

ОТЗЫВ
официального оппонента Лопатина Алексея Александровича
на диссертационную работу Куницкого Вячеслава Андреевича на тему
**«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

1. Актуальность темы исследования

Исследование Куницкого Вячеслава Андреевича направлено на решение проблемы полезного использования тепловой энергии хозяйствственно-бытовых сточных вод, отводимых от душевых, при помощи теплообменного аппарата, расположенного в непосредственной близости к месту образования стоков.

Данный способ рекуперации (локальная утилизация теплоты) имеет ряд особенностей: каждое водоразборное устройство имеет свой собственный режим эксплуатации, а теплообменный аппарат существенную часть времени использования функционирует при нестационарном тепловом режиме.

Работа актуальна, так как на данный момент отсутствует опубликованная информация о методиках и подходах к решению вопроса определения рациональных характеристик теплообменного аппарата, соответствующих конкретному водоразборному устройству. Также, актуальность основывается на необходимости корректного определения потенциального эффекта от использования теплообменника для решения данной задачи.

2. Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, шести приложений и содержит 158 страниц машинописного текста, включает 33 рисунка, 24 таблицы. Список литературы из 86 источников. Цель и задачи исследования сформулированы содержательно и подробно. Приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы. Отмечен личный вклад автора. Приведен список конференций, на которых было представлено выполненное исследование.

В первой главе представлена сущность идеи локального повторного использования тепловой энергии бытовых сточных вод. С точки зрения потенциальной экономии тепловой энергии это наиболее эффективный способ отбора теплоты из коммунальных канализационных стоков. Анализируются специфические особенности указанного способа рекуперации теплоты, включая перечень факторов, влияющих на процессы теплообмена внутри теплообменных установок.

Обобщён имеющийся международный опыт применения теплообменных аппаратов для задачи полезного повторного использования теплоты сточной воды.

Во второй главе представлена и обоснована математическая модель теплообмена в утилизационном теплообменном аппарате. Сформулированы допущения, применяемые к модели, и представлен алгоритм расчета коэффициентов теплоотдачи сред и коэффициента теплопередачи.

Также, получен результат математического моделирования – распределения температуры внутри потоков сред во времени.

В третьей главе приведены результаты экспериментального испытания и обработка полученных данных.

Измерения проводились с использованием измерительных приборов, имеющих действительное свидетельство о поверке.

Обработка результатов измерений позволила сделать вывод о допустимом расхождении между опытным и расчетным распределением температуры в теплообменном аппарате.

В главе 4 представлено исследование влияния условий эксплуатации теплообменного аппарата на эффективность утилизации тепловой энергии сточной воды.

Выделены две группы факторов: оказывающие условно существенное влияние и оказывающие условно несущественное влияние.

Автор делает вывод о том, что к условиям эксплуатации, которые оказывают существенное влияние на характеристики теплообменника, относятся:

- массовый расход теплоносителей;
- длительность отдельного использования душевой;
- количество отдельных использований душевой за расчетный период;
- длина труб с нагреваемой средой;
- диаметр труб с нагреваемой средой;
- температура нагреваемой среды на входе в теплообменное устройство.

К условиям эксплуатации, которые не оказывают существенное влияние на характеристики теплообменника, относятся:

- температура потоков сред в момент включения водоразборного устройства (температура воздуха в помещении, в котором располагается устройство);
- расстояние между соседними трубками с нагреваемой средой;
- металл, из которого изготавливаются трубы с нагреваемой средой.

В пятой главе представлен разработанный алгоритм (методика) определения более подходящих характеристик теплообменного аппарата для конкретного объекта теплопотребления (душевой).

Представлен пример реализации алгоритма расчета и получен потенциальный эффект от энергосберегающего мероприятия.

Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ВАК Российской Федерации, в полной мере содержательно соответствуют заявленным целям, задачам результатам и выводам, изложенным в диссертационном исследовании и опубликованных по теме работам.

