

УДК 697.13

УТИЛИЗАЦИЯ ТРАНСМИССИОННОЙ ТЕПЛОТЫ ПРИ ИНФИЛЬТРАЦИИ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ВЕНТИЛИРУЕМЫЕ ОКОННЫЕ СТЕКЛОПАКЕТЫ

*канд. техн. наук, доц. В.И. ЛИПКО; Е.С. ДОБРОСОЛЬЦЕВА; Е.К. СИНЮКОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)*

Представлены материалы теоретических исследований двухслойных и трехслойных вентилируемых стеклопакетов с целью оптимизации теплообменных процессов при нормативной инфильтрации в условиях вынужденной конвекции наружного воздуха внутри межстекольного пространства и его подогрева за счет рекуперации трансмиссионной теплоты.

Введение. Экономное расходование топливно-энергетических ресурсов за счет модернизации технологических процессов во всех сферах экономики, включая и градостроительную, особенно значимо для стран, импортирующих энергоресурсы, среди которых и Республика Беларусь, где 2015 год объявлен годом экономии и бережливости. В связи с этим научные исследования в области энергоресурсосбережения являются приоритетными.

В жилищном строительстве в соответствии с действующей нормативной базой [1] широко распространилась практика проектирования и строительства жилых зданий с естественной вентиляцией, при которой вытяжной вентиляционный воздух удаляется из помещений с максимальным выделением вредных веществ (кухонь, ванных, санузлов) организованно через вытяжные каналы естественным путем за счет сил гравитации, а приточный вентиляционный воздух должен поступать в жилые помещения снаружи за счет инфильтрации через неплотности в наружных ограждающих конструкциях, включая щели притворов заполнения оконных проемов.

Наличие неплотностей и воздухопрускающей способности в наружных ограждающих конструкциях вызвали значительные теплопотери зданий за счет сквозной горизонтальной ветровой продуваемости и вертикальной гравитационной составляющей теплопотерь.

Для снижения безвозвратных теплопотерь с целью энергосбережения в градостроительной отрасли стали широко внедряться воздухо непроницаемые материалы, такие как пластмассы, стекло, металл, бетоны, клеи, герметики, которые значительно ограничивали доступ наружного воздуха за счет инфильтрации внутрь вентилируемых помещений, но особенно обострилась эта проблема с применением оконных стеклопакетов по европейским стандартам с плотными притворами.

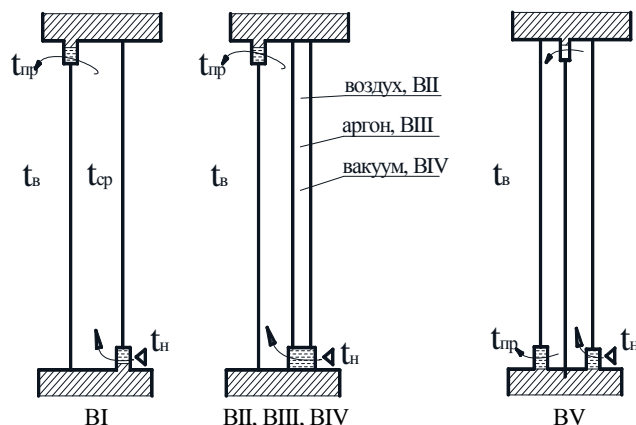
В условиях возникшей практически полной герметизации наружных ограждающих конструкций поступление наружного воздуха неорганизованным путем за счет инфильтрации прекратилось, что вызвало бездействие естественной вентиляции и накопление углекислого газа, неприятных запахов и избыточной влаги внутри жилых помещений, значительно ухудшающих условия проживания. Кроме того, избыточная влага способствует появлению плесени и грибковых образований, разрушающих деревянные конструкции, обои и другие отделочные материалы, а переувлажнение наружных стен приводит к снижению теплозащитных характеристик и увеличению теплопотерь зданием.

Впервые негативные последствия герметизации наружных ограждающих конструкций зданий были исследованы и подробно изложены с указанием путей решения проблемы в 2000 году в работах [2; 3]. Один из вариантов решения разгерметизации наружных ограждений зданий – создание вентилируемых оконных блоков [4] – предложен в 2003 году. Позднее, в 2006 году, аналогичные разработки предложены в работе [5]. В обеих работах представлены конструктивные решения без теоретического обоснования режимных характеристик и эксплуатационных параметров их применения.

