

Originally published by  
The **REHVA** European  
HVAC Journal



Shutterstock.com

Christopher Seybold, Alumni, RWTH Aachen University, Chair of Construction Business and Building Services Aachen, Germany,  
Marten f. Brunk, Head of chair, RWTH Aachen University, Chair of Construction Business and Building Services Aachen, Germany

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ДОМА

Нагрев воды для нужд горячего водоснабжения составляет 20–25% от общего потребления энергии в стандартном доме, и большая часть нагрузки приходится на подогрев воды для принятия ванны или душа. Стоимость горячей воды, как правило, занимает второе место в графе расходов на услуги ЖКХ в многоквартирных жилых зданиях, уступая по стоимости только расходам, затрачиваемым на отопление помещений. Исследования показали, что для гигиенических процедур человеку достаточно 1/10 части используемой в душе воды. Значит около 90% теплой воды, подводимой к смесителю душа, сливается в канализацию неиспользованной.

Кроме теплой воды от душа, свой вклад также вносят стиральные и посудомоечные машины, нагревающие воду с помощью электричества.

Утилизация и повторное использование большей части энергии сточной воды позволит сэкономить тепловую энергию и снизить общую стоимость горячей воды.

Статья посвящена исследованиям использования рекуперации тепла бытовых сточных вод для увеличения энергетической эффективности зданий, проведенным в Германии.

Анализ измерений, полученных на основе оценки энергетического потенциала сточных вод для шести зданий в Германии, показывает высокий уровень их температуры. В то же время данный ресурс получения энергии до сих пор не нашел широкого применения. Сточные воды имеют среднюю температуру около 21–26 °С. Количество сточных вод находится в прямой зависимости от потребления питьевой воды и для различных типов зданий в будни составляет в среднем от 113 до 133 л/сут на человека для жилых домов, 184 л/сут на один номер для гостиниц и 327 л/сут на одну койку для больницы. Применение тепловой энергии сточных вод при помощи тепловых насосов позволяет достигнуть высоких показателей экономии тепла, связанных с высоким влиянием сезонных факторов производительности, а также экологичного использования систем рекуперации тепла в доме. Одним из важных факторов обеспечения эффективности работы системы является регулярное удаление биопленки, которая образуется на той части теплообменника, которая омывается сточными водами.

#### **Предпосылки проведения исследования**

Около 5% от общего потребления энергии, расходуемой в Германии, используется для нагрева воды. Анализ общего энергопотребления зданий показал, что процент потребления энергии на нагрев горячей воды составляет около 11%. Благодаря непрерывным усилиям по сокращению энергозатрат на отопление зданий, процент энергии, затрачиваемой на подогрев воды системами горячего водоснабжения, будет с каждым годом только возрастать. Огромное количество тепловой энергии, содержащейся в сточных водах, как правило, не используется, а просто выпускается в канализацию.

Для достижения европейских целей по защите климата использование тепла сточных вод предоставляет огромный и по большей части неосвоенный потенциал для развития ресурсоэффективного теплоснабжения зданий.

Идея утилизации тепла сточных вод с тепловыми насосами, конечно, не нова. С 1980-х централизованные системы в Германии, Швейцарии и Скандинавских странах используют тепло сточных вод, собираемое либо в канализационных коллекторах, либо на очистных сооружениях. Температура сточных вод в местах сбора составляет приблизительно от 10 до 15 °С в течение всего года и даже доходит до 20 °С в летнее время, этого достаточно для гарантированной

и бесперебойной работы тепловых насосов. В зимние месяцы, когда отмечается высокая потребность в тепловой энергии, температура сточных вод в местах централизованной установки тепловых насосов составляет лишь около 10 °С, что приводит к снижению эффективности работы теплового насоса.

