



Shutterstock.com

Энергоэффективные здания – комплексное решение для систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения

В. Л. Грановский, канд. техн. наук, технический директор ООО «Данфосс», otvet@abok.ru

Ключевые слова: энергоэффективность, вертикальная однотрубная система отопления, вертикальная двухтрубная система отопления, горизонтальная система отопления, утилизация теплоты вытяжного воздуха

Практика проектирования, строительства и реконструкции энергоэффективных зданий указывает на определенный уклон в сторону мероприятий по повышению теплозащиты здания без должного учета потенциала энергосбережения, заложенного в инженерных системах.

Известно, что утепленные здания перегреваются, если система вентиляции работает плохо, а система отопления не имеет адекватных средств регулирования. Это приводит к активному проветриванию помещений и потере эффекта энергосбережения, заложенного при проектировании. Сохранить указанный эффект можно за счет комплекса мероприятий по энергосбережению в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Оценим потенциал энергосбережения инженерных систем зданий бюджетного сегмента с традиционными техническими решениями.

Энергоэффективность систем отопления

Основным фактором, определяющим энергоэффективность систем отопления, является их способность обеспечить подачу строго необходимого количества тепла в нужное время и в нужное место в зависимости от внешних условий и потребности жилья. Эта способность может быть реализована за счет комплексного регулирования параметров теплоносителя, начиная от ввода в здание и кончая отопительными приборами.

Эффективность регулирования выражается через коэффициент эффективности авторегулирования ξ в уравнении (1), описывающем удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию.

$$q_h^y = \frac{[0,024(K_t + K_{inf})D_d A_e^{sum} - (Q_{int}^y + Q_{ins}^y)v\xi] \beta(1-f)}{A_h^{des}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \quad (1)^*$$

Таблица 1

Значения коэффициента ξ в зависимости от оснащенности системы отопления средствами авторегулирования

Тип системы отопления	Уровень оснащенности СО автоматикой регулирования					
	A	B	C	D	E	F
Вертикальная однотрубная	0,50/0,50	0,70/0,70	0,75/0,90	0,80/-	0,85	0,90
Вертикальная двухтрубная	0,50/0,50	0,70/0,70	0,80/0,95	0,90/-	-	0,95
Горизонтальная периметральная	0,50/0,50	0,70/0,70	0,80/0,95	0,95/-	-	-
Горизонтальная лучевая	0,50/0,50	0,70/0,70	0,85/1,00	1,00/-	-	-

Примечания:

В числителе – шкала, предложенная автором статьи, в знаменателе – шкала по данным работы [1].

Обозначения в таблице:

A – регулирование центральное в ЦТП или котельной; B – авторегулирование на вводе в здание; C – то же + термостаты на отопительных приборах; D – то же + балансировочные клапаны на стояках вертикальных систем и на вводе в квартиру в горизонтальных системах; E – то же + контроль температур на стояках в вертикальных однотрубных системах; F – то же + теплоизоляция стояков в вертикальных системах отопления.

* Здесь и далее знаком * отмечены исходные данные для расчета удельного теплотребления в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, приведенные в сводной таблице данных в полной версии статьи на сайте www.abok.ru в разделе «Библиотека статей».

В табл. 1 приведены две версии шкалы изменения коэффициента ξ в зависимости от конструкции систем отопления и уровня их оснащенности средствами авторегулирования. Одна из них – по данным работы [1], вторая – предложенная автором статьи на основе имеющегося опыта применения автоматики регулирования систем отопления [2] и позволяющая более точно учесть влияние указанных факторов на энергоэффективность систем отопления.

Как видно, значения коэффициента ξ для разных конструкций систем отопления при одном и том же их оснащении средствами автоматики отличаются. Поясним причины отличия на примере данных в колонке C табл. 1, где начинается это различие. Из таблицы следует:

- Для вертикальной однотрубной системы отопления коэффициент ξ имеет наименьшее значение, поскольку процесс регулирования теплоотдачи отопительных приборов в этих системах близок к позиционному, что менее эффективно, чем при регулировании по пропорциональному закону; кроме того, имеются открытые вертикальные стояки с нерегулируемой теплоотдачей. Оба эти фактора снижают эффективность вертикальной однотрубной системы отопления по сравнению с другими системами.
- Вертикальная двухтрубная система отопления эффективнее однотрубной за счет более точного соблюдения пропорционального закона регулирования теплоотдачи отопительных приборов, однако менее эффективна, чем горизонтальная двухтрубная система, поскольку имеет открытые вертикальные стояки

с нерегулируемой теплоотдачей.

