

С.Н. Осипов,  
д.т.н., проф.

А.В. Захаренко,  
аспирант

ГП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.»

# ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

УДК 662.99.



## Аннотация

Предлагается способ использования вторичных энергоресурсов в системе горячего водоснабжения. Он заключается в предварительном нагреве холодной водопроводной воды до температуры 30–35°C при помощи теплоты отработанной воды из ванн, душевых и раковин, которую в дальнейшем догревают от централизованной системы теплоснабжения или от теплового насоса до нормируемой температуры. Рассматривается два варианта реализации предлагаемого способа: с предварительным сбором в теплоизолированной накопительной емкости теплых сточных вод и с предварительным сбором в теплоизолированной накопительной емкости уже предварительно подогретой холодной водопроводной воды.

## Abstract

A method of using secondary energy resources in a hot water supply system is proposed. It consists in preheating the cold tap water to a temperature of 30–35°C with the help of the heat of the waste water from the bathrooms, showers and wash-hand basins, which are further heated from the centralized heat supply system or from the heat pump to the standardized temperature. Two variants of implementation of the proposed method are considered: with preliminary collection of warm sewage in a heat-insulated storage tank and with preliminary collection of pre-heated cold tap water in a heat-insulated storage tank.

## Введение

Одним из основных направлений так называемого энергоэффективного строительства является использование вторичных энергоресурсов, в частности, теплоты сточных вод в системах горячего водоснабжения зданий. Централизованные системы горячего водоснабжения в целом и их от-

дельные элементы (тепловые насосы, теплообменники и т.п.) используются в жилищном домостроении уже многие десятилетия. Например, тепловые насосы известны более 55 лет [1], но их использование стало наиболее актуальным особенно в последнее время в связи с высокими ценами на топливно-энергетические ре-

сурсы и экологические проблемы. Известно множество различных видов используемых тепловых насосов и схем их применения для нагрева воды. Например, в [2, с. 33–35] описано несколько десятков их типовых размеров, а также различные условия их монтажа и применения (также описаны характеристики комплектующих уз-

лов, схемы их соединения, особенности эксплуатации, включая борьбу с шумом и т.п.). Описанные в [2] теплонасосные установки достигают мощности в 20–30 кВт при нагреве чистой воды до температуры около 55°C при коэффициенте преобразования  $E \approx 3-4$ . Однако в [2] не указывается на возможность использования отрабо-

танной горячей воды для предварительного подогрева холодной воды перед ее нагревом от теплового насоса.

В современных энергоэффективных жилых зданиях Беларуси удельный годовой расход теплоты на отопление уменьшился до 30 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год, что гораздо меньше расхода теплоты на горячее водоснабжение. Очевидно, что повышение энергоэффективности системы горячего водоснабжения является актуальной задачей. Так, например, в последнее время широко проводятся натурные эксперименты по применению в жилых зданиях специальных теплообменных систем для предварительного частичного подогрева холодной водопроводной воды для дальнейшего получения горячей воды. Несмотря на положительные результаты данных исследований, большинство из них до сих пор не нашло широкого применения в отрасли жилищного домостроения. В целом доказательством отсутствия использования теплых бытовых стоков для предварительного подогрева холодной воды в ощутимых масштабах в России и Беларуси по состоянию к 2005 г. может служить полное отсутствие даже упоминания такой технологии в обширном учебнике по теплоснабжению и вентиляции [3, глава III]. В данной статье рассмотрен возможный вариант повышения энергоэффективности процесса получения горячей воды в жилых зданиях путем использования теплоты сточных вод.

Известен способ утилизации тепла сточных вод [4], когда используется теплообменник, состоящий из горизонтального контейнера для сточной воды, внутри которого расположена горизонтальная труба с холодной водой. Главным недостатком данного способа является использование общей смеси сточных вод с относительно невысокой температурой. Иной способ повышения эффективности утилизации тепла сточных вод [5] основывается на учете динамики изменения их количества и качества в ходе

работы системы с использованием теплового насоса. Главным недостатком такого способа является также использование общей смеси сточных вод с относительно невысокой температурой (20–25°C).

