

УДК 697.9

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ЧЕРДАКАМИ

*канд. техн. наук, доц. В.И. ЛИПКО, С.В. ЛАНКОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)*

Для повышения энергоэкономической эффективности систем отопления и вентиляции зданий с технологическими чердаками предлагается применение системы тепловой вентиляции, в которой осуществляется утилизация теплоты удаляемого из помещений воздуха, а также полезно используется теплота солнечной радиации и трансмиссионных теплопотерь здания.

Ключевые слова: навесной светопрозрачный фасад; утилизация теплоты; рекуперативный теплообменник; вентиляция; энергосбережение.

Потребление тепловой энергии в Республике Беларусь в жилищном хозяйстве составляет около 30% всей производимой энергии. По результатам выборочного обследования домашних хозяйств Национального статистического комитета Республики Беларусь высокая доля потребления энергии в домашних хозяйствах приходится на нужды централизованного теплоснабжения, т.е. отопления и составляет около 60% всей потребляемой энергии [1]. Данная статистика свидетельствует о перерасходе тепловой энергии в эксплуатируемых зданиях и поэтому энергосбережение является очень актуальным направлением в жилищном секторе экономики. Согласно закону РБ «Об энергосбережении», все топливно-энергетические ресурсы в республике подлежат обязательному учёту [2].

Основными путями экономии тепловой энергии, расходуемой в большей части на отопление жилого здания, являются повышение эффективности строительных конструкций за счёт применения современных теплоизоляционных материалов и новых конструктивных решений ограждающих конструкций; объёмно-планировочных решений, позволяющих снизить теплопотери здания, непосредственным образом влияющие на нагрузку системы отопления; инженерных систем, а так же использование вторичных и природных топливно-энергетических ресурсов [3].

Ориентация здания по сторонам света оказывает непосредственное влияние на тепловую эффективность здания. Согласно исследованиям [4] для отдельно стоящего здания фасады, ориентированные на направления от северо-запада до северо-востока, в отличие от фасадов, ориентированных на направления от юго-востока до юго-запада, не получают заметного притока теплоты от солнечного излучения, поэтому при проектировании зданий следует стремиться к тому, чтобы на север была ориентирована наименьшая поверхность фасадов, для максимального использования теплоты солнечной радиации, поступающей с южной, юго-восточной и юго-западной сторон. Но при этом всегда следует учитывать архитектурные решения региона строительства, в которые строящееся здание должно вписываться.

В целях повышения эффективности использования энергии при эксплуатации зданий предлагается система тепловой вентиляции с использованием вторичных и природных энергетических ресурсов.

Конструктивное решение системы тепловой вентиляции поясняется схемой на рисунке 1.

Наружный воздух через наружную регулируемую приточную решётку 11 поступает в щелевой канал 1, в котором происходит подогрев наружного приточного воздуха за счёт трансмиссионной теплоты, теряемой зданием через наружные вертикальные ограждения стен и окон 3 в отопительный период, а в дневное время суток наружный приточный воздух подогревается через навесной светопрозрачный вентилируемый фасад 2 за счёт прямой и рассеянной солнечной радиации дополнительно. Далее через утеплённый клапан 12 при закрытом воздушном клапане 13 воздух через горизонтальный воздуховод 6 поступает в нижнюю часть вертикальной вытяжной шахты 5.

Окончательный догрев приточного воздуха происходит в вертикальном приточном воздухопроводе 4 за счёт источника тепловой энергии. Работа источника тепловой энергии контролируется и регулируется системой автоматического регулирования следующим образом: сигналы датчика температуры – термометра сопротивления 19 (рисунок 1, 2) по силовому электрокабелю поступают в шкаф автоматического управления 20. Электрическими импульсами осуществляется включение и отключение спиралей электронагревателя 17 или степень открытия и закрытия электромагнитного клапана 21 на газопроводе газовой горелки 18. Конденсат, образующийся в результате контакта продуктов сгорания с холодными поверхностями приточного воздухопровода 4, сливается в поддон с гидрозатвором 22 в нижнем сечении шахты с выводом конденсата в систему очистки и в канализацию.