- **Горизонтальная периметральная система отопления** менее эффективна, чем горизонтальная лучевая, поскольку значительные потери давления в трубопроводах периметральной разводки снижают долю потерь давления, приходящуюся на терморегуляторы, что уменьшает эффективность регулирования системы.
- **Горизонтальная лучевая система отопления** – наиболее эффективный из рассмотренных вариантов систем отопления.

Для корректного расчета величины потребления тепловой энергии на отопление необходимо также правильно определить значение коэффициента β , входящего в уравнение (1) и учитывающего дополнительное теплопотребление системы отопления, связанное с ее конструктивными особенностями. Согласно данным работы [1], для многосекционных и протяженных зданий коэффициент β обычно принимается равным 1,13, т.е. затраты тепла на отопление при расчете увеличивают

на 13% – значительное и не всегда оправданное увеличение. Поясним это на примере конкретного принятого к рассмотрению здания.

Коэффициент β учитывает следующие факторы [1]:

- дискретность номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов (для системы отопления с термостатами этот фактор не должен учитываться, поскольку термостаты погасят избыток тепла или скомпенсируют его недостаток);
- дополнительные теплопотери через радиаторный участок наружной стены (для системы отопления с радиаторами этот фактор должен учитываться в полном объеме; для систем отопления с конвекторами его влияние минимально; для отопительных приборов с экраном на тыльной поверхности этот фактор учитываться не должен);
- теплопотери стояков, проходящих через неотапливаемые помещения (в принятом для расчета здании таких стояков нет, следовательно, этот фактор не учитывается);

- повышение температуры воздуха в угловых помещениях (данный фактор принимается к расчету).

В результате для расчета q_h^y принято пониженное, по сравнению с рекомендованным в [1], значение коэффициента $\beta = 1,07$, т.е. для конкретного здания с конвекторами в системе отопления затраты тепла на отопление только за счет корректной оценки особенностей здания снижены на 6% по сравнению с рекомендуемыми 13%.

Основываясь на результатах анализа коэффициентов ξ и β , рассчитаем по формуле (1) удельное потребление тепловой энергии на отопление для рассматриваемых четырех типов систем, приняв коэффициент $\beta = 1,07$ и коэффициент ξ , соответствующий двум уровням значений (см. табл. 1):

- максимальному значению для каждой из систем,
- значению, соответствующему оснащению каждой из систем только ИТП (АУУ) и термостатами (колонка С в табл. 1) – упрощенный, но достаточно распространенный вариант оснащения.

Результаты расчета представлены в табл. 2*.

Из данных табл. 2 следует:

- наличие в системе отопления только ИТП (АУУ) и термостатов снижает затраты тепла на 15–21% по сравнению с базовым вариантом;
- оснащение системы отопления средствами регулирования в соответствии с максимальным уровнем обеспечивает снижение затрат тепла на 26–30% по сравнению с базовым вариантом;
- влияние типа/конструкции системы отопления на ее

Таблица 2

Удельный расход тепла на отопление и вентиляцию

Тип системы отопления	ξ	q_h^y		Эффект, %
		кВт·ч/м ²	%	
Любая, без авторегулирования	0,50	88,1	100	0
Вертикальная однотрубная	0,90/0,75	65,1/75,0	74,0/85,1	26,0/14,9
Вертикальная двухтрубная	0,95/0,80	63,8/72,0	72,5/81,7	27,5/18,3
Горизонтальная периметральная	0,95/0,80	63,8/72,0	72,5/81,7	27,5/18,3
Горизонтальная лучевая	1,00/0,85	61,6/69,0	70,0/78,3	30,0/21,7

Примечание: в числителе – полное оснащение системы отопления средствами регулирования; в знаменателе – только ИТП (АУУ) и термостаты (колонка С, табл. 1).

