

УДК 658.264

С.С. ТИТАРЬ, канд. техн. наук; проф. Одесского национального политехнического университета, г. Одесса

А.А. КЛИМЧУК, канд. техн. наук; доц. Одесского национального политехнического университета, г. Одесса

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СБРОСНОГО ТЕПЛА В СИСТЕМЕ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Пропонується використувувати тепло каналізаційних вод та викидного повітря із застосуванням теплового насосу в єдиній системі автономного теплопостачання житлових будинків.

It is offered to use warmly sewer waters and exhaust air in uniform systems of an independent heat supply of residential buildings.

В настоящее время в связи с очередными повышениями цен на энергоносители вопросы энергосбережения для жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) становятся еще более актуальными. Так, по информации экспертов по энергетике Национального экологического центра Украины, потребление энергоресурсов ЖКХ Украины составляет порядка одной трети всего потребления. В тоже время в результате жизнедеятельности людей жилые здания постоянно сбрасывают низкопотенциальное тепло с канализационными стоками и вытяжным воздухом.

Холодная вода поступает зимой в здание с температурой 5–10 °С, прогревается в трубопроводах, смешивается с горячей водой, и покидает здание с температурой 20–30 °С. Канализационные стоки уносят с собой очень большое количество тепла. В тоже время тепло уносится из жилых помещений и с вытяжным воздухом. Температура удаляемого воздуха также находится в пределах 20–30 °С.

Существует несколько схем утилизации тепла. Самая простая – «прямое» использование низкопотенциального теплоносителя в теплообменниках первой ступени подогрева горячего водоснабжения (ГВС) и приточного воздуха. Такие схемы утилизации не требуют значительных капиталовложений и текущих затрат (незначительные мощности на привод вентиляторов и насосов). Однако указанные схемы утилизации обладают одним существенным недостатком: низкий температурный напор, как правило не более 20 °С, не позволяет полностью решить вопросы теплоснабжения систем ГВС и вентиляции, а следовательно необходима установка дополнительных ступеней догрева.

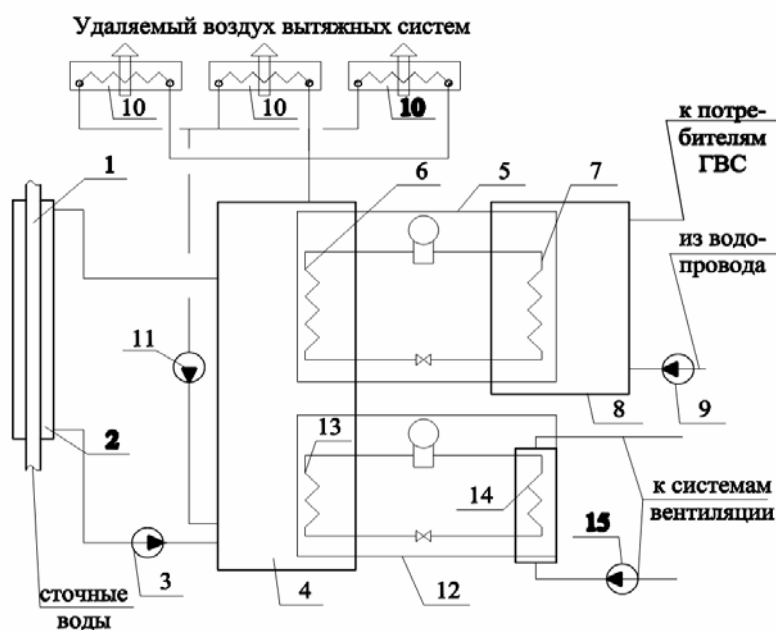
В другой схеме утилизации тепла используется тепловой насос для повышения полезного температурного напора. Такая схема более энергозатратна и требует значительных капиталовложений однако позволяет достичь требуемого температурного уровня теплоносителей (50–60 °С).

