

На правах рукописи



БРЯНЦЕВА ЕЛЕНА ВИТАЛЬЕВНА

**ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ И
СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

05.14.08 - энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Москва-2016

Работа выполнена в Федеральном государственном учреждении высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет» (ФГОУ ВПО КубГАУ)

Научный руководитель: **Амерханов Роберт Александрович**,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Тягунов Михаил Георгиевич**,
доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО
«Научно-исследовательский университет «МЭИ»,
г. Москва

Семенов Валерий Николаевич,
кандидат технических наук, заместитель
директора ООО «Геотерм-ЭМ», г. Москва

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого»,
г. Санкт-Петербург

Защита состоится «13» сентября 2016 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 006.037.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» (ФГБНУ ВИЭСХ) по адресу: 109456, г. Москва, 1-й Вешняковский проезд, д.2. Телефон (499) 171-19-20

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБНУ ВИЭСХ (<http://viesh.ru>)

Автореферат разослан «___» июля 2016 г. и размещен в библиотеке и на сайте ФГБНУ ВИЭСХ (<http://viesh.ru>)

Учёный секретарь
диссертационного совета, д.т.н.



А.И.Некрасов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Для современного этапа развития систем теплоснабжения характерно широкое использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе геотермальной и солнечной. В мире эксплуатируются геотермальные системы теплоснабжения мощностью более 50,6 ГВт, в том числе в России – 0,4 ГВт. Ежегодная добыча геотермальной воды в нашей стране составляет 30 млн. м³. В наибольших объемах геотермальные ресурсы используются на Камчатке, в Дагестане и Краснодарском крае. В последнем регионе из сорока скважин двенадцати месторождений ежегодно добывается до 10 млн.м³ геотермальной воды с температурой 75-100 °С. Семь населенных пунктов края обеспечены геотермальным теплоснабжением. Разведанные геотермальные ресурсы края оцениваются в 258 МВт с возможным замещением 902 тыс. МВт·ч тепловой энергии в год.

В мире солнечное теплоснабжение занимает второе место из всех видов ВИЭ по объемам применения. Всего эксплуатируется 471 млн. м² солнечных водонагревательных установок (гелиоустановок) установленной мощностью 330 ГВт с годовой выработкой тепловой энергии 281 ГВт·ч. В России в настоящее время работают гелиоустановки суммарной установленной мощностью 8,76 МВт (12514 м²). Строительство ведется в основном в трех регионах: Краснодарском крае, Бурятии, Дальнем Востоке. Условия солнечной радиации нашей страны позволяют увеличить площадь гелиоустановок до 10 млн. м². В наибольших объемах солнечные системы теплоснабжения сооружаются в Краснодарском крае – 7000 м². Перспективы их развития оцениваются в 1 млн. м².

Степень разработанности. Основными факторами, сдерживающими развитие ВИЭ в России являются отсутствие государственной поддержки и относительно высокая стоимость по сравнению с традиционными энергоисточниками. Одним из направлений совершенствования энергоустановок с использованием ВИЭ является разработка новых геотермальных и комбинированных геотермально-солнечных установок, для которых отсутствует нормативная база, методики регулирования тепловой мощности, руководящие документы по проектированию.

Целью работы является повышение энергоэффективности геотермальных систем теплоснабжения с разработкой рекомендаций для проектирования систем регулирования мощности; проектирование комбинированной геотермально-солнечной системы теплоснабжения.

Задачи исследования:

1. Определить зависимость продолжительности циклического регулирования мощности геотермального теплоснабжения;
2. Определить зависимости для построения температурного графика для качественного регулирования геотермального теплоснабжения;

3. Определить основные параметры регулирования работы геотермальной системы теплоснабжения с последовательным срабатыванием теплоносителя для разнородных потребителей;

4. Разработать и испытать автоматизированную геотермальную систему теплоснабжения;

5. Разработать и испытать автоматизированную геотермально-солнечную систему теплоснабжения.

Научную новизну работы составляют:

1. Предложенный подход к методике циклического регулирования мощности геотермального теплоснабжения;

2. Предложенный подход к методике качественного регулирования мощности геотермального теплоснабжения;

3. Предложенный подход к методике определения основных параметров регулирования геотермальной системы теплоснабжения с последовательным срабатыванием теплового потенциала теплоносителя в жилых домах и теплицах;

4. Разработана и обоснована геотермально-солнечная система теплоснабжения, которая позволит стабилизировать внутрипластовые давления месторождений без применения реинъекции отработанного геотермального теплоносителя.

Практическая ценность исследования состоит в разработке научно обоснованных практических рекомендаций, предназначенных для проектирования систем геотермального и геотермально-солнечного теплоснабжения, позволяющих повысить их эффективность, а также конкурентоспособность с традиционными системами теплоснабжения, использующих органическое топливо. Результаты диссертационной работы применены при проектировании и строительстве геотермальной системы, в том числе комбинированной геотермально-солнечной установки в пос. Розовом Краснодарского края и подтверждены актами внедрения предприятий ОАО «Южгеотепло» (г. Краснодар), ЗАО «Геотерм-ЭМ» (г. Москва), ЗАО «Южно-русская энергетическая компания» (г. Краснодар).

Объект исследования: геотермальные и геотермально-солнечные системы теплоснабжения в погодно-климатических условиях Краснодарского края.

Предмет исследования: энергетические и технические параметры комбинированной системы теплоснабжения на основе геотермальной и солнечной энергии.

Методы исследования. При выполнении работы использовались основы теории тепломассообмена, анализа и синтеза, оптимизации энергетической системы. Математическая обработка результатов проводилась на ПЭВМ с использованием прикладных программ: AutoCAD, АРМ «E-Pass», Easy2, Microsoft Excel.

Положения, выносимые на защиту:

- методика циклического регулирования одноконтурных систем геотермального

отопления по температуре наружного воздуха, которая позволит обеспечить экономию геотермального теплоносителя;

- методика качественного регулирования двухконтурных открытых систем геотермального теплоснабжения по температуре воздуха внутри зданий, которая позволит обеспечить экономию тепла;

- методика определения основных параметров регулирования работы геотермальной системы теплоснабжения, с последовательным срабатыванием теплового потенциала в отопительных приборах жилых домов, а затем теплиц, которая позволит в частности рассчитать пропускную способность трехходовых регулирующих кранов перед теплообменниками;

- предложены структурно-схемные решения комбинированной геотермально-солнечной системы теплоснабжения, позволяющие стабилизировать внутрипластовые давления месторождений без применения реинжекции отработанного геотермального теплоносителя.

Достоверность результатов теоретических исследований, выводов и рекомендаций подтверждена совпадением расчётов с данными испытаний геотермальных и солнечных систем теплоснабжения, положительными результатами применения на практике предложенных автором рекомендаций и методов повышения эффективности систем теплоснабжения на основе использования геотермальной и солнечной энергии.

Апробация работы. Основные результаты диссертации были представлены на 12-ти международных и российских конференциях: Региональная НПК молодых учёных «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (Краснодар, 2004 г.); четвертая южнороссийская научная конференция «ЮРНК-05» (Краснодар, 2005 г.); Международный НПС «Энергосбережение и возобновляемая энергетика» (Сочи, 2005 г.); Международная конференция «Возобновляемая энергетика XXI столетия» (Украина, Крым, 2006 г.); Всероссийская НПК молодых учёных «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (Краснодар, 2007 г.); Всероссийская научная молодёжная школа Московского государственного университета (Москва, 2008 г.); II Всероссийская НПК молодых учёных (Краснодар, 2008 г.); 7-я Международная НТК «Энергосбережение и энергоснабжение в сельском хозяйстве» (Москва, 2010 г.), конкурс Администрации Краснодарского края «Лучшая научная и творческая работа аспирантов (соискателей) высших учебных заведений Краснодарского края в 2007 г.»; 9 Международная научно-техническая конференция «Энергосбережение и энергообеспечение в сельском хозяйстве» (Москва, 2014 г.); XI международная конференция «Возобновляемая и малая энергетика - 2014» (Москва, 2014); III Международная конференция «Возобновляемая энергия: проблемы и перспективы» (Махачкала, 2014 г.); XII Международная конференция «Возобновляемая и малая энергетика - 2015» (Москва, 2015 г.). Лауреат

Всероссийского конкурса «Инженер года» в номинации «Возобновляемые источники энергии» (Москва, 2010 г.).

