

Использование тепловой энергии сточных вод

А.П. Андрианов¹, А.Н. Грибков²

¹ООО «ВТ эксперт», Москва

²АО «Инжпроектсервис», Москва

Аннотация: Проблема энергосбережения и рационального использования ресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве остается по-прежнему актуальной. В данной работе рассмотрены вопросы использования низкопотенциальной тепловой энергии канализационных стоков для подогрева горячей воды. Представлены данные по температуре сточных вод в ряде городов, основным конструкциям теплоутилизационных установок, особенностям их применения. Показано, что температура сточных вод, выходящих из жилых зданий, значительно отличается и зависит не только от климатического пояса, но и от региональных особенностей водопотребления. Сделан вывод, что в целях утилизации тепла сточных вод можно снизить их температуру как минимум на 5 °С, а в летнее время – на 10 – 15 °С. Проведенный анализ показывает, что наиболее целесообразно использовать теплоутилизационные установки в масштабе многоквартирного или офисного здания, микрорайона или населенного пункта.

Ключевые слова: горячее водоснабжение, канализационные стоки, низкопотенциальное тепло, температура сточных вод, тепловой насос, теплообменный аппарат, утилизация тепла сточных вод, энергосбережение.

Одна из ключевых стратегий развития современного общества – это экономное и максимально полное использование имеющихся ресурсов, сокращение всех видов выбросов и отходов, увеличение доли возобновляемых источников энергии. В жилищно-коммунальном секторе большой потенциал имеют хозяйственно-бытовые (городские) сточные воды, которые из отходов можно превратить в источник сырья и энергии.

С одной стороны, можно организовать отдельный сбор, очистку и повторное использование наименее загрязненной части сточных вод, а с другой стороны, можно извлечь часть энергии, которой обладают сточные воды [1, 2], в том числе, превратив ее напрямую в электрический ток [3]. Так, теоретически, из 1 м³ городских сточных вод возможно получить до 42 МДж тепловой энергии при снижении их температуры на 10 °С [4, 5], а переработка содержащихся в сточных водах органических веществ даст от 3 до 6 МДж на 1 м³ [5]. Кроме того, при наличии естественного перепада высот

возможно утилизировать и энергию потока сточной жидкости, такие примеры известны, хотя и не многочисленны [6, 7].

Какой же тепловой потенциал имеют хозяйственно-бытовые сточные воды? Насколько можно снизить температуру без риска последующего замерзания сточных вод в холодные периоды года и без ущерба для процессов биологической очистки? Информация, приводимая в разных источниках, очень разнится. Так, по зарубежным данным, температура сточных вод в течении суток изменяется в следующем диапазоне: для многоквартирного жилого дома в г. Дюрен (Германия) от 20 до 25 °С в весенне-летний период и для студенческого общежития в соседнем городе Аахен от 20 до 27 °С в зимний период [8], для жилых зданий в Берлине от 11 до 20 °С и в г. Болонья (Италия) от 13,5 °С (в среднем) зимой до 20,9 °С (в среднем) летом [9], от 7 до 22 °С после канализационных очистных сооружений в г. Стокгольм (Швеция) [10].

Измерения температуры сточных вод, проведенных исследователями на территории постсоветского пространства, показывают более широкий диапазон ее колебания по часам суток. Так, в многоэтажном жилом здании в г. Апатиты в ночные часы температура стоков падает до 7 – 10 °С, утром возрастает до 15 – 20 °С, а днем и вечером достигает значений 25 – 35 °С [11]. Похожие данные получены для многоэтажного общежития в Киеве, где температура сточных вод составляет в среднем 20 – 25 °С, а в вечерние часы достигает 30 °С [12]. В южных регионах температура стоков выше: для студенческого общежития в г. Мары (Туркменистан) она колеблется в пределах от 31 до 37 °С [13]. Возможно, более низкие значения температуры стоков в европейских странах можно отнести к меньшей доли использования горячей воды при гигиенических процедурах из-за более высокой ее стоимости.