РАБОТЯЩИЙ

как пчела



Высокая производительность и исключительная надежность всегда отличали оборудование фирмы «ÖSTBERG». Вентилятор «RK» занимает достойное место в этом ряду. Он обладает оптимизированными аэродинамическими характеристиками при сравнительно компактных размерах и низком энергопотреблении. Возможность плавного или ступенчатого регулирования производительности вентилятора позволяет подстроить его характеристики под конкретную вентиляционную сеть, даже, если ее параметры отличаются от расчетных.

Продуманная конструкция вентилятора обеспечивает простую установку его в систему вентиляции с помощью фланцевого соединения. При обслуживании вентилятора не требуется извлекать его корпус из системы воздуховодов, достаточно снять двигатель с рабочим колесом, установленный на монтажной пластине.



Москва, улица Тимирязевская, 1, строение 4.
Тел.: (495) 981 1515, (499) 755 1515.
Факс: (495) 981 0117.
Санкт-Петербург, улица Разъезжая, 12, офис 43.
Тел.: (812) 441 3530. Факс: (812) 441 3535.
www.ARKTIKA.ru

энергоэффективность незначительно и находится в пределах 4–6% при одном и том же уровне оснащения систем средствами регулирования.

Выводы

1. Основным фактором, влияющим на энергоэффективность системы отопления, является уровень ее оснащения средствами авторегулирования.
2. Конструкция системы отопления при соответствующем оснащении средствами авторегулирования мало влияет на энергоэффективность.
3. При выборе конструкции системы следует в первую очередь руководствоваться конструктивными особенностями здания, затратами электроэнергии на прокачку теплоносителя, капитальными затратами, удобством эксплуатации и ремонта систем и пр.

Энергоэффективность систем вентиляции

Здания рассматриваемого типа обычно оснащаются наиболее простой и дешевой системой вентиляции: естественная вытяжка и неорганизованный приток через оконные щели, форточки или фрамуги. Однако сегодня, когда закрытое окно стало практически герметичным, а жильцы достаточно часто разрушают вытяжные короба, данная конструкция системы и данный принцип вентиляции себя изжили.

При неработающей вентиляции невозможно говорить не только об энергоэффективности системы вентиляции, но и об эффективности системы отопления,

поскольку весь эффект от регулирования «вылетает в окно» при неорганизованном вынужденном проветривании.

Сомнения возникают и относительно эффективности теплого чердака, поскольку в нем невозможно получить нормируемую температуру воздуха. Как следствие – охлаждение потолка в квартирах последнего этажа, повышенные теплопотери и появление плесени.

