

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор
по стратегическому развитию
и науке ФГАОУ ВО
«Северный (Арктический)
федеральный университет
имени М. В. Ломоносова»,
доктор техн. наук, доцент
Марьяндышев Павел Андреевич



2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова» на диссертацию Куницкого Вячеслава Андреевича «Энергосберегающий способ локальной утилизации теплоты сточных вод на основе теплообменного аппарата», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Актуальность работы

В настоящее время практически повсеместно хозяйственно-бытовые сточные воды удаляются в сети водоотведения без какого-либо полезного использования тепловой энергии, которой они обладают. Наибольшим потенциалом для полезного использования обладает способ рекуперации теплоты сточных вод, при котором её полезное использование происходит сразу после образования стоков. Таким образом, сточные воды не успевают остыть естественным путём, и температурный напор между средами в теплообменном аппарате является максимальным из располагаемых. Именно данный способ утилизации выбран для исследования Куницким В.А. в диссертации.

Так как на данный момент в открытых источниках отсутствуют данные о влиянии условий эксплуатации на энергетическую эффективность использования утилизационных теплообменных аппаратов и отсутствует обоснованная методика теплового расчета данных устройств, то исследование Куницкого В.А. решающее данные проблемы является актуальным.

Целью диссертации является повышение эффективности систем горячего водоснабжения на основе локальной утилизации теплоты сточных вод; оценка эффекта от применения утилизационного теплообменного

аппарата (ТОА) в сетях горячего водоснабжения; проведение теоретических и экспериментальных исследований для определения рациональных характеристик утилизационного ТОА.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, шести приложений и содержит 158 страниц машинописного текста, включает 33 рисунка, 24 таблицы. Список литературы из 86 источников.

Во введении представлена актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, научная новизна, практическая и теоретическая значимость, перечислены положения, которые выносятся на защиту.

Первая глава диссертационной работы содержит обзор локальной утилизации теплоты сточных вод в непосредственной близости к месту их образования. В работе рассматривается данный способ, реализуемый в душевой.

Сформулированы особенности данного способа утилизации тепловой энергии сточных вод, а именно: теплообменный аппарат функционирует только при использовании водоразборного устройства. Вследствие этого наблюдаются периоды нестационарного и стационарного теплового режима работы, длительность которых зависит от условий эксплуатации.

Приведены результаты исследований по теме использования теплообменных аппаратов для рекуперации теплоты сточных вод отечественных и иностранных ученых.

Установлено, что отсутствует информация о степени влияния различных факторов на энергетическую эффективность использования теплообменника. К выделенным автором факторам относятся: длительность отдельного использования душевой, массовый расход воды в душевой, температура сред на входе в теплообменный аппарат, время, необходимое для достижения стационарного теплового режима теплообменным устройством, количество отдельных использований душевой в течение расчетного периода.

Установлено, что отсутствует инженерная методика, позволяющая определять рациональные характеристики используемого теплообменника для каждого конкретного объекта теплopotребления. Так как каждое водоразборное устройство используется в уникальном режиме и при конкретных условиях эксплуатации, то данное определение более подходящих характеристик необходимо производить в каждом отдельном случае.

Вторая глава посвящена описанию математической модели теплопередачи в теплообменном аппарате оригинальной конструкции.

Представлены допущения, применяемые к математической модели, и аргументируются преобразования к исходному уравнению энергии и неразрывности, лежащему в основе модели.

Представлен алгоритм расчета коэффициентов теплоотдачи греющей и нагреваемой среды, а также коэффициент теплопередачи при теплообмене между средами, разделенными стенкой.

Результатом математического моделирования является распределение температур в потоках нагреваемой и греющей среды в рассматриваемых пространственных точках во времени.

В рамках второй главы диссертации автором делается вывод, что модель адекватно описывает теплообмен между двумя одномерными потоками сред с точки зрения качественного представления процесса.

В третьей главе производится проверка адекватности количественных показателей математического моделирования температуры внутри потоков сред. Для этого используется физическое моделирование теплообменного аппарата. На его основе производится валидация математической модели теплопередачи в теплообменном аппарате.

Описывается устройство мобильной установки «Утилизационный теплообменник» и содержание экспериментального испытания, также приведены данные об используемом измерительном оборудовании. Для термометра и расходомера представлены действительные свидетельства о поверке.

Результатом экспериментального испытания является распределение температуры внутри потока нагреваемой среды в рассматриваемых пространственных точках во времени. Представлено сравнение значений расчетного и эмпирического распределения температур в потоке нагреваемой среды и сравнение расчетной и эмпирической мощности теплообменника во времени.

Расхождение между сравниваемыми значениями не превысила 6%, что позволило сделать вывод о корректности разработанной математической модели и возможности её использования для создания инженерной методики.

В четвертой главе диссертации представлено исследование влияния выбранных факторов (условий эксплуатации) на энергетическую эффективность использования устройства. Исследование проведено на основе разработанной математической модели.