Интересен подход вторичного использования сточных вод [6], используемый в банно-прачечном хозяйстве угольной шахты. Эти воды перед сбросом в канализацию предварительно аккумулируют в теплоизолированной емкости и осуществляют их последующую циркуляцию в контуре испарителя теплового насоса до тех пор, пока теплоноситель не охладится до 5–10°C. Нагретая до 45°C водопроводная вода направляется в расходную емкость, используемую для горячего водоснабжения шахтной бани и прачечной. Главным недостатком этой системы является неравномерность режима работы теплового насоса, связанная со сменностью загрузки шахтной бани и необходимостью усиления антикоррозионных мероприятий в системе циркуляции сточной воды.

Большой интерес представляет способ водоснабжения жилых зданий посредством использования системы централизованного теплоснабжения [7], содержащей прямой и обратный трубопроводы теплосети. К первому из них параллельно подключены трубопроводы с установленным на одном из них смесительным устройством системы отопления, соединенным посредством подмешивающего трубопровода, снабженного обратным клапаном, с обратным трубопроводом теплосети. На другом – с последовательно-обратным клапаном, регулятором расхода и смесительным устройством подогревателя горячего водоснабжения, снабженного подмешивающим трубопроводом. При этом подмешивающий трубопровод смесительного устройства подогревателя горячего водоснабжения подключен к подмешивающему трубопроводу смесительного устройства системы отопления перед

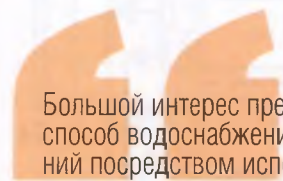
обратным клапаном и снабжен регулятором расхода, установленным после соединения с упомянутым трубопроводом. Основным недостатком описанного способа является недостаточная эффективность использования тепла обратной воды системы отопления.

### Основная часть

Главной задачей предлагаемого способа [8] является создание независимой системы горячего водоснабжения с использованием тепла отработанной воды для предварительного первичного нагрева хо-

до необходимой температуры водопроводную воду собирают в накопительную теплоизолированную емкость для чистой горячей воды, откуда ее подают в трубопроводы горячего водоснабжения здания к потребителям, а отработанные теплые стоки из теплообменника для предварительного нагрева холодной водопроводной воды в полном объеме сбрасывают в общую канализацию. При этом дебит подаваемой в теплообменник предварительного нагрева холодной водопроводной воды соответствует дебиту теплых стоков.

Сущность этой технологии состоит в применении двухступенчатого нагрева холодной водопроводной воды до требуемой в системе горячего водоснабжения температуры: первая сту-



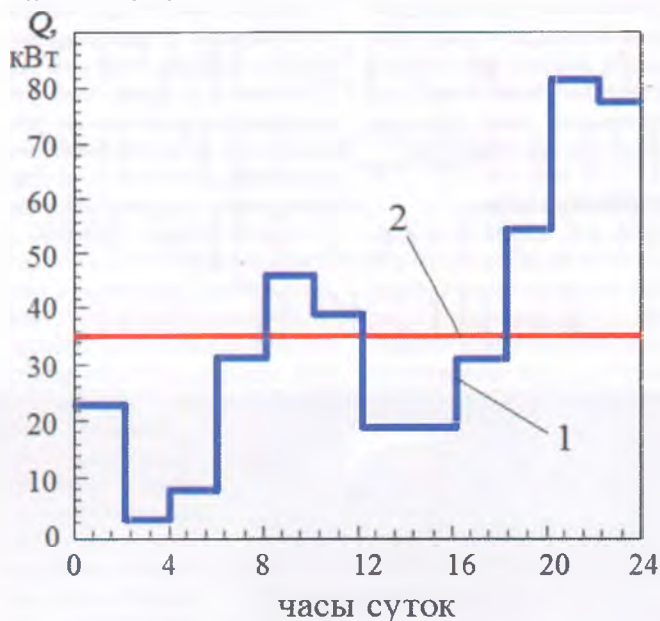
Большой интерес представляет способ водоснабжения жилых зданий посредством использования системы централизованного теплоснабжения, содержащей прямой и обратный трубопроводы теплосети.