По вертикальному приточному воздухопроводу 4 через приточные горизонтальные воздухопроводы 7 поэтажной разводки и регулируемые приточные решётки 8 воздух поступает в вентилируемые помещения 9. Через вытяжные поквартирные патрубки 10 воздух поступает в вертикальную вытяжную шахту 5, где тёплый вытяжной воздух через стенки приточного воздухопровода 4 передаёт теплоту наружному приточному воздуху, предварительно уже подогретому в щелевом канале 1.

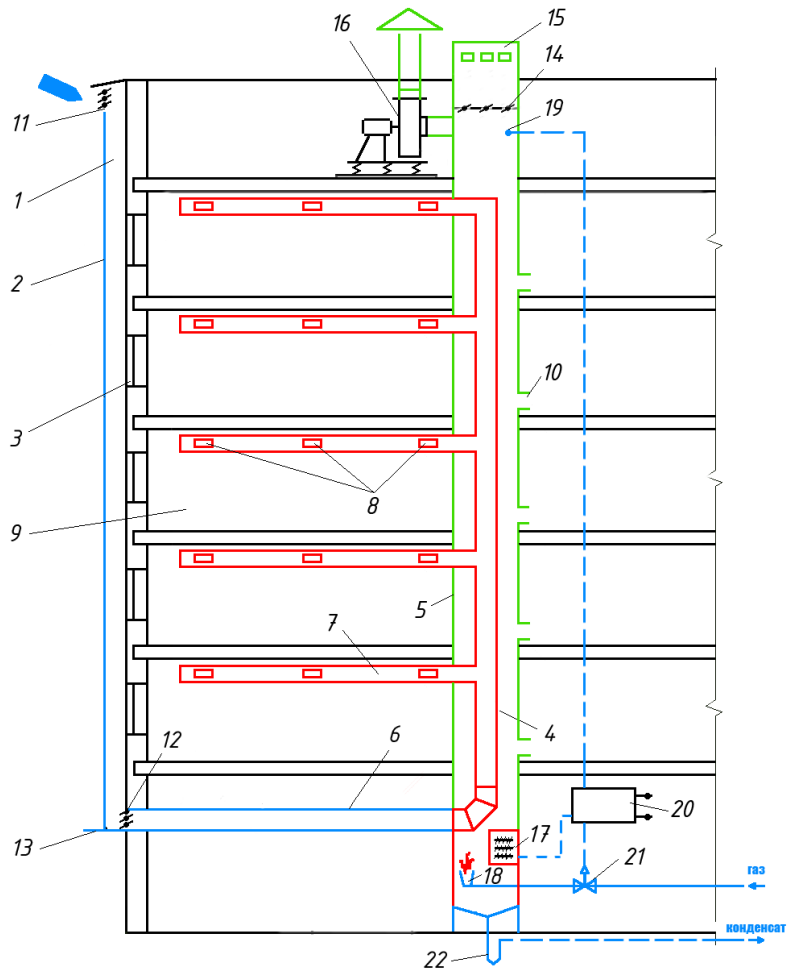


Рисунок 1 – Система тепловой вентиляции здания

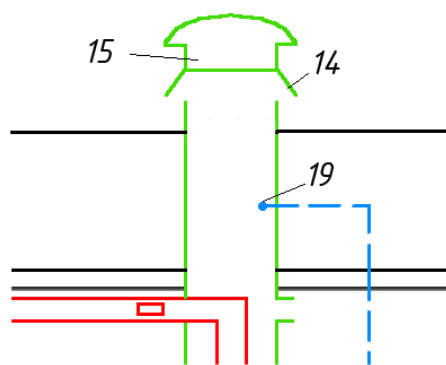


Рисунок 2 – Вариант исполнения системы воздухоудаления вертикальной вытяжной шахты устройства тепловой вентиляции с крышным вентилятором

Удаление вытяжного воздуха осуществляется через оголовки вытяжной шахты с воздушным клапаном 14 и вентилятором 15 (рис. 1) или крышный вентилятор (рис. 2) при возможном бесчердачном исполнении здания.