С целью разработки методики инженерного расчета инфильтрации приточного воздуха через энергосберегающие вентилируемые окна необходимо выполнить построение физической и математической моделей процессов рекуперативного теплообмена при переменных наружных температурах.

Построение физических и математических моделей и методики расчета рекуперативного теплообмена в вентилируемых оконных стеклопакетах различного конструктивного исполнения. Рассмотрим несколько вариантов рекомендуемых к внедрению в практику градостроительства вентилируемых оконных стеклопакетов, представленных схематично на рисунке 1 (инфильтрация в межстекольном пространстве показана стрелками).

По мере перемещения наружного воздуха в межстекольном пространстве оконного стеклопакета он нагревается за счет трансмиссионной теплоты, теряемой через остекленную поверхность. Интенсивность нагрева наружного воздуха зависит от множества факторов, но основными являются количество нагреваемого воздуха L_{np} и его начальная температура t_n .



VI – двухслойный вентилируемый стеклопакет;
VII – трехслойный вентилируемый стеклопакет с воздушной прослойкой;
VIII – трехслойный вентилируемый стеклопакет с инертным газом аргоном;
IX – трехслойный вентилируемый стеклопакет с вакуумным исполнением;
X – трехслойный вентилируемый стеклопакет

Рисунок 1 – Варианты рекомендуемых к внедрению в практику градостроительства вентилируемых оконных стеклопакетов

Физическую картину тепломассообменных процессов и построение математической модели рекуперативного теплообмена подробно рассмотрим для варианта VI конструктивного исполнения простейшего вентилируемого двухслойного стеклопакета.

В соответствии с действующей нормативной базой [5] необходимое количество наружного воздуха для создания комфортного микроклимата в жилых помещениях зависит от площади пола F_n вентилируемого естественным путем жилого помещения и определяется как

$$L_{np} = 3F_n, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где 3 – нормативный воздухообмен, $\text{м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$.

Наружная температура воздуха t_n за отопительный период для климатических условий Беларуси изменяется от $t_n = +5^\circ\text{C}$ до $t_n = -30^\circ\text{C}$ и ниже.

Температура воздуха внутри жилых помещений поддерживается стабильно за счет бытовых теплоступлений и работы системы отопления в пределах $t_g = +18\dots 20^\circ\text{C}$.

Фактические трансмиссионные потери теплоты через оконный стеклопакет определяются по формуле

$$Q_{ок} = K_{ок} \cdot F_{ок} \cdot (t_g - t_n) \cdot n, \quad (1)$$

где $K_{ок} = 1/R_{ок}$ – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; $F_{ок}S$ – площадь поверхности остекления, м^2 ; n – коэффициент уменьшения расчетной разности температур, для вертикальных ограждений $n = 1$; $R_{ок}$ – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$.

Величина термического сопротивления R определяется по формуле

$$R = \frac{1}{\alpha_g} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (2)$$

где $\alpha_g = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ – коэффициент тепловосприятия от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения; δ – толщина единичного слоя остекления, м; λ – коэффициент теплопроводности материала остекления, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждения наружному воздуху.

При построении физической модели процессов теплообмена при инфильтрации наружного воздуха через двухслойный стеклопакет примем следующие допущения:

- температура воздуха t_{cp} в межстекольном пространстве равна средней температуре входящего и выходящего воздуха;
- температура внутреннего воздуха t_g постоянная за счет автоматического регулирования системы отопления;
- наружная температура t_n изменяется в пределах отопительного периода;
- толщина каждого из слоев остекления стеклопакета $\delta = 0,005 \text{ м}$.

