

Оценка температурной эффективности утилизации теплоты в системах горячего водоснабжения

Энергосбережение при эксплуатации зданий и их инженерных систем является очень актуальной проблемой. Это связано с постепенным истощением запасов ископаемого органического топлива и одновременно со значительной долей, которую занимает расход топлива на нужды жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) в общем энергетическом балансе России. Данные обстоятельства, как известно, послужили основой принятия в 2009 году Федерального закона РФ «Об энергосбережении...» №261-ФЗ и рассматриваются в многочисленных работах ряда отечественных и зарубежных авторов [1–6].

Одним из наиболее крупных потребителей тепловой энергии в ЖКХ являются системы горячего водоснабжения (ГВС). Снижение энергопотребления на подогрев воды в системах ГВС жилых зданий в настоящее время может осуществляться различными способами, предусматривающими как снижение водопотребления за счёт установки соответствующей водоразборной арматуры и систем автоматического регулирования, так и сокращение интервала температур, на который осуществляется подогрев за счёт внешнего источника теплоты. К последним методам относится, например, применение для предварительного подогрева теплонасосных установок или аппаратов утилизации теплоты, хотя такие мероприятия пока являются экспериментальными и реализуются только на отдельных показательных объектах [7]. При этом теплоутилизация также может производиться с использованием различных источников, например, теплоты вытяжного воздуха в системе вентиляции, которая в жилых объектах обычно до сих пор проектируется естественной (гравитационной),

Снижение энергопотребления на подогрев воды в системах ГВС жилых зданий в настоящее время может осуществляться различными способами, предусматривающими как снижение водопотребления за счёт установки соответствующей водоразборной арматуры и систем автоматического регулирования, так и сокращение интервала температур, на который осуществляется подогрев за счёт внешнего источника теплоты

и поэтому иным способом полезно реализовать эту теплоту весьма затруднительно по конструктивным причинам.

Однако можно представить себе и случай, когда устанавливается водоводяной подогреватель, в котором в качестве греющего теплоносителя применяются канализационные стоки, имеющие достаточно высокую температуру. Разумеется, речь идёт о так называемых «условно-чистых» или «серых» стоках, не включающих крупные частицы, способные загрязнять и вывести из строя теплообменник, — необходимо рассматривать только воду, отводимую от ванн, раковин и рукомойников. Вообще говоря, это требует устройства отдельной системы водоотведения, но технически это не слишком сложная задача, и уже сейчас есть примеры её решения, особенно за рубежом. Причём у подобной схемы есть ещё и то преимущество, что после некоторой местной очистки данные стоки можно использовать в пределах здания повторно для технических целей и тем самым сократить затраты электроэнергии на подачу воды.

УДК 699.86:628.8

Оценка температурной эффективности утилизации теплоты в системах горячего водоснабжения

О. Д. Самарин, к.т.н., доцент, кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Рассмотрен предполагаемый энергетический эффект от применения утилизации теплоты имеющих значительную температуру «условно-чистых» канализационных стоков в системах водоотведения жилых зданий с целью предварительного подогрева воды для горячего водоснабжения в пластинчатом водоводяном подогревателе. Выполнен расчёт температурной эффективности устанавливаемого в системе теплообменного оборудования по безразмерным параметрам через число единиц переноса теплоты при оптимальной противоточной схеме движения теплоносителя для одной секции типового жилого здания по серии ПЗ-1/16 с использованием максимальных часовых расходов горячей и сточной воды. Дана оценка влияния рассматриваемого способа теплоутилизации на общее годовое энергопотребление здания и показано, что при снижении уровня водопотребления по сравнению с расчётным величина коэффициента температурной эффективности ещё более возрастает.

Ключевые слова: энергосбережение, теплоутилизация, теплообменник, температурная эффективность.