В устройстве за счёт наличия двух вертикальных каналов на всю высоту здания обеспечивается естественное гравитационное давление, величина которого пропорциональна высоте здания и высоте вертикальных каналов $P_{gp} = h \cdot g \cdot (\rho_n - \rho_e)$, причем в щелевом канале 1 приточный наружный холодный, а значит и более тяжёлый, воздух под действием сил гравитации под собственной тяжестью падает вниз, усиливая величину гравитационного давления в щелевом канале 1, совпадающую с направлением движения воздушного потока, а в вертикальном приточном воздухопроводе 4 воздух подогревается, т.е. становится легче и устремляется вверх, что так же совпадает с направлением движения воздушного потока. Таким образом, аэродинамика заявляемого устройства удваивает силы, побуждающие естественную циркуляцию воздушного потока, что позволяет в наиболее холодный период отопительного сезона отключать вентилятор 15 от электропитания с целью дополнительной экономии электроэнергии.

В теплый период, когда заканчивается отопительный сезон, вентиляция жилых зданий, согласно действующей нормативной базе, осуществляется естественным проветриванием через форточки и фрамуги окон [5]. Для летнего жаркого времени года в заявляемом устройстве предусмотрен воздушный клапан 13, который открыт, а утепленный клапан 12 закрыт, что обеспечивает естественную циркуляцию воздуха в щелевом канале 1, что способствует охлаждению фасада здания от солнечной радиации, и уменьшает нагрузку на систему кондиционирования воздуха, позволяя осуществлять экономию энергопотребления в жаркое летнее время года.

Произведём расчёт теплообмена в воздухоприёмном канале на основе модели теплообмена в щелевом канале, обогреваемом с одной стороны (при отсутствии солнечного излучения) на примере 9-ти этажного жилого дома, расположенного в г. Полоцк.

При движении наружного воздуха в щелевом канале 1 в ночное время, когда воздействие солнечной радиации исключено, аккумулируется только теплота теплотерь через наружные стены, оборудованные навесным фасадом, в количестве поэтажно для 9-го этажа, рассчитываемом по формуле:

$$Q_{mp}^{nc9} = \frac{F_{nc} \cdot (t_e - t_n)}{R_{nc}} = \frac{11 \cdot (18 - (-25))}{3,2} = 148 \text{ Вт}; \quad (1)$$

где F_{nc} – площадь наружной стены, m^2 ; t_e – температура воздуха в расчётном помещении, $^{\circ}C$ [6]; t_n – температура наружного воздуха, $^{\circ}C$ [5]; R_{nc} – термическое сопротивление теплопередачи наружной стены, $m^2 \cdot ^{\circ}C/Вт$ [7].

Теплопотери через окна 9-го этажа равны

$$Q_{mp}^{ок9} = \frac{F_{ок} \cdot (t_e - t_n)}{R_{ок}} = \frac{4 \cdot (18 - (-25))}{1,0} = 172 \text{ Вт}; \quad (2)$$

где $F_{ок}$ – площадь окон, m^2 ; $R_{ок}$ – термическое сопротивление теплопередачи окон, $m^2 \cdot ^{\circ}C/Вт$ [7].

Теплообмена через остекленную поверхность навесного фасада не происходит из-за «парникового» эффекта.

Суммарное количество теплоты, теряемой зданием с поверхности охлаждения наружных стен и окон 9-го этажа равна

$$Q_{\Sigma}^9 = Q_{mp}^{nc9} + Q_{mp}^{ок9} = 148 + 172 = 320 \text{ Вт}; \quad (3)$$

Нормативный воздухообмен принимаем исходя из нормируемого количества удаляемого и приточного воздуха на $1 m^2$ жилой площади, равного $3 m^3/(ч \cdot m^2)$, согласно требованиям ТКП 45-3.02-324-2018 [6] и СНБ 4.02.01-03 [5]. Для домов типовых серий, строящихся в Республике Беларусь, воздухообмен одной жилой комнаты площадью пола $F_{жс} = 4 \cdot 5 = 20 m^2$ оценён величиной в $L_{np} = 3 \cdot 20 = 60 m^3/ч$. Соответственно, в 9-ти этажном доме приточно-вытяжная вентиляция должна обеспечивать воздухообмен девяти таких комнат в количестве $L_{np}^{\Sigma} = 9 \cdot 60 = 540 m^3/ч$.