пенной водопроводной воды, имеющей температуру 5–15°C, до температуры 30–35°C, которую затем подогревают от централизованной системы теплоснабжения или от теплового насоса до температуры 50–60°C. Попутной задачей является существенное снижение неравномерности нагрева горячей воды в системе горячего водоснабжения здания. Осуществление данного способа возможно путем обустройства отдельно от общей с туалетами канализации теплоизолированных трубопроводов для теплых стоков из ванн, душей и ручкомойников, по которым их направляют в полном объеме в накопительную теплоизолированную емкость, из которой их подают с регулируемым расходом в теплообменник предварительного нагрева холодной водопроводной воды. Затем подогреют холодную водопроводную воду направляют на догревание до необходимой температуры в теплообменник догрева, в который подают горячий теплоноситель из теплового насоса или системы централизованного теплоснабжения. После этого подогретую

пень – теплообменник предварительного нагрева холодной водопроводной воды; вторая ступень – теплообменник догрева с горячим теплоносителем теплового насоса или системы централизованного теплоснабжения. Применение двухступенчатой системы нагревания воды приводит к снижению необходимой производительности теплообменника теплового насоса, а также к снижению тепловых потерь накопительной теплоизолированной емкости. Очевидно, что поставленные задачи решаются путем включения в отдельную систему горячего водоснабжения теплоизолированных емкостей для теплых стоков и горячей водопроводной воды с теплообменниками, а также источников тепла в виде теплового насоса или централизованного теплоснабжения.

Также возможен несколько иной вариант горячего водоснабжения, когда тепловые стоки направляют в теплообменник для первичного нагрева холодной водопроводной воды, которую затем направляют в теплоизолированную емкость для сбора предварительно подо-

**Рисунок 1.** График относительного расхода горячей воды по часам суток при среднем расходе, принятом за 100%, для 36-квартирного 6-этажного дома



1 — относительный расход горячей воды по часам суток;  
2 — средний расход горячей воды.

гретой водопроводной воды; оттуда ее с регулируемым расходом подают в теплообменник догрева для нагрева до требуемой температуры и далее — потребителям в систему горячего водоснабжения. Отработанные стоки сбрасывают в отвод общей канализации. В частном случае дебит холодной водопроводной воды, подаваемой в теплообменник предварительного нагрева, и дебит тепловых стоков, поступающих в теплообменник, регулируют в соответствии с равенством:

$$q_x \approx q_t, \quad (1)$$

где  $q_x$  — дебит холодной водопроводной воды, м<sup>3</sup>/ч;  $q_t$  — дебит теплых стоков, м<sup>3</sup>/ч.

При этом температура холодной воды в зависимости от конструкции теплообменника (прямоточный, обратоточный и др.) может достигать  $0,9 t_r - 0,95 t_r$ , где  $t_r$  — температура теплых стоков, °С.

Достижение существенного снижения неравномерности нагрева горячей воды в системе горячего водоснабжения здания осуществляется с учетом эффективного использования теплового насоса посредством обеспечения равномерности его

круглогодичной тепловой нагрузки, что влияет на повышение экономической эффективности его работы в целом. Эта задача решается на базе анализа режимов потребления горячей воды в разные периоды года, дней недели и часов суток. Сущность такой технологии поясняется с помощью рис. 1–3. Как видно из рис. 1, где приведен график относительного расхода горячей воды по часам суток (линия 1) при среднем расходе (линия 2), принятом за 100%, для 36-квартирного 6-этажного дома, потребление горячей воды в течение суток крайне неравномерно (от 10% до 210% среднего уровня). Наблюдается два пика потребления: утром — с 6 до 12 часов и вечером — с 18 до 24 часов. Причем вечерний пик наиболее значительный. Очевидно, что использование баков-аккумуляторов в виде теплоизолированных емкостей представляется вполне оправданным. Методика определения параметров таких емкостей приведена в учебниках и учебных пособиях для студентов [9 и др.].

Как показывают специальные измерения, максималь-

ный почасовой расход горячей воды при количестве потребителей более 30–40 и количестве 25–30 водоразборных приборов типа ванн и душей остается примерно одинаковым в течение всего года. Однако неравномерность потребления горячей воды в течение суток крайне велика (рис. 1, [9, рис. 2.2, с. 16]). Следует учитывать, что доля потребления горячей воды в ваннах и душах составляет 70% и более от общей массы используемой на бытовые нужды горячей воды. Важно также отметить, что при использовании горячей воды с температурой  $t_r = 50–60^\circ\text{C}$  в нее добавляется примерно 30% и более холодной воды при  $t \approx 10^\circ\text{C}$ . Таким образом, сток отработанной в ваннах и душах теплой воды с температурой  $35–40^\circ\text{C}$  примерно соответствует объему общего потребления горячей воды, что обеспечивает ее эффективный предварительный подогрев.

