

На правах рукописи



Батухтин Сергей Геннадьевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ
ЭНЕРГИИ**

Специальность 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск, 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Забайкальский государственный университет»

Научный
руководитель:

кандидат технических наук,
доцент

Батухтин Андрей Геннадьевич

Официальные
оппоненты:

Елсуков Владимир Константинович

доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Братский государственный университет», кафедра промышленной теплоэнергетики, профессор кафедры.

Карамов Дмитрий Николаевич

кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, отдел теплосиловых систем, научный сотрудник.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», г. Улан-Удэ

Защита диссертации состоится « 27 » ноября 2018 г. в 13:30 на заседании диссертационного совета Д 003.017.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, малый конференц-зал (3-й этаж, к. 355).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИСЭМ СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, к. 407 и на сайте <http://isem.irk.ru/dissert/case/DIS-2018-3/>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью составителя, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2018 г

Учёный секретарь
диссертационного совета Д
003.017.01,
доктор технических наук, профессор



**Клер
Александр Матвеевич**

Общая характеристика работы

Актуальность работы.

Стратегической целью государственной энергетической политики в области формирования рационального топливно-энергетического баланса является оптимизация структуры производства, внутреннего потребления и экспорта топливно-энергетических ресурсов с учетом требований обеспечения энергетической безопасности, экономической и энергетической эффективности, усиления внешнеэкономических позиций страны. При этом на первом месте в ее выполнении в «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» определен рост значения возобновляемых источников энергии в обеспечении энергетических потребностей общества. Без внедрения технологий, позволяющих вытеснять органическое топливо из топливного баланса страны, невозможно выполнение основных положений стратегии, предусматривающих максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики и повышения качества жизни населения страны. Для большинства регионов РФ наиболее перспективным из возобновляемых источников энергии является энергия Солнца.

В настоящей работе поставлена задача разработки схем использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для повышения эффективности энергетических систем и агрегатов ТЭС. Направление исследования диссертационной работы соответствует приоритетному направлению «Энергетика и энергосбережение» и осуществляется в рамках двух критических технологий «Технологии новых и возобновляемых источников энергии» и «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии».

Целью работы ставилось разработать энергоэффективные схемы и установки гелионагрева, предназначенные для работы в системах централизованного теплоснабжения.

Для решения поставленной цели решались следующие задачи исследования:

1. Анализ и исследование проблемы «Недостаточного использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ) в энергетических системах РФ».
2. Разработка схемы гелионагрева обратной сетевой воды у потребителей тепловой энергии, оборудованных системами автоматического регулирования, для замещения части нагрузки централизованной системы отопления.
3. Разработка схемы энергоэффективной установки гелиовоздушного отопления.
4. Разработка схемы гелионагрева первичного воздуха для котельных

установок ТЭС.

5. Определение технико-экономических показателей применения разработанных схем повышения эффективности систем централизованного теплоснабжения за счет использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена схема использования гелионагрева обратной сетевой воды у потребителей тепловой энергии, оборудованных системами автоматического регулирования для замещения части нагрузки централизованной системы отопления.

2. Разработана солнечная установка для работы в системах гелиовоздушного отопления.

3. Предложены способы совместного функционирования разработанных схем гелионагрева с системами централизованного теплоснабжения.

4. Разработан способ повышения эффективности котельных агрегатов ТЭС за счет использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для нагрева воздуха.

5. Разработаны методики расчета систем теплоснабжения потребителей тепловой энергии, оборудованных установками гелионагрева обратной сетевой воды и гелиовоздушного отопления.

6. Новизна полученных результатов подтверждается патентами, а также свидетельством на программу для ЭВМ.

Достоверность результатов защищаемых научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена представительным объемом испытаний и экспериментов, сходимостью результатов теоретических исследований с данными производственных экспериментов, а также положительными результатами опытно-промышленных испытаний разработанных схем.

Практическая ценность:

1. Предложенная схема гелионагрева обратной сетевой воды у потребителей тепловой энергии может быть использована как на вновь вводимых, так и на существующих объектах теплоснабжения, оборудованных системами автоматического регулирования.

2. Разработанная схема энергоэффективной установки гелиовоздушного отопления может быть использована как на вновь вводимых, так и на существующих объектах теплоснабжения, оборудованных системами вентиляции.

3. Предложенный способ повышения эффективности котельных агрегатов ТЭС за счет использования энергии Солнца для нагрева воздуха может быть применен как при проектировании топливосжигающих устройств, так и на

существующих.

4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований используются, а также вошли в перечень первоочередных мероприятий по энергосбережению на реальных объектах теплоснабжения Забайкальского края, о чем свидетельствуют акты внедрения.

5. Результаты диссертационного исследования применяются в учебном процессе для студентов направления «Теплоэнергетика», что позволит повысить качество подготовки будущих специалистов.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Схема гелионагрева обратной сетевой воды у потребителей тепловой энергии, оборудованных системами автоматического регулирования, для замещения части нагрузки централизованной системы отопления, и способ ее совместного функционирования с системами централизованного теплоснабжения.

2. Система гелиовоздушного отопления и способ ее совместного функционирования с системами централизованного теплоснабжения.

3. Способ повышения эффективности котельных агрегатов ТЭС за счет использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для нагрева воздуха.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований, по теме диссертации, докладывались и обсуждались на конференциях: Энергетика в современном мире: Всероссийской научно-практической конференции (ЗабГУ, Чита 2009-2017); Кулагинские чтения: Всероссийской научно-практической конференции (ЗабГУ, Чита 2010-2017); XIII Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы: Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах (СПбГПУ, Санкт-Петербург 2010), XIV международной молодежной научно-практической конференции «Молодежь Забайкалья: молодость, наука, прогресс» (БГУЭП, Чита 2011); XVII Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность» (ТПУ, Томск 2011); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири» (ИрГТУ, Иркутск 2011), ХУРЭЛ ТОГООТ-2011. ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БАГА ХУРЛЫН ЭМХЭТГЭЛ (Судлаачдын нийгэмлэг, Уланбаатар хот 2011); XV междунар. молод. науч.-практ. конф. Молодежь Забайкалья: инновации в технологиях и образовании (ЗабГУ, Чита 2012).

Личный вклад автора состоял в постановке задачи исследования; разработке энергоэффективных схем гелионагрева и подаче заявок на получение патентов; разработке методических основ их моделирования;

создание на основе разработанных моделей компьютерной программы; проведении экспериментов и обработке результатов; а также анализе эффективности предлагаемых технических решений.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 35 печатных работ, из них 9 в изданиях, рекомендованных ВАК. Получено 4 патента и одно свидетельство о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников. Содержит 129 страниц машинописного текста, 20 рисунков, 14 таблиц и библиографию из 211 источников.