UDC 699.86:628.8

Estimation of thermal efficiency of heat recovery in hot water supply systems

O. D. Samarin, PhD, Associate Professor, Department of heat and gas supply and ventilation, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRMSU of CE)

The predicted energy effect by using heat recovery of conventionally pure warm waste water in sewerage systems of residential buildings for the preliminary warming of water for hot water supply in a plate water-to-water heater is considered. Calculation of thermal efficiency of the heat exchange equipment installed in the system using dimensionless parameters through the number of heat transfer under the optimal opposing scheme of fluid motion is completed for one section of the type residential building of the ПЗ-1/16 series using the maximal flow rates of hot and waste water. The estimation of the influence of the considered method of heat recovery on the instantaneous coefficient of thermal efficiency of the heat exchanger and the total annual energy consumption of the building is given and it is shown that the value of thermal efficiency continues to grow at the decrease of water consumption level in comparison with the design level.

Keywords: energy saving, heat recovery, heat exchanger, thermal efficiency.



унитазов горячей водой не обеспечивают. При этом в соответствующей системе водоотведения расход равен сумме расходов горячей и холодной воды, поэтому по уравнению теплового баланса:

$$G_{w,x} = G_{w,g} \frac{t_r - t_x}{t_{cm} - t_x} = 2420 \times \frac{60 - 5}{37 - 5} = 4160 \text{ кг/ч.}$$

Параметры K и F можно определить, если известен тип устанавливаемого теплообменника. В настоящее время чаще всего используются пластинчатые подогреватели, поэтому целесообразно рассмотреть расчёт на примере аппарата «Альфа-Лаваль» СВ-51, технические дан-

Попытаемся оценить возможную температурную эффективность такой системы теплоутилизации и уровень достижимого при этом снижения энергопотребления. Будем считать, как это обычно делается, исходную температуру холодной водопроводной воды $t_x = +5^\circ\text{C}$, а нагретой $t_r = +60^\circ\text{C}$. Температуру стоков можно оценить величиной $t_{ct} = +35^\circ\text{C}$, потому что из условий комфортности и безопасности вода после смесителя должна быть нагрета до уровня около $t_{cm} = +37^\circ\text{C}$, и примерно 2°C — остывание в отводящих трубопроводах.

Как известно, формула для коэффициента температурной эффективности, в случае использования наиболее часто встречающейся противоточной схемы движения теплоносителей, имеет следующий вид*:

$$k_{\text{эф}} = \frac{1 - e^{(NTU_{\min} - NTU_{\max})}}{1 - \frac{NTU_{\min}}{NTU_{\max}} e^{(NTU_{\min} - NTU_{\max})}}. \quad (1)$$

Здесь $NTU_{\max}$ и $NTU_{\min}$ обозначают большее и меньшее из безразмерных чисел единиц переноса теплоты для греющего и нагреваемого потоков.

Для воды в любом случае:

$$NTU = \frac{3600KF}{G_w c_w},$$

где K — коэффициент теплопередачи теплообменного аппарата, Вт/(м²·К); F — его поверхность теплообмена, принимаемая по характеристикам используемого оборудования, м²; c_w — удельная теплоёмкость воды, $c_w = 4190$ Дж/(кг·К); G_w — массовый расход соответствующего потока, кг/ч.

Для внутренней системы ГВС уровень G_w оценивается исходя из числа жителей и удельного объёмного расхода 100 л/сут.



или 0,1 м³/сут. на одного человека в средние сутки для климатического района Москвы — ПВ по СП 30.13330.2012 «Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85». Например, для одной секции жилого здания по серии ПЗ-1/16, рассмотренного в [8]:

$G_{гв,ср} = 242 \times 0,1 \times 1000 = 24\,200$ кг/сут., где 242 — проектное число жителей в здании [9]; 1000 кг/м³ — плотность воды. Тогда в час максимального водопотребления, исходя из среднего коэффициента часовой неравномерности, равного 2,4**:

$$G_{w,g} = 24\,200 \times (2,4/24) = 2\,420 \text{ кг/ч.}$$

Заметим, что величина $G_{w,g}$ в данном расчёте учитывается полностью, поскольку горячая вода подводится именно к тем водоразборным приборам, стоки от которых удовлетворяют требованиям, позволяющим их использовать для теплоутилизации, в то время как смывные бачки

ные которого приводятся в табл. 4 Приложения 8 СП 41-101-95. Его номинальное значение коэффициента теплопередачи $K = 7700$ Вт/(м²·К), а поверхность теплообмена устанавливается из следующих соображений: поскольку максимальный расход воды для такого теплообменника по данным того же источника равен 8,1 м³/ч, то есть примерно 7950 кг/ч, и при этом наибольшее возможное число пластин составляет 80 штук, следовательно, для нужного нам расхода $G_{w,max} = G_{w,x} = 4160$ кг/ч это число должно быть равно $80 \times (4160/7950) = 42$.