Тогда согласно (2) величина R определится как

$$R_{ок} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,76} + \frac{0,005}{0,76} + \frac{1}{23} = 0,1716, \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

соответственно

$$K_{ок} = \frac{1}{0,1716} = 5,83, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Для внутреннего остекления количество теплоты $Q'_{ок}$ определится из выражения (1):

$$Q'_{ок} = 5,83 \cdot F_{ок} \cdot (t_g - t_{см}), \quad (3)$$

а для внешнего остекления $Q''_{ок}$ равно

$$Q''_{ок} = 5,83 \cdot F_{ок} \cdot (t_{см} - t_n). \quad (4)$$

Суммарная теплота $Q_{ок}$, теряемая через двойное остекление, определится как

$$Q_{ок} = Q'_{ок} + Q''_{ок} = 5,83 \cdot F_{ок} \cdot t_g - 5,83 \cdot F_{ок} \cdot t_{см} + 5,83 \cdot F_{ок} \cdot t_{см} - 5,83 \cdot F_{ок} \cdot t_n.$$

Количество теплоты, затраченной на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха, определится по формуле:

$$Q_{инф} = 0,28 L_{np} \cdot \rho \cdot c (t_{np} - t_n), \text{ Вт}, \quad (5)$$

где ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; c – теплоемкость воздуха, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{К}$; 0,28 – коэффициент перевода киллоджоулей в ватты.

Если предположить, что вся трансмиссионная теплота затрачивается на нагрев наружного воздуха, то вполне очевидно равенство

$$Q_{ок} = Q_{инф}, \quad (6)$$

то есть при $L_{np} = 3F_n$ имеем $5,83F_{ок}(t_g - t_n) = 0,28 \cdot 3 \cdot F_n \cdot 1,4 \cdot (t_{np} - t_n)$, а после преобразования получим

$$5,83F_{ок}t_g = 1,176F_n t_{np} + (5,83F_{ок} - 1,176F_n)t_n. \quad (7)$$

Уравнение (1) будем решать относительно t_{np} при переменных значениях t_n и фиксированных значениях $t_g, F_{ок}, F_n$.

В расчетах температуру внутреннего воздуха примем постоянной и равной $t_g = +20$ °С, а для параметров $F_{ок}$ и F_n рассмотрим несколько вариантов соотношения их значений.

Для значений $F_{ок} = 2 \text{ м}^2$ и $F_n = 10 \text{ м}^2$ уравнение (7) примет вид

$$\begin{aligned} 5,83 \cdot 2 \cdot 20 &= 1,176 \cdot 10 \cdot t_{np} + (5,83 \cdot 2 - 1,176 \cdot 10) \cdot t_n, \\ 233,2 &= 11,76 t_{np} - 0,1 t_n. \end{aligned} \quad (8)$$

Расчеты температуры t_{np} инфильтрующегося наружного воздуха через вентилируемые оконные стеклопакеты выполнены по уравнению (8) при различных вариантах соотношения расчетных параметров $F_{ок}$ и F_n , а их результаты сведены в таблицу, по которым созданы графики зависимости величины температуры t_{np} приточного воздуха от первоначальной наружной температуры t_n при переменных режимах теплообмена (рис. 2).

По аналогичной методике построены математические модели для других рассматриваемых вариантов: VII; VIII; XIV; XV различного конструктивного исполнения заполнений световых проемов зданий, которые представлены графическими зависимостями на рисунках 3–6.

Анализ результатов выполненных исследований показывает, что на режим теплообменных процессов, протекающих в вентилируемом оконном стеклопакете, существенное влияние оказывают конструктивно-планировочные решения в виде соотношения $F_{ок}/F_n$ при инфильтрации наружного воздуха с его подогревом за счет трансмиссионной теплоты, теряемой отапливаемым помещением через остекленные поверхности оконных стеклопакетов.

Результаты исследований интенсивности нагрева приточного наружного воздуха при инфильтрации через оконный стеклопакет при различных соотношениях конструктивных параметров $F_{ок}/F_n$ и переменных наружных температурах t_n