Краткое содержание работы

Во введении обосновываются актуальность и научная новизна диссертации, сформулированы основные выводы и результаты.

В первой главе представлен анализ предпосылок возникновения проблемы «Недостаточного использования НВИЭ в энергетических системах РФ» дан литературный и патентный обзор существующей методологической базы преобразования энергии солнечного излучения для нужд энергетических систем и агрегатов, рассмотрен зарубежный опыт использования НВИЭ в теплоэнергетических системах.

Во второй главе представлены разработанные схемы гелионагрева, предназначенные для замещения части нагрузки централизованной системы отопления, а также предложены способы их совместного функционирования. Основным недостатком существующих схем совместной работы гелиоотопления и систем централизованного теплоснабжения является то, что в них существует необходимость нагревать теплоноситель в солнечных коллекторах до температуры, равной температуре сетевой воды системы централизованного теплоснабжения. Для исключения этого недостатка предполагается применять солнечные коллекторы для нагрева не прямой сетевой воды, как в стандартных системах, а для нагрева части обратной сетевой воды, идущей через перемычку для смешения с прямой. Кроме отопления, система гелионагрева применяется для осуществления нагрева водопроводной воды для нужд горячего водоснабжения. Для наиболее эффективного использования мощности солнечных коллекторов предлагается осуществлять нагрев водопроводной воды до (или после) первой ступени подогревателя ГВС и при необходимости догревать в верхней ступени, оснащенной системой автоматического регулирования температуры. Для осуществления сглаживания суточных неравномерностей поступления солнечной радиации предполагается использовать бак-аккумулятор, оснащенный встроенными теплообменниками. Схема установки,

осуществляющей энергоэффективный метод гелионагрева обратной сетевой воды у потребителей тепловой энергии, оборудованных системами автоматического регулирования, представлена на рисунке 1.

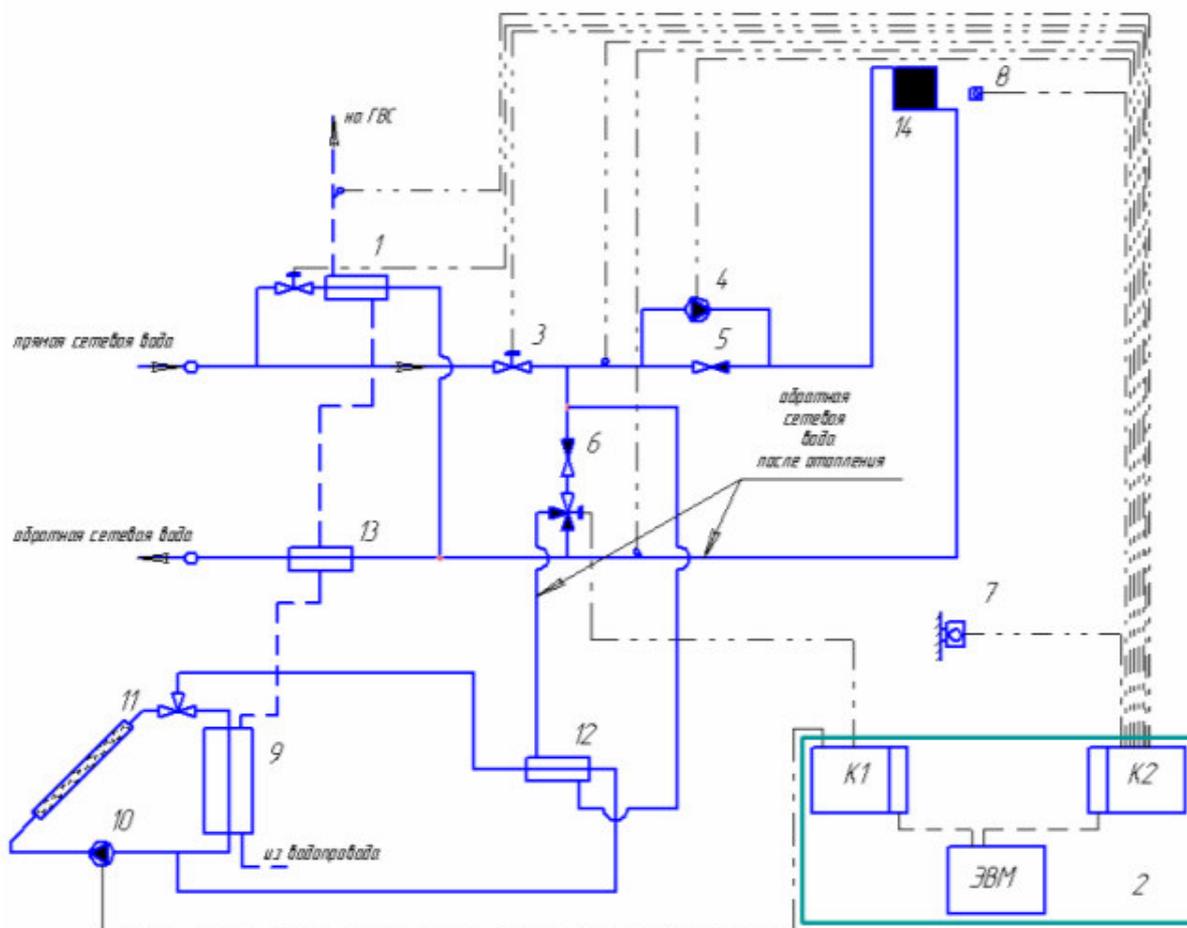


Рисунок 1. Система гелионагрева обратной сетевой воды:

1 - верхняя ступень подогревателя ГВС; 2- блок управления (K1 – блок управления гелиоконтуром, K2 – блок управления базовой системой теплоснабжения); 3 - двухходовой клапан системы отопления; 4 - циркуляционный насос системы отопления; 5,6 - обратный клапан; 7 - датчик температуры наружного воздуха; 8 - датчик температуры внутреннего воздуха; 9 – бак-аккумулятор; 10 - насос гелиоконтура; 11 - солнечный коллектор; 12 – промежуточный теплообменник; 13 – нижняя ступень подогревателя ГВС; 14 – система отопления потребителя

Функционирование данной установки осуществляется следующим образом. Промежуточный теплоноситель нагревается в солнечных коллекторах и отдает полученное тепло воде в баке-аккумуляторе. При условии превышения температуры в баке-аккумуляторе над температурой водопроводной воды после первой ступени подогревателя ГВС водопроводная вода проходит через бак и подается во вторую ступень с температурой выше, чем после первой. При условии превышения температуры в баке-аккумуляторе над температурой обратной сетевой воды данная вода проходит через встроенный в бак теплообменник, где нагревается и подается на смешение в большем объеме для

поддержания заданной температуры сетевой воды в системе отопления. Регулирование температуры воды на нужды ГВС и температуры прямой сетевой воды в системе отопления осуществляется системой автоматического регулирования в зависимости от ее настроек, температуры наружного воздуха и времени суток.