При отсутствии навесного фасада расход теплоты на нагрев наружного воздуха при инфильтрации

$$Q_i^9 = 0,28 \cdot L_{np} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_e - t_n) = 0,28 \cdot 540 \cdot 1,42 \cdot 1 \cdot (18 - (-25)) = 9232 \text{ Вт}; \quad (4)$$

где L_{np} – количество приточного воздуха; $m^3/ч$;

$$\rho_n = \frac{353}{273 + t_n} = \frac{353}{273 + (-25)} = 1,42 \text{ – плотность наружного воздуха как функция от } t_n, \text{ кг}/m^3;$$

c – теплоёмкость воздуха, $кДж/кг$.

Предполагаем, что вся теплота теплопотерь с наружных поверхностей стен и окон 9-го этажа $Q_{\Sigma}^9 = 320$ Вт аккумулируется наружным воздухом $L_{np}^{\Sigma} = 540$ м³/ч при его движении по щелевому каналу, температура воздуха повысится от t_n до $t_{нф}^9$, которая определится из уравнения теплового баланса

$$\begin{cases} \Delta Q_i^9 = 0,28 \cdot L_{np} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_s - t_{нф}^9); \\ \Delta Q_i^9 = Q_i^9 - Q_{\Sigma}^9; \end{cases} \quad (5)$$

откуда

$$t_{нф}^9 = t_s - \frac{Q_i^9 - Q_{\Sigma}^9}{0,28 \cdot L_{np} \cdot \rho \cdot c} = 18 - \frac{9232 - 320}{0,28 \cdot 540 \cdot 1,42 \cdot 1} = -23,5^{\circ}C. \quad (6)$$

Степень нагрева приточного наружного воздуха при его транзитном проходе по щелевому каналу через поверхности наружных ограждений 9-го этажа составляет:

$$\Delta t^9 = \Delta t_{нф}^9 - t_n = -23,5 - (-25) = +1,5^{\circ}C. \quad (7)$$

При прохождении приточного воздуха по щелевому каналу в пределах 8-го этажа так же аккумулируется теплота теплопотерь через стены и окна в количестве:

$$Q_{\Sigma}^8 = \frac{11 \cdot (18 - (-23,5))}{3,2} + \frac{4 \cdot (18 - (-23,5))}{1,0} = 142,6 + 166 = 308,6 \text{ Вт};$$

$$Q_i^8 = 0,28 \cdot 540 \cdot 1,41 \cdot 1 \cdot (18 - (-23,5)) = 8847,4 \text{ Вт};$$

$$\begin{cases} \Delta Q_i^8 = 0,28 \cdot 540 \cdot 1,41 \cdot 1 \cdot (18 - t_{нф}^8); \\ \Delta Q_i^8 = 8847,4 - 308,6; \end{cases}$$

$$t_{нф}^8 = 18 - \frac{8847,4 - 308,6}{0,28 \cdot 540 \cdot 1,41 \cdot 1} = -22^{\circ}C;$$

$$\Delta t^8 = \Delta t_{нф}^8 - \Delta t_{нф}^9 = -22 - (-23,5) = +1,5^{\circ}C.$$

Аналогично произведен расчёт изменения наружной температуры $t_{нф}$ при движении воздуха по щелевому каналу в ночное время суток для 1-7 этажей, результаты которого представлены в виде таблицы 1.

Таким образом, суммарная степень нагрева наружного воздуха при прохождении через щелевой канал сверху вниз в ночное время составит

$$\begin{aligned} \Delta t_{\kappa} &= \Delta t^9 + \Delta t_n^8 + \Delta t_n^7 + \Delta t_n^6 + \Delta t_n^5 + \Delta t_n^4 + \Delta t_n^3 + \Delta t_n^2 + \Delta t_n^1 = \\ &= 1,5 + 1,5 + 1,4 + 1,4 + 1,3 + 1,3 + 1,2 + 1,2 + 1,2 = 12^{\circ}C \end{aligned} \quad (8)$$

Экономия тепловой энергии при средней плотности воздуха $\rho_{cp} = \frac{1,42 + 1,36}{2} = 1,39$ кг/м³ для 9-ти этажного здания, принятого к рассмотрению, составит

$$\Delta Q = 0,28 \cdot 540 \cdot 1,39 \cdot 1 \cdot (18 - (-12)) = 6305 \text{ Вт}. \quad (9)$$

А для односекционного аналогичного здания, состоящего из 4-х квартирных объёмов $\Delta Q_{зд} = 4 \cdot 6305 = 25220 \approx 25,2$ кВт.