$t_n, ^\circ\text{C}$	$F_{ок} = 5 \text{ м}^2$			$F_{ок} = 2,8 \text{ м}^2$				$F_{ок} = 4 \text{ м}^2$	$F_{ок} = 2 \text{ м}^2$
	$F_n = 20 \text{ м}^2$	$F_n = 25 \text{ м}^2$	$F_n = 30 \text{ м}^2$	$F_n = 10 \text{ м}^2$	$F_n = 20 \text{ м}^2$	$F_n = 25 \text{ м}^2$	$F_n = 30 \text{ м}^2$	$F_n = 20 \text{ м}^2$	$F_n = 10 \text{ м}^2$
	$t_{np}, ^\circ\text{C}$	$t_{np}, ^\circ\text{C}$	$t_{np}, ^\circ\text{C}$	$t_{np}, ^\circ\text{C}$	$t_{np}, ^\circ\text{C}$	$t_{np}, ^\circ\text{C}$	$t_{np}, ^\circ\text{C}$	$t_{np}, ^\circ\text{C}$	$t_{np}, ^\circ\text{C}$
+5	23,6	19,9	17,4	25,8	15,4	13,3	11,9	19,9	19,87
0	24,8	19,8	16,5	27,8	13,9	11,1	9,2	19,8	19,83
-5	25,9	19,78	15,6	29,7	12,4	8,9	6,6	19,78	19,78
-10	27,2	19,7	14,8	31,6	10,8	6,7	3,9	19,7	19,74
-15	28,4	19,7	13,9	33,6	9,3	4,5	1,2	19,7	19,7
-20	29,6	19,65	13,0	35,5	7,8	2,3	-1,5	19,66	19,66
-25	30,8	19,6	12,2	37,4	6,2	0,05	-4,2	19,6	19,6
-30	31,9	19,57	11,3	39,4	4,7	-2,1	-6,8	19,57	19,57

На рисунках 2–6 эта зависимость t_{np} от t_n легко просматривается по соотношениям $F_{ок}/F_n$. При значениях $F_{ок}/F_n = 1/5$ температуры t_{np} приточного воздуха, инфильтрующегося через оконные стеклопакеты, приближаются к температуре t_e внутреннего воздуха и не вызывают ни нагрева, ни охлаждения воздуха внутри отапливаемых помещений, способствуя стабилизации теплового режима жилых помещений, а теплопотери через окно полностью исключаются.

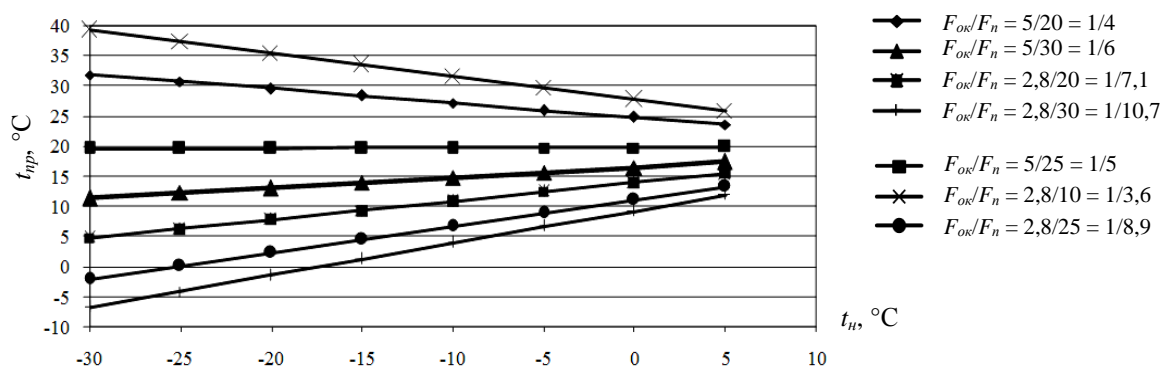


Рисунок 2 – Интенсивность нагрева приточного наружного воздуха t_{np} за счет рекуперативного теплообмена двухслойного вентилируемого оконного стеклопакета при инфильтрации в зависимости от соотношения $F_{ок}/F_n$ и в соответствии с действующей нормативной базой теплотехнического расчета наружных ограждений