Алгоритм работы энергоэффективной системы гелионагрева обратной сетевой воды у потребителей тепловой энергии, оборудованных системами автоматического регулирования, для замещения части нагрузки централизованной системы отопления, выглядит следующим образом. В разработанной схеме система гелионагрева осуществляет нагрев, как водопроводной воды, так и обратной сетевой воды, идущей на подмес:

$$Q_{пол} = Q_{ГВС}^{СК} + Q_{ОТ}^{СК},$$

где $Q_{пол}$ – полезно воспринятая в солнечном коллекторе теплота; $Q_{ГВС}^{СК}$ – часть полезно воспринятой в солнечном коллекторе теплоты идущая на нагрев водопроводной воды; $Q_{ОТ}^{СК}$ – часть полезно воспринятой в солнечном коллекторе теплоты идущая на нагрев обратной сетевой воды.

Поскольку система гелионагрева снабжена баком-аккумулятором, то суточную неравномерность солнечной инсоляции можно не учитывать:

$$\sum_{i=1}^{24} Q_{пол i} = \sum_{i=1}^{24} Q_{ГВС i}^{СК} + \sum_{i=1}^{24} Q_{ОТ i}^{СК}.$$

Для дальнейшего изложения введем следующие обозначения:

- выражение $A = [D]:[B]:[C]$ означает, что $A = B$, если верно утверждение D , в противном случае $A = C$.

При формировании алгоритма работы необходимо задаться следующими предположениями:

- регулирование солнечной установки производится из условия максимально возможного отпуска тепла на подогрев обратной сетевой воды ($\max[Q_{ОТ i}^{СК}]$) и отпуска избыточной теплоты на горячее водоснабжение;

- ограничением отпуска тепла в систему отопления (с заданным для условия применения САР расходом в отопительной системе G_3) является условие превышение температуры теплоносителя в системе гелионагрева ($t_{СК}$) над температурой обратной сетевой воды после базовой системы отопления (τ_{02}):

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{24} Q_{пол i} = \sum_{i=1}^{24} Q_{ГВС i}^{СК} + \sum_{i=1}^{24} Q_{ОТ i}^{СК}; \\ \text{для всех } i \rightarrow Q_{ГВС i}^{СК} = [\tau_{02} \geq t_{СК}]:[Q_{пол i}]:[Q_{пол i} - Q_{ОТ i}^{СК}]. \end{cases}$$

Разработанная система гелионагрева обратной сетевой воды функционирует по следующим алгоритмам.

- Если температура обратной сетевой воды после базовой системы отопления меньше температуры теплоносителя в системе гелионагрева, то трехходовой клапан, установленный на циркуляционной перемычке, направляет подмешиваемую сетевую воду в промежуточный подогреватель. В промежуточном подогревателе происходит ее нагрев теплотой части теплоносителя, нагреваемого в системе солнечных коллекторов:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{24} Q_{нол\ i} = \sum_{i=1}^{24} Q_{ГВС\ i}^{CK} + \sum_{i=1}^{24} Q_{OT\ i}^{CK}, \\ i \in [1...24] \Rightarrow Q_{OT\ i}^{CK} = [G_3 \cdot c_p \cdot (\tau_{01} - \tau_{02}) \geq \max[Q_{OT\ i}^{CK}]] : [\max[Q_{OT\ i}^{CK}]] : [G_3 \cdot c_p \cdot (\tau_{01} - \tau_{02})], \\ i \in [1...24] \Rightarrow Q_{ГВС\ i}^{CK} = Q_{нол\ i} - Q_{OT\ i}^{CK}, \end{array} \right.$$

где τ_{01} – температуры сетевой воды до отопительной установки; τ_{02} – температуры сетевой воды после отопительной установки.

Повышение температуры обратной сетевой воды приводит к закрытию клапана, установленного на линии прямой сетевой воды, поскольку температура воды после смешения является заданной и определяется температурой наружного воздуха и настройками САР. При этом нагрев водопроводной воды осуществляется в баке аккумулятора, температура в котором поддерживается оставшейся частью теплоносителя, нагреваемого в системе солнечных коллекторов:

- Если температура обратной сетевой воды после базовой системы отопления больше температуры теплоносителя в системе гелионагрева, то трехходовой клапан, установленный на циркуляционной перемычке, закрывает трубопровод на промежуточный подогреватель. При этом, если температура в баке (t_B) ниже температуры теплоносителя в системе гелионагрева, то весь поток проходит через бак-аккумулятор. В противном случае циркуляционный насос в системе гелионагрева отключается:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{24} Q_{нол\ i} = \sum_{i=1}^{24} Q_{ГВС\ i}^{CK} + \sum_{i=1}^{24} Q_{OT\ i}^{CK}, \\ i \in [1...24], \tau_{02} \geq t_{CK} \Rightarrow Q_{ГВС\ i}^{CK} = [t_{CK} \geq t_B] : [Q_{нол\ i}] : [0]. \end{array} \right.$$

В настоящее время разработано значительное количество различных схем использования энергии солнца в системах ГВС и водяного отопления. Отопление помещений теплым воздухом на основе источников теплоты различных типов позволяет во многих случаях значительно уменьшить капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Применение гелионагрева с использованием солнечных коллекторов различного типа в системах

воздушного отопления позволит значительно повысить эффективность таких систем, а также увеличить степень замещения традиционных источников теплоты. В таких системах нагревается в зависимости от температурного режима вода или воздух. Также может осуществляться совместный нагрев воды для нужд ГВС и воздух для отопления. Поскольку наша конечная задача – нагрев воздуха в помещении, то именно такие комплексы позволяют достичь максимальной эффективности, исключив ряд промежуточных процессов и преобразований. В качестве источника тепла они могут использовать как тепло сгораемого топлива, так и тепло, получаемое солнечными коллекторами.

Универсальность систем обуславливает широкую сферу их применения: от дома коттеджного типа до отопления крупных промышленных помещений и тепличных комплексов. Большинство преимуществ данной схемы реализуется только при использовании в солнечных коллекторах незамерзающих жидкостей. Нагрев воздуха можно производить как в промежуточном теплообменнике от жидкости, нагретой в коллекторе, так и непосредственно в нем. На рисунке 2 представлена схема использования теплоты солнца, позволяющая совмещать эти способы.