В постоянном режиме на протяжении отопительного периода круглосуточно в технологии тепловой вентиляции здания осуществляется передача теплоты от греющего теплоносителя вытяжного воздуха к теплопринимающему приточному воздуху в кожухотрубном теплообменнике тепловой камеры, конструктивно выполненном по схеме «труба в трубе». Эффективность теплообмена в них зависит от теплообменной поверхности и чем выше здание, тем более значительна рекуперация теплоты и выше эффект энергосбережения.

Таблица 1. – Изменение наружной температуры $t_{нф}$ при движении воздуха по щелевому каналу в ночное время суток

Этаж	Трансмиссионная теплота от наружных стен $Q_{тр}^{нс}$, Вт	Трансмиссионная теплота от окон $Q_{тр}^{ок}$, Вт	Суммарное количество теплоты Q_{Σ} , Вт	Расход теплоты при инфильтрации Q_i , Вт	ΔQ_i , Вт	Температура приточного воздуха $t_{н.ф}$, °С	Степень нагрева приточного наружного воздуха Δt , °С
9	148	172	320	9232	8912	-23,5	+1,5
8	142,6	166	308,6	8847,4	8538,8	-22	+1,5
7	137,5	160	297,5	8467,2	8169,7	-20,6	+1,4
6	132,7	154,4	287,1	8112,5	7825,4	-19,2	+1,4
5	127,9	148,8	276,7	7818,2	7541,5	-17,9	+1,3
4	123,4	143,6	267	7490,7	7223,7	-16,6	+1,3
3	118,9	138,4	257,3	7167,1	6909,8	-15,4	+1,2
2	114,8	133,6	248,4	6918,6	6670,2	-14,2	+1,2
1	110,7	128,8	239,5	6621,3	6381,8	-13	+1,2

В дневное время суток отопительного периода в технологии тепловой вентиляции здания предусмотрен нагрев наружного холодного приточного воздуха в щелевом канале со стороны навесного светопрозрачного вентилируемого фасада под действием прямой и рассеянной природной тепловой радиации.

При строительстве в качестве светопрозрачных конструкций широко применяется обычное силикатное стекло толщиной от 2 до 6 мм, которое способно пропускать лучистую тепловую энергию от прямой и рассеянной солнечной радиации в зоне спектра видимых лучей, соответствующих длинам волн в пределах от 380 до 750 нм, и в инфракрасном диапазоне с длинами волн от 750 до 2500 нм. Вся эта теплота, проходя сквозь толщу остекления, воспринимается поверхностями из различного материала, которые при нагреве сами становятся источниками тепловой энергии в виде инфракрасного излучения с длиной волн от 7,5 до 14 мкм. Для излучения с таким диапазоном длин волн обычное стекло становится экраном с образованием в щели «парникового» эффекта, способствующего повышению теплозащитных качеств светопрозрачной конструкции.

Произведём расчёт теплообмена в воздухоприёмном канале, обогреваемом с двух сторон (при наличии солнечного излучения навесной панели) на примере 9-ти этажного жилого дома, расположенного в г. Полоцк.

По данным [8] для географической широты 54°с.ш. Республики Беларусь для вертикальных поверхностей среднее значение суммарной солнечной радиации составляет $I_{cp}=100$ Вт/м².

Если в дневное время только за счёт суммарной солнечной радиации температура наружного приточного воздуха существенно поднимается при движении воздуха сверху вниз по щелевому каналу, то и в значительной степени уменьшаются трансмиссионные теплопотери через наружные ограждения. Лучистая тепловая энергия беспрепятственно проходит через светопрозрачные оконные конструкции и нагревает внутренние поверхности помещений, что необходимо учитывать дополнительно при расчёте бытовых теплопоступлений, а вторичная тепловая энергия отражается в объём щелевого канала только от поверхностей наружных стен с коэффициентом поглощения $K = 0,6$ [8].