По теме диссертации автором опубликовано 19 статей, в том числе 8 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 134 источников и приложений. Работа изложена на 107 страницах, содержит 38 рисунков и 3 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и основные задачи исследований, научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние и тенденции развития систем теплоснабжения на основе геотермальной и солнечной энергии» рассмотрены вопросы развития систем теплоснабжения на основе применения геотермальных установок и гелиосистем.

Существующие методики регулирования тепловой мощности геотермальных систем теплоснабжения: количественный, качественный, циклический имеют существенные недостатки. При количественном регулировании не выдерживаются заданные температуры внутри отапливаемых помещений. Совершенствование данного способа неперспективно. Наибольшим потенциалом совершенствования обладает циклическое регулирование, однако, существующие методики не учитывают в полной мере аккумулярующие свойства ограждений зданий и объёма теплоносителя в наружных тепловых сетях и внутренних системах отопления. Применение качественного способа регулирования в открытых системах теплоснабжения имеет ограничения ($55\text{ }^{\circ}\text{C}$), а также приводит к неполному срабатыванию теплового потенциала геотермального теплоносителя.

Известные системы геотермального теплоснабжения характеризуются низкой эффективностью, основной причиной которой является неоптимальная схема подключения систем отопления различного назначения. Каскадная система подключения разнородных потребителей требует специальной методики для определения характеристик теплообменников, насосов и регулирующих клапанов.

Существенным недостатком геотермальных систем теплоснабжения является необходимость, для поддержания внутрипластового давления, обратной закачки отработанного теплоносителя (реинжекции), приводящей к большому расходу электроэнергии. В то же время, в условиях геотермальных месторождения Северного Кавказа с высоким значением солнечной радиации перспективно создание комбинированных геотермально-солнечных систем теплоснабжения как альтернатива обратной закачке.

Анализ литературы позволил установить, что по проектированию геотермальных

и солнечных систем теплоснабжения отсутствуют нормативные документы, отечественный опыт солнечного теплоснабжения ограничивается, в основном, разработкой и сооружением гелиоустановок в Краснодарском крае.

На основании анализа литературы сформулированы цель и основные задачи исследований.

Во второй главе «Исследования параметров и режимов работы геотермальных систем теплоснабжения» представлены результаты теоретических исследований геотермальных систем теплоснабжения.

Значение амплитуды изменения температуры воздуха внутри здания для геотермальной системы отопления с циклическим регулированием определяется по формуле:

$$A_{тв} = 0,64 \frac{\beta Q_p (1 + \varphi)}{2P_{пом.}} \sin \frac{\pi z_n}{24}, \quad (1)$$

где $A_{тв}$ - амплитуда колебаний воздуха внутри здания; β – коэффициент ослабления колебаний температур воздуха внутри здания за счёт теплоёмкости систем отопления; $P_{пом.}$ - суммарный показатель теплопоглощения здания; φ – отопительный коэффициент; z_n – расчётная продолжительность циклического регулирования.

Коэффициент ослабления амплитуды колебаний температуры воздуха внутри зданий определяется по формуле:

$$\beta = 1 / \sqrt{1 + \{2\pi\rho c n [V + K_1 Q_p^c (V_c + V_{тс}) / Q_p] / KFz_o\}^2}, \quad (2)$$

где ρ – плотность теплоносителя; c – удельная теплоёмкость теплоносителя отопления; n – число включений геотермального отопления в сутки; V - вместимость системы отопления представительного здания; K_1 – коэффициент потерь в тепловых сетях; Q_p^c - расчётная тепловая нагрузка отопления; V_c – суммарная вместимость систем отопления зданий системы; $V_{тс}$ – вместимость тепловых сетей; Q_p – расчётная тепловая мощность системы геотермального отопления; K – коэффициент теплопередачи отопительных приборов; F – площадь нагревательных приборов; z_o – продолжительность цикла регулирования.

Установлено, что при реализации циклического метода регулирования с определенной периодичностью, в зависимости от температуры наружного воздуха, система заполняется геотермальным теплоносителем от скважины и после срабатывания теплового потенциала до заданного значения сбрасывается из системы. Продолжительность циклического регулирования таких зависимых геотермальных систем теплоснабжения:

$$z_n = \frac{24}{\pi} \arcsin \left\{ 2 A_{тв} P_{пом.} \sqrt{1 + \left\{ \frac{2 \pi c n [V + (V_c + V_{тс}) Q_p / K_1 Q_p^c]^2}{KFz_o} \right\}^2} / 0,64 Q_p (1 + \varphi) \right\}. \quad (3)$$

Для геотермальной системы теплоснабжения с качественным регулированием получены формулы для определения температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах на отопление:

$$t_1 = \frac{Q_{o.p.} \left(\frac{t_{вн.п.} - t_n}{t_{вн.п.} - t_{н.п.}} \right) + cGt_2}{cG}, \quad (4)$$

$$t_2 = \frac{cGt_1 - Q_{o.p.} \left(\frac{t_{вн.п.} - t_n}{t_{вн.п.} - t_{н.п.}} \right)}{cG}, \quad (5)$$

где t_1 – температура теплоносителя в подающем трубопроводе отопления; $Q_{o.p.}$ – расчётная тепловая мощность систем отопления зданий; $t_{в.п.}$ – расчётная внутренняя температура здания; t_n – температура наружного воздуха; G – расход теплоносителя на отопление зданий; t_2 – температура теплоносителя в обратном трубопроводе отопления.

Для геотермальной системы теплоснабжения с последовательным срабатыванием теплового потенциала (рисунок 1) в системах отопления жилых домов, затем теплиц расход геотермального теплоносителя на теплообменник жилых домов определяется по формуле:

$$G_{п} = \frac{\alpha_{т} \Sigma V_{т} q_o^t (t_{вн.п}^t - t_{н.п}) - \frac{\alpha_{ж} \Sigma V_{ж} q_o^ж (t_{вн.п}^ж - t_{н.п}) (t_c - t_{сл})}{t_1 - t_2}}{c_{т} (t_c - t_{сл})}, \quad (6)$$

где $G_{п}$ – расход геотермального теплоносителя на теплообменник жилых домов; $\alpha_{т}$ – коэффициент инфильтрации теплиц; $\Sigma V_{т}$ – суммарный отапливаемый объём теплиц; q_o^t – отопительная характеристика теплиц; $t_{вн.п}^t$ – расчётная внутренняя температура воздуха теплиц; $\alpha_{ж}$ – коэффициент инфильтрации жилых домов; $\Sigma V_{ж}$ – суммарный объём жилых зданий; $q_o^ж$ – отопительная характеристика жилых зданий; $t_{вн.п}^ж$ – расчётная внутренняя температура воздуха жилых зданий; t_c – температура геотермальной воды на входе в теплообменник теплиц; $t_{сл}$ – температура геотермальной воды на сливе после ЦТП; $c_{т}$ – теплоёмкость геотермального теплоносителя.

Для поддержания внутриводяного давления и заданного срока эксплуатации месторождений основным способом их разработки является обратная закачка отработанного теплоносителя (реинжекция). Показано, что в условиях Северного Кавказа с высокими значениями интенсивности солнечной радиации замещение тепловых нагрузок гелиоустановками можно рассматривать как альтернативу обратной закачке. На рисунке 2 представлена принципиальная схема комбинированной геотермально-солнечной системы теплоснабжения. На рисунке 3 показаны графики зависимости капитальных затрат на сооружение систем теплоснабжения от их расчетной тепловой мощности. Из графиков следует, что соотношение тепловых нагрузок геотермального отопления и горячего водоснабжения позволяет обеспечить реализацию схемы работы системы

теплоснабжения (рисунок 2).