Данная статья будет посвящена описанию проекта под названием «Рекуперация тепла бытовых сточных вод в домах для увеличения энергетической эффективности зданий», поддержанного Федеральным министерством транспорта, строительства и городского развития. Основная задача данного проекта отличается от цели вышеописанных технических решений. В проекте главной задачей является децентрализованное использование тепловой энергии всех потоков сточных вод перед выпуском их в наружную канализацию, чтобы предотвратить рассеивание энергии в почву. Температура сточных вод перед выпуском их из здания составляет около 23–26 °С в среднем, что существенно выше по сравнению с температурой в централизованных системах утилизации тепла сточных вод. Как следствие, эффективность и рентабельность системы тепловых насосов можно решительно увеличить. Таким образом, применяется схема, в которой тепловая энергия из сточных вод может быть использована непосредственно в здании для получения горячей воды при помощи теплового насоса.

В контексте исследовательского проекта оценивался потенциал использования энергии сточных вод внутри зданий, а также проводилось моделирование энергосбережения для различных концепций системы, в том числе и в целях оценки эффективности системы по сравнению с традиционной энергетикой.

#### **Концепция мониторинга**

Для того чтобы определить энергетический потенциал сточных вод, необходимо знать расход потребления холодной питьевой воды, а также температуру сточной воды, эти значения должны быть измерены на контрольных объектах. Принимается, что потребляемое количество питьевой воды равно количеству сточных вод, отводимых от здания. Температура сточных вод измеряется, соответственно, двумя датчиками температуры в каждой системе канализации. Точки измерения располагаются на главных магистральных канализационных трубах и перед выпуском сточных вод в наружную канализационную систему (рис. 1).

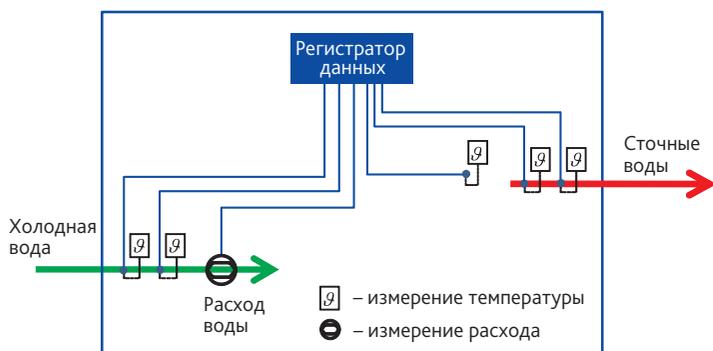


Рис. 1. Концепция мониторинга

Шесть наблюдаемых объектов включают: жилой дом с 19 жителями в городе Diiren, многоэтажный жилой дом с 49 жителями в городе Pforzheim, два студенческих общежития на 244 и 208 постояльцев, бизнес-отель на 150 номеров и больницу на 348 койко-мест в городе Aachen.

### Результаты мониторинга

Типичные суточные изменения потребления питьевой воды и температуры сточных вод в будни, на основе среднеарифметического значения по одному из нескольких домов и одного из студенческих общежития, представлены на рис. 2, 3.

По данным измерения для жилого 8-квартирного дома в городе Diiren, где проживают 19 человек, с мая по июль 2012 года средний расход в будни составил 117,0 л/сут на человека, или, 2,2 м<sup>3</sup>/сут. Средняя температура сточных

вод составила 22,5 °С, а средняя температура холодной питьевой воды в течение этого периода – 14,8 °С. На рис. 2 показано ежедневное колебание расхода воды и температуры сточных вод. Можно отметить, что потребление питьевой воды начинается в 4:00 утра и достигает своего максимума в 8,8 л/ч на человека между 7:00 и 8:00 утра. Впоследствии в течение дня расход находится на постоянном уровне между 5,6 (с 2:00 до 3:00 ночи) и 6,8 (с 1:00 до 2:00 ночи) л/ч на человека. В вечерние часы расход незначительно увеличивается, и после 21:00 наблюдается постепенное снижение расхода потребляемой воды. Температура сточных вод достигает максимальных значений при утренней и вечерней пиковых нагрузках на систему водоснабжения: 24,3 (с 7:00 до 8:00 утра) и 25,3 °С (с 20:00 до 21:00). Профили построенных кривых отличаются по субботам и воскресеньям (не показаны на графике). Утренний пик водопотребления в выходные дни отмечается на три часа позже, чем в будни. Примечательно, что средний расход, составляющий 133,9 л/сут на человека, зафиксирован по воскресеньям.