Средняя температура сточных вод, приходящих уже на очистные сооружения, зависит от местных условий и климатического пояса: так, в Екатеринбурге в течение года она колеблется от 20 до 25 °С [14], для Республики Беларусь в зимние периоды года она может опускаться до 10 – 15 °С [15]. Ориентировочно можно принимать среднюю температуру сточных вод на выходе из жилых зданий 25 – 30 °С (кроме ночных часов), а на входе в очистные сооружения – 15 – 20 °С [16]. При этом для нормальной работы сооружений биологической очистки температура должна быть не ниже 12 °С, а рекомендуемая нижняя граница составляет 16 °С.

Резюмируя приведенные цифры, можно уверенно утверждать, что мы располагаем как минимум температурным запасом в 5 °С, а в летнее время – до 10 – 15 °С. Если рассматривать утилизацию тепла уже очищенных сточных вод, то тут наши возможности расширяются – так, например, в Стокгольме, на работающей системе рекуперации тепловой энергии стоков их температура перед сбросом в водоем составляет всего 1 – 5 °С [10]. В любом случае сточные воды – это источник т.н. низкопотенциального тепла, который невозможно использовать напрямую для отопления или нагрева горячей воды до нужной температуры.

Наиболее простой и дешевый способ утилизации тепла сточных вод – это устройство теплообменников для предварительного подогрева холодной воды, поступающей в квартиру, частный дом или многоквартирное здание. Такие теплообменные аппараты устанавливаются на канализационных стояках или выпусках и повышают температуру холодной воды перед местным водонагревателем. Теплообменный аппарат выполняется из отрезка медной трубы диаметром 100 мм, на которую навита тонкая медная трубка, по которой течет нагреваемая вода, либо представляет собой двухслойные конструкции «труба в трубе» различных конфигураций. Также существуют

устройства емкостного типа с погруженным металлическим теплообменником с нагреваемой водой [12].

Главным недостатком описанных выше конструкций устройств рекуперации тепла сточных вод является низкий КПД, который уменьшается при снижении разницы температуры холодной и сточной воды. Так, по данным, приведенным в [1], для проточных вертикальных и горизонтальных теплообменников экономия энергоресурсов для нагрева воды для душа составила от 5 до 27%; а для установок накопительного типа – от 34 до 60 %. Для повышения степени извлечения тепла используют системы с тепловыми насосами и промежуточным теплоносителем, например, этиленгликолем. Они позволяют сразу нагреть холодную воду до температуры 45 – 55 °С, при необходимости дальнейший нагрев воды осуществляется уже традиционным способом [8, 19]. Тепловой насос обеспечивает коэффициент преобразования на уровне 4 – 4,5, т.е. на 1 кВт·ч энергии, затрачиваемой на привод компрессора теплового насоса, можно извлечь 3-3,5 кВт·ч утилизируемой теплоты.

В России практическое применение тепловых насосов для утилизации низкопотенциального тепла неочищенных сточных вод, было осуществлено в 2000 г. в г. Перми на канализационно-насосной станции РНС-3 для нужд ее теплоснабжения и на Зеленоградской РТС-3 в 2004 году для подогрева воды перед котлами для последующей ее подачи в систему горячего водоснабжения микрорайона [3]. Исследователями рассматриваются возможности использования тепла не только хозяйственно-бытовых, но и производственных стоков, которые часто имеют повышенную температуру и более равномерное поступление [17, 18].

За рубежом системы утилизации тепла получили гораздо большее распространение. Один только пример: у фирмы UHRIG (Германия), разработавшей конструкции теплообменников, встраиваемых в лоток

канализационных труб и каналов, число реализованных проектов перевалило за сотню. Один из крупнейших проектов реализован в г. Штутгарт, где на водоотводящем коллекторе диаметром 2400 мм с помощью 300-метрового теплообменника отбирается 2100 кВт·ч тепловой энергии.

Заключение

Исследования и расчеты установок утилизации тепла, проведенные различными авторами, показывают, что их внедрение вполне оправданно, несмотря на увеличение капитальных затрат [1, 8, 15]. Срок окупаемости установки с тепловыми насосами для небольшого многоквартирного дома оценивается в 5-6 лет [2, 19]. При благоприятных условиях возможна рекуперация от 30 до 50 % энергии, затрачиваемой на подогрев горячей воды [1, 8], что очень перспективно с позиций политики энергосбережения. Однако экономическая целесообразность для конкретных потребителей сильно зависит от стоимости энергоносителей и электроэнергии: в ряде случаев эксплуатационные затраты оказываются выше и не компенсируют экономию газа или электричества для нагрева воды [1]. Также существуют риски, связанные с образованием биопленки или слоя загрязнений на теплообменной поверхности [8], но продуманная конструкция и своевременное обслуживание рекуперационных установок могут свети их к минимуму.