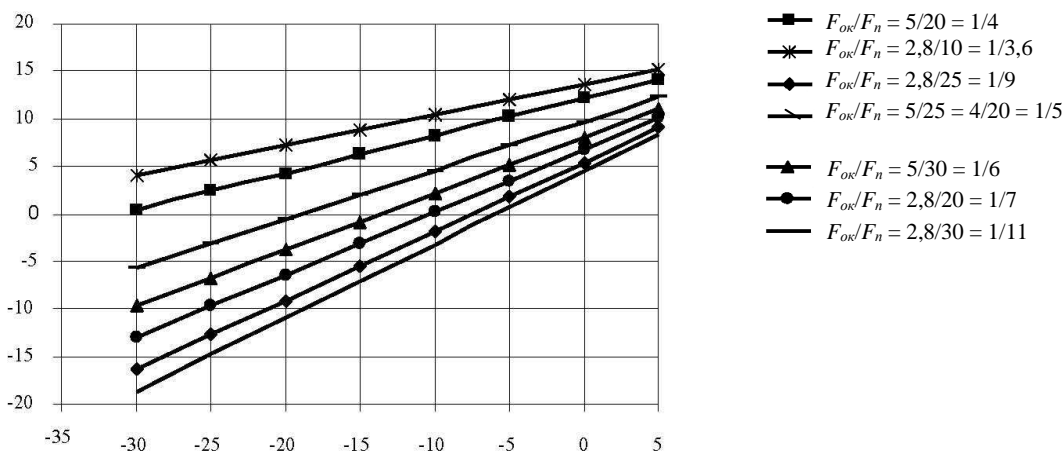


Рисунок 3 – Интенсивность нагрева приточного наружного воздуха t_{np} за счет рекуперативного теплообмена трехслойного вентилируемого оконного стеклопакета при инфильтрации в зависимости от соотношения $F_{ок}/F_n$ и в соответствии с действующей нормативной базой теплотехнического расчета наружных ограждений с воздушной прослойкой

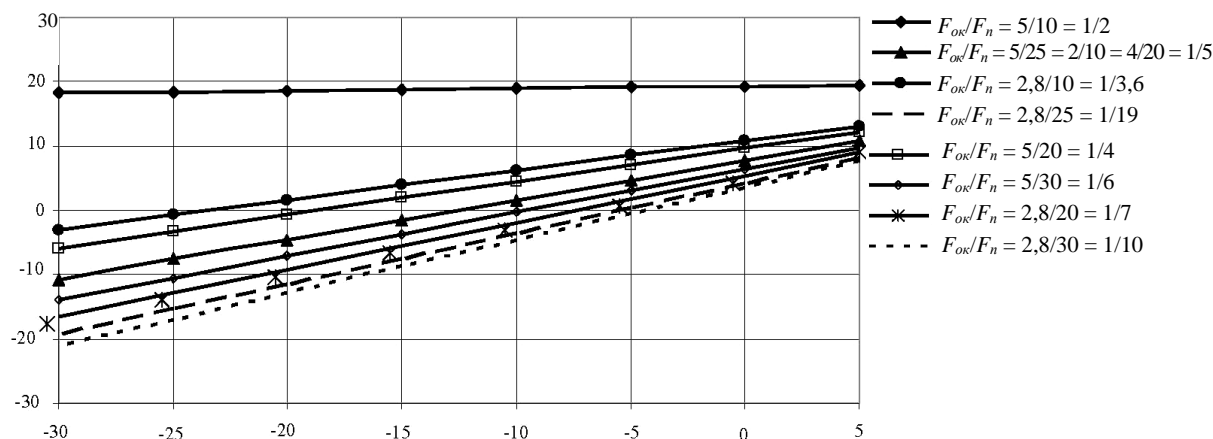


Рисунок 4 – Интенсивность нагрева приточного наружного воздуха t_{np} за счет рекуперативного теплообмена трехслойного вентилируемого оконного стеклопакета при инфильтрации в зависимости от соотношения $F_{ок}/F_n$ и в соответствии с действующей нормативной базой теплотехнического расчета наружных ограждений с инертным газом аргоном