В последнее время очень активно прорабатываются технические решения по использованию тепла сточных вод. Однако, как правило, эти решения касаются общегородских сетей канализации. Так, например, разработаны и введены в эксплуатацию несколько схем систем утилизации теплоты на канализационных насосных станциях (КНС) [1, 2]. Наличие приемных резервуаров КНС позволяет использовать их как аккумулятор, и тем самым создать благоприятные во времени условия работы теплового насоса. Однако полученная теплота в основном используется по месту – для теплоснабжения самой КНС. Это не позволяет максимально

использовать тепло стоков (нужды теплоснабжения КНС значительно ниже нежели тепловой потенциал сточных вод). С другой стороны, в централизованных системах теплоснабжения тепло стоков частично теряется в тепловых сетях. Также обращает на себя внимание факт массового внедрения децентрализованных систем теплоснабжения жилых зданий – установка крышных, встроенных или пристроенных котельных. В этом случае централизованное использование тепла канализационных стоков не участвует в общем энергетическом балансе здания.

Учитывая выше сказанное, представляет интерес схема использования тепла канализационных стоков и удаляемого воздуха непосредственно для нужд теплоснабжения отдельных зданий. В этом случае перспективным является использование теплового насоса.

Как известно, использование тепла сточных вод имеет одну важную особенность – опережение по времени потребления тепла по отношению к сбросу сточных вод. Для решения этой проблемы, а также для сглаживания пиков потребления горячей воды предлагается установить аккумулятор горячей воды. А для обеспечения равномерной работы компрессора теплового насоса и возможности одновременной утилизации тепла от различных источников целесообразно установить аккумулятор тепла промежуточного теплоносителя (рис.).



- 1 – канализационный коллектор; 2 – теплообменник «труба в трубе»; 3 – циркуляционный насос промежуточного теплоносителя контура канализации; 4 – бак аккумулятор промежуточного теплоносителя; 5 – тепловой насос системы ГВС в том числе: 6 – испаритель теплового насоса, 7 – конденсатор теплового насоса; 8 – бак аккумулятор горячей воды; 9 – циркуляционный насос системы ГВС; 10 – теплообменник-утилизатор вытяжного воздуха; 11 – циркуляционный насос промежуточного теплоносителя контура вытяжной вентиляции; 12 – тепловой насос контура вентиляции в том числе: 13 – испаритель теплового насоса, 14 – конденсатор теплового насоса; 15 – циркуляционный насос теплоснабжения контура вентиляции

Рис. Схема утилизации тепла сточных вод и удаляемого воздуха

Представленная схема имеет ряд преимуществ. Установка бака аккумулятора [3] позволяет сгладить неравномерности во времени потребления горячей воды и сброса в канализацию. Наличие промежуточного теплоносителя упрощает эксплуатацию

теплового насоса и снижает потребляемую мощность компрессора за счет уменьшения длин фреоновых магистралей к испарителю. Включение в схему отдельного теплового насоса для систем вентиляции позволяет в летнее время переключаться на режим охлаждения приточного воздуха тем самым появляется возможность утилизации тепла конденсации хладагента. В случае превышения поступающего тепла от конденсатора теплового насоса системы вентиляции над потребным количеством тепла для нужд ГВС циркуляционные насосы промежуточного теплоносителя позволят удалить его с уходящим воздухом либо с канализационными стоками.

Также стоит отметить, что данная схема обладает возможностью подключения к баку-аккумулятору других источников низкопотенциального тепла (солнечные коллектора в зимний период, ветрогенераторы и прочее).

Для оценки эффективности работы представленной системы утилизации тепла используем данные реального проекта жилого дома с автономной системой теплоснабжения расположенного в г. Ялта и проведем расчет для отопительного периода.

Согласно проектным данным суммарный суточный расход сточных вод составляет 120 м³/сут; расход горячей воды составляет 40 м³/сут; расход вытяжного воздуха составляет:

- для жилой части – 21890 м³/ч;
- для общественных помещений – 7330 м³/ч.

Расход приточного воздуха механических систем составляет: 10190 м³/ч.

Расчетная мощность систем отопления при расчетной температуре наружного воздуха –6 °С составляет: 650 кВт.