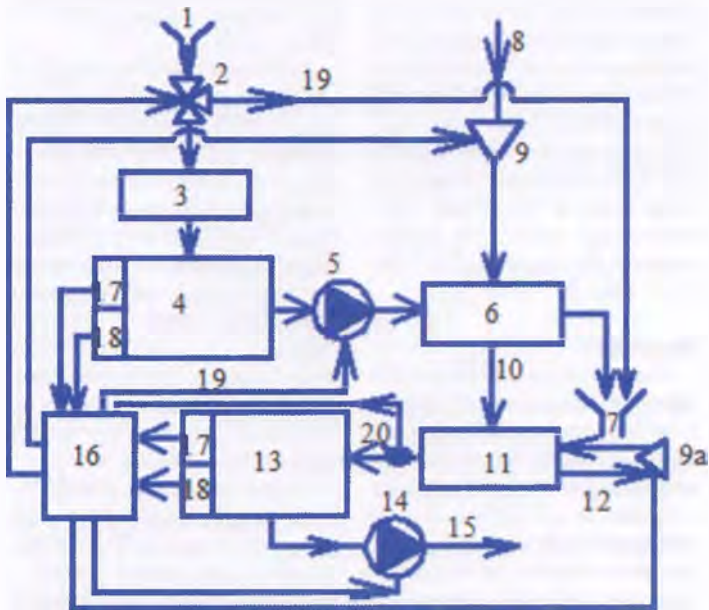
Для обеспечения круглогодичной максимальной часовой производительности теплового насоса последняя должна соответствовать среднечасовой потребности сети горячего водоснабжения в наиболее загруженные сутки. Тогда при работе теплового насоса на обогревание воды, поступающей в теплоизолированный бак-аккумулятор с горячей водой, ее расход в периоды превышения потребления производительности теплового насоса компенсируется за счет бака-аккумулятора. Поэтому с целью обеспечения постоянства производительности теплового насоса подача холодной водопроводной воды на предварительный нагрев отработанной теплой водой и догревание до  $55–60^\circ\text{C}$  характеризуется постоянным расходом.

В соответствии с приведенной на рис. 2 схемой использование теплой сточной воды для первичного нагрева холодной водопроводной воды осуществляется следующим образом: по предварительно обустроенным отдельно от общей с туалетами канализационной

системы (7) теплоизолированными трубопроводам (1) теплые стоки из ванн и душей через трехходовой клапан (2) подают в фильтр (3), откуда их направляют в накопительную теплоизолированную емкость (4). В случае необходимости теплые стоки через трехходовой клапан (2) сбрасывают по линии трубопровода (19) в общую канализацию (7). Из емкости (4) теплую сточную воду через теплообменник (6) для предварительного нагрева холодной водопроводной воды, поступающей из системы (8) холодного водоснабжения через управляемый запорный клапан (9), после чего отработанные стоки сбрасывают в общую канализацию (7). Предварительно нагретую до температуры  $30–35^\circ\text{C}$  водопроводную воду по трубопроводу (10) направляют в теплообменник догрева (11), в который подают горячий теплоноситель (12) из централизованной системы (20) теплоснабжения здания или который встраивают в систему конденсации теплового насоса (5), где вода догревается до  $50–70^\circ\text{C}$  [3, с. 125]. Догретую до необходимой температуры  $50–70^\circ\text{C}$  воду в зависимости от требований и технологического оборудования направляют в накопительную теплоизолированную емкость чистой горячей воды (13), из которой насосом (14) с регулируемым расходом горячую воду подают в систему горячего водоснабжения здания (15).

Управление и контроль нормальной работы приведенной на рис. 2 системы горячего водоснабжения производится блоком управления (16), в который поступают сигналы от датчиков температуры и уровня воды (17) и (18) в емкостях (4) и (13), а также датчика температуры горячей воды, подаваемой в накопительную емкость (13). Регулировка этой температуры может производиться за счет изменения и подачи теплоносителя из централизованной системы теплоснабжения (20).