Автором предлагаются параметры, характеризующие энергетическую эффективность теплообменного аппарата: абсолютное количество полезно утилизированной теплоты и относительная экономия теплоты в рамках отдельного использования душевой.

К исследуемым факторам относятся:

–геометрические (диаметр труб с нагреваемой водой d , расстояние между двумя соседними трубками в пучке, длины потоков греющей и нагреваемой среды L , количества труб с нагреваемой водой N);

–режимные параметры (массовый расход и температура нагреваемой воды на входе в ТОА, время работы ТОА, количество отдельных использований душевой за расчетный период, температура воздуха в помещении, в котором располагается теплообменный аппарат);

–теплофизические характеристики (коэффициент теплопроводности материала труб с нагреваемой водой).

Итогом исследования стало выделение двух групп среди всех факторов: условия эксплуатации, оказывающие условно существенное и условно несущественное влияние на утилизацию теплоты сточных вод.

К оказывающим существенное влияние на эффективность утилизации теплоты стоков были отнесены: массовый расход теплоносителей в ТОА; длительность отдельного использования душевой; количество отдельных использований душевой за расчетный период; длина труб с нагреваемой средой.

В главе 5 предложен алгоритм расчетной методики проектирования теплообменного аппарата для рекуперации теплоты сточных вод, образующихся в душевой, на основе которой определяются более рациональные геометрические и тепловые параметры теплообменника в зависимости от условий его эксплуатации и режимных особенностей работы водоразборного устройства.

Методика включает в себя определение доступных средств для реализации энергосберегающего мероприятия и требуемый эффект (энергетический, экономический, социальный), расчет потенциального эффекта от энергосберегающего мероприятия и последующее сравнение требуемых показателей с потенциальным эффектом. Для повышения эффективности утилизации теплоты автором предлагается использовать уменьшение расстояние между двумя соседними трубками в пучке при минимальной располагаемой длине трубок.

Как пример реализации методики представлен расчет эффекта от энергосберегающего мероприятия, внедрённого в рамках многоквартирного жилого дома.

Абсолютная экономия тепловой энергии составила 64 Гкал и 37 Гкал для здания с децентрализованной и централизованной системой горячего водоснабжения. Также определен экологический эффект: при использовании природного газа количество CO_2 -эквивалента составит 14,7 тонн CO_2 -эквивалента для здания с децентрализованной системой ГВС и 8,5 тонн CO_2 -эквивалента для здания с централизованной системой ГВС.

В заключении изложены основные результаты диссертационной работы сформулированы выводы, отражающие итоги работы автора по выбранной теме в соответствии с поставленными целью и задачами.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает её научную новизну, теоретическую и практическую значимость.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе, обладают высокой степенью обоснованности и достоверности, что подтверждается совокупностью теоретических, расчетных и экспериментальных результатов, полученных в рамках системной, непротиворечивой последовательности этапов работы.

Автор корректно использует положения теории теплообмена в приложении к функционированию теплообменных аппаратов, реализует математическую модель посредством использования метода конечных разностей; планирует и проводит экспериментальное испытание с последующей обработкой эмпирических данных.

Научные положения, выносимые на защиту, полно и последовательно раскрыты во всех разделах диссертации. Результаты авторского исследования отражены в публикациях, демонстрирующих разные части выполненной работы: обоснование математической модели теплопередачи, валидация разработанной модели на основе экспериментального испытания, определение влияния условий эксплуатации на энергетическую эффективность утилизации сточных вод.

По теме диссертационной работы опубликовано 25 работ, из них 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации, 1 статья в научном издании, индексируемом в международной базе данных Scopus, 2 – в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 1 патент на полезную модель. Отдельные разделы диссертации докладывались и обсуждались на научных конференциях различного уровня.

Результаты работы приняты к внедрению в компании ООО «Северсталь-Проект» и внедрены в учебный процесс в Вологодском государственном университете

Значимость результатов научно-исследовательской работы для науки, научная новизна

Научная новизна работы заключается в следующем:

– на основе математической модели теплопередачи в теплообменнике разработана методика теплового расчета теплообменного аппарата исследуемой конструкции для утилизации теплоты сточных вод при стационарных и нестационарных режимах работы;

– получены закономерности, описывающие влияние условий эксплуатации, геометрических, теплофизических и режимных параметров теплообменного аппарата на количество полезно утилизированной тепловой энергии отдельным теплообменным устройством;

– получены экспериментальные данные по теплообмену в аппарате оригинальной конструкции, а именно: распределение температуры в потоке нагреваемой среды во времени, определённое в расчетных пространственных точках; тепловая инерция теплообменного аппарата (количество времени, необходимое для достижения стационарного теплового режима устройством).

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и обосновании инженерной расчетной методики для определения рациональных характеристик утилизационного теплообменного аппарата и эффекта от его применения (энергетического, экономического и экологического).