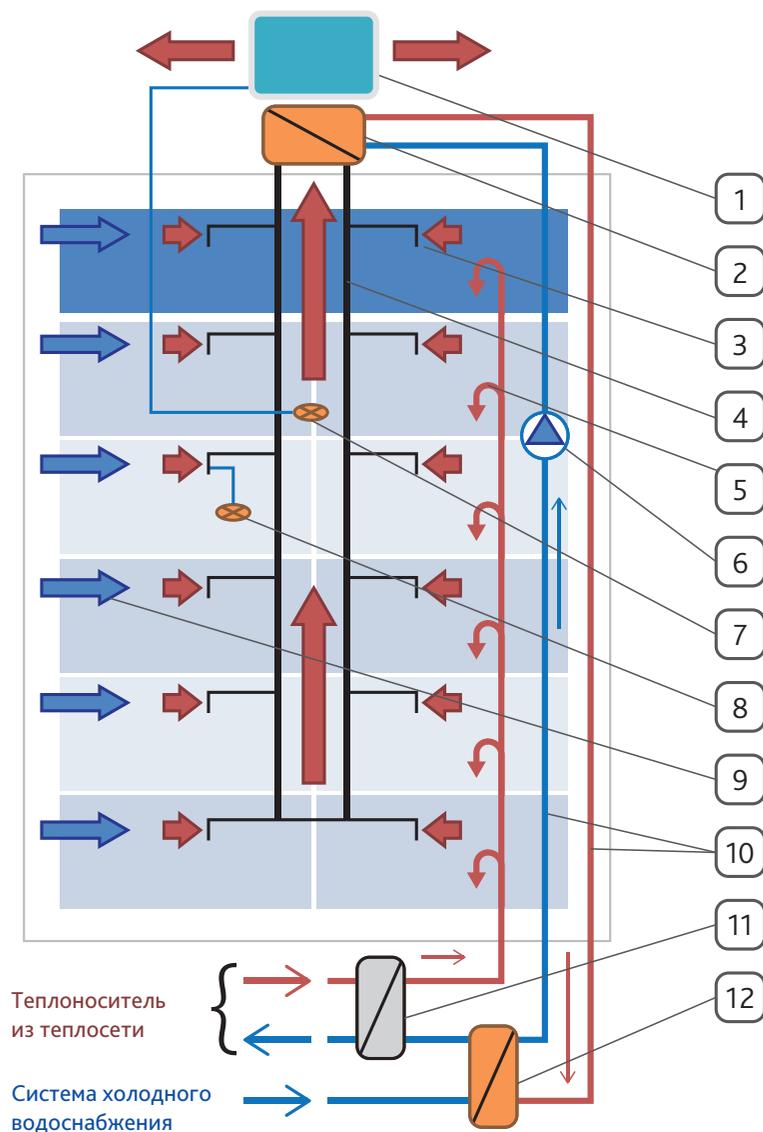
Однако в проектах продолжает присутствовать формальный расчет системы вентиляции, а в системе отопления предусматривается необходимый запас мощности на нагрев приточного воздуха в нормируемом объеме.

Выходом из этой ситуации, на наш взгляд, является переход на механическую централизованную вытяжную вентиляцию и децентрализованный приток через специальные клапаны в рамках окон или наружных стенах. Это позволит сохранить эффект, получаемый при автоматизации работы систем отопления, полноценно заработает теплый чердак и появится возможность использовать потенциал энергосбережения, имеющийся в системе вентиляции, в частности:

- использование режима вентиляции «по требованию»,
- утилизация теплоты вытяжного воздуха.

Режим вентиляции «по требованию»

Сегодня система вентиляции рассматриваемых типов зданий рассчитывается на постоянную круглосуточную подачу в помещения нормируемого объема приточного воздуха. На его подогрев тратится



■ Рис. 1. Принципиальная схема системы вентиляции «по требованию» и утилизации теплоты вытяжного воздуха: 1 – крышный вентилятор с частотным регулятором; 2 – рекуператор «вода – воздух» (теплая сторона); 3 – вытяжной диффузор с авторегулированием ($t_{вн}$, CO_2 , влажность); 4 – центральный вытяжной воздуховод ($P = const$); 5 – кран системы ГВС; 6 – циркуляционный насос системы рекуперации; 7 – датчик контроля давления; 8 – датчик контроля воздуха в помещении; 9 – приточный воздух (децентрализованный приток); 10 – трубопроводы системы рекуперации; 11 – теплообменник контура ГВС в ИТП; 12 – рекуператор «вода – вода» (холодная сторона)

соответствующее количество тепла, подаваемого в систему отопления. Однако реальная потребность в приточном воздухе значительно меньше, поскольку в разрезе суток количество людей в здании меньше расчетного.

Известно техническое решение, учитывающее этот фактор, – это так называемые системы вентиляции с притоком «по требованию» [3]. Индикатором такого «требования» могут быть квартирные датчики (CO_2 , температуры, влажности или

др.), дающие команду на открытие или закрытие вытяжных устройств, установленных в каждой квартире. Такую команду могут подавать и сами жильцы, с учетом их индивидуальной потребности. При отсутствии людей система вентиляции должна обеспечивать минимальный воздухообмен для ассимиляции вредных веществ, выделяющихся из мебели и других вещей, согласно нормативам [4].

Изменение расхода воздуха в любой из квартир в таких системах не влияет на воздухообмен соседних квартир, поскольку в сборном вытяжном воздуховоде поддерживается постоянное давление (разрежение). Это обеспечивается установкой в устье вытяжного сборного воздуховода вентилятора с двигателем, оснащенного частотным регулятором. Контроль давления в воздуховоде осуществляется датчиком давления.