Расход тепла за отопительный период на нужды ГВС составляет

$$Q_{\text{ГВС.зим}} = G_{\text{сут.ГВС}} \cdot c_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot n_{\text{от}} \cdot (t_{\text{в.к}} - t_{\text{в.н}}) = 40 \cdot 4,19 \cdot 990 \cdot 126 \cdot (55 - 10) = 940,72 \text{ ГДж/сез}, \quad (1)$$

- где $G_{\text{сут.ГВС}}$ – суточный расход горячей воды, м³/сут.;
 $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воды, кДж/(кг·К);
 $\rho_{\text{в}}$ – средняя плотность воды, кг/м³;
 $n_{\text{от}}$ – количество суток отопительного периода, сут.;
 $t_{\text{в.н}}$ – температура холодной воды, °С;
 $t_{\text{в.к}}$ – температура горячей воды, °С.

Суммарное количество тепла потребное приточным системам вентиляции в течении отопительного периода составит

$$Q_{\text{прит.зим}} = (V_{\text{прит}}/3600 \cdot c_{\text{взд}} \cdot \rho_{\text{взд}} \cdot (t_{\text{взд.в}} - t_{\text{взд.ср.нар}}) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot n_{\text{от}} = 10190/3600 \cdot 1,005 \cdot 1,25 \cdot (18 - 5,2) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 126 = 495,5 \text{ ГДж/сез}, \quad (2)$$

- где $V_{\text{прит}}$ – общий расход приточного воздуха всех систем, м³/ч;
 $c_{\text{взд}}$ – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К);
 $\rho_{\text{взд}}$ – средняя плотность воздуха, кг/м³;
 $t_{\text{взд.в}}$ – требуемая температура воздуха внутри помещения, °С;
 $t_{\text{взд.ср.нар}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С.

Расчетное количество тепла потребное для систем отопления в течении отопительного периода составляет

$$Q_{\text{отоп.зим}} = Q_{\text{отоп}} \cdot (t_{\text{взд.от}} - t_{\text{взд.ср.нар}}) / (t_{\text{взд.от}} - t_{\text{взд.нар}}) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot n_{\text{от}} =$$

$$= 650,00 \cdot (20 - 5,2) / (20 - (-6)) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 126 = 4027,97 \text{ ГДж/год}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{отоп}}$ – расчетная мощность систем отопления при расчетной температуре наружного воздуха -6°C , кВт;

$t_{\text{взд.нар}}$ – средняя температура наружного воздуха самой холодной пятидневки, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{взд.от}}$ – температура воздуха внутри жилых помещений, $^\circ\text{C}$.

Суммарное потребное количество тепла на нужды теплоснабжения здания за год составит

$$Q_{\text{сум.потр}} = Q_{\text{отоп.зим}} + Q_{\text{гвс.отоп.пер}} + Q_{\text{прит.зим}} =$$

$$= 4027,97 + 940,72 + 495,50 = 5464,19 \text{ ГДж/сез}. \quad (4)$$

Количество тепла, полученное от утилизации канализационных стоков за отопительный период, составит

$$Q_{\text{кан.от.пер}} = G_{\text{сут.ст}} \cdot c_{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{ст.н}} - t_{\text{ст.к}}) \cdot \varphi \cdot n_{\text{от}} =$$

$$= 120 \cdot 3,9 \cdot 985 \cdot (25 - 5) \cdot 1,3 \cdot 126 = 1510,17 \text{ ГДж/сез}, \quad (5)$$

где $G_{\text{сут.ст}}$ – суточный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{сут}$;

$\rho_{\text{ст}}$ – средняя плотность сточных вод, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$c_{\text{ст}}$ – теплоемкость сточных вод, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$;

φ – коэффициент, учитывающий долю тепла вносимую компрессором теплового насоса;

$t_{\text{ст.н}}$ – температура сточных вод на входе в теплообменник, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{ст.к}}$ – температура сточных вод на выходе из теплообменника теплового насоса, $^\circ\text{C}$.