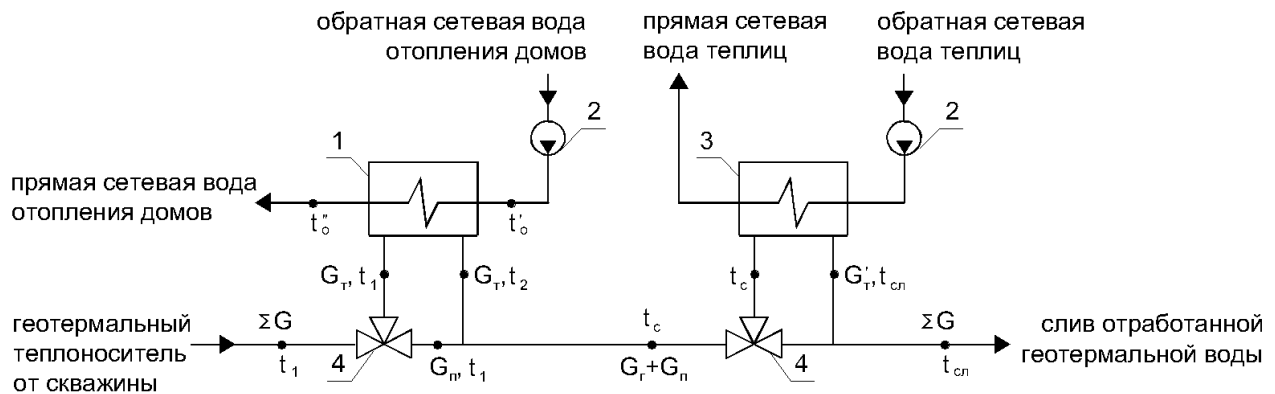


Рисунок 1 - Принципиальная тепловая схема геотермального ЦТП с последовательным подключением отопления:

1–теплообменник жилых домов, 2–сетевые насосы; 3–теплообменник теплиц; 4–трёхходовые регулирующие клапаны

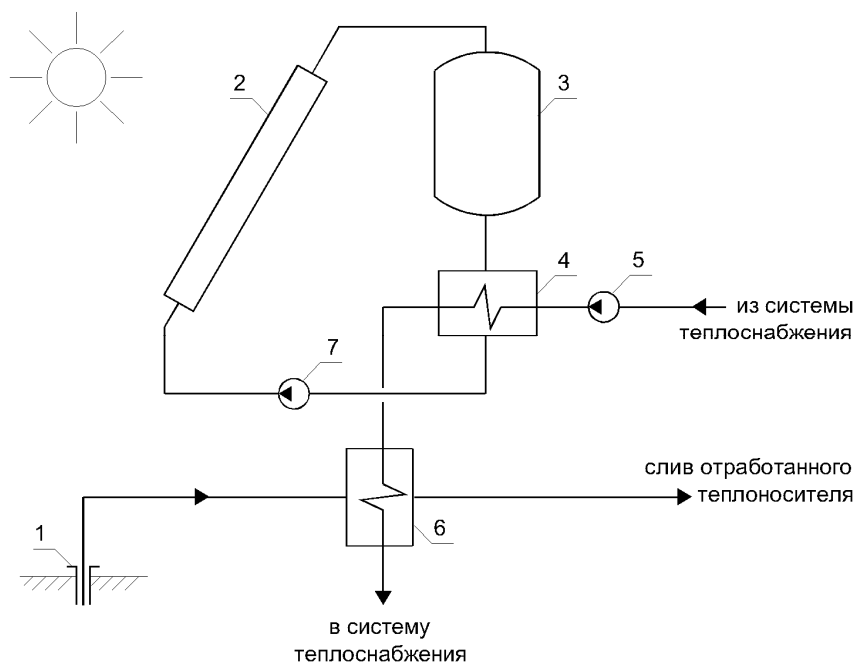


Рисунок 2 - Принципиальная схема комбинированной геотермально-солнечной системы теплоснабжения

1–геотермальная скважина; 2–солнечные коллекторы; 3–бак-аккумулятор; 4–теплообменник гелиоконтура; 5–насосы сетевые; 6–теплообменник геотермального контура; 7–насосы гелиоконтура

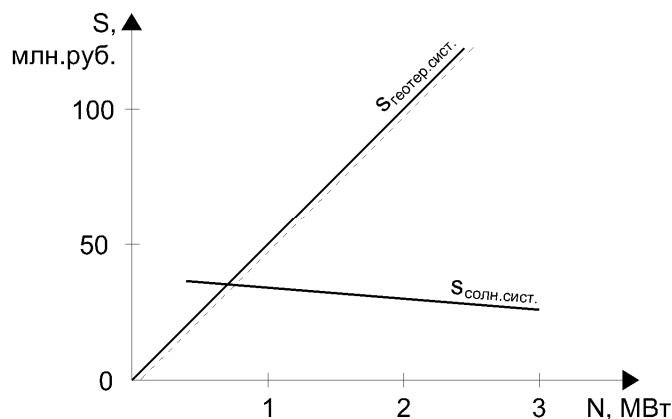


Рисунок 3 - Зависимость капитальных затрат на сооружение систем теплоснабжения от расчетной тепловой мощности

S – капитальные затраты; N – расчётная тепловая мощность системы теплоснабжения; $S_{\text{геот.сист.}}$ – капитальные затраты на сооружение геотермальной системы теплоснабжения; $S_{\text{солн.сист.}}$ – капитальные затраты на сооружение гелиоустановки

В третьей главе «Разработка технических решений и испытания геотермальной системы теплоснабжения» представлены результаты выполненных работ. Модернизация геотермальной системы теплоснабжения пос. Розового Краснодарского края мощностью 5 МВт (рисунок 4) реализовано на I этапе по схеме, представленной на рисунке 5 мощностью 1,5 МВт, включающей геотермальный насосный модуль, тепловые сети, геотермальный тепловой пункт (ЦТП), узлы учета и регулирования. На рисунке 6 представлена принципиальная тепловая схема геотермального ЦТП.

Экспериментальные испытания геотермальной системы теплоснабжения проводились с применением проектных и переносных приборов. Относительные и абсолютные погрешности приборов соответствовали Правилам коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя (2013 г.) (далее – «Правила»). Анализ и обработка измерений контроллеров (вычислителей) типа ВКТ-5, ВКТ-7-03 производились по распечаткам часовых, суточных архивов с продолжительностью до 45 суток с проверкой по значениям показывающих и переносных (ультразвуковой расходомер АКРОН) измерительных приборов и по результатам сведения балансов тепловой энергии.

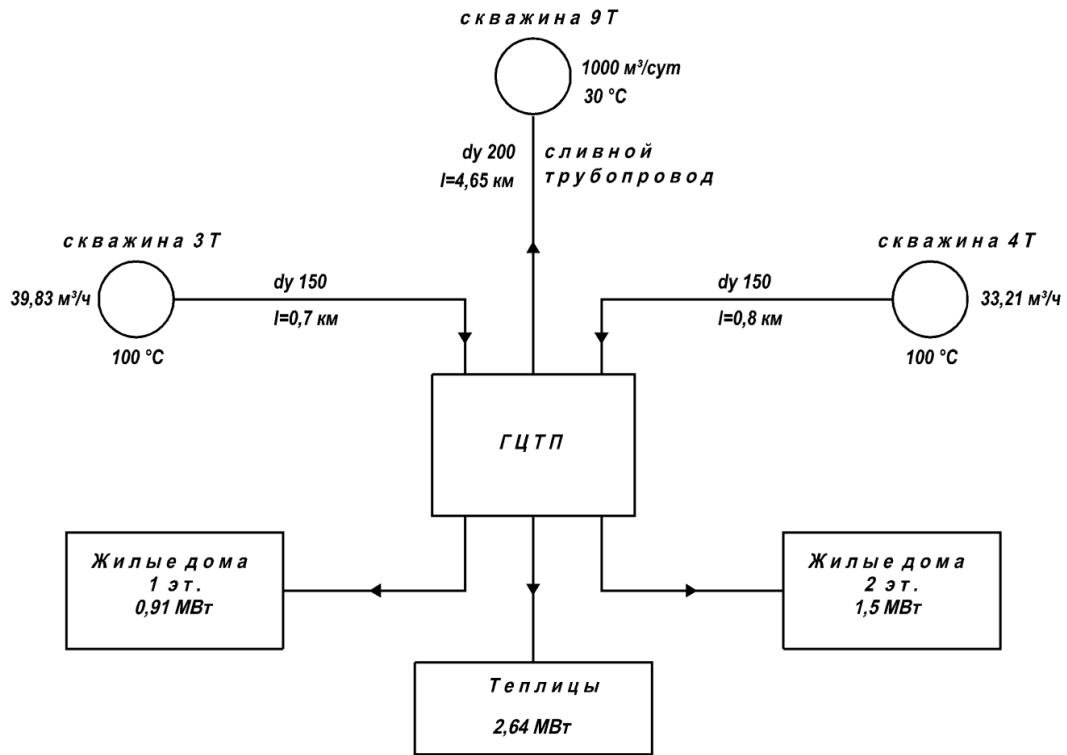


Рисунок 4 - Структурная схема реализации концепции модернизации геотермального теплоснабжения