На рис. 1 представлена принципиальная схема системы вентиляции «по требованию», а на рис. 2 – принцип поддержания постоянства давления в воздуховоде путем изменения частоты вращения двигателя вентилятора.

Количество теплоты, необходимое для нагрева приточного воздуха, определяется условным коэффициентом теплопередачи K_{inf} в формуле (1), учитывающим теплотери за счет инфильтрации и вентиляции и включающим в себя величину расхода приточного воздуха.

Определим удельное годовое потребление тепла на подогрев приточного воздуха для следующих условий:

- расход приточного воздуха:
 - максимальный – $L_{норм}$,

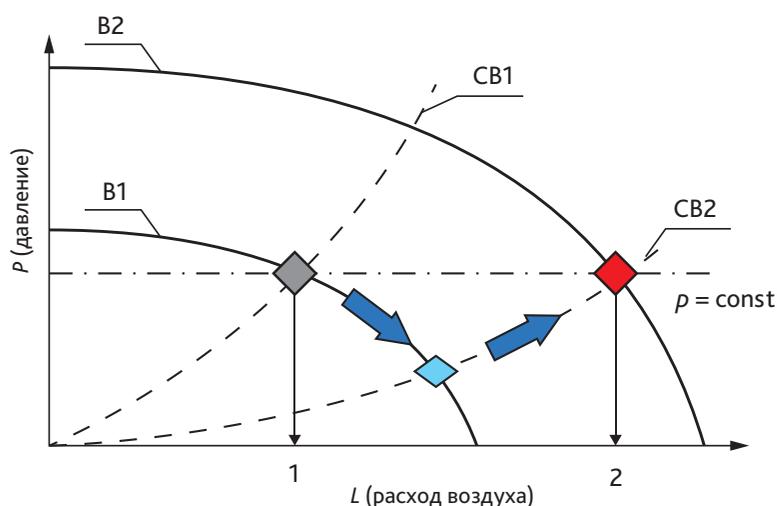


Рис. 2. Динамика работы системы вентиляции в режиме «по требованию» [5]: CB1 – характеристика системы вентиляции, текущая; CB2 – то же, требуемая; B1 – характеристика вентилятора, текущая; B2 – то же, требуемая; 1 – расход воздуха, текущий; 2 – то же, требуемый

- частичный – $0,75L_{\text{норм}}$,
- минимальный – $0,50L_{\text{норм}}$;
- коэффициент эффективности авторегулирования (табл. 1):
- средний из максимальных для четырех рассматриваемых типов систем отопления – $\xi = 0,95$,
- минимальный, для любой нерегулируемой системы отопления – $\xi = 0,50$.

Результаты расчета представлены в табл. 3 (колонки 3, 4 и 5)*.

Как видно из табл. 3, снижение удельного расхода приточного

воздуха позволяет получить значительную экономию тепловой энергии:

- 18–35% – только для системы вентиляции (при $\xi = 0,50$),
- 44–62% – совместно, в системах отопления (при $\xi = 0,95$) и вентиляции.

Естественно, возникает вопрос об определении рекомендуемого расчетного расхода приточного воздуха (L_p) в системе вентиляции в течение отопительного периода. По данным работы [5], для аналогичного

здания распределение расхода приточного воздуха по времени составляет:

- максимальный ($L_{\text{норм}}$) – 10% времени года;
- частичный ($0,75L_{\text{норм}}$) – 40% времени года,
- минимальный ($0,50L_{\text{норм}}$) – 50% времени года.

Приняв данное распределение за основу, определим удельную тепловую нагрузку систем отопления и вентиляции и рекомендуемый расчетный расход приточного воздуха – средний за отопительный период.

Как видно из табл. 3 (колонка 6), расчетный расход составил $L_p = 20,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, т.е. на ~30% меньше нормируемого, а экономия тепловой энергии при этом расходе, общая для систем отопления и вентиляции, составляет 22,8–49,6%, в зависимости от степени автоматизации системы отопления.

