



В.А. Куницкий, С.В. Лукин
Вологодский государственный университет

СПОСОБ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ ВОДЫ, СЛИВАЕМОЙ ИЗ ДУШЕВЫХ УСТРОЙСТВ

В статье представлена информация о разработке способа утилизации теплоты воды, сливаемой из душевых устройств. В качестве такого способа выбрано использование теплообменного аппарата, спроектированного конкретно для данных условий и задач. Описан процесс разработки теплообменного аппарата, имеется его схематичное изображение. Теплообменный аппарат воплощен в физическом виде и экспериментально опробован. Представлены результаты эксперимента и основные формулы для расчёта характеристик теплообменного аппарата.

Теплообменный аппарат, утилизация теплоты, энергоэффективность.

В России активно развивается сфера индивидуального жилищного строительства. Многие граждане делают выбор в пользу проживания в собственном доме, а не в многоквартирном. Но большая часть земельных участков, выбранных для строительства частных домов, находится относительно далеко от инженерных сетей, обеспечивающих население энергетическими ресурсами и коммунальными благами: газопроводов, централизованных систем водоснабжения и отопления. В данных условиях собственнику земельного участка приходится самостоятельно оплачивать подведение коммуникаций к земельному участку.

Электрическая энергия – это единственный энергоресурс, экономически и физически доступный в подобных ситуациях. В связи с этим появился запрос на решение задачи о проектировании дома, все инженерные сети которого будут потреблять в качестве энергоресурса только электрическую энергию. Для успешной работы по данной теме необходимо найти новые способы исполнения инженерных сетей внутри дома или модернизировать уже известные решения.

Предполагается, что в проектируемом доме вода, предназначенная для принятия душа, будет нагреваться в проточном электрическом водонагревателе. Необходимо найти способ максимально сократить потребление электрической энергии, идущей на нагрев воды при принятии душа. Как известно, горячая вода после принятия душа удаляется в канализацию и теплота, которой вода обладает, никак не используется.

Поэтому актуальной задачей является разработка способа утилизации теплоты горячей воды, отводимой в канализацию от душевых установок. Целью данной статьи является разработка такого способа с целью экономии электрической энергии, идущей на нагрев воды для принятия душа.

Задачи работы:

- разработка и проектирование устройства для утилизации теплоты;

- создание устройства для утилизации теплоты;
- экспериментальное испытание устройства для утилизации теплоты;
- оптимизация устройства для утилизации теплоты.

В качестве способа утилизации теплоты предлагается использовать теплообменный аппарат (ТОА). Трудность в использовании заводских экземпляров ТОА заключается в том, что объёмы воды и специфика работы (канализационная вода удаляется безнапорным способом) не подходят ни к одному существующему образцу. В связи с этим обстоятельством необходимо самостоятельно разработать ТОА, подходящий конкретно для данной задачи.

Принципиальная схема душевой после модернизации представлена на рисунке 1, где 1 – это теплообменный аппарат, 2 – электрический проточный водонагреватель, 3 – душ, t – это температуры греющей и нагреваемой сред на входе в ТОА и на выходе из ТОА.

На основе анализа поставленной задачи были приняты следующие конструктивные решения при проектировании ТОА:

1. ТОА исполнить в виде закрытой ёмкости, включенной в канализационную сеть. Отверстия для входа и выхода канализационной воды расположить на одном высотном уровне. Расположить ёмкость горизонтально и предусмотреть люк для обслуживания ТОА в случае необходимости.

2. Внутри ТОА расположить участок трубы с водой, находящийся перед проточным электрическим водонагревателем. Участок водопровода, находящийся внутри ТОА, исполнить из оребренной трубы, сделанной из нержавеющей стали. Труба должна быть погружена полностью в воду внутри ТОА.

3. Минимизировать объём канализационной воды внутри ТОА при максимизировании площади теплообмена (площади водопроводной трубы, находящейся внутри ТОА).