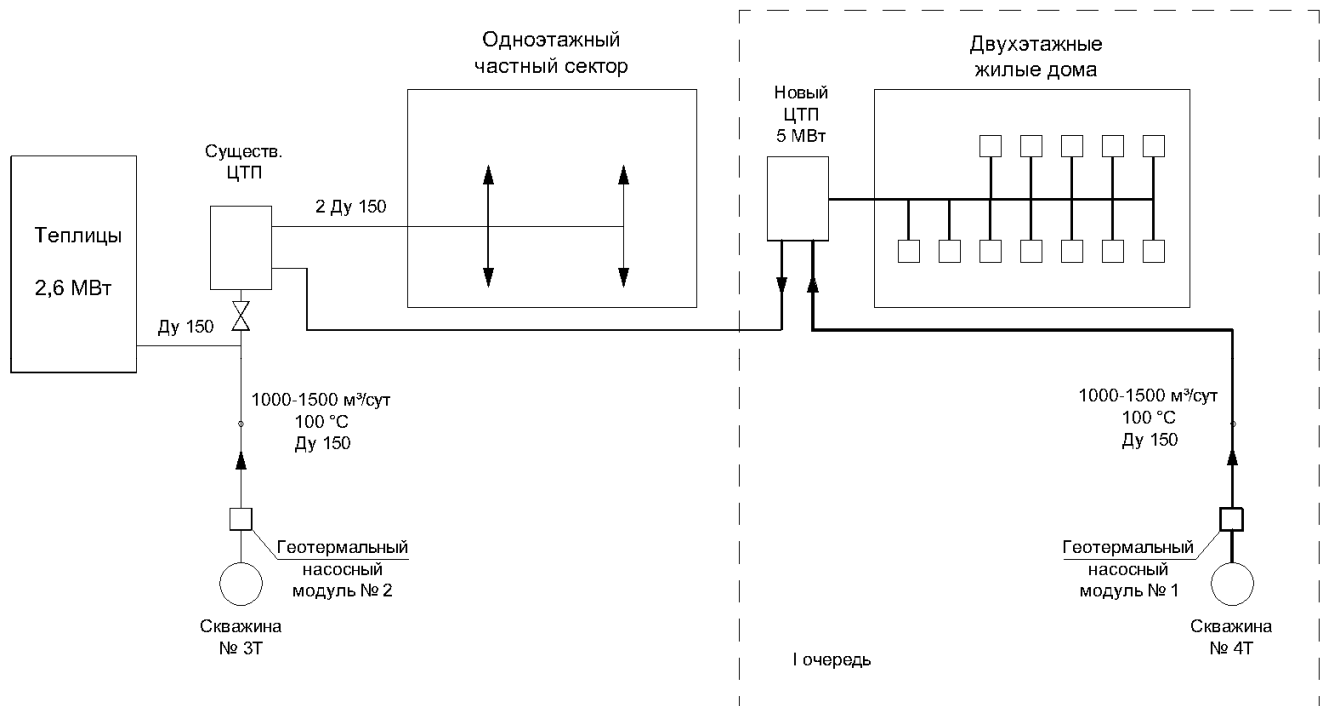


Рисунок 5 - Принципиальная схема первой очереди модернизации системы теплоснабжения

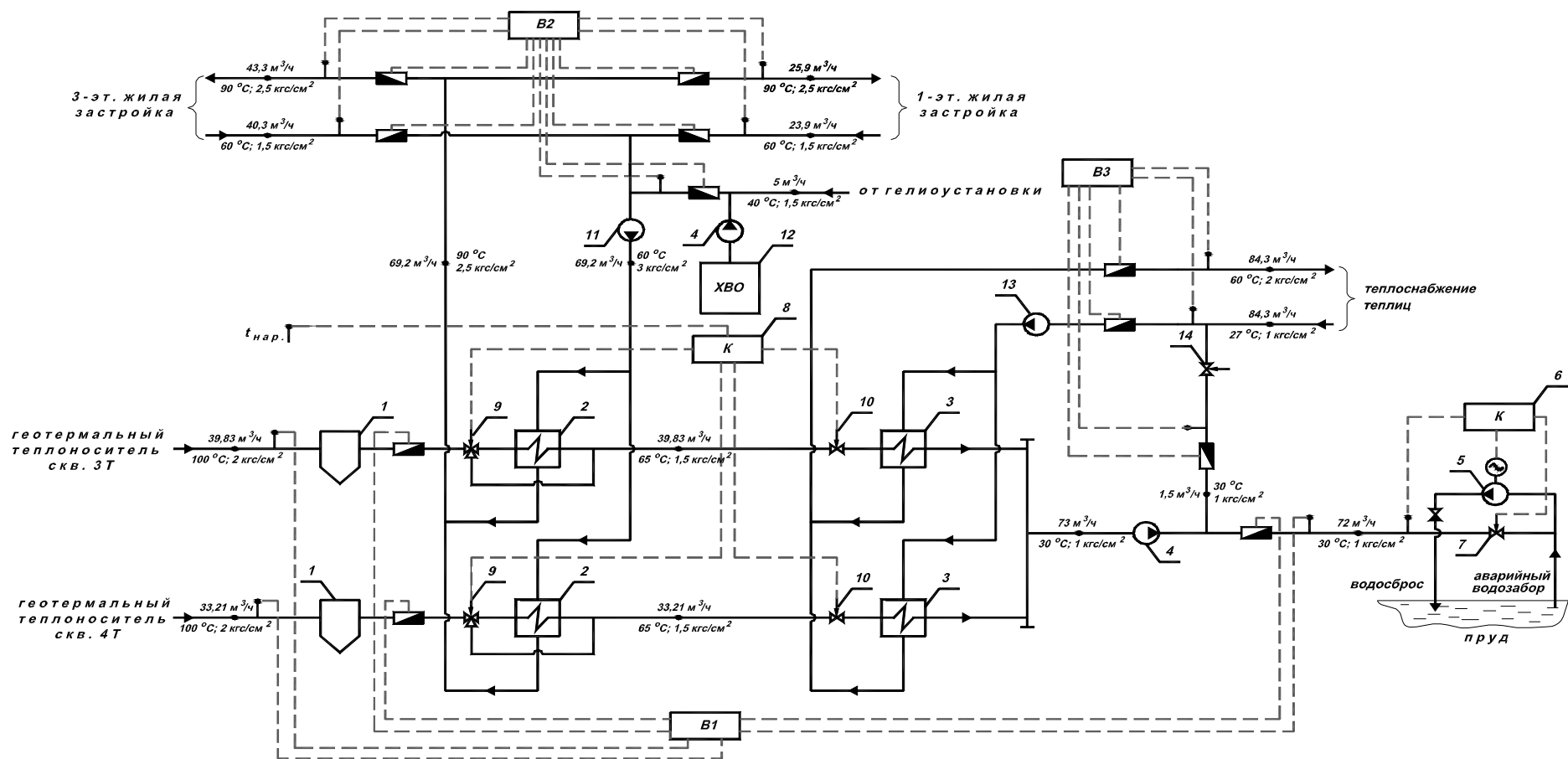


Рисунок 6 - Схема трубопроводов геотермального ЦТП:

1 – грязевики; 2 – теплообменник I ступень; 3 – теплообменник II ступень; 4 – насос охлаждения геотермальной воды; 5 – насос аварийного расхолаживания; 6 – контроллер аварийного расхолаживания; 7, 9, 10, 14 – клапаны регулирующие; 8 – контроллер погодного регулирования; 11 – насос циркуляционный системы отопления жилой застройки; 12 – химводоподготовка; 13 – насос циркуляционный системы отопления теплиц