Таким образом, при движении приточного наружного воздуха по щелевому каналу в пределах 9-го этажа трансмиссионная теплота от наружных стен аккумулируется в количестве $Q_{тр}^{нс9} = 148$ Вт, рассчитанном по формуле (1). В дневное время со стороны навесного фасада аккумулируется солнечная радиация в количестве

$$Q_{cp}^9 = I \cdot F_{нс} \cdot K = 100 \cdot 11 \cdot 0,6 = 660 \text{ Вт.} \quad (10)$$

где I_{cp} – среднее значение суммарной солнечной радиации, Вт/м² [8]; $F_{нс}$ – площадь наружной стены, м²; K – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции [8].

Суммарное количество аккумулируемой теплоты в дневное время составит

$$Q_{\Sigma}^9 = Q_{нс}^9 + Q_{cp}^9 = 148 + 660 = 808 \text{ Вт.} \quad (11)$$

Расход теплоты на нагрев наружного воздуха при инфильтрации составляет $Q_i^9 = 9232$ Вт.

Определим температуру воздуха $t_{н.ср}^9$ из уравнения теплового баланса

$$\begin{cases} \Delta Q_i^9 = 0,28 \cdot L_{нп} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_e - t_{н.ср}^9); \\ \Delta Q_i^9 = Q_i^9 - Q_{\Sigma}^9; \end{cases} \quad (12)$$

m.e. $0,28 \cdot L_{нп} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_e - t_{н.ср}^9) = Q_i^9 - Q_{\Sigma}^9 :$

$$0,28 \cdot 540 \cdot 1,42 \cdot 1 \cdot (18 - t_{н.ср}^9) = 9232 - 808 :$$

откуда

$$t_{н.ср}^9 = t_e - \frac{Q_i^9 - Q_{\Sigma}^9}{0,28 \cdot L_{нп} \cdot \rho \cdot c} = 18 - \frac{9232 - 808}{0,28 \cdot 540 \cdot 1,42 \cdot 1} = -21,2^{\circ}C . \quad (13)$$

Степень нагрева приточного наружного воздуха при его транзитном проходе по щелевому каналу через поверхности наружных ограждений 9-го этажа составит:

$$\Delta t^9 = \Delta t_{н.ср}^9 - t_n = -21,2 - (-25) = +3,8^{\circ}C . \quad (14)$$

При прохождении приточного воздуха по щелевому каналу в пределах 8-го этажа так же аккумулируется теплота теплопотерь через стены и окна в количестве:

$$Q_{\Sigma}^8 = \frac{11 \cdot (18 - (-21,2))}{3,2} + 660 = 795 \text{ Вт};$$

$$Q_i^8 = 0,28 \cdot 540 \cdot 1,41 \cdot 1 \cdot (18 - (-21,2)) = 8298 \text{ Вт};$$

$$t_{н.ср}^8 = 18 - \frac{8298 - 795}{0,28 \cdot 540 \cdot 1,41 \cdot 1} = -17,4^{\circ}C ;$$

$$\Delta t^8 = \Delta t_{н.ср}^8 - \Delta t_{н.ср}^9 = -17,4 - (-21,2) = +3,8^{\circ}C .$$

Аналогично произведен расчёт изменения наружной температуры $t_{н.ср}$ при движении воздуха по щелевому каналу под действием суммарной солнечной радиации в дневное время суток для 1–7 этажей, результаты которого представлены в виде таблицы 2.

Таблица 2. – Изменение наружной температуры $t_{н.ср}$ при движении воздуха по щелевому каналу под действием суммарной солнечной радиации в дневное время суток

Этаж	Трансмиссионная теплота от наружных стен $Q_{тр}^{нс}$, Вт	Теплота за счет солнечной радиации $Q_{ср}$, Вт	Суммарное количество теплоты Q_{Σ} , Вт	Расход теплоты при инфильтрации Q_i , Вт	ΔQ_i , Вт	Температура приточного воздуха $t_{н.ср}$, °C	Степень нагрева приточного наружного воздуха Δt , °C
9	148	660	808	9232	8424	-21,2	+3,8
8	135	660	795	8298	7503	-17,4	+3,8
7	122	660	782	7386	6604	-13,6	+3,8
6	109	660	769	6498	5729	-9,9	+3,7
5	96	660	756	5653	4897	-6,2	+3,7
4	83	660	743	4830	4087	-2,5	+3,7
3	70	660	730	4029	3299	+1,2	+3,7
2	58	660	718	3277	2559	+4,9	+3,7
1	45	660	705	2515	1810	+8,6	+3,7