3. Научная новизна и значимость работы

Научная новизна диссертационного исследования заключается в:

- разработанной методике теплового расчета теплообменного аппарата исследуемой конструкции для утилизации теплоты сточных вод при стационарных и нестационарных режимах работы;

- полученных закономерностях, описывающих влияние условий эксплуатации, геометрических, теплофизических и режимных параметров теплообменного аппарата на количество полезно утилизированной тепловой энергии отдельным теплообменным устройством;

- полученных экспериментальных данных по теплообмену в аппарате разработанной 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).

Результаты исследования Куницкого В.А. относятся к вопросу рекуперации теплоты хозяйственно-бытовых сточных вод, углубляя и расширяя имеющиеся данные по теме её полезного использования при помощи теплообменных аппаратов.

Автором получены данные о степени влиянии условий эксплуатации и периода нестационарного теплового режима работы устройства на эффективность рекуперации теплоты.

На основе этих данных предложена и обоснована методика расчета теплообменного утилизационного аппарата, позволяющая определять более подходящие характеристики устройства в каждом конкретно случае.

4. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и обосновании расчетной методики определения рациональных характеристик утилизационного теплообменного аппарата, позволяющей определять конфигурацию устройства и потенциальный эффект от его использования на конкретном объекте теплопотребления (водоразборном устройстве).

Практической значимостью работы является:

–Программное обеспечение для определения температуры в потоках сред во времени и пространстве.

–Стендовая установка для определения эмпирических данных о характеристиках теплообменного устройства.

–Потенциальный эффект от реализации энергосберегающего мероприятия на основе локальной утилизации теплоты сточных вод.

–Рекомендации по выбору более рациональной конструкции теплообменного аппарата.

5. Обоснованность и достоверность полученных результатов

Полнота изложения диссертации достаточно высокая. Имеются патент на полезную модель устройства для утилизации тепловой энергии сточных вод. Представлены акты о внедрении результатов научно-исследовательской работы: в проектную практику ООО «Северсталь-Проект» и в учебный процесс ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»

По теме диссертационной работы опубликовано достаточное количество работ, из них 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации, 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, 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.

Представленные подтверждающие документы позволяют сделать вывод о достоверности и обоснованности содержания и полученных в работе результатов.

6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Научное исследование, проведенное Вячеславом Андреевичем Куницким, является значимым вкладом в изучение вопросов эффективного использования рекуперативных теплообменных аппаратов, использующихся в системах горячего водоснабжения. Выводы и рекомендации, полученные в ходе исследования, представляют особую ценность для собственников и лиц, эксплуатирующих сети горячего водоснабжения.

Практическое применение результатов позволяет повысить эффективность системы горячего водоснабжения и канализации как в жилищном секторе, так и на объектах общественного назначения и производствах различного профиля.

Основной целью внедрения предложенных решений становится выбор конфигурации теплообменного аппарата на основе нестационарного режима использования устройства, вносящего существенное влияние на эффективность локальной утилизации теплоты сточных вод. Определенная с учетом нестационарности мощность

теплообменного аппарата в течение отдельного использования душевой позволяет более точно определить потенциальный эффект от реализации рассматриваемого в работе способа.

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

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

П. 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».

8. Вопросы, замечания и предложения по работе

1. В работе не затронуты вопросы периодической очистки теплообменных поверхностей от различного рода отложений. При этом для любого теплообменного оборудования этот вопрос является актуальным.

2. В работе указано, что основной областью применения утилизационного ТОА является индивидуальные домохозяйства, а именно душевые кабины. При этом, использование домашних душевых кабин носит явно выраженный дискретный характер. В результате, такого рода режимы эксплуатации свидетельствуют о нестационарности теплообменных процессов. При этом в работе, по моему мнению недостаточно убедительно обосновано наличие стационарных режимов (например, участки стабилизации температур при постоянстве режимного параметра – числа Рейнольдса). Кроме того, не ясно каким образом учитывается нестационарность течения в представленной расчетной модели.

3. В работе представлены результаты рассмотрения утилизации теплоты сточных вод, образовавшихся только от одного водораздаточного устройства. При этом в работе отсутствует обработка результатов математических и физических экспериментов на основе теории подобия. Таким образом остается не ясным, возможна ли экстраполяция полученных результатов большее количество потребителей воды.