Количество тепла, которое возможно получить от вытяжного воздуха за отопительный период составит

$$Q_{\text{выт.зим}} = (V_{\text{выт}}/3600 \cdot c_{\text{взд}} \cdot \rho_{\text{взд}} \cdot (t_{\text{взд.н}} - t_{\text{взд.к}}) + r \cdot \Delta x \cdot V_{\text{выт}}/3600 \cdot \rho_{\text{взд}}) \cdot \varphi \cdot 3600 \cdot 24 \cdot n_{\text{от}} =$$

$$= ((21890 + 7330)/3600 \cdot 1,005 \cdot 1,2 \cdot (25 - 10) + 2200 \cdot 0,002 \cdot (21890 +$$

$$+ 7330)/3600 \cdot 1,2) \cdot 1,3 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 126 = 2684,50 \text{ ГДж/сез}, \quad (6)$$

где $V_{\text{выт}}$ – общий расход вытяжного воздуха всех систем, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$t_{\text{взд.н}}$ – температура воздуха перед утилизатором, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{взд.к}}$ – температура воздуха после утилизатора, $^\circ\text{C}$;

r – скрытая теплота парообразования воды, $\text{кДж}/\text{кг}$;

Δx – изменение абсолютной влажности воздуха после утилизатора (учет конденсации на утилизаторе), $\text{кг}/\text{кг}$.

Суммарное количество тепла за отопительный период полученное от утилизации тепла канализационных стоков и вытяжного воздуха составит

$$Q_{\text{сум.утил}} = Q_{\text{кан.от.пер}} + Q_{\text{выт.зим}} = 1510,17 + 2684,50 = 4194,67 \text{ ГДж/год}. \quad (7)$$

Доля замещения традиционных энергетических ресурсов составит

$$\varepsilon = Q_{\text{сум.утил}}/Q_{\text{сум.потр}} = 4194,67/5464,19 = 0,77. \quad (8)$$

Для сравнения по экономическим показателям рассмотрены 3 варианта системы теплоснабжения здания в отопительный период (результаты представлены в таблице): 1 – использование теплового насоса, 2 – использование газовой котельной, 3 – использование электрических котлов.

При сравнительных расчетах было принято: теплотворная способность топлива – 33,52 МДж/м³; КПД котлоагрегата 95 %, КПД электрических котлов 98 %. Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица

Сравнительная таблица рассматриваемых вариантов

№ п/п	Показатель	Вариант		
		1	2	3
1	Количество тепла, получаемое от утилизации за отопительный период, ГДж/пер.	4194,67	4194,67	4194,67
2	Вид энергоносителя	тепло стоков, электричество	газ	электричество
3	Расход энергоносителей за отопительный период	351 166,06 кВт·ч	131 009,07 м ³	1 182 497,95 кВт·ч
4	Стоимость единицы энергоносителя	0,31 грн. кВт·ч	3,00 грн./м ³	0,31 грн. кВт·ч
5	Стоимость потребленной энергии за сутки, грн	108 861,49	393 027,21	366 574,36

Как показывают расчеты потребное количество тепла необходимое для приготовления горячей воды и подогрева приточного воздуха может быть получено с помощью теплового насоса, в качестве теплоносителя использующего сточные воды и удаляемый воздух этого же здания. Более того, имеющийся запас тепловой энергии может быть применен для частичного покрытия потребной мощности отопления.

В качестве решения проблемы дополнительного источника тепловой энергии для полного автономного теплоснабжения здания возможно дополнительное комбинированное использование энергии ветра и солнца.

Список литературы: 1. Утилизация тепла канализационных стоков / Н.В. Шилкин // Электронный журнал «Экологические системы». 2004. – № 10. режим доступа: <http://escosys.narod.ru/journal/journal34.htm>. 2. Автоматизированная теплонасосная установка, утилизирующая низкопотенциальное тепло сточных вод г. Зеленограда / Г.П. Васильев, И.М. Абуев, В.Ф. Горнов // Электронный журнал «Экологические системы». – 2008. – № 12. режим доступа: http://escosys.narod.ru/2008_12/art129.htm. 3. Левенберг В.Д. Аккумуляция тепла / В.Д. Левенберг, М.Р. Ткач, В.А. Гольстрем. – Киев: Техника, 1991. – 84 с. 4. СНиП 2.04.01-85 Внутренний водопровод и канализация зданий. Государственный комитет СССР по делам строительства. 1985. – 80 с.

© Титарь С.С., Климчук А.А., 2011
Поступила в редколлегию 18.02.11