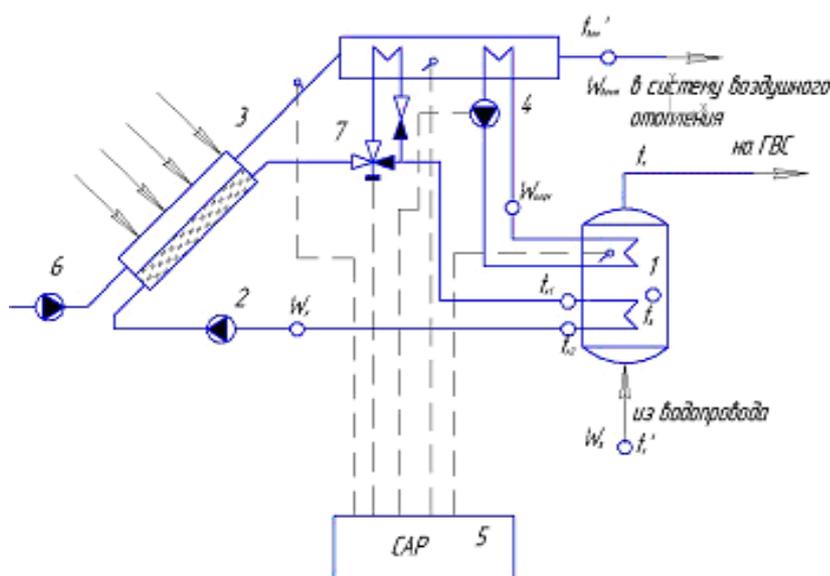


Рисунок 2. Система гелио-воздушного отопления:
1 – бак-аккумулятор;
2 – насос гелиоконтура;
3 – гелиовоздушный солнечный коллектор;
4 – калорифер;
5 – система автоматического регулирования;
6 – вентилятор приточного воздуха;
7 – трехходовой клапан гелиоконтура

Применение данной схемы позволит использовать преимущества воздушных систем отопления при внедрении солнечных коллекторов комбинированного типа (с совместным нагревом воздуха и жидкого теплоносителя), а также снизить температуру лучевоспринимающей пластины и, как следствие, потери с излучением.

Для наиболее эффективного использования мощности солнечных коллекторов предполагается осуществлять нагрев водопроводной воды после первой ступени подогревателя ГВС и при необходимости догревать в верхней ступени, оснащенной системой автоматического регулирования температуры. Для осуществления сглаживания суточных неравномерностей поступления солнечной

радиации предполагается также использовать бак-аккумулятор, оснащенный встроенными теплообменниками. Применение данной схемы позволит использовать преимущества воздушных систем отопления при внедрении солнечных коллекторов комбинированного типа (с совместным нагревом воздуха и жидкого теплоносителя).

Также во второй главе рассмотрен способ повышения эффективности котельных агрегатов ТЭС за счет использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для нагрева воздуха.

Для повышения эффективности котельных агрегатов ТЭС предложена система подогрева воздуха топливосжигающей установки, изображенная на рисунке 3. Данная система работает следующим образом. При наличии солнечной радиации и при низких температурах наружного воздуха, когда требуется его догрев перед подачей в топливосжигающую установку, закрывается шибер 11, прекращая непосредственную подачу холодного воздуха из воздухозаборного устройства 14 в воздуховод 12, и открывается шибер 10. При открытом шибере 10 дутьевым вентилятором 7 холодный наружный воздух закачивается в солнечный нагреватель 4, который располагается на наиболее освещенном участке. В нагревателе 4 воздух нагревается за счет тепла, преобразованного из солнечной энергии, и по воздуховоду 12 через вентилятор 7 подается в теплообменник 6 как нагреваемая среда. Кроме воздуха, в солнечный нагреватель 4 по трубопроводу 8 при помощи циркуляционного насоса 17 подается вода, которая также нагревается за счет тепла, преобразованного из солнечной энергии. Нагретая вода после нагревателя 4 поступает в теплообменник 6 как греющая среда. В теплообменнике 6 воздух дополнительно нагревается за счет тепла воды, позволяя более полезно использовать энергию солнца. После теплообменника 6 вода отводится для дальнейшего использования остаточного тепла в цикле станции по трубопроводу 18. Поскольку охлажденная вода после теплообменника будет иметь достаточный потенциал, то ее можно использовать в качестве низкопотенциального источника тепла для нужд станции. Воздух после теплообменника 6 подается в паровой калорифер 5, где осуществляется подогрев воздуха до номинальной начальной температуры, на которую рассчитана работа секций трубчатых теплообменных поверхностей 1. Нагрев воздуха до калорифера 5 позволяет сократить либо полностью компенсировать затраты пара на подогрев воздуха в калорифере 5, сокращая затраты энергии на собственные нужды станции, связанные с производством греющего пара для калорифера 5. Предварительно подогретый до номинальной начальной температуры воздух подается на вход в секции трубчатых теплообменных поверхностей 1. Проходя секции трубчатых теплообменных

поверхностей 1, соединенных перепускным воздушным коробом 3, воздух окончательно нагревается до номинальных конечных температур за счет теплообмена с уходящими дымовыми газами, которые при этом охлаждаются также до номинального уровня. После прохождения секции трубчатых теплообменных поверхностей 1 нагретый воздух отводится по воздуховоду 13 для подачи в топливосжигающую установку и на прочие нужды станции.