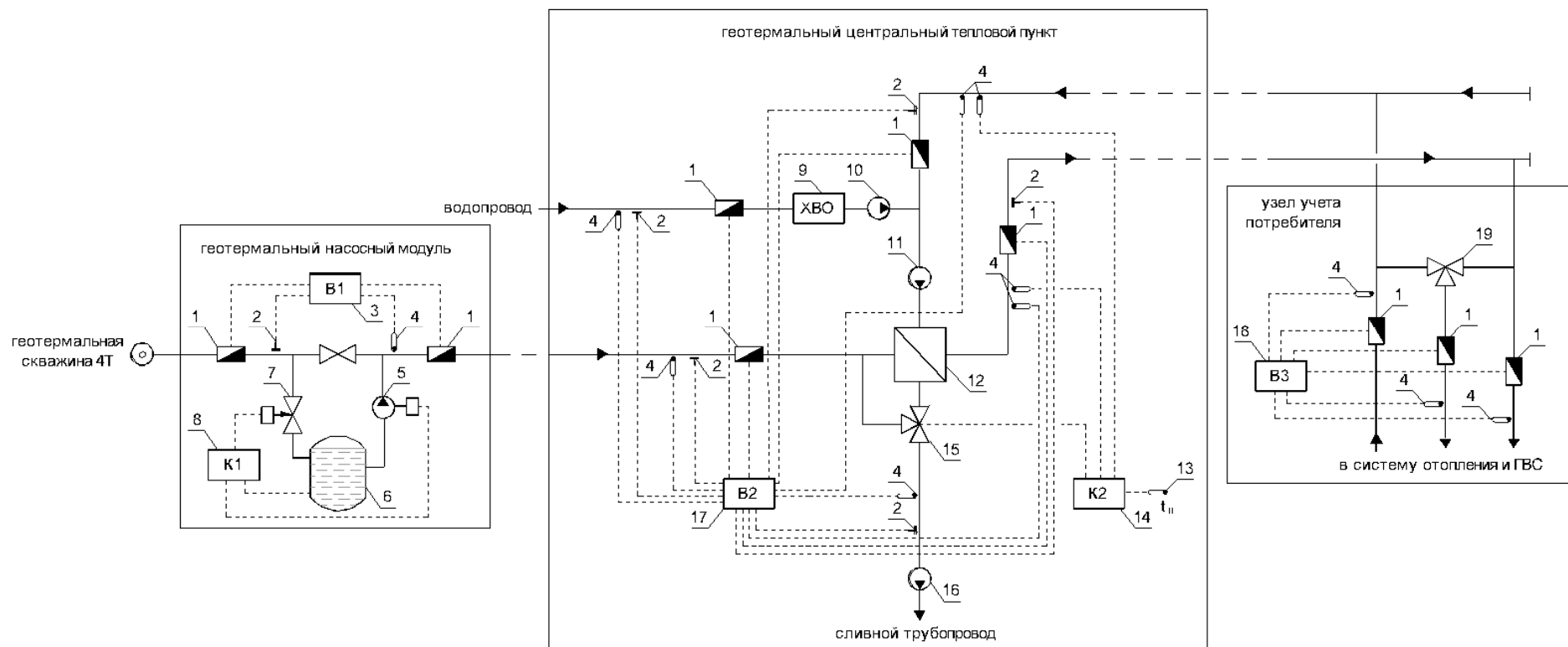


Рисунок 7 - Схема испытаний геотермальной системы теплоснабжения:

1–расходомер; 2–датчик давления; 3–тепловычислитель модуля; 4–датчик температуры; 5–насосная станция; 6–бак; 7–регулятор уровня; 8–контроллер модуля; 9–химводоподготовка; 10–подпиточные насосы; 11–сетевые насосы; 12–пластинчатый теплообменник; 13–датчик температуры наружного воздуха; 14–контроллер ЦТП; 15–регулятор теплообменника; 16–сливные насосы; 17–тепловычислитель геотермального ЦТП; 18–тепловычислитель потребителя; 19–регулятор ГВС

На рисунке 7 представлена схема испытаний геотермальной системы теплоснабжения. По результатам измерений давлений на устье скважины 4Т в течение отопительного сезона 2010-2011 г.г. (рисунок 8) установлено, что после модернизации давление в самый холодный период (январь, февраль) увеличилось с 0,3 до 2 бар, т.е. в три раза. В результате было обеспечено надежное отопление потребителей с нормативной амплитудой изменения температуры воздуха отапливаемых зданий. Соответственно, в данный период отопительного сезона дебиты скважины 4Т увеличились с 500 до 800 м³/сут., т.е. почти в 1,5 раза (рисунок 9).

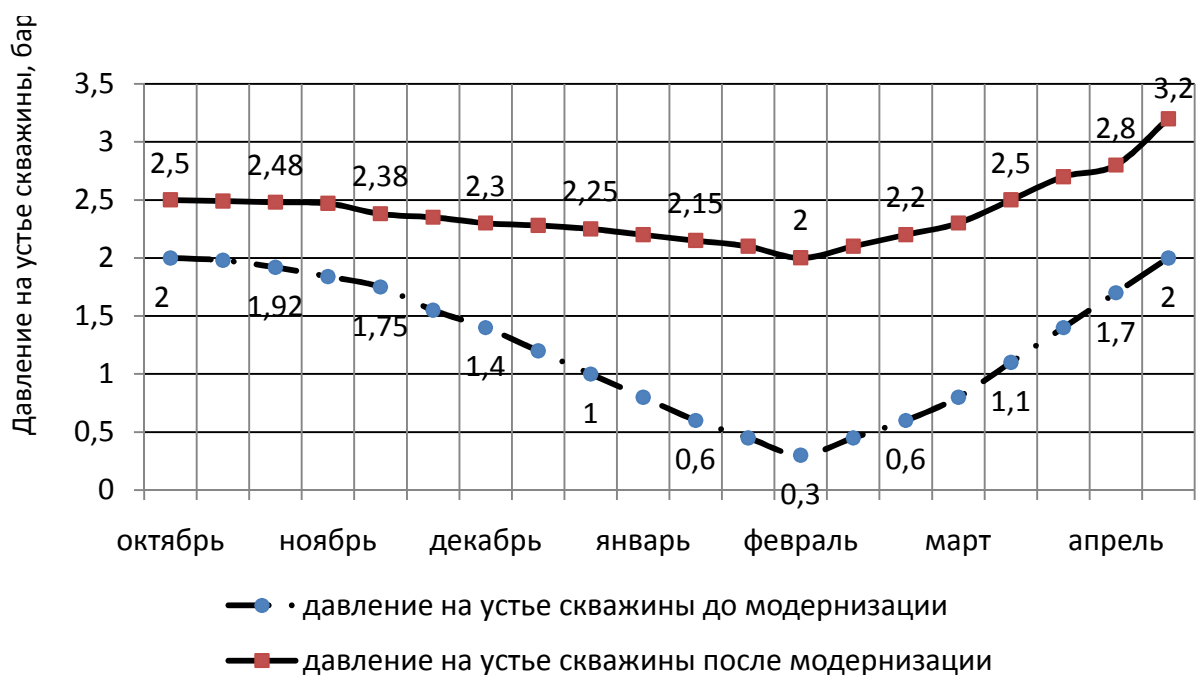


Рисунок 8 - Давления на устье геотермальной скважины до и после модернизации

Из сопоставления графиков тепловых нагрузок до и после модернизации с переходом от циклического к качественному регулированию фактическая амплитуда изменения температуры воздуха помещений находится в нормируемых пределах $\pm 1,5$ °С (рисунок 10). В соответствии с разработанным температурным графиком (глава 2) на рисунке 11 представлены результаты испытаний системы отопления многоквартирного дома. Ранее изменение мощности осуществлялось продолжительностью циклов. После модернизации температура в подающем трубопроводе отопления соответствовала температуре наружного воздуха.