Выводы

1. В рассматриваемых зданиях следует предусматривать централизованную механическую вытяжку и естественный децентрализованный приток, что обеспечит эффективность мероприятий

Таблица 3

Удельное годовое потребление тепловой энергии для нагрева приточного воздуха

Показатели	ξ	Расход приточного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$			
		$L_{\text{норм}}$ (30,0)	$0,75L_{\text{норм}}$ (23,0)	$0,5L_{\text{норм}}$ (15,0)	L_p (20,5)
1	2	3	4	5	6
Удельный расход тепловой энергии на системы ОВ, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	0,50	88,10	72,00	57,00	68,10
	0,95	63,80	49,20	33,30	44,40
Экономия, сравнение с базовым решением, %	0,50	0	18,30	35,30	22,80
	0,95	27,60	44,00	62,00	49,60

Примечание: при $\xi = 0,50$ – система отопления без регулирования, эффект только в системе вентиляции;

при $\xi = 0,95$ – система отопления с регулированием, эффекты совместно в системе отопления и вентиляции;

L_p – рекомендуемый расчетный расход приточного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Таблица 4

Сводные данные по энергоэффективности мероприятий в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения

Системы	Условия сравнения			q_h^y (ОВ)		q_{hw} (ГВС)		Σq	
	ξ	$L, \text{ м}^3/\text{ч}$	$\Theta_{\text{ГВС}}$	$\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	%	$\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	%	$\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	%
Базовые	0,50	$L_{\text{норм}} = 30,0$	0	88,1	–	67,8	–	155,9	–
Эффективные	0,95	$L_p = 20,5$	0,4	44,4	49,6	54,4	19,7	98,8	36,6

по энергосбережению, как в системе вентиляции, так и в системе отопления.

- Система вентиляции должна функционировать в режиме воздухообмена «по требованию», что обеспечит снижение расхода приточного воздуха, ориентировочно на 30% по сравнению с нормируемым.
- Экономический эффект только в системе вентиляции «по требованию» составляет 22,8%, а общий для системы отопления и вентиляции – до 49,6%, в зависимости от уровня автоматизации системы отопления.

Утилизация теплоты вытяжного воздуха

Вытяжной воздух содержит значительный потенциал тепла. Традиционно эту теплоту стараются использовать для нагрева приточного воздуха. Однако в рассматриваемой схеме системы вентиляции (центральная механическая вытяжка и децентрализованный приток) нагрев приточного воздуха за счет утилизации теплоты удаляемого воздуха конструктивно невозможен. **Представляется, что в данном конструктивном варианте системы вентиляции наиболее рационально использовать теплоту удаляемого воздуха для предварительного нагрева**

холодной воды, поступающей в систему горячего водоснабжения.

Для рекуперации необходимо использовать теплоутилизатор с промежуточным теплоносителем. В устье вытяжных воздуховодов устанавливаются теплообменники-рекуператоры типа «воздух – вода», а в ИТП, в тракте ГВС перед теплообменником первой ступени подогрева устанавливается теплообменник-рекуператор типа «вода – вода» (см. рис. 1). Опыт реализации такой схемы рекуперации уже имеется. В частности, компания «Инсолар» реализовала такую схему рекуперации в одном многоквартирном экспериментальном доме. Кроме того, «Данфосс» и «Инсолар» разработали конструкцию ИТП с теплообменниками предварительного нагрева холодной воды за счет теплоты удаляемого воздуха.

Оценим эффективность данной схемы рекуперации.

Среднечасовой расход тепловой энергии на ГВС за отопительный период составляет:

$$Q_{hw} = [V_{hw} \Delta t (1 - C) n / m] / 24, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где

Δt – разность температур воды, подаваемой в ГВС и из ХВС:

$$\Delta t = t_{\text{вод.норм}} - t_{\text{вод.нач}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3)$$

При использовании теплоутилизатора данная разность температур трансформируется в следующее выражение:

$$\Delta t_{\text{утил}} = t_{\text{вод.норм}} - t_{\text{вод.утил}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

где

$t_{\text{вод.утил}}$ – температура воды после теплоутилизатора, $^\circ\text{C}$.