Практическая значимость работы заключается в:

– Разработке программного обеспечения для расчета распределения температуры в потоках сред внутри теплообменного аппарата оригинальной конструкции.

– Созданной универсальной стендовой установкой для определения эмпирического значения мощности теплообменного аппарата при нестационарном и стационарном тепловом режиме.

– Полученных данных о потенциальном энергетическом эффекте от использования теплообменного аппарата.

– Сформулированных рекомендациях по выбору рациональных параметров теплообменного устройства на основе выявленной степени влияния различных условий эксплуатации на энергетическую эффективность утилизации теплоты сточных вод.

– Алгоритме реализации энергосберегающего мероприятия на основе локальной утилизации теплоты сточных вод.

Соответствие паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника» по пунктам паспорта:

6 – «Научные основы повышения эффективности использования энергетических ресурсов в теплотехническом оборудовании и использующих теплоту системах и установках»;

10 – «Теоретические аспекты и методы интенсивного энергосбережения в тепловых технологических системах и процессах. Теоретические основы создания малоотходных и безотходных тепловых технологических установок, способствующих защите окружающей среды».

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы Куницкого В.А. могут использоваться при разработке энергосберегающих мероприятий, направленных на повторное использование тепловой энергии хозяйственно-бытовых сточных вод в жилых, общественных зданиях, а также в бытовых помещениях на промышленных объектах.

Результаты работы дополняют и устанавливают новые положения в вопросе локальной утилизации теплоты сточных вод – способе рекуперации теплоты стоков в непосредственной близости к месту их образования при помощи теплообменного оборудования. Результаты могут использоваться, как основа для будущих исследований по теме полезного использования тепловой энергии хозяйственно-бытовых сточных вод.

Вопросы и замечания по диссертационной работе

1. При использовании метода конечных разностей автором не указана степень сходимости и порядок аппроксимации при переходе от дифференциального уравнения к алгебраическому.

2. В работе не приведено сравнение эффективности устройства, на данный момент находящегося в эксплуатации (автор в тексте диссертации приводит информацию, что подобные устройства уже используются) и устройства, созданного в соответствии с авторской методикой.

3. Существенно бы дополнило работу опытное сравнение затрачиваемой тепловой энергии душевой при использовании локальной утилизации теплоты стоков и при её отсутствии.

4. В работе автор приводит данные о среднем массовом расходе воды в душевой и средней длительности отдельного использования душевой. С какой погрешностью были получены эти данные?

5. В работе не приведены данные об эффекте, получаемом от использования утилизационного теплообменного аппарата с группой водоразборных устройств, а такое расположение возможно.

6. В работе не представлены данные о времени, необходимом для остывания сред в теплообменном аппарате до температуры окружающего устройство воздуха после окончания использования водоразборного устройства.

7. Объем автореферата завышен, в оформлении рисунков 1 и 3 допущено отклонение от требований ГОСТ.

Заключение по работе

Содержание представленной диссертационной работы на тему «Энергосберегающий способ локальной утилизации теплоты сточных вод на основе теплообменного аппарата» отвечает требованию внутреннего единства и соответствует паспорту специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника». Она является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научно-обоснованные технические и технологические решения, направленные на совершенствование способа утилизации теплоты сточных вод при помощи теплообменного оборудования в непосредственной близости к месту образования сточных вод, имеющие существенное значение для развития энергосберегающих технологий и снижения негативного влияния на окружающую среду.

Диссертационная работа Куницкого Вячеслава Андреевича «Энергосберегающий способ локальной утилизации теплоты сточных вод на основе теплообменного аппарата» соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России, установленным в пунктах 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановления Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 (актуальной редакции)), а ее автор Куницкий Вячеслав Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Диссертационная работа Куницкого Вячеслава Андреевича и отзыв обсуждены на заседании кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова», протокол № 10 от 24 ноября 2025 г.

Первый проректор по стратегическому развитию и науке ФГАОУ ВО «САФУ Ломоносова»,
доктор технических наук, доцент



Handwritten signature of Pavel Andreevich Maryandyshev.

Марьяндышев
Павел Андреевич

Профессор кафедры теплоэнергетики и теплотехники ФГАОУ ВО «САФУ им. М.В. Ломоносова»,

Handwritten signature of Viktor Konstantinovich Lyubov.

Любов
Виктор
Константинович

доктор технических наук, профессор	
РФ, 163002, Российская Федерация, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 17, (+78182) 21-89-10; (+78182) 21-61-99; rector@narfu.ru; public@narfu.ru; https://narfu.ru/	

Дата:

Личную подпись Марьямничева М.А.
 заверяю: ученый секретарь ученого совета САФУ
Касеев Е.Б. Раменская
 "24" ноября 2015 г.

Личную подпись Молова В.И.
 заверяю: ученый секретарь ученого совета САФУ
Касеев Е.Б. Раменская
 "24" ноября 2015 г.