Зарубежный и отечественный опыт внедрения и изучения работы систем рекуперации тепла сточных вод показывает, что наиболее перспективным оказывается использование теплоутилизационных установок в масштабах многоэтажных общественных или жилых зданий или в масштабах микрорайона или целого населенного пункта. Для более точной оценки перспективности использования бытовых проточных теплообменных аппаратов следует провести их испытания в реальных условиях.

Литература

1. Nagpal H., Spriet J., Murali M.K., McNabola A. Heat Recovery from Wastewater – A Review of Available Resource // *Water*. 2021. V. 13. pp. 1274.
 2. Кологривых А.С., Семиненко А.С. Тепловой потенциал канализационных стоков // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 7-2. С. 57-58.
 3. Чухин В.А., Андрианов А.П. Органическое топливо. Энергия сточных вод – проблемы и перспективы // *Вода Magazine*. 2014. №2(78). С. 38-42.
 4. Паненко Н.Н., Скрябин А.Ю., Популиди К.К. и др. Энергосбережение при очистке сточных вод населённых мест // *Инженерный вестник Дона*, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2339.
 5. Tchobanoglous G., Leverenz H. Impacts of New Concepts and Technology on the Energy Sustainability of Wastewater Management // *Conference on Climate Change, Sustainable Development and Renewable Resources in Greece*. Thessaloniki, Greece, 2009. URL: researchgate.net/publication/237492728_IMPACTS_OF_NEW_CONCEPTS_AND_TECHNOLOGY_ON_THE_ENERGY_SUSTAINABILITY_OF_WASTEWATER_MANAGEMENT.
 6. Mérida García A., Rodríguez Díaz J.A., García Morillo J., McNabola A. Energy Recovery Potential in Industrial and Municipal Wastewater Networks Using Micro-Hydropower in Spain // *Water*. 2021. V. 13(5). pp. 691.
 7. Baran B. Usage of Waste Water Treatment Plants Hydroelectric Energy for Urban Lighting Energy: The Case of Turkey // *International Journal of Engineering Research and Development*. 2021. V. 13 (2). pp. 750-762.
 8. Seybold C., Brunk M.F. Использование тепла сточных вод для дома // *Сантехника*. 2014. № 6. С. 44-49.
 9. Đurđević D., Balić D., Franković B. Wastewater heat utilization through heat pumps: The case study of City of Rijeka // *Journal of Cleaner Production*. 2019. V. 231. pp. 207-213.
-

10. Mikkonen L., Rämö J., Keiski R., Pongrácz E. Heat recovery from wastewater: Assessing the potential in northern areas // Water Research at the University of Oulu. Conference proceedings. Finland: Oulu, 2013. pp. 161-164.

11. Бежан А.В. Оценка потенциала тепла сточных вод в многоквартирных жилых зданиях (на примере г. Апатиты) // Труды Кольского научного центра РАН. 2013. № 2 (15). С. 33-40.

12. Обидный А., Малкин Э., Яценко А. Анализ существующих устройств и систем отбора низкопотенциальной теплоты сточных вод систем канализации // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. 2015. № 1(15). С. 143-151.

13. Матякубов А.А., Оразбердиева М.Р., Мамедова Т.Т., Гурбанова Г.А., Атаджанов Б.О. Использование тепла канализационных стоков как фактор заботы об окружающей среде // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 2: Биология. Геология. Химия. Экология. 2022. № 3 (23). С. 72-77.

14. Сыропятов В.Л., Велькин В.И. Использование тепла хозяйственно-бытовых и канализационных стоков северной аэрационной станции с применением тепловых насосов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2019. С. 669-674.

15. Татура А.Е. Использование тепловой энергии сточных вод // Новые достижения в области водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов: сб. ст. С-Пб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2016. С. 83-86.