**Рисунок 2.** Принципиальная схема применения способа горячего водоснабжения жилого здания с тепловым насосом и двумя накопительными емкостями



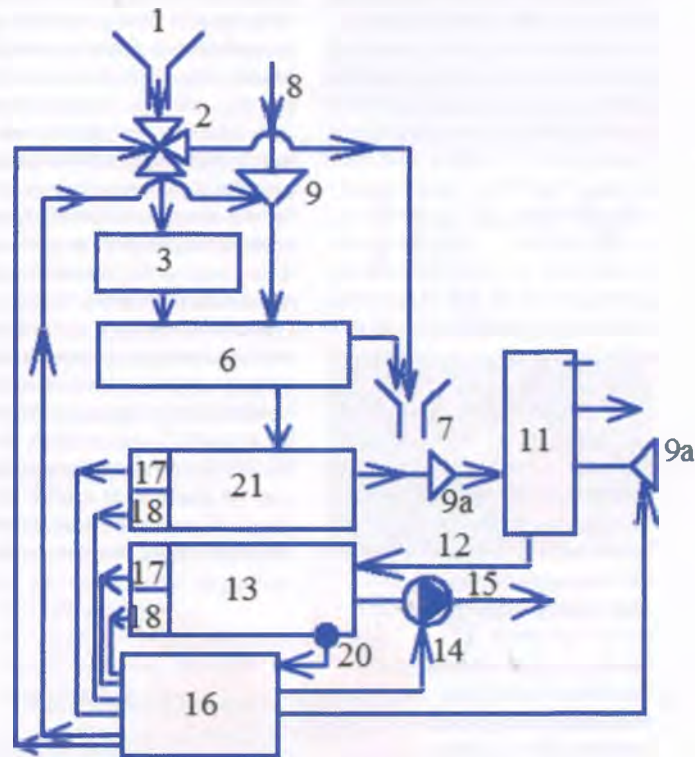
1 – теплоизолированные трубопроводы поступления теплой сточной воды; 2 – трехходовой клапан; 3 – фильтр; 4 – накопительная теплоизолированная емкость для теплых сточных вод; 5 – насос с регулятором расхода; 6 – теплообменник предварительного нагрева холодной водопроводной воды; 7 – отвод в общую канализацию; 8 – трубопровод подачи холодной водопроводной воды; 9 и 9а – управляемый запорный клапан; 10 – трубопровод подачи предварительно подогретой водопроводной воды; 11 – теплообменник догрева; 12 – горячий теплоноситель от системы централизованного теплоснабжения или теплового насоса; 13 – накопительная теплоизолированная емкость для горячей воды; 14 – насос с регулятором расхода; 15 – трубопроводы горячего водоснабжения здания; 16 – блок управления; 17 – датчик верхнего уровня воды; 18 – датчик нижнего уровня воды; 19 – трубопровод аварийного сброса сточной воды в общую канализацию; 20 – централизованная система теплоснабжения.

Для обеспечения постоянства расхода теплоты на догревание водопроводной воды до необходимой температуры системы горячего водоснабжения, что создает оптимальный режим работы теплового насоса, необходимо поддерживать постоянство расхода и температуры предварительно нагретой водопроводной воды в соответствии с приведенным выше выражением. Примерное постоянство температуры теплых стоков обеспечивается усредняющим свойством сбора теплых стоков в теплоизолированной емкости (рис. 2, поз. 4). При качественном регулировании централизованного теплоснабжения, основанном на изменении

температуры теплоносителя, догревание водопроводной воды до необходимой температуры горячей воды в теплообменнике (рис. 2, поз. 13) требует переменного расхода теплоносителя, что обеспечивается регулируемым клапаном 9а (рис. 2).

Принципиальная схема применения другого варианта предлагаемого способа горячего водоснабжения приведена на рис. 3, где условные обозначения соответствуют рис. 2 и дополнительно введена позиция 21, обозначающая теплоизолированную емкость для сбора предварительно подогретой холодной водопроводной воды, исключены накопительная теплоизолированная

**Рисунок 3.** Принципиальная схема применения способа горячего водоснабжения жилого здания с одной накопительной емкостью



1 – теплоизолированные трубопроводы поступления теплой сточной воды; 2 – трехходовой клапан; 3 – фильтр; 6 – теплообменник предварительного нагрева холодной водопроводной воды; 7 – отвод в общую канализацию; 8 – трубопровод подачи холодной водопроводной воды; 9 и 9а – управляемый запорный клапан; 10 – трубопровод подачи предварительно подогретой водопроводной воды; 11 – теплообменник догрева; 12 – горячий теплоноситель от системы централизованного теплоснабжения или теплового насоса; 13 – накопительная теплоизолированная емкость для горячей воды; 14 – насос с регулятором расхода; 15 – трубопроводы горячего водоснабжения здания; 16 – блок управления; 17 – датчик верхнего уровня воды; 18 – датчик нижнего уровня воды; 19 – трубопровод аварийного сброса сточной воды в общую канализацию; 20 – централизованная система теплоснабжения; 21 – теплоизолированная емкость для сбора предварительно подогретой холодной водопроводной воды.