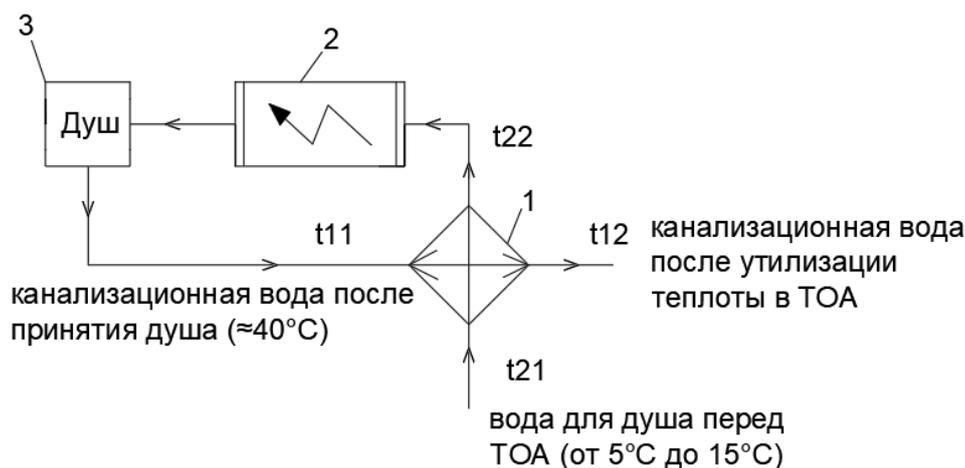


Рис. 1. Принципиальная схема душевой с использованием ТОА для утилизации теплоты горячей воды, удаляемой в канализацию

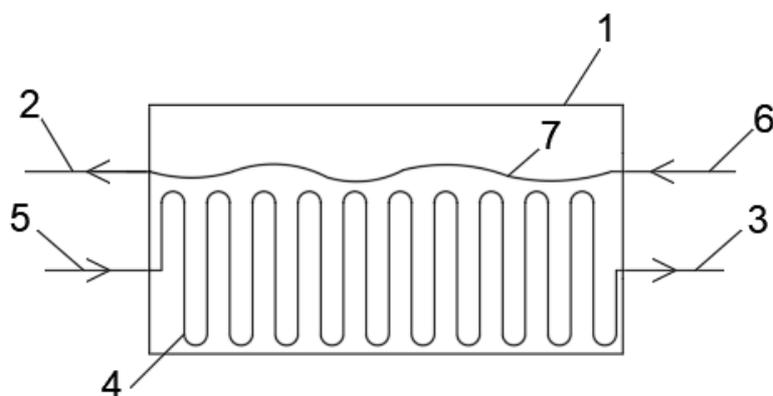


Рис. 2. Схематичное изображение теплообменного аппарата, разработанного для утилизации теплоты горячей воды, удаляемой в канализацию

Схематичное изображение разработанного ТОА представлено на рисунке 2, где 1 – корпус ТОА (пластиковый контейнер), 2 – канализационная труба, удаляющая греющую воду из ТОА, 3 – водопроводная труба, подающая нагретую в ТОА воду в проточный водонагреватель, 4 – участок водопровода, находящийся внутри ТОА (трубы из нержавеющей стали, полностью погруженные в греющую воду), 5 – водопроводная труба, подающая нагреваемую воду в ТОА, 6 – канализационная труба, подающая греющую воду в ТОА, 7 – уровень греющей воды в ТОА (изображен волнистой линией и совпадает с высотой, на которой расположено отверстие для удаления греющей воды).

Чтобы проверить работоспособность данного ТОА, необходимо воплотить его в физическом виде и провести экспериментальное испытание, так как некоторые характеристики (коэффициенты теплоотдачи сред) не могут быть определены расчетным путем. Для проведения эксперимента были выбраны и куплены все необходимые материалы. Корпус ТОА изготовлен из пластикового контейнера, в котором проделаны отверстия для подвода труб. Для исполнения участка водопровода внутри ТОА выбраны специальные трубы из нержавеющей стали, предназначенные для прокладки «тёплого» пола. Все нужные технические характеристики труб были получены у производителя.

Для расчета мощности ТОА были использованы следующие формулы [1]:

$$Q = G(h''_2 - h'_2), \text{ Вт}, \quad (1)$$

где G – расход внутри водопроводной трубы, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$; h''_2 и h'_2 – энтальпии воды на выходе из ТОА и на входе в ТОА соответственно, кДж/кг ; Q – количество теплоты, передающееся в единицу времени одному килограмму воды, Вт ,

$$Q = k(t_1 - t_2)F, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где Q – количество теплоты, передающееся в единицу времени одному килограмму воды, Вт ; $(t_1 - t_2)$ – средний логарифмический температурный напор [1], $^{\circ}\text{C}$; F – площадь теплообмена, м^2 ; k – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт/м}^2 \times \text{K}$.