Для студенческого общежития в Theodor-Geop Karman с 244 постояльцами в период с мая 2011 года по февраль 2012 года по данным измерений были получены следующие результаты: в будни (с понедельника по пятницу) в учебный период года среднее потребление питьевой воды составило 116,9 л/сут на человека (соответственно 28,53 м<sup>3</sup>/сут), а средняя температура сточных вод – 24,9 °С. Средняя температура холодной питьевой воды составила около 11,8 °С в течение периода измерения. На рис. 3 показаны типичные суточные изменения расхода воды и температуры сточных вод. Очевидно, что потребление питьевой воды начинается в 6:00 утра и достигает своего дневного максимума около 9 л/ч на человека с 8:00 до 10:00 утра. В послеполуденные часы, между 16:00 и 17:00, потребление немного ниже. С 21:00 и до 22:00 – второй пик потребления: 6,5 л/ч на человека. Кривая температуры сточных вод показывает аналогичную тенденцию: максимальное почасовое значение 27,2 °С можно наблюдать во время раннего пика потребления с 9:00 до 10:00 утра. Также отмечено, что температура падает до 19,9 °С с 5:00 и до 6:00 утра. Форма кривой показывает, что в периоды с большим количеством расхода воды температура сточных вод выше, чем в периоды с меньшим потоком воды. По субботам и воскресеньям профили немного отличаются (не показано на графике): пики потребления в первой половине дня

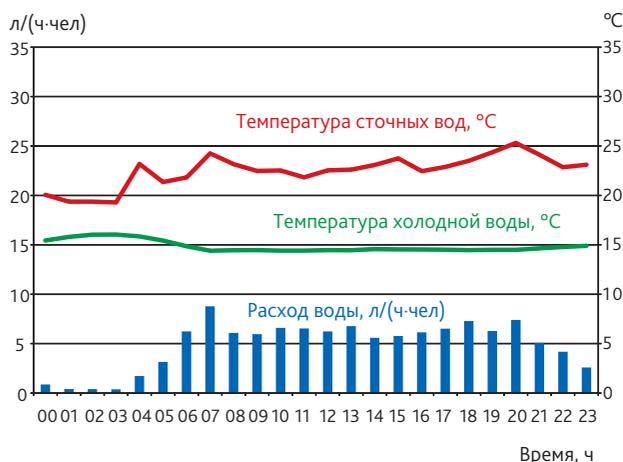


Рис. 2. Суточные изменения потребления питьевой воды и температуры сточных вод в будни в жилом доме (19 жителей)

начинаются с одночасовой задержки по субботам и с двухчасовым опозданием по воскресеньям.

### Оценка производительности

Из-за высокого уровня температуры сточные воды могут быть классифицированы как идеальный источник тепла для системы с тепловым насосом. Как показано на рис. 4, бак для накопления сточных вод компенсирует колебания количества поступающей сточной воды в течение дня и служит в то же время местом установки одностороннего теплообменника, который поглощает тепло из сточных вод. Тепловой насос передает полученную тепловую энергию теплообменнику, служащему для нагрева воды. Система предназначена для двухступенчатого нагрева воды: тепловой насос совершает предварительный нагрев питьевой воды, после чего второй генератор тепла (например, обычный газовый котел) поднимает температуру предварительно нагретой воды до уровня температуры необходимого для горячего водоснабжения – 60 °С. Это делается для того, чтобы предотвратить размножения бактерий легионеллы и обеспечить санитарно-гигиенические требования для систем ГВС.