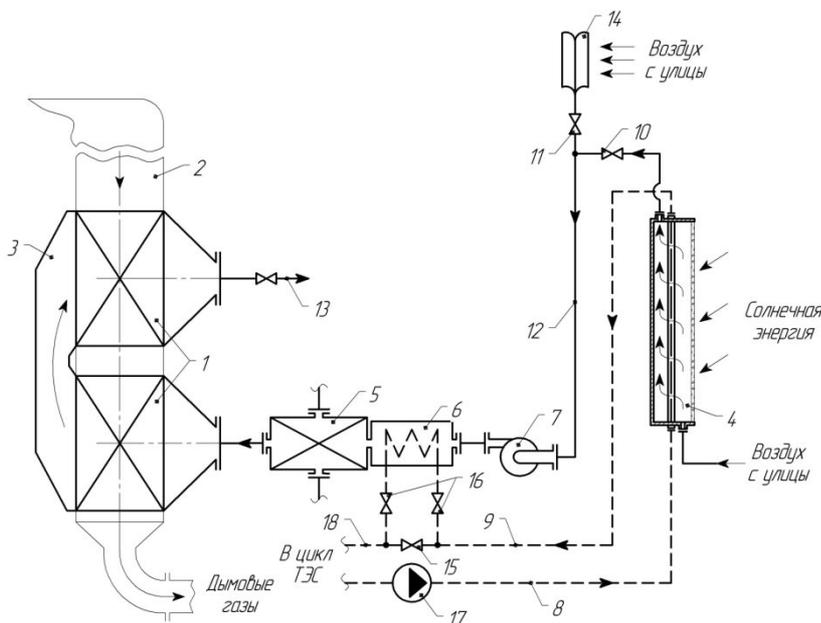


Рисунок 3 – Схема гелионагрева воздуха для КА ТЭС
1 – секции трубчатых теплообменных поверхностей, 2 – отводящий газоход, 3 – перепускной воздушный короб, 4 – солнечный нагреватель, 5 – калорифер, 6 – теплообменник, 7 – дутьевой вентилятор, 8,9 – трубопроводы, 10, 11 – шибер, 12,13 – воздуховод, 14 – воздухозаборное устройство, 15, 16 – запорная арматура, 17 – циркуляционный насос, 18 – трубопровод отвода воды

При наличии солнечной радиации и при относительно высоких температурах наружного воздуха, когда не требуется его догрев перед подачей в топливосжигающую установку, шибер 11 находится в открытом положении, шибер 10 в закрытом положении. В этих условиях солнечный нагреватель 4 нагревает только воду. Вода при помощи насоса 17 подается в солнечный нагреватель 4 по трубопроводу 8 и отводится из нагревателя 4 по трубопроводу 9, минуя теплообменник 6, который отключается по греющей стороне при помощи закрытия запорной арматуры 16 и открытия арматуры 15. Нагретая вода отводится для использования полученного тепла в производственном цикле станции по трубопроводу 18. При отсутствии солнечной радиации не функционирует насос 17, нагреватель 4 и теплообменник 6. В данном режиме закрыт шибер 10 и открыт шибер 11, а предварительный нагрев воздуха, перед подачей в секции трубчатых теплообменных поверхностей 1 полностью осуществляется в калорифере 5. Таким образом, использование энергии солнца

совместно с энергией пара создает значительный энергосберегающий эффект при сохранении основных параметров теплоносителей и надежности оборудования.

В третьей главе рассмотрены особенности модели функционирования разработанных схем гелионагрева.

Объективная оценка разработанных схем и установок гелионагрева, предназначенных для работы в системах централизованного теплоснабжения, невозможна без оценки годовых экономических эффектов от их внедрения. Для этого были разработаны модели их функционирования с учетом фактической интенсивности потока солнечной радиации. Для учета фактической интенсивности потока солнечной радиации была адаптирована формализованная методика определения положения Солнца в требуемый момент времени, а также методика определения величины прямого и рассеянного солнечного излучения. Помимо этого модель установки гелионагрева водопроводной воды включает собственно модель солнечного коллектора и модель бака-аккумулятора.

Моделирование установки гелиовоздушного отопления было сведено к определению комплекса процессов теплообмена во всех контурах системы. С одной стороны, осуществляется подвод теплоты промежуточному теплоносителю и воздуху в солнечном коллекторе, а с другой – подвод тепла водопроводной воде. Кроме того, производится догрев воздуха в двух калориферных установках. Данная задача была решена с использованием метода последовательных приближений, который в данном случае заключается в предварительном задании температуры промежуточного теплоносителя на выходе из бака-аккумулятора и расчета температуры на входе в бак на основе модели солнечного коллектора с последующим уточнением.

При расчете солнечного коллектора системы гелиовоздушного отопления исходными данными являются: параметры коллектора, расходы промежуточного теплоносителя и воздуха, характеристика временного промежутка, а также температура наружного воздуха. Из расчета бака-аккумулятора определяется температура промежуточного теплоносителя на выходе из него.

$$t_{\delta} = \frac{G_m \cdot \tau \cdot t_2 + V_{\delta} \cdot t_{\delta}^n}{G_m \cdot \tau + V_{\delta}}$$

где V_{δ} - объем бака;

τ - расчетное время работы;

G_m - расход водопроводной воды

t_2 - температура водопроводной воды

t_{δ}^n - температура в баке в начальный момент времени

Результатом расчета СК является температура промежуточного теплоносителя на входе в бак, а также температура воздуха на выходе. Основой расчета солнечного коллектора в конкретный момент времени является характеристика интенсивности фактической солнечной радиации, падающей на лучевоспринимающую поверхность с учетом его ориентации.

Тепловой баланс комбинированного коллектора:

$$Q_{изл} = Q_{возд} + Q_{пл} + Q^{ном},$$

где $Q_{изл}$ – количество теплоты, пришедшее на эффективную площадь, занимаемую приемником;

$Q_{возд}$ – количество теплоты, полученное протекающим через коллектор воздухом;

$Q_{пл}$ – количество теплоты, воспринятое пластиной и переданное жидкому теплоносителю;

$Q^{ном}$ – потери теплоты в окружающую среду.

Были рассмотрены два случая. При моделировании 1-го случая задавались следующими предположениями:

- регулирование солнечной установки производится из условия максимально возможного отпуска тепла на подогрев воздуха и отпуска избыточной теплоты на горячее водоснабжение;

- ограничением отпуска тепла в систему воздушного отопления является условие превышения температуры теплоносителя в системе нагрева воздуха с учетом недогрева в калориферах над минимально допустимой температурой приточного воздуха;

- результатами расчета будут являться температура воды на нужды ГВС и температура воздуха.

При моделировании 2-го случая задавались следующими предположениями:

- регулирование солнечной установки производится из условия максимального нагрева воды на нужды ГВС и сброса остаточного тепла на нагрев воздуха;

- ограничением отпуска тепла в систему воздушного отопления является условие превышения температуры теплоносителя в системе нагрева воздуха с учетом недогрева в калориферах над минимально допустимой температурой приточного воздуха;

- результатами расчета будут являться температура воды на нужды ГВС и температура воздуха.

В четвертой главе представлена оценка эффективности разработанных схем и установок, использующих нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Для оценки эффективности схемы одновременного нагрева

двух теплоносителей в водовоздушном коллекторе было проведено сравнение КПД коллекторов при работе в водяном, воздушном и водовоздушном режимах. Исследования, проведенные на экспериментальном стенде, сконструированном согласно действующих ГОСТов, показали превышение КПД водовоздушного солнечного коллектора по сравнению с аналогичными водяным (среднесуточный КПД больше на 0,32 %) и воздушным (среднесуточный КПД больше на 20,53 %) коллекторами.