Коэффициент теплопередачи определялся по формуле [2]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/м}^2 \times \text{K}, \quad (3)$$

где α_1 и α_2 – это коэффициенты теплоотдачи для греющей среды (вода снаружи труб) и нагреваемой среды (движущаяся вода внутри трубы), $\text{Вт/м}^2 \times \text{K}$; δ – толщина стенки трубы из нержавеющей стали, м ;

Экспериментально полученные характеристики ТОА при разных длинах участка водопровода внутри ТОА

Характеристика ТОА	Значение					
	L, м	0	3	6	9	12
$t''_2, ^\circ\text{C}$	14	19	23	27	29,5	30
$k, \text{Вт/м}^2 \times \text{К}$	-	330	323	362,3	344,1	299,13

λ – коэффициент теплопроводности для нержавеющей стали (получен по запросу у производителя труб), $\text{Вт/м}\times\text{К}$.

Экспериментальным путем определён расход воды в трубе и получен критерий Рейнольдса $Re = 6600$. На основе имеющихся данных о потоке воды внутри водопровода получен коэффициент теплопередачи k .

Испытание ТОА проходило в ванной комнате многоквартирного жилого дома с использованием сетей внутридомового водоснабжения. В эксперименте в качестве греющей среды использовалась вода с температурой 40°C как оптимальная для принятия душа с комфортом среднестатистическим человеком. Нагреваемая вода имела температуру 14°C , а расход внутри трубы составлял $0,13 \text{ кг/с}$. Использовалось 15 м трубы с оребрением диаметром $0,021 \text{ м}$. Площадь теплообмена при данных условиях составила $1,725 \text{ м}^2$. Греющая среда передавала теплоту нагреваемому участку трубы свободной конвекцией. Данный вывод был сделан исходя из визуального анализа характера движения воды внутри ёмкости.

Благодаря тому, что в эксперименте используется труба, состоящая из нескольких элементов, имеется возможность изменять длину участка водопровода внутри ТОА и получать данные о температуре воды внутри трубы в некоторых точках и мощности всего теплообменного аппарата. Следовательно, имеется возможность определить коэффициент теплопередачи k для разной длины участка трубы, находящегося внутри ТОА.

Данные эксперимента представлены в таблице, где L – длина водопроводной трубы из нержавеющей стали, находящейся внутри ТОА, t''_2 – температура воды на выходе из ТОА при разных значениях длины участка водопроводной трубы внутри ТОА, k – коэффициент теплопередачи для разной длины участка водопроводной трубы.

Коэффициент теплопередачи k при изменении длины участка водопроводной трубы внутри ТОА остаётся практически одинаковым. Отметим, что оптимальной длиной трубы при данных условиях греющей и нагреваемой сред является длина $L = 12 \text{ м}$, так как увеличение длины участка трубы с 12 до 15 метров приводит к повышению температуры воды на выходе из ТОА всего лишь на $0,5^\circ\text{C}$. В рамках нашей работы примем данное увеличение температуры невыгодным по сравнению с затраченными на него материальными ресурсами.

Используя формулы 1 и 2, была определена мощность ТОА в данной конфигурации (длина участка водопровода внутри ТОА – 15 м), которая составила 8690 Вт . На рисунке 3 представлен график, построенный по данным из таблицы. Данный график показывает значение температуры воды на выходе из ТОА в зависимости от длины участка трубы, находящегося внутри ТОА, при постоянной температуре греющей среды (штриховая линия). Обратим внимание на то, что точное значение температуры нагреваемой воды известно только в определённых точках ($0; 3; 6; 9; 12; 15 \text{ м}$), соответствующих длине участка трубы внутри ТОА. Между этими точками (внутри отрезков трубы) истинные температуры воды неизвестны. График на рисунке 3 построен с предположением о том, что температура воды изменяется равномерно внутри участка водопровода и является аппроксимированным графиком истинного изменения температуры воды, нагреваемой в ТОА.

