/70°C возможно применение у потребителей двух устройств: насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном. В этом случае насосный узел смешения будет работать весь отопительный сезон, а в осенне-весенние периоды дополнительно включается устройство по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном.

При разработке гидравлического режима для эксплуатации тепловых сетей централизованного теплоснабжения с применением термогидравлических распределителей необходимо учитывать технические требования по температуре и давлению на входе и выходе из ТГР.

Применение насосного узла смешения с ЧРП требует подбора насоса с характеристикой, соответствующей требованиям подключённого потребителя – по потерям напора в отопительной системе и по расходам, определяемым коэффициентом смешения.

Устройство по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном требует подбора насоса и регулируемого клапана с характеристиками, обеспечивающими подключение потребителей, с заданными тепловыми нагрузками.

### *Оценка технико-экономической эффективности внедрения.*

Проведение оценки потенциала рынка выявило, что количество городов, где необходимо установить ТГР равно 163. При стоимости теплового пункта с ТГР 40000...50000 руб. ожидаемый объём услуг составляет 407,5 млн. руб.

При стоимости реконструкции теплового пункта для замены элеватора насосом смешения с ЧРП в 20000 руб. ожидаемый объём услуг составляет 163 млн. руб.

При стоимости реконструкции теплового узла здания в 65000 руб. на установку устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном ожидаемый объём услуг составляет 1324,4 млн. руб.

### *Оценка научно-технического уровня выполненной НИР в сравнении с лучшими достижениями в данной области*

Выполненные исследования термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с ЧРП и устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном подтверждают их эффективность как энергосберегающих устройств.

Применение термогидравлических распределителей для подключения нагрузок потребителей на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение позволяет обеспечить постоянные расходы сетевой воды как по участкам, так и по источнику тепла. В результате это позволяет снизить мощность сетевых насосов, снизить расход электроэнергии на перекачку теплоносителя и сократить как капитальные, так и эксплуатационные затраты на сети и источники централизованного теплоснабжения.

Замена элеватора на насосные узлы смешения с ЧРП позволяет создавать необходимый напор для преодоления гидравлического сопротивления отопительных систем, даже более 3 метров водяного столба и обеспечить заданный коэффициент смешения, не допускает разрегулировки гидравлического режима и возрастания циркуляционного расхода. Кроме того, так как насосный узел смешения с ЧРП не требует располагаемого напора перед ним, то это приводит к снижению напора сетевых насосов источника тепла, что создаёт значительную экономию электроэнергии.

Применение устройства по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном позволяет обеспечить подачу сетевой воды с температурой, соответствующей отопительному температурному графику качественного регулирования и устранить «перетоп».

Новые технические энергосберегающие устройства: термогидравлический распределитель, насосный узел смешения с ЧРП и устройство по устранению «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном разработаны на современном научно-техническом уровне.

## Список литературы

1. Соколов Е. Я. *Теплофикация и тепловые сети* — Москва: Издательство МЭИ, 2001. — 472 с.
2. СНиП 41-02-2003 *Тепловые сети* — М.: Госстрой России. — 42 с.
3. Зингер Н.М. Соколов Е.Я. *Струйные аппараты* — Москва: Энергоатомиздат, 1989. — 351 с.
4. Каплинский Я.И., Хиж Э.Б., Манюк А.И., Ильин В.К. Манюк В.И. *Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей. Справочник* — Москва: Стройиздат, 1988. — 354 с.
5. СНиП 23-01-99\*(2003) *Строительная климатология* — М.: Госстрой России, 2003. — 80 с.
6. Туроверова В.И. *Маркетинговая аналитика: систематизация методик определения рыночного потенциала (емкости) рынка* //.
7. *Каталог оборудования для систем теплоснабжения. Производственное проектно-конструкторское предприятие «ЭТОНМАШ»* //.. — с. 57
8. *Каталог фирмы GRUNDFOS* //.. — с. 107
9. СП-41-101-95. *Проектирование тепловых пунктов.* — М.: Стройиздат, 1996. — 57 с.
10. СНиП 41-01-2003 *Отопление, вентиляция и кондиционирование* //.
11. Ф. Лион Н.Джонсон *Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных* //.. — 1980

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

(обязательное)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего профессионального образования

«Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

УДК 620.9:662.92; 658.264

Гос. рег. № 01201174544

Инв. N

УТВЕРЖДАЮ

Проректор университета

по научной работе

\_\_\_\_\_Тютиков В.В.

“ ” \_\_\_\_\_ 2012 г.

**Технические задания на ОКР**

государственный контракт № 16.516.11.6089 от 8 июля 2011 г.

Шифр «2011-1.6-516-037-030»

**Этап 4.** Обобщение и оценка результатов исследований  
(заключительный)

Начальник НИСа

Руководитель темы

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Таланов С.Б.

Созинов В.П.

Иваново 2012

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

(обязательное)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего профессионального образования

«Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

УДК 620.9:662.92; 658.264

Гос. рег. № 01201174544

Инв. N

УТВЕРЖДАЮ

Проректор университета

по научной работе

\_\_\_\_\_Тютиков В.В.

“ ” \_\_\_\_\_ 2012 г.

**Проведение исследований тепловых сетей с применением насосных узлов смешения, устройств по устранению «перетопа» и термогидравлического распределителя**

государственный контракт № 16.516.11.6089 от 8 июля 2011 г.

Шифр «2011-1.6-516-037-030»

**Этап 4. Обобщение и оценка результатов исследований  
(заключительный)**

Начальник НИСа

Руководитель темы

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Таланов С.Б.

Созинов В.П.

Иваново 2012

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего профессионального образования

«Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

УДК 620.9:662.92; 658.264

Гос. рег. № 01201174544

Инв. N

УТВЕРЖДАЮ

Проректор университета

по научной работе

\_\_\_\_\_Тютиков В.В.

“\_\_” \_\_\_\_\_ 2012 г.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по применению термогидравлического распределителя, насосного узла смешения с

ЧРП и устройства устранения «перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном

государственный контракт № 16.516.11.6089 от 8 июля 2011 г.

Шифр «2011-1.6-516-037-030»

**Этап 4.** Обобщение и оценка результатов исследований  
(заключительный)

Начальник НИСа

Руководитель темы

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Таланов С.В.

Созинов В.П.

Иваново 2012

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

(обязательное)

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего профессионального образования

«Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

УДК 620.9:662.92; 658.264

Гос. рег. № 01201174544

Инв. N

УТВЕРЖДАЮ

Проректор университета

по научной работе

\_\_\_\_\_Тютиков В.В.

“\_\_” \_\_\_\_\_ 2012 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**по эксплуатации и применению систем регистрации технических параметров экспе-**

**риментального стенда «Насосный узел смещения с ЧРП и устройство устранения**

**«перетопа» с ЧРП и регулируемым клапаном»**

государственный контракт № 16.516.11.6089 от 8 июля 2011 г.

Шифр «2011-1.6-516-037-030»

**Этап 4. Обобщение и оценка результатов исследований**  
(заключительный)

Начальник НИСа

Руководитель темы

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Таланов С.В.

Созинов В.П.

Иваново 2012