В контексте исследовательского проекта разные схемы технических решений проанализированы в отношении их экологических и экономических преимуществ по расчетам моделирования, где гидрографы энергоемкости профилей сточных вод служат в качестве входных величин для моделирования. Следующие результаты моделирования представлены на примере студенческого общежития с 244 постояльцами для системы теплового насоса, в которой тепловой насос обеспечивает предварительный нагрев горячей воды до 45 °С, и затем при помощи газового котла температура горячей воды повышается до 60 °С. Также при измерениях были заданы следующие значения:

- обеспечение температуры горячей воды: 60 °С,
- подогрев горячей воды через тепловой насос: 45 °С,
- внутренняя температура холодной воды: 10 °С,
- объем водонагревателя: 5 м<sup>3</sup>,
- объем хранения сточных вод: ~ 5 м<sup>3</sup>,
- тепловая мощность теплового насоса: 24 кВт,
- термическая дезинфекция водонагревателя: один раз в день с помощью газового котла.

Из-за насыщенности питательной среды сточных вод, как и ожидалось, произошло формирование биопленок на всех контактных

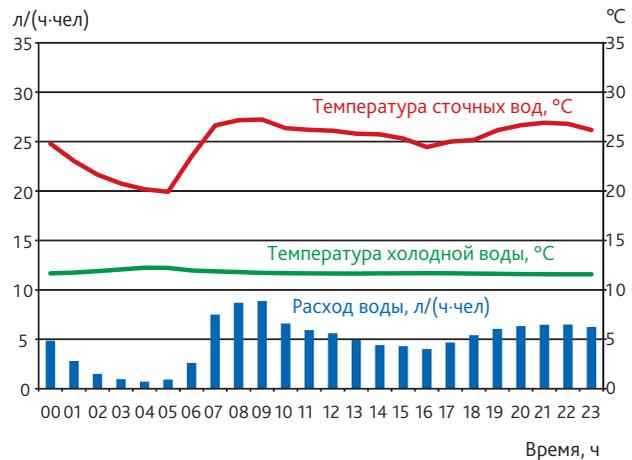


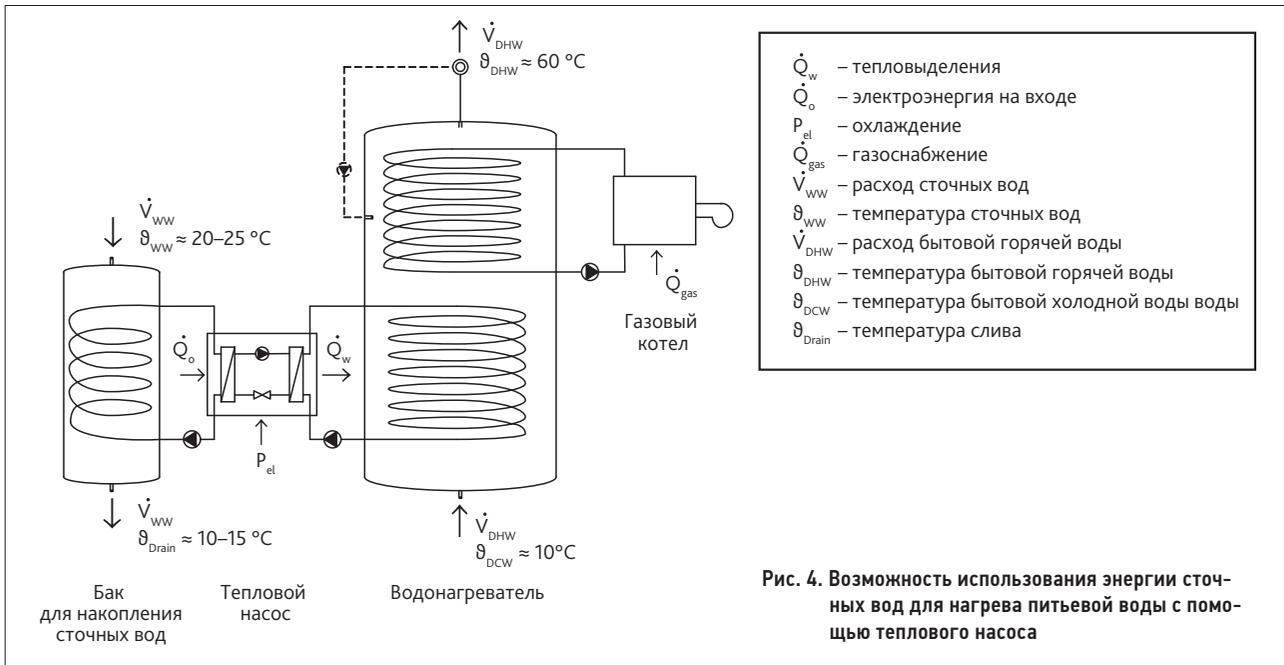
Рис. 3. Суточные изменения потребления питьевой воды и температуры сточных вод в будни в студенческом общежитии (244 жителя)