Оценка экономической эффективности схемы гелионагрева первичного воздуха для котельных установок была рассмотрена на примере ее внедрения на Харанорской ГРЭС при ее работе на углях двух месторождений (Харанорского и Уртуйского). Экономия денежных средств от внедрения рассмотренной схемы по месяцам (см. таблица 1) включает в себя экономию по оплате за выбросы вредных веществ в атмосферу, а также экономию топлива на двух режимах работы солнечного коллектора (по нагрев воздуха в зимний период и нагреву воды в летний).

Таблица 1 – Экономия денежных средств по месяцам, руб.

Месяц	Зимний режим		Летний режим	
	<u>Харанорский уголь</u>	<u>Уртуйский уголь</u>	<u>Харанорский уголь</u>	<u>Уртуйский уголь</u>
январь	32929,92	26618,07	-	-
февраль	39776,09	32152,00	-	-
март	51200,23	41386,41	-	-
апрель	45001,54	36375,86	-	-
май	39591,47	32002,77	-	-
июнь	-	-	19236,83	15549,61
июль	-	-	21605,77	17464,48
август	-	-	22331,72	18051,28
сентябрь	-	-	35603,55	28779,23
октябрь	56041,05	45299,37	-	-
ноябрь	39302,87	31769,48	-	-
декабрь	26215,59	21190,71	-	-
Итого за год	428836,62	346639,27	330058,75	266794,67

Результаты расчета при работе котла на Харанорском угле следующие:

- 1) чистая текущая стоимость NPV= 6425901 руб.;
- 2) дисконтированный срок окупаемости: DPP=8,05 года;
- 3) Рентабельность инвестиций PI=2,44 ;

Результаты расчета при работе котла на Уртуйском угле следующие:

- 4) чистая текущая стоимость NPV= 4424352 руб.;
- 5) дисконтированный срок окупаемости: DPP=10,14 года;
- 6) Рентабельность инвестиций PI=1,99.

По результатам расчета следует: $NPV > 0$, значит проект более эффективен, чем альтернативное размещение капитала. При работе только на Харанорском угле установка окупится быстрее, чем при работе котла на Уртуйском топливе. Рентабельность инвестиций $PI > 1$, значит, проект более эффективен, чем альтернативное вложение капитала. В таблице 2 сведены итоговые результаты расчетов.

Таблица 2 – Результирующие показатели эффективности

Показатель	Ед. измерения	Харанорский уголь		Уртуйский уголь	
		Зимний режим	Летний режим	Зимний режим	Летний режим
1	2	3	4	5	6
Количество солнечных коллекторов	шт.	178			
Капиталовложения	руб.	4450000,00			
Экономия денежных средств	руб./год	428836,62	330058,75	346639,27	266794,67
Чистая текущая стоимость	руб.	6425901		4424352	
Рентабельность инвестиций	-	2,44		1,99	
Срок окупаемости	год.	8,05		10,14	

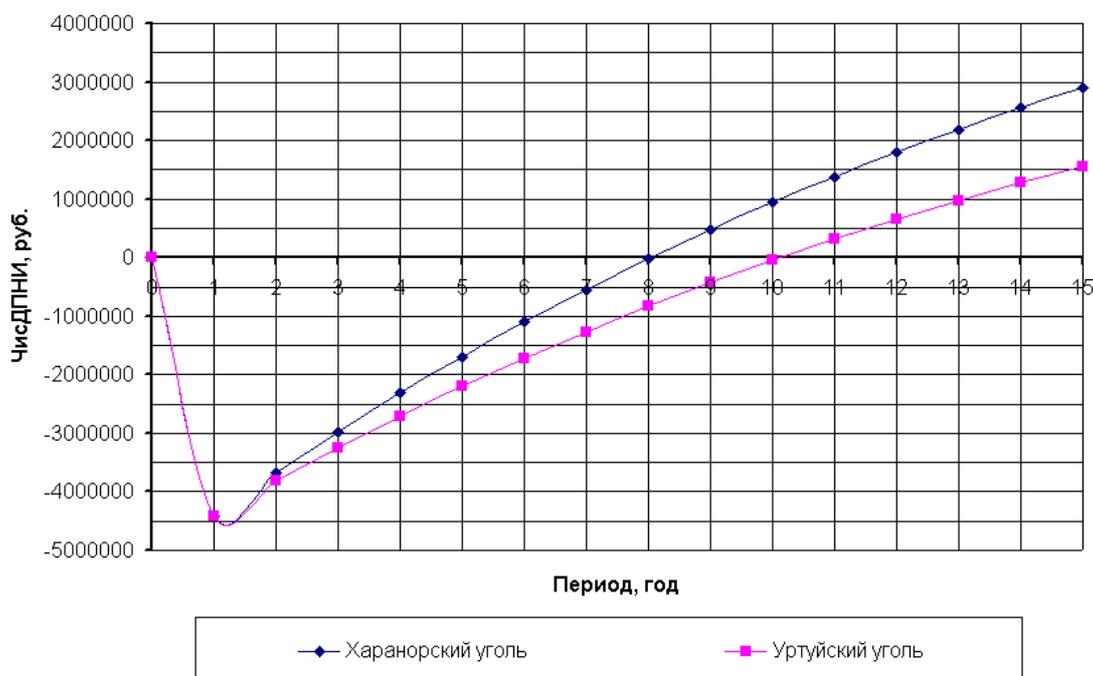


Рисунок 4 – Дисконтированный срок окупаемости

Оценка экономической эффективности установки гелиовоздушного отопления оценивался на примере 1 коллектора. Условия сравнения: место внедрения – г. Чита; размеры пластины лучевоспринимающей пластины

коллектора: 1940*78(8)*2 мм, материал - медь, толщина стенки 2 мм; степень замещения нагрузки – частичное замещение базового источника как по нагрузке ГВС, так и по вентиляционной нагрузке; тариф централизованного источника – 4255,08 руб/Гкал (3 квартал 2016 г.).

По результатам расчета следует: $NPV > 0$, значит проект более эффективен, чем альтернативное размещение капитала. Рентабельность инвестиций $PI > 1$, значит, проект более эффективен, чем альтернативное вложение капитала. В таблицах 6-7 сведены итоговые результаты расчетов.

Таблица 6 – Экономия денежных средств по месяцам, руб.