емкость (4) и тепловой насос с регулятором расхода (5).

В соответствии с приведенной схемой (рис. 3) использование теплой сточной воды для первичного нагрева холодной водопроводной воды осуществляется следующим образом: по предварительно обустроенным отдельно от общей с туалетами канализационной системы (7) теплоизолированным трубопроводам (1) теплые стоки из ванн и душев в полном объеме через трехходовой клапан (2) и фильтр (3) направляют в теплообменник (6), куда через ре-

гулирующий клапан (9) с регулируемым расходом подают холодную водопроводную воду (8). Далее отработанные стоки в полном объеме сбрасывают в канализацию (7), а водопроводную воду после предварительного нагрева направляют в теплоизолированную емкость (21) и далее с регулируемым расходом – в теплообменник догрева (11). В этот теплообменник через регулируемый клапан (9а) подают с регулируемым расходом горячий теплоноситель (12) или включают теплообменник в систему тепло-

вого насоса. Из теплообменника догревания нагретую до необходимой температуры водопроводную воду направляют в теплоизолированную емкость (13), откуда по мере необходимости с помощью регулируемого насоса (14) подают в систему горячего водоснабжения (15) здания к потребителям. Управление и контроль нормальной работы приведенной на рис. 3 системы горячего водоснабжения производят блоком управления (16).

Отличием приведенной схемы (рис. 3) от предыдущей (рис. 2) является увеличение в 2 и более раза (в зависимости от неравномерности потребления горячей воды) производительности теплообменника первичного нагрева (6) ввиду отсутствия накопительной теплоизолированной емкости (4) и насоса (5) с регулятором расхода. Очевидно, что преимуществом варианта по рис. 3 по отношению к варианту по рис. 2 является быстрый сброс в канализацию отработанных теплых стоков и сбор в теплоизолированной емкости (21) не загрязненных теплых стоков, а предварительно подогретой чистой водопроводной воды. В целом приведенная на рис. 3 схема системы горячего водоснабжения применима в тех случаях, когда экономически обосновано применение теплообменников большей производительности и, соответственно, большей мощности и больших размеров.

Для оценки энергоэффективности предлагаемого изобретения можно использовать сравнение уже достигнутой экономии затрат тепла на отопление жилых зданий путем повышения термического сопротивления ограждающей конструкции в несколько раз (до  $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  и выше [10]) и утилизации тепла принудительно удаляемого из квартиры воздуха через теплообменники «воздух-воздух».

Следует отметить, что годовые затраты тепла на отопление зданий старого типа и горячее водоснабжение были примерно одинаковы ( $100\text{--}120 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ ) и в общем составляли  $200\text{--}240 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ . Так называемые энергоэффективные здания, в которых рекомендованы описанные выше мероприятия, позволяют сэкономить до 60% затрат тепла на отопление, то есть до 30% общих затрат тепла.

Использование предлагаемой технологии при первичном нагреве (в условиях г. Минска) холодной водопроводной воды ( $t_x = 5\text{--}15^\circ\text{C}$ ) до теплой ( $t_r \approx 30\text{--}35^\circ\text{C}$ ) при температуре стоков из ванн и душев  $t_v \approx 35\text{--}45^\circ\text{C}$  позволяет экономить 40–50% тепла, необходимого

Разработка методов вторичного энергопотребления является в настоящее время очень актуальной и требует интенсивного внедрения в практику жилищного домостроения.

для приготовления горячей воды, что составляет весьма существенную величину. Однако важно учитывать, что в случае использования сточной воды из общей водоотводной системы температура уменьшится с  $35\text{--}45^\circ\text{C}$  до  $20\text{--}30^\circ\text{C}$ , а наличие фекалий и всяких отбросов значительно осложнит работу фильтра и теплообменника.