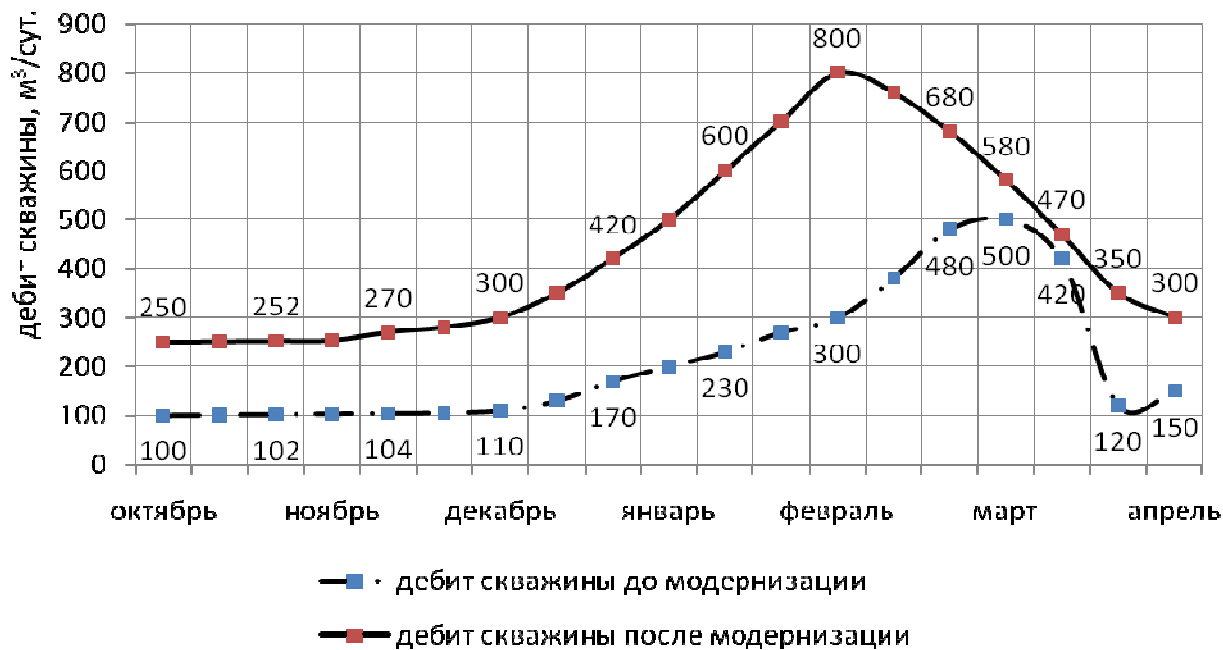


Рисунок 9 - Дебиты геотермальной скважины до и после модернизации

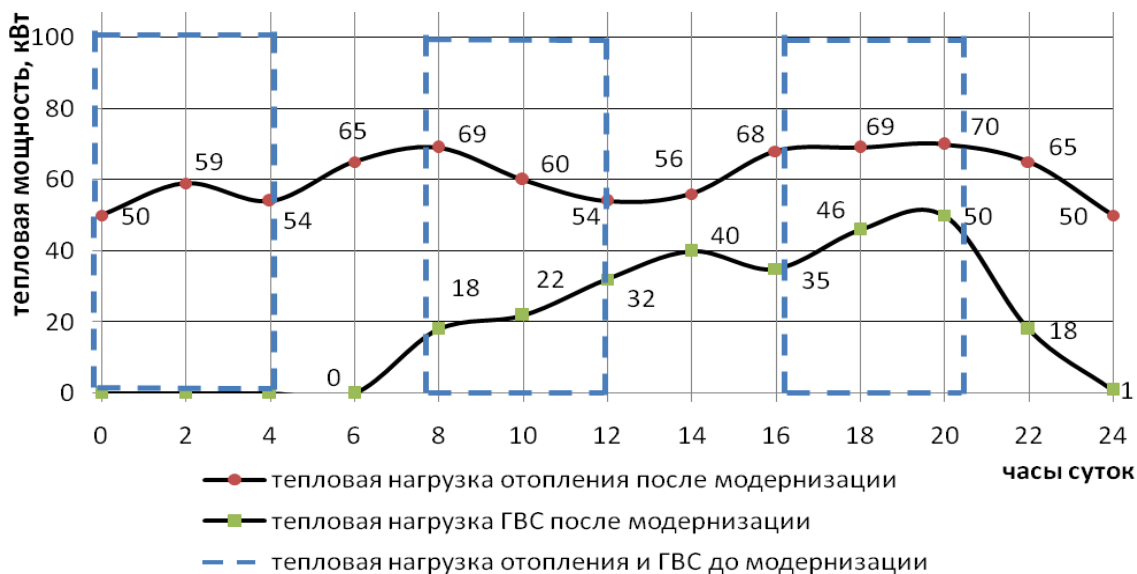


Рисунок 10 - Графики изменения тепловых нагрузок жилого дома до и после модернизации



Рисунок 11 - Графики изменения температуры воздуха в отапливаемых помещениях до и после модернизации

В четвертой главе «Разработка технических решений и испытания геотермально-солнечной системы теплоснабжения» представлены результаты работ по модернизации геотермальной системы (глава 3) с устройством гелиоустановки. По результатам измерений суммарной солнечной радиации в плоскости солнечных коллекторов в пос. Розовом Краснодарского края (рисунок 12) разработана гелиоустановка. По результатам анализа технических характеристик ведущих мировых производителей к установке приняты плоские солнечные коллекторы фирмы «Wolf» (Германия).

Компоновка солнечных коллекторов принята из условия оптимального затенения рядов СК, определяемого по формуле:

$$A_1 = L \left[\left(\frac{\sin \beta}{\tan \alpha_{\min}} \right) + \cos \beta \right], \quad (7)$$

где L – длина коллектора; β – угол наклона коллектора к горизонту; α_{\min} – угол, соответствующий высоте Солнца в полдень в период зимнего солнцестояния (21 декабря) в данном населенном пункте; A_1 – расстояние между рядами коллекторов.

При этом, для данного региона характерны сильные ветра. Ветровая нагрузка на коллекторы определялась по формуле:

$$W = C_f q A_2, \quad (8)$$

где W – ветровая нагрузка; C_f – аэродинамический коэффициент; q – давление ветра; A_2 – площадь обтекания коллектора.

Давление ветра определялось по формуле:

$$q = 0,5\rho V^2, \quad (9)$$

где ρ – плотность воздуха, V - скорость ветра.