Ближайшее стандартное количество пластин у аппарата типа СВ-51 составляет 40, поэтому, если площадь одной пластины равна 0,05 м², получаем, что

$$F = 0,05 \times 40 = 2 \text{ м}^2.$$

Отсюда:

$$NTU_{\max} = \frac{3600 \times 7000 \times 2}{2420 \times 4190} = 4,97;$$

$$NTU_{\min} = \frac{3600 \times 7000 \times 2}{4160 \times 4190} = 2,89.$$

* Теория тепломассообмена / Под ред. А.И. Леонтьева. — М.: Изд-во МГТУ. 1997. 684 с.

** Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства: Ч. 2. Водопровод и канализация / Под ред. И.Г. Старовойтова и Ю.И. Шиллера. — М.: Стройиздат. 1990. 248 с.



Следовательно:

$$k_{\text{эф}} = \frac{1 - e^{(2,89 - 4,97)}}{1 - \frac{2,89}{4,97} e^{(2,89 - 4,97)}} \quad (2)$$

Теперь с учётом определения для показателя $k_{\text{эф}}$ можно вычислить ориентировочную температуру нагреваемой воды после подогревателя:

$$t_2 = t_x + k_{\text{эф}}(t_{\text{ст}} - t_x) = 5 + 0,944 \times (35 - 5) = 33,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Соответственно, общий коэффициент снижения энергопотребления за счёт применения рассматриваемого мероприятия будет равен:

$$\frac{t_2 - t_x}{t_1 - t_x} = \frac{33,3 - 5}{60 - 5} = 0,51.$$

Это достаточно высокое значение, сопоставимое с уровнем экономии теплоты в обычных системах утилизации теп-

лоты в системах механической вентиляции и кондиционирования воздуха по схеме с промежуточным теплоносителем [9]. Если теперь учесть, что доля ГВС в общем энергетическом балансе жилых зданий весьма велика и в среднем составляет около одной четверти [8], полученная оценка означает, что исследуемая схема теплоутилизации способна сократить энергопотребление таких объектов на величину порядка 12–13%.

Следует заметить, что, поскольку водопотребление отличается значительной суточной неравномерностью, фактические текущие значения $G_{w,г}$ и $G_{w,х}$ в общем случае будут переменными и обычно меньшими, чем те максимально-часовые параметры, для которых выполняется подбор конкретного теплообменного оборудования.

Однако, если пренебречь сравнительно небольшой транспортной задержкой, со-

Вопрос о технической реализации и технико-экономическом обосновании описанного технического решения действительно заслуживает тщательного рассмотрения при проектировании зданий жилого назначения

ставляющей не более нескольких десятков секунд, из уравнения материального баланса вытекает, что при этом в любом режиме будет выполняться равенство

$$G_{w,г} = G_{w,х}.$$

Это приводит к практическому постоянству отношения $NTU_{\text{max}}/NTU_{\text{min}}$, и при анализе выражения (1) можно показать, что оценка (2) даёт минимально возможный уровень $k_{\text{эф}}$, а с ростом NTU_{max} и NTU_{min} , к которому приводит снижение G_w , фактическая эффективность аппарата теплоутилизации будет только возрастать.