16. Васильев Г.П., Закиров Д.Г., Абуев И.М., Горнов В.Ф. О тепловом ресурсе сточных вод и его использовании // Водоснабжение и канализация. 2009. № 7-8. С. 50-53.

17. Майоров А.В., Леухин А.Э., Кулалаева А.С. Повышение уровня энергосбережения на мясокомбинатах // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 43. С. 1166-1171.

18. Плешко М.С., Илиев А.Г., Занина И.А. Методика расчета эффективности использования тепловых вторичных энергоресурсов без изменения агрегатного состояния промышленных сточных вод // Инженерный вестник Дона, 2015, № 2-2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2903.

19. Ройзен А.М. Об использовании тепла сточных вод // Энергосовет. 2010. № 2 (7). С. 25-26.

References

1. Nagpal H., Spriet J., Murali M.K., McNabola A. Water. 2021. V. 13. pp. 1274.
2. Kologrivykh A.S., Seminenko A.S. Sovremennye naukojemkiye tekhnologii. 2014. № 7-2. pp. 57-58.
3. Chukhin V.A., Andrianov A.P. Voda Magazine. 2014. №2(78). С. 38-42.
4. Panenko N.N., Skryabin A.YU., Populidi K.K. et al. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2339.
5. Tchobanoglous G., Leverenz H. Impacts of New Concepts and Technology on the Energy Sustainability of Wastewater Management. Conference on Climate Change, Sustainable Development and Renewable Resources in Greece. Thessaloniki, Greece, 2009. URL: [researchgate.net/publication/237492728_IMPACTS_OF_NEW_CONCEPTS_AND_TECHNOLOGY_ON_THE_ENERGY_SUSTAINABILITY_OF_WASTEWATER_MANAGEMENT](https://www.researchgate.net/publication/237492728_IMPACTS_OF_NEW_CONCEPTS_AND_TECHNOLOGY_ON_THE_ENERGY_SUSTAINABILITY_OF_WASTEWATER_MANAGEMENT).
6. Mérida García A., Rodríguez Díaz J.A., García Morillo J., McNabola A. Water. 2021. V. 13(5). pp. 691.
7. Baran B. International Journal of Engineering Research and Development. 2021. V. 13 (2). pp. 750-762.

8. Seybold C., Brunk M.F. Santekhnika. 2014. № 6. pp. 44-49.
9. Đurđević D., Balić D., Franković B. Journal of Cleaner Production. 2019. V. 231. pp. 207-213.
10. Mikkonen L., Rämö J., Keiski R., Pongrácz E. Water Research at the University of Oulu. Conference proceedings. Finland, Oulu, 2013, pp. 161-164.
11. Bezhan A.V. Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. 2013. № 2 (15). pp. 33-40.
12. Obidnyk A., Malkin E., Yatsenko A. Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. 2015. № 1(15). pp. 143-151.
13. Mat'yakubov A.A., Orazberdiyeva M.R., Mamedova T.T., Gurbanova G.A., Atadzhanov B.O. Vestnik Syktyvkarskogo universiteta. Seriya 2: Biologiya. Geologiya. Khimiya. Ekologiya. 2022. № 3 (23). pp. 72-77.
14. Syropyatov V.L., Vel'kin V.I. Energo- i resursosberezheniye. Energoobespecheniye. Netraditsionnyye i vozobnovlyayemye istochniki energii. Atomnaya energetika. Yekaterinburg, 2019. pp. 669-674.
15. Tatura A.E. Novye dostizheniya v oblasti vodosnabzheniya, vodootvedeniya, gidravliki i okhrany vodnykh resursov: sb. st. Sankt-Peterburg, 2016. pp. 83-86.
16. Vasil'yev G.P., Zakirov D.G., Abuyev I.M., Gornov V.F. Vodosnabzheniye i kanalizatsiya. 2009. № 7-8. pp. 50-53.
17. Mayorov A.V., Leukhin A.E., Kulalayeva A.S. Innovatsii. Nauka. Obrazovaniye. 2021. № 43. pp. 1166-1171.
18. Pleshko M.S., Iliyev A.G., Zanina I.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, № 2-2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2903.
19. Royzen A.M. Energosovet. 2010. № 2 (7). pp. 25-26.