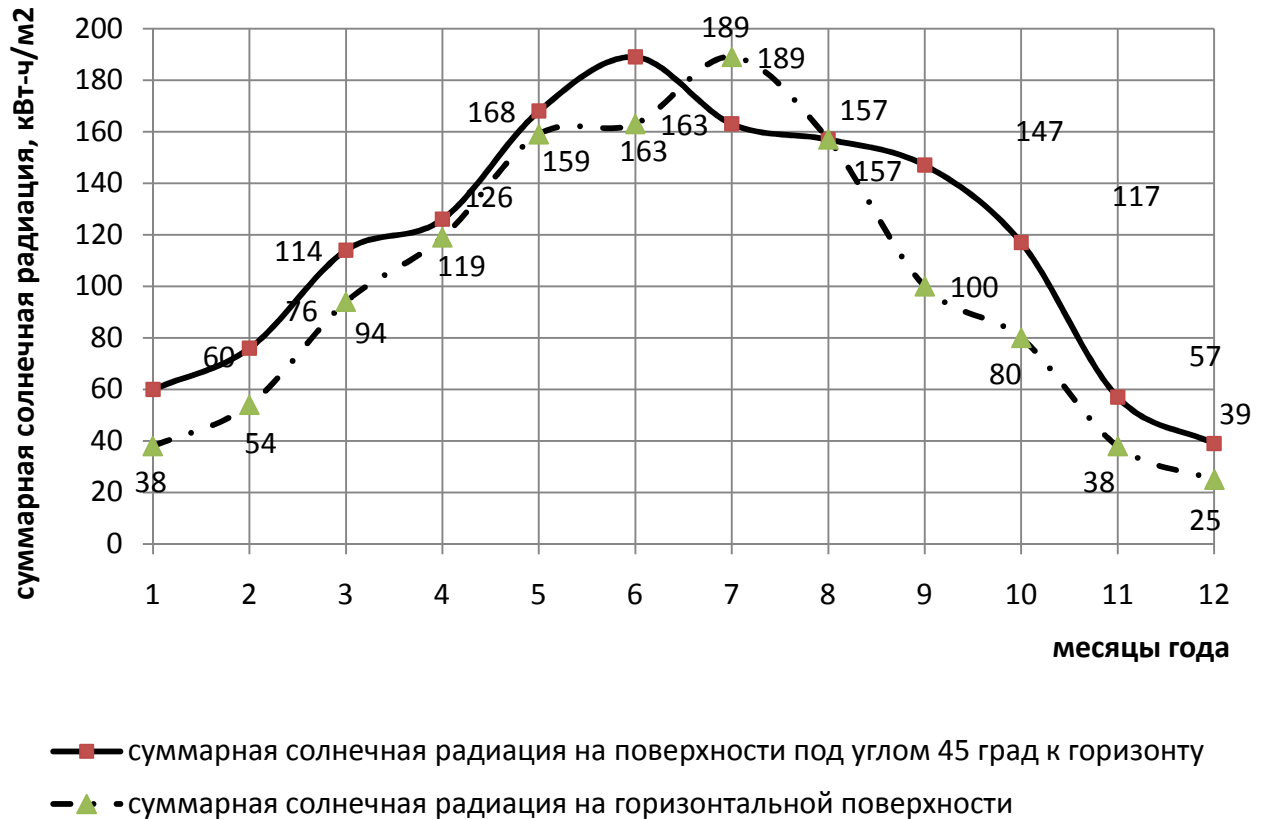


Рисунок 12 - Суммарная солнечная радиация в плоскости солнечного коллектора под углом 45° и на горизонтальную поверхность в пос. Розовом

На рисунке 13 приведена принципиальная схема гелиоустановки, при экспериментальных исследованиях которой применялись проектные и переносные приборы: измеритель солнечной радиации Mac Solar SLMO18c3, ультразвуковой расходомер АКРОН, расходомеры с импульсным выходным сигналом, термопреобразователи, контактные термометры. Относительные и абсолютные погрешности, классы точности приборов соответствовали требованиям нормативных документов. На рисунке 14 представлены графики тепловой мощности ГВС, гелиоустановки и геотермального догрева. Установлена необходимость геотермального догрева в переходные периоды отопительного сезона.

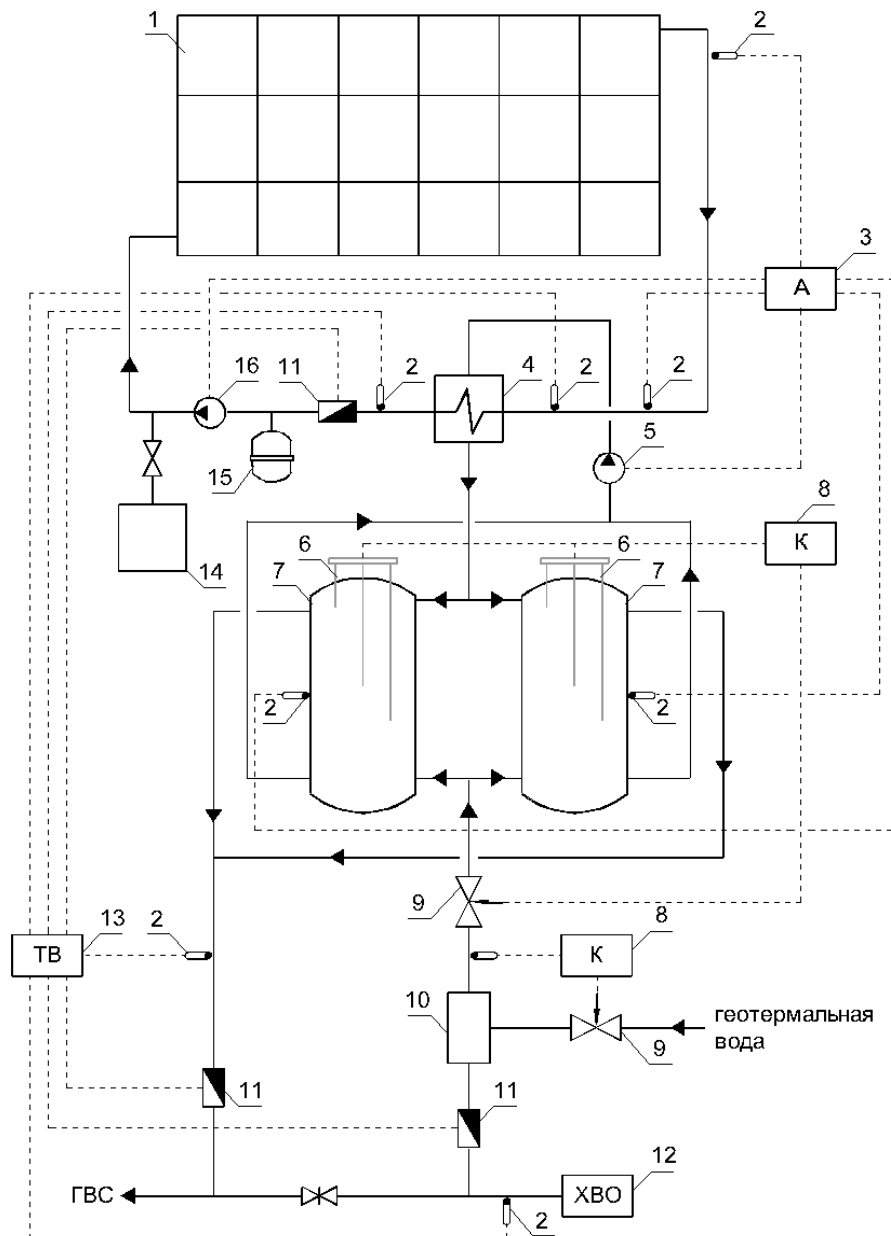


Рисунок 13 - Принципиальная схема геотермально-солнечной установки
 1–солнечные коллекторы; 2–термодатчик; 3–автоматика гелиоконтура;
 4–теплообменник гелиоконтура; 5–насосы второго контура; 6–датчики уровня;
 7–баки-аккумуляторы; 8–контроллер; 9–клапан отсечной; 10–узел смешения;
 11–расходомер; 12–химводоподготовка; 13–тепловычислитель; 14–бак
 теплоносителя; 15–мембранный расширительный бак; 16–насосы гелиоконтура

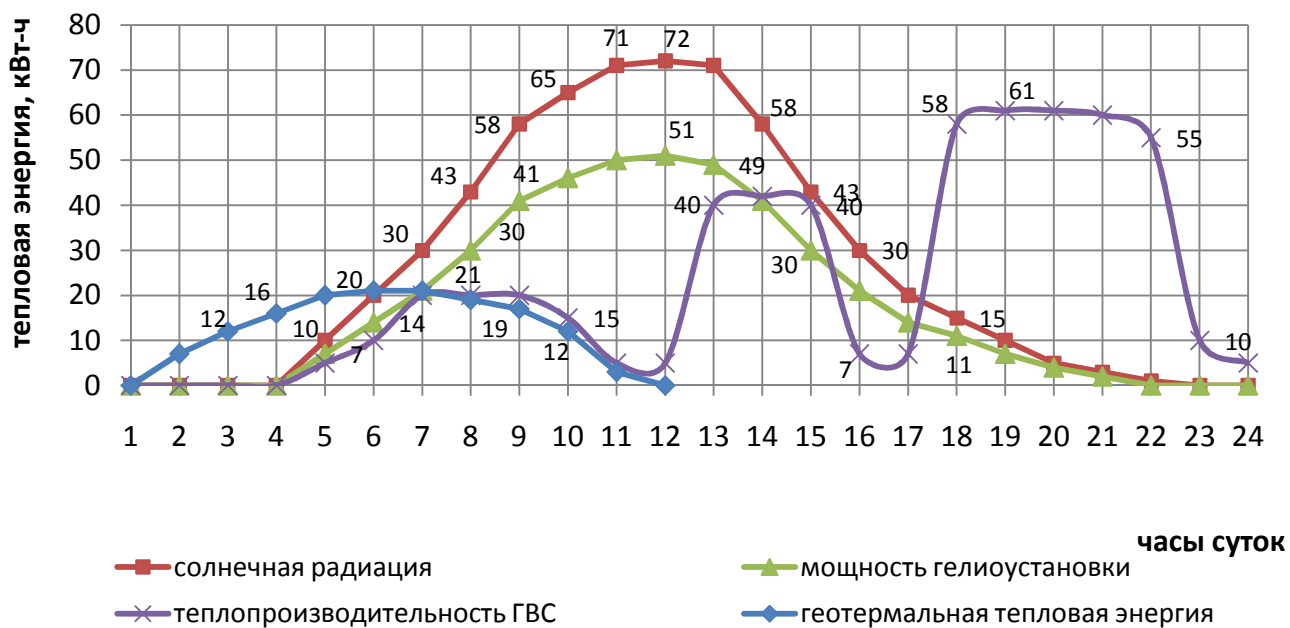


Рисунок 14 - Суточные графики тепловой энергии потребления ГВС, гелиоустановки и геотермальной энергии

Общие выводы

Научно-квалификационная работа позволила получить необходимые результаты и сделать следующие выводы:

1. На основании проведенных исследований разработана и внедрена методика циклического регулирования одноконтурных геотермальных систем теплоснабжения, позволяющая определить продолжительность работы в зависимости от теплоустойчивости зданий и аккумулирующих способностей элементов системы теплоснабжения, использование которой позволяет обеспечить экономию теплоносителя до 15 %.