В дневное время под действием суммарной прямой и рассеянной солнечной радиации и теплоты теплопотерь через стены по технологии тепловой вентиляции суммарная степень нагрева приточного наружного воздуха при его движении сверху вниз по щелевому каналу определится из выражения

$$\Delta t_{\Sigma} = \sum \Delta t = 3,8 + 3,8 + 3,8 + 3,7 + 3,7 + 3,7 + 3,7 + 3,7 + 3,7 = 33,6^{\circ}\text{C} . \quad (15)$$

В свою очередь температура приточного воздуха перед входом в здание из щелевого канала изменится от $t_n = -25^{\circ}\text{C}$ до $t_{ц.к.} = +8,6^{\circ}\text{C}$, т.е. выше зоны для отопительного периода.

Таким образом, по предлагаемой схеме тепловой вентиляции энергоэффективных зданий значительная экономия энергетических ресурсов обеспечивается уже на первой ступени предварительного подогрева наружного приточного воздуха в щелевом канале, образованном поверхностями наружных вертикальных стеновых и оконных конструкций и навесным светопрозрачным фасадом, выполняющим одновременно функции воздухоприёмного устройства и теплообменной камеры. Наружный приточный воздух аккумулируется с внутренней стороны щелевого канала трансмиссионной теплотой, теряемой зданием круглосуточно через стеновые и оконные вертикальные конструкции наружных ограждений, а с наружной стороны - через навесной светопрозрачный фасад воспринимается суммарная теплота прямой и рассеянной солнечной радиации, которая вторичным отражением от поверхностей наружных стен тепловым потоком за счёт «парникового» эффекта аккумулируется движущимся сверху вниз приточным наружным воздухом.

Как показали выполненные теплотехнические расчёты энергоэффективности предлагаемой схемы тепловой вентиляции здания в ночное время суток отопительного периода температура приточного воздуха увеличивается от $t_n = -25^{\circ}\text{C}$ до $t_{нф} = -13^{\circ}\text{C}$, т.е. на $\Delta t = +12^{\circ}\text{C}$, а в дневное время суток отопительного периода до $t_{н.ф.} = +8,6^{\circ}\text{C}$, т.е. $\Delta t = +33,6^{\circ}\text{C}$ со стороны южного фасада здания.

Согласно действующей нормативной базе с дополнениями и изменениями [5, 6], уравнение теплового баланса

$$Q_{от} = Q_{мп} + Q_{инф} - Q_{быт} , \text{ Вт} \quad (16)$$

где $Q_{от}$ – отопительно-вентиляционная нагрузка, Вт; $Q_{мп}$ – трансмиссионные теплопотери через наружные ограждающие конструкции здания, Вт; Q_i – теплопотери на нагрев неорганизованно поступающего в вентилируемые помещения холодного наружного приточного воздуха за счёт инфильтрации, Вт; $Q_{быт}$ – теплопоступления от бытовых теплоисточников, Вт.

По предлагаемой технологии тепловой вентиляции для снижения отопительной нагрузки $Q_{от}$ используется теплота трансмиссионных теплопотерь через наружные стены и окна, прикрытые навесным фасадом $Q_{\Sigma} = Q_{нс}^{мп} + Q_{ок}^{мп}$ в ночное время суток, а в дневное время суток учитываются теплопотери только через наружные стены. Весь объёмный нормативный расход приточного воздуха инфильтрируется организованно по щелевому каналу, в котором в котором предварительно нагревается до $t_{нф} = -13^{\circ}\text{C}$, а в дневное время суток до $t_{н.ф.} = +8,6^{\circ}\text{C}$. В процессе движения приточного воздуха сверху вниз по щелевому каналу от 9-го до 1-го этажей его температура, плотность и теплопотери здания изменяются и определяются расчётом по изложенной выше методике. В ночное время суток теплопотери через окна учтены, а в дневное время теплота солнечной радиации должна быть учтена дополнительно к бытовым теплопоступлениям, определяемым по формуле

$$Q_{быт}^{\Sigma} = 9 \cdot (1 - \eta) \cdot F_n + I \cdot F_{ок} \cdot K , \text{ Вт} \quad (17)$$

где 9 Вт/м^2 – теплопоступления на 1 м^2 площади жилых зданий [5]; η – коэффициент, учитывающий способ регулирования тепловой нагрузки системы отопления здания [5]; F_n – площадь пола помещения, м^2 ; I_{cp} – среднее значение суммарной солнечной радиации, Вт/м^2 [8]; $F_{нс}$ – площадь наружной стены, м^2 ; K – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции [8].