Как показывают расчеты, при нормативе расхода горячей воды в час наибольшего водопотребления  $10,0 \text{ л}/\text{ч}$  [11, с. 31, приложение Б] на одну секцию (подъезд) 9–10-этажного дома, где проживает 80–100 человек, необходимо приготовить  $800\text{--}1000 \text{ л}/\text{ч}$  горячей воды, а за сутки наибольшего водопотребления –  $120 \text{ л}/\text{сут.}$  на 1 человека, или всего  $400\text{--}500 \text{ л}/\text{ч}$ . Для нагрева такого количества воды с  $10^\circ\text{C}$  до  $60^\circ\text{C}$  необходимо затратить около  $25\text{--}30 \text{ кВт}$ . Если 40% этих затрат тепла компенсировать за счет

пользования теплых стоков из ванн и душев, то для догревания до  $60^\circ\text{C}$  необходимо затратить около  $15\text{--}18 \text{ кВт}$  тепла. Такую теплопроизводительность обеспечивает, например, тепловой насос типа «вода-вода» WPW22M, который при температуре источника тепла  $+10^\circ\text{C}$  обеспечивает температуру воды в подающем трубопроводе  $+60^\circ\text{C}$  при теплопроизводительности  $18,7 \text{ кВт}$  [3, с. 125].

## Выводы

Одним из основных способов повышения энергоэффективности современных жилых зданий является использование вторичных энергоресурсов в процессе их эксплуатации. Предлагаемый способ использования вторичных энергоресурсов в системе горячего водоснабжения заключается в предварительном нагреве холодной водопроводной воды до температуры  $30\text{--}35^\circ\text{C}$  при помощи теплоты отработанной воды из ванн, душевых и раковин, которую в дальнейшем догревают от централизованной системы теплоснабжения или от теплового насоса до нормируемой температуры. Рассматривается два варианта реализации предлагаемого способа: с предварительным сбором в теплоизолированной накопительной емкости теплых стоков (наиболее эффективно при использовании теплообменников небольшой мощности) и с предварительным сбором в теплоизолированной накопительной емкости уже предварительно подогретой холодной водопроводной воды (эффективно в случае больших мощностей, что позволяет осуществить быстрый сброс в канализацию отработанных теплых стоков, тем самым обеспечить сбор в теплоизолированной емкости не загрязненных стоков, а предварительно подогретой чистой воды). Разработка методов вторичного энергопотребления является в настоящее время очень актуальной и требует интенсивного внедрения в практику жилищного домостроения.

## Литература

1. Мартыновский, В.С. Тепловые насосы. – Ленинград–Москва: Госэнергоиздат, 1955. – 192 с.
2. Тепловые насосы: планирование и установка: по состоянию на 2007. – Germany: STJBEZ EZTRON, 37601 Holzminden. – 198 с.
3. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Под ред. проф. Б.М. Хрусталева. – М.: Издательство АСВ, 2007. – 784 с., 183 ил.
4. A waste water heat recovery system: patent № 2379009 GB, F24D17/00, F24H1/12/ David Thomas, Peter Thomas.
5. Brendel C., Perl J. Transparente Waredammung (TWO) zur Gebaudeheizung mit Sonnenenergie // BJNE – Info. – No.2. – 1990. – Bonn: Bine-Informationen dienst des Fach informations zentrms Karlsruhe, 1990.
6. Способ утилизации низкочастотного тепла хозяйственных сточных вод: пат. № 2243460 РФ / Закиров Д.Г. [и др.]. – Оpubл. 27.12.2004.
7. Система централизованного теплоснабжения: а. с. SU 1455155 A1 / В.Н. Диченская, Г.Н. Захарьев. – Оpubл. 30.01.1989.
8. Осипов С.Н., Пилипенко В.М. Способ горячего водоснабжения жилого здания: евразийский пат. № 19474 / С.Н. Осипов, В.М. Пилипенко. – Оpubл. 30.10.2015.
9. Теплоснабжение: Курсовое проектирование: Учеб. пособие по специальности 1208 «Теплоснабжение и вентиляция» / В.М. Копко, Н.К. Зайцева, Г.И. Базыленко. – Мн.: Вышэйшая школа, 1985. – 139 с.
10. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-2.04-43-2006 (02250). – Введ. 01.07.2007. Минск: Минстройархитектуры РБ, 2008. – 35 с.
11. Система внутреннего водоснабжения зданий. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-4.01-52-2007. – Введ. 01.09.2008. Минск: Минстройархитектуры РБ, 2008. – 50 с. ■

Статья поступила в редакцию 27.12.2017.