Эта температура может быть определена из выражения (5) через эффективность теплоутилизатора по тракту ГВС, выраженную через общий относительный перепад температур:

$$\Theta_{\text{об.гвс}} = \frac{t_{\text{вод.утил}} - t_{\text{вод.нач}}}{t_{\text{возд.удал}} - t_{\text{вод.нач}}}, \quad (5)$$

откуда

$$t_{\text{вод.утил}} = t_{\text{вод.нач}} - \Theta_{\text{об.гвс}} \times (t_{\text{возд.удал}} - t_{\text{вод.нач}}), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (6)$$

где

$t_{\text{возд.удал}}$ – температура удаляемого воздуха, $^\circ\text{C}$.

Результаты расчета q_{hw} приведены в табл. 4*.

Из табл. 4 следует, что эффект от утилизации теплоты удаляемого воздуха для предварительного нагрева холодной воды для нужд ГВС составляет 19,7%. Общий эффект от рассмотренных выше мероприятий по энергосбережению в системе отопления, вентиляции и горячего водоснабжения составил 36,6%.

Класс энергоэффективности здания мы здесь не определяем, поскольку в статье рассматривается лишь принципиальный подход к обеспечению энергоэффективности здания бюджетного сегмента строительства. Однако очевидно, что здания с таким эффектом энергосбережения следует отнести к одному

из самых высоких классов энергоэффективности.

Выводы

1. Для обеспечения требуемого уровня энергоэффективности здание должно быть оснащено:
 - системой отопления с уровнем автоматизации $\xi = 0,9 \div 1,0$,
 - системой вентиляции с воздухообменом «по требованию» ($L_p < L_{\text{норм}}$),
 - системой рекуперации тепла удаляемого воздуха,
 - системами индивидуального учета всех потребляемых ресурсов и расчетом с жильцами по факту их потребления.

2. Уровень энергоэффективности системы отопления определяется в основном степенью ее оснащения автоматикой регулирования и мало зависит от конструкции системы при идентичном оснащении.
3. При отсутствии системы вентиляции или ее некорректной работе невозможно обеспечить требуемый уровень энергоэффективности здания.

Литература

1. Матросов Ю. А. Энергосбережение в зданиях. Проблемы и пути решения. М. : НИИСФ, 2008.

2. Грановский В. Л. Энергоэффективные системы отопления: тенденции, практика, проблемы // АВОК. – 2011. – № 8.
3. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого дома ТР АВОК-4-2004. М., 2004.
4. ГОСТ Р 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».
5. Klaus Eppe, Mathias Paul, Zentrale Abluftanlagen mit wohnungsweise veränderlichen volumenströmen, HLH Bd. 55 (2004) Nr. 2. ■

НП «АВОК» в Республике Крым



В апреле этого года НП «АВОК» открыло свое региональное представительство в Республике Крым на базе Ялтинского учебно-методического центра, руководителем которого является член НП «АВОК» **Клавдия Акимовна Курдюмова**, принимавшая участие в I учредительном съезде НП «АВОК».

Цель создания регионального представительства – содействие устойчивому развитию производственной, коммерческой и научно-образовательной деятельности членов НП «АВОК» в Республике Крым, а также содействие техническому и научному прогрессу в области отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, теплоснабжения и строительной теплофизики на этой территории.

Для реализации этой цели первоочередной мерой станет организация и проведение в сентябре 2014 года обучающей конференции и выставки «Опыт проектирования, технические решения и оборудование энергоэффективных инженерных систем зданий и сооружений», на которой российские и зарубежные компании будут иметь возможность представить свои инновационные технологии и оборудование крымским специалистам.

Одновременно с этим информационно-издательское предприятие «АВОК-ПРЕСС» начинает широкое распространение в Крыму нормативно-методических документов АВОК, книг из серии «Техническая библиотека АВОК», периодических журналов «АВОК», «Энергосбережение», «Сантехника», электронного журнала «Здания высоких технологий».

Дополнительная информация:
отдел по работе с региональными отделениями НП «АВОК»
тел. (495) 984-99-72
e-mail: potapov@abok.ru