Таким образом, предлагаемое устройство тепловой вентиляции позволяет снизить энергоёмкость инженерных систем, более полно использовать вторичные и природные источники энергии для минимизации теплопотребления зданий на создание нормативных условий микроклимата помещений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потребление энергии в домашних хозяйствах Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 15.11.2018.

2. Об энергосбережении : Закон Респ. Беларусь от 8 янв. 2015 г. № 239-3.
3. Молодёжникова, Л.И. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / Л.И. Молодёжникова. – Томск : Изд-во ТПУ, 2011. – 205 с.
4. Беляев, В.С. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий / В.С. Беляев, Л.П. Хохлова. – М. : Высш. шк., 1991. – 255 с.
5. СНБ 4.02.01-03. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М. : Минскстройархитектура, 2004. - 78 с.
6. ТКП 45-3.02-324-2018. Жилые здания. Строительные нормы проектирования. – М. : Минскстройархитектура, 2018. – 21 с.
7. ТКП 45-2.04-43-2006. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования. – М. : Минскстройархитектура, 2014. – 50 с.
8. Русланов, Г.В. Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий / Г.В. Русланов, Э.Л. Ямпольский. – Киев : Будивельник, 1983. – 272 с.

**INCREASE ENERGY AND ECONOMIC EFFICIENCY
OF SYSTEMS OF HEATING AND VENTILATION
OF BUILDINGS WITH TECHNOLOGICAL ATTICS**

V. LIPKO, S. LANKOVICH

To improve the energy efficiency of heating and ventilation systems of buildings with technological attics, it is proposed to use a thermal ventilation system in which the heat of the air removed from the premises is utilized, as well as the heat of solar radiation and transmission heat loss of the building is used.

Keywords: *hinged translucent facade; heat recovery; heat exchanger; ventilation; energy saving.*

УДК 624.016

**КОНСТРУКЦИИ С ВНЕШНИМ АРМИРОВАНИЕМ. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

И.В. ЛАЗОВСКАЯ

(Полоцкий государственный университет)

Рассматривается состояние вопроса применения железобетонных элементов с внешним армированием (трубобетона) в строительной отрасли. Приводятся основные этапы развития элементов с внешним армированием, их преимущества и недостатки, перспективы дальнейшего развития и факторы, ограничивающие массовое применение.

Ключевые слова: *железобетон, трубобетон, внешнее армирование, высотное строительство, высокопрочный бетон*

Введение. К настоящему времени, в связи с ростом высотности возводимых зданий и сооружений, одной из наиболее актуальных проблем становится проблема применения новых эффективных несущих конструкций, использование которых способствовало бы решению задачи снижения веса здания (сооружения), уменьшения объема несущих строительных конструкций в общем строительном объеме, а также снижение общих затрат при строительстве. Как один из возможных путей решения названной проблемы можно выделить применение новых эффективных видов стержней в виде стоек и колонн, которые способны выдерживать значительные нагрузки при малых поперечных сечениях. Одним из примеров сжатых стержней такого типа можно назвать трубобетонные конструкции, позволяющие решить ряд названных проблем, связанных с высотным строительством. Трубобетонные конструкции – конструкции, представляющие собой металлическую оболочку (трубу), заполненную бетоном, образующим внутреннее жесткое ядро. Стальная оболочка в таких конструкциях выступает не только в роли несъемной опалубки при изготовлении, но и является внешним продольным и поперечным армированием готовой конструкции, работающим совместно с бетонным ядром под действием нагрузки.

История трубобетона. Первые упоминания о конструкциях из трубобетона появились в начале XXв. В 1901 году ученый J.S. Sewell. впервые опубликовал статью, в которой описал применение сталь-