Таким образом, вопрос о технической реализации и технико-экономическом обосновании описанного технического решения действительно заслуживает тщательного рассмотрения при проектировании зданий жилого назначения. Перспективы изменения ситуации с обеспеченностью энергетическими ресурсами, по-видимому, рано или поздно заставят это делать не только в отдельных экспериментальных объектах, но и в условиях массовой застройки. ●

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О нормировании теплозащиты и требованиях расхода энергии на отопление и вентиляцию в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. №31-2(50). С. 468–474.
2. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // Строительные материалы. 2013. №6. С. 7–9.
3. Рымаров А.Г., Савичев В.В. Особенности работы регенеративной системы вентиляции административного здания // Вестник МГСУ. 2013. №3. С. 174–177.
4. Hani Allan, Koiv Teet-Andrus. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings // Smart Grid and Renewable Energy. Vol. 3. No. 3. 2012. P. 231–238.
5. Liu G., Liu H. Using Insulation in China's Buildings: Potential for Significant Energy Savings and Carbon Emission Reductions // Low Carbon Economy. Vol. 2. No. 4. 2011. P. 220–223.
6. Jedinák Richard. Energy Efficiency of Building Envelopes // Advanced Materials Research. Vol. 855. 2013. P. 39–42.
7. Дмитриев А.Н., Табунщиков Ю.А., Ковалёв И.Н., Шилкин Н.В. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. — М.: АВОК-Пресс. 2005. 120 с.
8. Самарин О.Д. Влияние утилизации теплоты вытяжного воздуха на повышение энергоэффективности жилых зданий // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2015. №2. С. 21–23.
9. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. — М.: Изд-во АСВ, 2014. 296 с.

References — see p. 94.



Estimation of thermal efficiency of heat recovery in hot water supply systems. Pages 52–54.

O. D. Samarin, PhD, Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRMSU of CE)

1. Gagarin V.G., Kozlov V.V. O normirovaniy teplozashchity i trebovaniyakh raskhoda energii na otopenie i ventilyatsiyu v proekte aktualizirovannoy redaktsii SNiP "Teplovaya zashchita zdaniy" [About rationing thermal protection requirements and energy consumption for heating and ventilation in the actualize release of Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) "Thermal protection of buildings"] //Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura [Papers of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture]. 2013. Vol. 50. No. 31-2. Pp. 468–474.
2. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Kolichestvennaya ocenka energoefektivnosti energosberegayushchikh meropriyatiy [The quantitative estimation of energy efficiency of energy saving measures] //Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2013. No. 6. Pp. 7–9.
3. Rymarov A.G., Savichev V.V. Osobennosti raboty regenerativnoy sistemy ventilyatsii administrativnogo zdaniya [Features of operation of the regenerative ventilating system of the administrative building] //Vestnik MGSU [Papers of the MSUCE]. 2013. No. 3. Pp. 174–177.
4. Allan Hani, Teet-Andrus Koiv. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings //Smart Grid and Renewable Energy. 2012. Vol. 3. No. 3. Pp. 231–238.
5. Liu G., Liu H. Using Insulation in China's Buildings: Potential for Significant Energy Savings and Carbon Emission Reductions //Low Carbon Economy. 2011. Vol. 2. No. 4. Pp. 220–223.
6. Jedinák Richard. Energy Efficiency of Building Envelopes //Advanced Materials Research 2013. Vol. 855. Pp. 39–42.
7. Dmitriyev A.N., Tabunshchikov Yu.A., Kovalyov I.N., Shilkin N.V. Rukovodstvo po ocenke ekonomicheskoy effektivnosti investitsiy v energosberegayushchiye meropriyatiya [Manual according to an economic efficiency of the investments in energy saving measures]. Moscow. Izdatel'stvo AVOK-Press [AVOK-Press Publishers]. 2005. 120 p.
8. Samarin O.D. Vliyaniye utilizatsii teploty vytyazhnogo vozdukha na povyshenie energoefektivnosti zhilykh zdaniy [The influence of recovery of exhaust air heat on the increase of energy efficiency of residential buildings]. Montazhnye i special'nye raboty v stroitel'stve [Mounting and special works in construction]. 2015. No. 2. Pp. 21–23.
9. Samarin O.D. Teplofizika. Energoberezeniye. Energoeffektivnost' [Thermal physics. Energy saving. Energy efficiency]. Moscow. Izdatel'stvo ASV [DIA Publishers]. 2011. 296 p.