Месяц	Зимний режим	Летний режим
январь	371,48	-
февраль	460,83	-
март	617,50	-
апрель	546,18	-
май	478,98	-
июнь	-	295,24
июль	-	350,82
август	-	371,81
сентябрь	-	621,58
октябрь	701,11	-
ноябрь	472,87	-
декабрь	307,54	-
Итого за год	5595,95	

Таблица 7 – Результаты показатели эффективности

Показатель	Ед. измерения	Значение показателя
1	2	3
Количество солнечных коллекторов	шт.	1
Капиталовложения	руб.	25000
Экономия денежных средств	руб./год	5760,95
Чистая текущая стоимость	руб.	54435,63
Рентабельность инвестиций	-	3,17
Срок окупаемости	год.	6,14

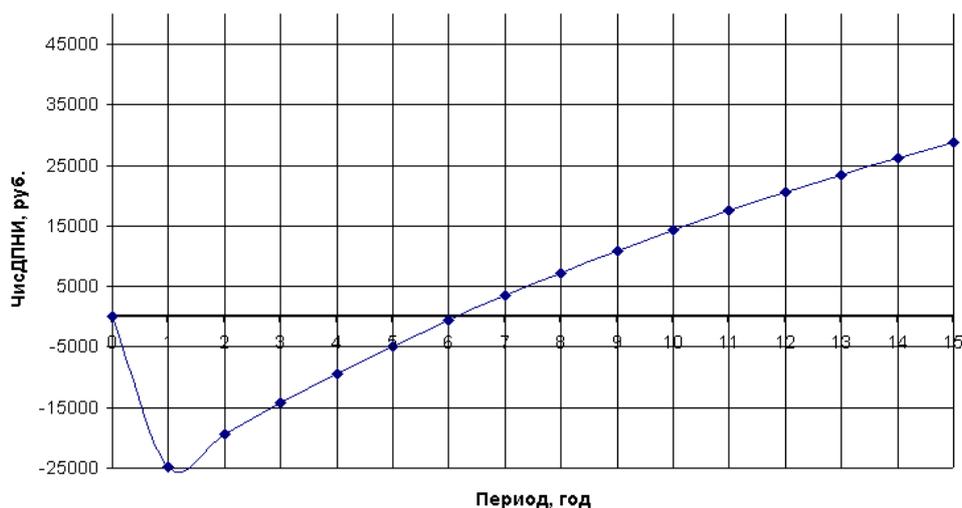


Рисунок 5 – Дисконтированный срок окупаемости

Основные выводы и результаты:

1. Предложен способ совместного функционирования разработанной солнечной установки гелиовоздушного отопления, предназначенной для работы совместно с базовой системой централизованного теплоснабжения потребителей тепловой энергии.

2. Разработаны схема и способ работы комплекса гелионагрева обратной сетевой воды у потребителей тепловой энергии, оборудованных системами автоматического регулирования, для замещения части нагрузки централизованной системы отопления.

3. Разработан способ повышения эффективности котельных агрегатов ТЭС за счет использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для нагрева воздуха.

4. Предложены модели функционирования разработанных схем гелионагрева.

5. Экспериментальные исследования эффективности водовоздушных коллекторов показали их высокую эффективность по сравнению с аналогичными водяным и воздушным.

6. Оценка эффективности разработанных способов повышения эффективности энергетических систем и агрегатов ТЭС за счет использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии показала их высокую инвестиционную привлекательность для реальных объектов теплоэнергетики Забайкальского края.

**Основные результаты, изложенные в диссертации, содержатся в
следующих работах:**

Публикации в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК:

1. Батухтин С.Г. Комбинированное применение солнечных коллекторов в системах воздушного отопления / С.Ф. Мирошников, М.С. Басс, С.А. Требунских, С.Г. Батухтин // Вестник МАНЭБ. Т. 14, № 3, 2009. – С.–Пб. – Чита. С. 85-87.
2. Батухтин С.Г. Современные методы повышения эффективности совместной работы установок гелиоотопления и систем централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин, С.Г. Батухтин // Научно-технические ведомости СПбГПУ– Спб., 2009–№3 – С. 48-53.
3. Батухтин С.Г. Методы повышения эффективности функционирования современных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии / А.Г. Батухтин, М.С. Басс, С.Г. Батухтин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. №2 С. 199-202.
4. Батухтин С.Г. Перспективы использования нетрадиционных источников энергии в системах энергоснабжения Забайкальского края / М.С. Басс, Е.Г. Поликанова, С.Г. Батухтин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. №1 С. 370-372.
5. Батухтин С.Г. Годовые характеристики систем теплоснабжения / М.С. Басс, С.Г. Батухтин, К.А. Кубряков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2012. – №3-2. – С. 39-45.
6. Батухтин С.Г. Методика оптимизации состава оборудования в комбинированных системах теплоснабжения / М.С. Басс, А.Г. Батухтин, С.Г. Батухтин // Промышленная энергетика. – 2012. - № 10. С. 49-52.
7. Батухтин С.Г. Энергоэффективная система теплоснабжения. Задачи и проблемы математического моделирования / А.Г. Батухтин, С.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, П.Г. Сафронов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. №2 С. 157-160.
8. Batuhtin A.G., Bass M.S., Batuhtin S.G. Optimization for the Equipment in Combined Heating Systems // Modern Applied Science. – 2015. –Т. 9. – №. 5. – С. p93. . (DOI: 10.5539/mas.v9n5p93)
9. Batuhtin A.G. METHOD OF EFFICIENCY IMPROVEMENT IN DISTRICT HEATING SYSTEMS / A.G. Batuhtin, M.S. Bass, S.A. Ivanov, S.G. Batuhtin, P.G. Safronov // American Journal of Applied Sciences. 2016. Т. 13. № 2. С. 145-151. (doi:10.3844/ajassp.2016.145.151)

Объекты интеллектуальной собственности:

10. Батухтин С.Г. Патент РФ № 2403511, Опубл. 10.11.2010, Бюл. №31/ Солнечная установка и способ ее работы / Соавт.: Батухтин А.Г., Батухтин С.Г.
11. Батухтин С.Г. Программа определения оптимальных технико-

экономических показателей работы ТЭС / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009614238. Соавт.: Басс М.С., Батухтин А.Г., Батухтин С.Г.

12. Батухтин С.Г. Патент РФ № 93941. Оpubл. 10.05.2010. Бюл. №13 / Комплекс теплоснабжения / Соавт.: Батухтин А.Г., Басс М.С., Батухтин С.Г.

13. Серебряков Р.А. Патент РФ № 2546340. Оpubл. 10.04.2015 г., Бюл. №10 / Комбинированный солнечный водовоздушный коллектор / Соавт.: Р.А. Серебряков, С.Г. Батухтин, В.П. Осадчих.