поверхностях. Особый интерес здесь представляет образование биопленки на той части теплообменника, которая контактирует со сточными водами, поскольку биопленка обладает низкой теплопроводностью и таким образом имеет изолирующее действие, что может значительно снизить теплопередачу теплообменника. При моделировании биопленки со средней толщиной 1 мм, при которой требуется регулярная очистка теплообменника для сточных вод в однодневный интервал:

- толщина биопленки на теплообменнике, контактирующем со сточными водами: 1 мм,
- теплопроводность биопленки: 0,5 Вт/мК.

Для моделируемой системы потребляющая энергия для приготовления горячей воды 991,2 кВт·ч на одного человека рассчитывается из расчета, что тепловой насос обеспечивает 475,5 кВт·ч на человека и газовая котельная – 515,5 кВт·ч на человека. Коэффициент мощности теплового насоса экстраполируется, по данным компании, как 5,5 с тепловым действием 48,0%. В среднем тепловой насос работает с повышением температуры от 17,7 до 44 °С. На основании расчетов сточные воды охлаждаются в среднем до 18 °С. Таким образом, вредного воздействия низких температур на работу очистных сооружений не ожидается.

Исследование показало, что для эффективной работы системы необходимо сократить формирования биопленки на контактирующей со сточными водами части теплообменника, например, с помощью инновационных и автоматизированных методов очистки. Основная цель исследовательского проекта – использование сточных вод



в качестве источника тепла. Рекуперацию тепла сточных вод непосредственно в здании можно рассматривать как перспективную технологию, которая позволяет увеличить энергетическую

и ресурсную эффективность нагревательных приборов в зданиях.

*Перевод и редактирование выполнила Н. А. Шонина*

## ВЕБИНАРЫ АВОК – ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ СООБЩЕСТВУ

Вебинары АВОК – это не только онлайн-трансляция, но и целевая рассылка приглашений по адресной электронной базе НП «АВОК», включающей более 70 000 контактов. В пакет входит размещение информации о проводимом вебинаре на главной странице сайта [www.abok.ru](http://www.abok.ru), ежедневно посещаемой 5 000 специалистами.

Видеозапись проведенного вебинара размещается в специальном разделе на сайте [www.abok.ru](http://www.abok.ru). Как показывает опыт, запись просматривает от 300 до 1000 специалистов, не успевших принять непосредственное участие в вебинаре.

Проведено более 115 мероприятий в формате мастер-классов, конференций, семинаров, консультаций ведущих специалистов, презентаций компаний. В вебинарах АВОК приняло участие более 20 000 специалистов из 287 городов России, а также из 82 городов, расположенных в 22-х зарубежных странах.



Реклама