2. По результатам исследований разработана и внедрена методика качественного регулирования двухконтурных геотермальных систем теплоснабжения, позволяющая при определенной температуре наружного воздуха определить температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах отопления, применение которой обеспечивает экономию тепла до 20 %.

3. В соответствии с выполненными исследованиями, разработана и внедрена методика определения основных параметров регулирования геотермальной системы теплоснабжения с последовательным срабатыванием теплового потенциала теплоносителя в жилых домах, теплицах в зависимости от соотношения тепловых нагрузок этих разнородных потребителей, позволяющая в частности рассчитывать пропускную способность трехходовых регулирующих кранов перед теплообменниками.

4. На основании разработанных методик определения основных параметров

оборудования, циклического и качественного регулирования режимов работы разработана, построена и успешно эксплуатируется геотермальная система теплоснабжения мощностью 1,5 МВт.

5. Разработанное структурно-схемное решение комбинированной геотермально-солнечной системы теплоснабжения, обеспечивающей горячим водоснабжением потребителей в межотопительный период взамен геотермальной скважины, увеличивает срок эксплуатации месторождения и позволяет стабилизировать пластовые давления без реинжекции теплоносителя.

Заключение

Результаты проведенного исследования могут быть использованы при разработке рекомендаций для проектирования геотермально-солнечных систем теплоснабжения, основанных на принципах циклического, качественного регулирования с последовательным срабатыванием теплового потенциала теплоносителя разнородными потребителями, альтернативного решения реинжекции отработанного теплоносителя.

Использование разработанной геотермально-солнечной системы теплоснабжения возможно для централизованных и децентрализованных потребителей, предприятий агропромышленного комплекса и при этом позволит обеспечить потребителя комфортными микроклиматическими условиями, в значительной мере сократив затраты геотермального теплоносителя; использовать потенциал возобновляемых источников энергии.

Основные публикации по теме диссертационной работы:

Публикации в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК:

1. Брянцева Е.В. Результаты модернизации геотермальной системы теплоснабжения в Краснодарском крае / Р.А.Амерханов, В.А.Бутузов, Е.В.Брянцева // Теплоэнергетика. 2012. № 11. С.36-40
2. Брянцева Е.В. Комбинированное теплоснабжение объектов с использованием солнечной энергии / В.А.Бутузов, В.В.Бутузов, Е.В.Брянцева // Промышленная энергетика. 2006. № 12. С.39-41
3. Брянцева Е.В. Автоматизация солнечных тепловых установок / В.А.Бутузов, Е.В.Брянцева, В.В.Бутузов, И.С.Гнатюк // Альтернативная энергетика и экология. 2009. № 12. С.15-18
4. Брянцева Е.В. Гелиоустановки: основные факторы экономической окупаемости / В.А.Бутузов, В.В.Бутузов, Е.В.Брянцева, И.С.Гнатюк // Промышленная энергетика. 2013. № 5. С.53-57
5. Брянцева Е.В. Опыт и условия эксплуатации и оптимизации гелиоэнергетических установок в Краснодарском крае / Р.А.Амерханов,

- В.А.Бутузов, Е.В.Брянцева // Изв. ВУЗов Сев.-Кав. регион. Техн. науки. 2011. № 3. С.40-43
6. Брянцева Е.В. Методика проектирования опорных конструкций солнечных коллекторов для горячего водоснабжения / Р.А.Амерханов, Е.В.Брянцева // Труды КубГАУ. 2007. № 5. С.206-212
 7. Брянцева Е.В. Исследования и проектирование геотермальной системы теплоснабжения // Труды КубГАУ. 2008. № 4. С.213-220
 8. Брянцева Е.В. Тенденции мирового и российского рынка гелиоустановок / В.А.Бутузов, В.В.Бутузов, Е.В.Брянцева, И.С.Гнатюк // Альтернативная энергетика и экология. 2016. № 05-06 (193-194). С.14-20

Публикации в других изданиях:

9. Брянцева Е.В. Геотермальная энергетика / В.А.Бутузов, В.В.Бутузов, Е.В.Брянцева // Тез. докл. Междунар. конф., Украина, Крым, смт. Николаевка, 21-25 сентября 2006. Киев, С.226-228
10. Брянцева Е.В. Исследования, разработка и испытания гелиоустановок / В.А.Бутузов, В.В.Бутузов В.В., Е.В.Брянцева, И.С.Гнатюк // Матер. науч. молодёжн. школы МГУ, 2008. М. 2008. С.67-73
11. Брянцева Е.В. Исследования и разработка геотермальной системы теплоснабжения жилого посёлка и теплиц / В.А.Бутузов, В.В.Бутузов, Е.В.Брянцева, И.С.Гнатюк // Матер. науч. молодёжн. школы МГУ, 2008. М. 2008. С.76-83
12. Брянцева Е.В. Исследования и разработка геотермальной системы теплоснабжения с использованием солнечной энергии и тепловых насосов // Матер. II Всерос. науч.-практ. конф. молод. учёных КубГАУ, 2008. С.313-314
13. Брянцева Е.В. Комплексное использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения жилого сектора и агропромышленных предприятий // Труды II Междунар. науч.-техн. конф., Москва, 18-19 мая 2010 г., ГНУ ВИЭСХ
14. Bryantseva E.V. Study and Construction of Geothermal System of Heat Supply of Domestic Buildings and Greenhouses with the Use of Solar Energy and Heat Pumps / R.A.Amerkhanov, G.V.Tomarov, V.V.Butuzov, E.V.Bryantseva // Proceedings World Geothermal Congress, 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April, 2010
15. Брянцева Е.В. Повышение эффективности систем геотермального и солнечного теплоснабжения / Р.А.Амерханов, В.А.Бутузов // 9 Международная научно-практическая конференция «Энергосбережение и энергообеспечение в сельском хозяйстве». М. 21-22 мая 2014 г. 4 с.
16. Брянцева Е.В. Анализ разработки и сооружения гелиоустановок в России / В.А.Бутузов, Е.В.Брянцева, В.В.Бутузов, И.С.Гнатюк // Материалы III

- Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы». Вып.5. Махачкала, 6 октября 2014 г. С.77-83
17. Bryantseva E.V. Geothermal Heat Supply of Southern Region of Russia / V.A.Butuzov, E.V.Bryantseva, V.V.Butuzov, I.S.Gnatyuk // World Geothermal Congress, April, 19-20, 2015, http://www.geothermal_energy.org/pdf/JGAstandard/WGC/2015/35008/pdf
 18. Брянцева Е.В. / Геотермальная энергетика Краснодарского края / В.А.Бутузов, Е.В.Брянцева, В.В.Бутузов, И.С.Гнатюк // Geoenergy. Материалы Международной научно-практической конференции, 19-21 июня 2015. Грозный. 2015
 19. Брянцева Е.В. Перспективы развития рынка гелиоустановок в России / В.А.Бутузов, Е.В.Брянцева, В.В.Бутузов, И.С.Гнатюк // Сборник трудов XII Международной ежегодной научно-практической конференции «Возобновляемая и малая энергетика - 2015» М. 2015. С.51-56

Подписано в печать

Бумага офсетная

Печ. л. 1

Тираж 100 экз.

Формат 60x84 1/16

Офисная печать

Заказ №

Отпечатано в типографии КубГАУ
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13