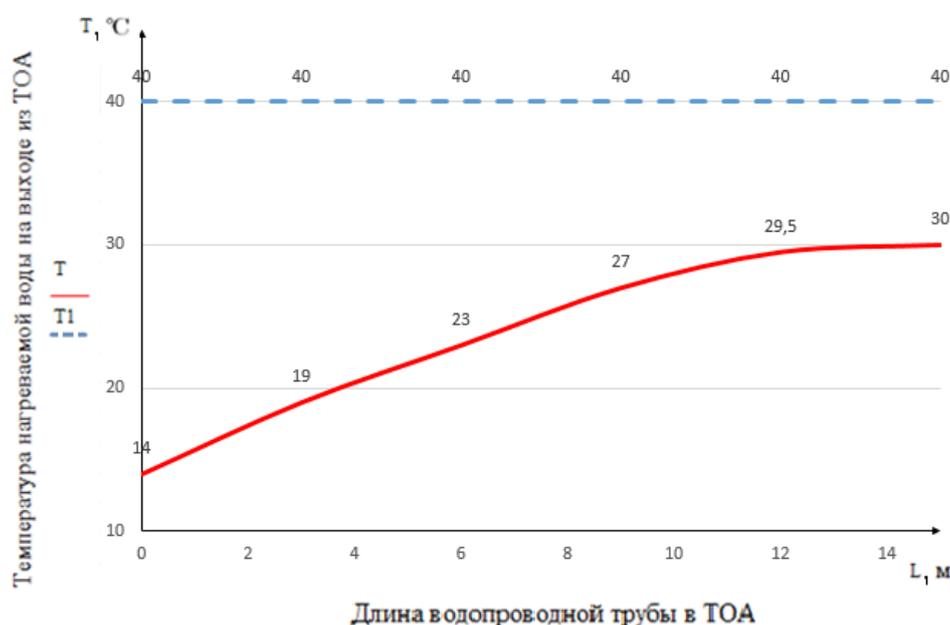


Рис. 3. Зависимость температуры нагреваемой воды на выходе из ТОА от длины водопроводной трубы, находящейся внутри ТОА (сплошная линия)

Стоит заметить, что при реальных условиях мы будем наблюдать три «стадии» работы ТООА:

1. В первые мгновения принятия душа греющая среда внутри ТООА будет иметь температуру, равную температуре воздуха в ванной комнате (26 °С [3]), так как вода остынет до температуры окружающей среды.

2. Далее греющая среда будет менять свою температуру от 26 °С до расчетной температуры 40 °С, нагреваясь от поступающей воды из душа.

3. На третьей стадии работы ТООА греющая среда будет иметь «рабочую» температуру 40 °С.

Именно наличие данных «стадий» в работе ТООА требует минимизирования объёма воды внутри ТООА для наискорейшего достижения значения «рабочей» температуры греющей среды (40 °С). Объём воды внутри ТООА зависит от объёма, который занимает участок водопровода, находящийся внутри ТООА. Именно поэтому важно расположить трубу компактно.

Можно сделать вывод, что способ утилизации теплоты горячей воды, отводимой в канализацию от душевых установок, разработан. Дальнейшие перспективы данной работы заключаются в оптимизации теплообменной установки: поиске оптимальных размеров ТООА, поиске оптимальной площади теплообмена.

Литература

1. Исаченко, В. П. Теплопередача / Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. – Изд. 3-е. – Москва : Энергия, 1975. – 488 с.

2. Михеев, М. А., Михеева И.М. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Изд 2-е. – Москва : Энергия, 1977. – 344 с.

3. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : введен 01.01.2013. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 12 с.

V.A. Kunitskiy, S.V. Lukin

WAYS OF DECENTRALIZED HOT WATER SUPPLY WITH RECOVERY OF DRAINED WATER HEAT

The article provides information on the development of methods for recovery of the heat of water drained from shower devices. For this method, the use of a heat exchanger designed specifically for these conditions and tasks is selected. The process of developing a heat exchanger is described; there is a schematic representation of it. The heat exchanger is embodied in physical form and experimentally tested. The results of experimental and basic formulas for calculating the characteristics of a heat exchanger are presented.

Heat exchanger, heat recovery, energy efficiency.