4. Установка любых дополнительных устройств в стационарную систему водоснабжения приводит к росту гидравлического сопротивления. Из работы не ясно, учитывался ли этот факт при обосновании выбора конструкции и параметров утилизатора.

5. В работе при проведении математического моделирования использовалась схема с пучком труб, расположенных на одном уровне, параллельно друг другу. При этом в экспериментальных исследованиях, используемых для верификации численного

моделирования, применяется схема с одной трубой. В связи с этим возникает вопрос, каким образом учитывалось совместное влияние труб друг на друга в части тепловых и гидравлических параметров.

6. В связи с тем, что процессы в утилизаторе носят зачастую явно нестационарный характер, и, как следствие, вполне вероятно не полное заполнение пространства ТОА, было бы более обоснованным при расчетах в качестве определяющего размера использовать смоченный периметр.

7. В работе используется предположение о возможности рассмотрения данного случая теплообмена в ТОА, как теплообмена через горизонтальную нагреваемую пластину. При этом в работе это предположение высказывается без обоснования. Вызывает сомнение возможность применения такого подхода, особенно для труб небольшого диаметра.

8. На рис. 3.14 цифрой 1 обозначено аналитическое решение. При этом в работе отсутствует упоминание об этом.

9. В параграфе 4.3. указано, что «Исследования показали, что таким образом обеспечивается минимальный массовый расход в отдельно взятой трубке с нагреваемой водой, что повышает эффективность теплопередачи». Однако, в данном разделе отсутствуют ссылки на исследования такого рода нет. Кроме того, не ясно на основании чего сделан вывод о повышении эффективности теплоотдачи, так как в этом параграфе не представлены расчеты и сравнительный анализ коэффициентов теплоотдачи. При этом в таблице 4.4, на которую есть ссылка в тексте, так же не содержится значений коэффициента теплоотдачи как в явном, так и в не явном виде.

10. В 5 главе, в разделе «Расчет коэффициента теплоотдачи греющей среды при свободной конвекции», в третьем приближении коэффициент теплоотдачи составляет $396 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. При этом, в разделе «Расчет коэффициента теплоотдачи греющей среды при вынужденной конвекции» показано, что коэффициент теплоотдачи получился равным $14,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Порядок представленных значений коэффициента теплоотдачи для условий свободной и вынужденной конвекции вызывают некоторые сомнения сточки зрения теории теплообмена. Противоречат физическому смыслу явлений, протекающих в условиях однофазной теплоотдачи.

11. В работе отсутствуют данные о теплогидравлической эффективности ТОА, что не дает возможности для сравнения исследуемого утилизатора с аналогичными аппаратами, представленными на сегодняшний день на отечественном рынке теплообменного оборудования.

9. Заключение

Считаю, что диссертационная работа Куницкого Вячеслава Андреевича «Энергосберегающий способ локальной утилизации теплоты сточных вод на основе теплообменного аппарата» является значимой и законченной научной работой,

соответствующим требованиям пунктов 9-14 «Положение о присуждении учёных степеней» ВАК РФ, так как в ней представлены новые данные о функционировании утилизационных теплообменных аппаратов для локальной утилизации теплоты сточных вод в непосредственной близости к месту их образования. Куницкий Вячеслав Андреевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 - «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Я, Лопатин Алексей Александрович, даю согласие на обработку моих персональных данных и включение их в аттестационное дело соискателя (Куницкого Вячеслава Андреевича), а также на размещение отзыва в информационно телекоммуникационной сети «Интернет» на сайте Казанского государственного энергетического университета".

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Реактивные двигатели и энергетические установки» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», кандидат технических наук (01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы), доцент



Лопатин Алексей Александрович

420111, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 10.

Тел.: +7 (843) 231-01-09 (справочная), адрес электронной почты: kai@kai.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)

Подпись Лопатина Алексея Александровича заверяю:

Ученый секретарь ФГБОУ ВО

«Казанский национальный

исследовательский технический

университет им. А.Н. Туполева - КАИ»



Ф.А. Жестовская

Дата: 25.11.2023