14. Батухтин С.Г. Патент РФ № 2601401. Оpubл. 10.11.2016 г., Бюл. №31 / Система подогрева воздуха для топливосжигающей установки / Соавт.: А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, С.Г. Батухтин, С.А. Иванов.

Публикации в других изданиях:

15. Batukhtin S.G. THE REGENERATIVE WATER-AIR HEAT EXCANGER / R. Serebryakov, S.G. Batukhtin // Research in Agricultural Electric Engineering. 2015. № 3. С. 98-102.

16. Батухтин С.Г. РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ВОДОВОЗДУШНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК С ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ТЕПЛООБМЕНА / Достовалова С.С., Серебряков Р.А., Батухтин С.Г., Батухтин А.Г. // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2014. № 4 (46). С. 61-66.

17. Батухтин С.Г. РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ВОДОВОЗДУШНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК / Р.А. Серебряков, С.Г. Батухтин // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2015. № 209-1. С. 173-178.

18. Батухтин С.Г. РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ВОДОВОЗДУШНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК / Р.А. Серебряков, С.Г. Батухтин // Вестник ВИЭСХ. 2016. № 1 (22). С. 84-89.

19. Батухтин С.Г. Проблемы использования солнечной энергии в системах теплоснабжения Забайкальского края/ С.Г. Батухтин, М.С. Басс, С.А. Требунских // Четвертая всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика в современном мире» Ч. II. – Чита: ЧитГУ, 2009. – 275 с. С. 104-109.

20. Батухтин С.Г. Оценка влияния энергоэффективных систем гелиоотопления у потребителей тепловой энергии оборудованных системами автоматического регулирования на режимы работы теплоэлектроцентралей / Сборник трудов победителей Всероссийского конкурса научных работ бакалавров по направлению «Теплоэнергетика» / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 437 с. – С. 17-27.

21. Батухтин С.Г. Схемы установок гелиоотопления для работы в системах централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин, С.Г. Батухтин // Фундаментальные исследования и национальных исследовательских

университетах: Материалы XIV Всероссийской конференции. Санкт-Петербург. Том 1.– СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010. – 372 с. (С. 143 – 144).

22. Батухтин С.Г. Экспериментальное исследование систем гелиовоздушного отопления/ С.Г. Батухтин, А.Г. Батухтин // X Международная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения». – Чита: ЧитГУ, 2010. Ч. V. 261 с. С. 9-10.

23. Батухтин С.Г. Экспериментальное подтверждение разработанных моделей гелионагрева / С.Г. Батухтин, А.Г. Батухтин // Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 321 с. С. 69-72.

24. Батухтин С.Г. Новые технологии повышения эффективности методов оптимизации отпуска теплоты / С.Г. Батухтин // XIV международной молодежной научно-практической конференции «Молодежь Забайкалья: молодость, наука, прогресс», - Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2011. – Ч. I. – 219 с. (С. 120 – 122).

25. Батухтин С.Г. Точечное применение установок гелиоотопления для увеличения располагаемой мощности систем централизованного теплоснабжения / С.Г. Батухтин, А.Г. Батухтин // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иркутск: ИрГТУ, 2011. – 639 с. – 617-622.

26. Батухтин С.Г. Методы повышения эффективности совместной работы установок гелиоотопления / С.Г. Батухтин, А.Г. Батухтин // ХҮРЭЛ ТОГООТ-2011. ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БАГА ХУРЛЫН ЭМХЭТГЭЛ. Уланбаатар хот: Судлаачдын нийгэмлэг, 2011. 317 с. С. 184-185.

27. Батухтин С.Г. Оптимизация графиков качественно-количественного регулирования в современных системах централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин, С.Г. Батухтин, А.В. Калугин // Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 321 с. С. 99-101.

28. Батухтин С.Г. Экспериментальное исследование совместной работы установок гелионагрева и систем централизованного теплоснабжения/ С.Г. Батухтин, А.Г. Батухтин // XI Международная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения». – Чита: ЗабГУ, 2011. Ч. IV. 241 с. С. 115-117.

29. Батухтин С.Г. Особенности современных систем централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин, А.В. Калугин, С.Г. Батухтин. – Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика в современном мире». – Чита: ЗабГУ, 2011. – 213 с. – С. 3–5.

30. Батухтин С.Г. Потенциал использования солнечной энергии в

Забайкальском крае / С.Г. Батухтин. – Молодежь Забайкалья: инновации в технологиях и образовании: материалы XV международн. молод. науч.-практ. конф. – Чита: ЗабГУ, 2012. – Часть I. – 200 с. – С.148–151.

31. Батухтин С.Г. Некоторые факторы определяющие эффективности солнечных коллекторов / С.Г. Батухтин, П.В. Столяров, К.А. Кубряков. XII Международная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения». – Чита: ЗабГУ, 2012. Ч. I. 168 с. С. 109-111.

32. Батухтин С.Г. РАЗРАБОТКА РЕГЕНЕРАТИВНОГО ВОДОВОЗДУШНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА С ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ТЕПЛООБМЕНА / Р.А. Серебряков, С.Г. Батухтин, А.Г. Батухтин // ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ. Труды 9-й Международной научно-технической конференции ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И СТАЦИОНАРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2014. – 288 с. С. 64-69.

33. Batukhtin, S.G. DEVELOPMENT OF THE ADDITIVE METHOD OF ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF THERMAL POWER PLANTS / A.G. Batukhtin, S.G. Batukhtin, P.G. Safronov // The Development of Science in the 21st Century: Natural and Technical Sciences. New York, Ron Bee & Associates Company. 2015. – С. 23-31.

34. Batukhtin S.G. UTILIZATION OF BUILDINGS EXCESSIVE HEAT IN SUMMER SEASON WITH ITS CONVERSION IN HEAT FOR THE HOT WATER SUPPLY NEEDS / A.G. Batukhtin, M.S. M.V. Kobylkin, S.G. Batukhtin, P.G. Safronov, Yu.O. Rikhir // Science and Education. 2016. С. 34-38. (Vien 2-3 ноября)

35. Батухтин С.Г. Оценка эффективности внедрения водовоздушных солнечных коллекторов на ТЭС / С.Г. Батухтин. XII Международная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения». – Чита: ЗабГУ, 2017. Ч. I.

36. Batukhtin, S.G. THE REGENERATIVE WATER-AIR HEAT EXCHANGER / S.G. Batukhtin, R.A. Serebryakov // В сборнике: Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук Сборник научных трудов по материалам XIV международной научной конференции. 2018. С. 87-91.

Отпечатано в ИСЭМ СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130
Заказ № 143, тираж 100 экз.