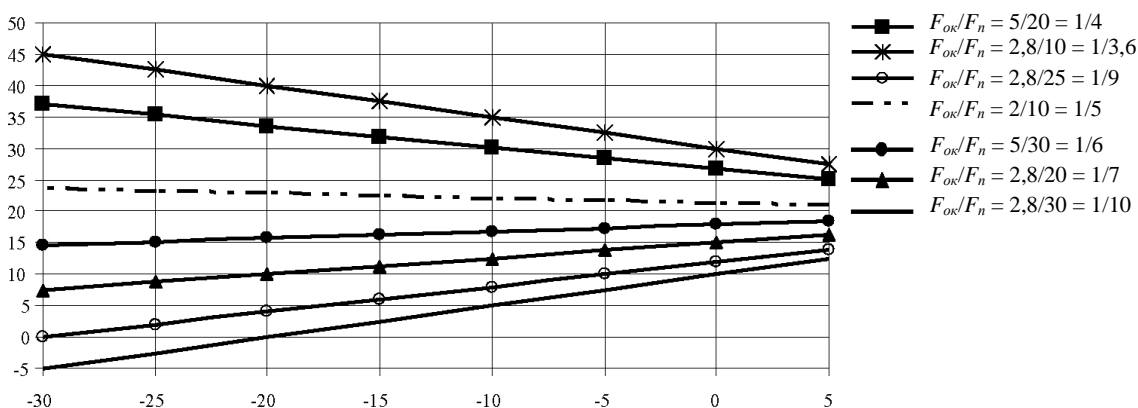


Рисунок 5 – Интенсивность нагрева приточного наружного воздуха t_{np} за счет рекуперативного теплообмена трехслойного вентилируемого оконного стеклопакета при инфильтрации в зависимости от соотношения $F_{ок}/F_n$ и в соответствии с действующей нормативной базой теплотехнического расчета наружных ограждений с вакуумным исполнением

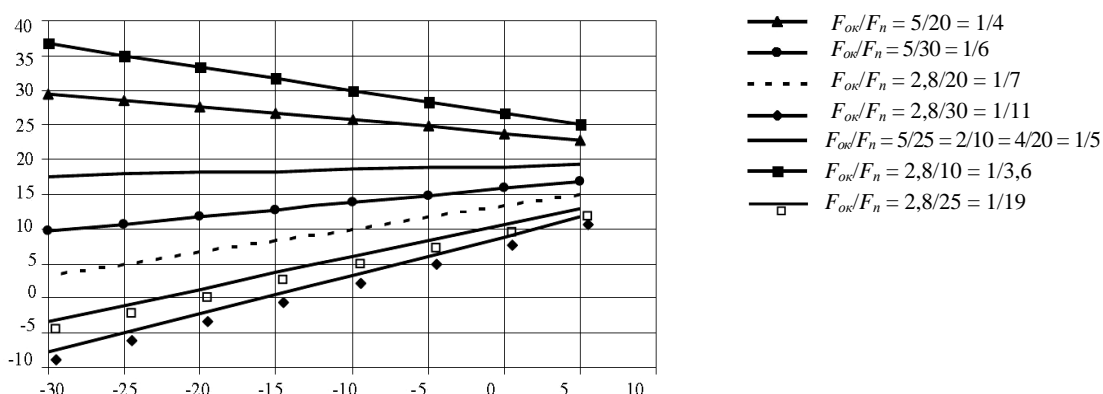


Рисунок 6 – Интенсивность нагрева приточного наружного воздуха t_{np} за счет рекуперативного теплообмена трехслойного вентилируемого оконного стеклопакета при инфильтрации в зависимости от соотношения $F_{ок}/F_n$ и в соответствии с действующей нормативной базой теплотехнического расчета наружных ограждений

На снижение отопительной нагрузки существенное влияние оказывает в дневное время также прямая и рассеянная солнечная радиация, которая воздействует на стеклопакет снаружи и поднимает температуру инфильтрующегося наружного воздуха за счет так называемого парникового эффекта.

Заключение. Анализ и обобщение результатов выполненных исследований дает основание для вывода основных положений теории теплообмена при инфильтрации наружного воздуха через вентилируемый оконный стеклопакет.

1. При проектировании жилых зданий необходимо использовать энергоэффективные вентилируемые оконные стеклопакеты, которые работают в режиме рекуперативного теплообменника пластинчатого типа с утилизацией трансмиссионной теплоты, теряемой отапливаемым помещением, для нагрева инфильтрующегося наружного воздуха в межстекольном пространстве стеклопакета.

2. По теплотехническим показателям соотношение площади вентилируемого оконного стеклопакета $F_{ок}$ к площади пола F_n отапливаемого помещения должно быть $F_{ок}/F_n \geq 1/5$, так как при этом полностью исключаются теплотери через окна и снижается нагрузка на систему отопления.

3. Ориентация здания должна быть обращена коротким фасадом на север для большего использования природной составляющей солнечной радиации с целью дополнительного подогрева инфильтрующегося наружного воздуха через вентилируемые оконные стеклопакеты, расположенные на фасадах здания, освещаемых солнцем.

Сравнительный анализ выполненных исследований по оценке эффективности рекуперативного теплообмена при инфильтрации приточного воздуха через вентилируемые оконные стеклопакеты различного конструктивного исполнения показал, что наиболее эффективно и интенсивно нагревается наружный воздух через двухслойный VI, трехслойный BV и трехслойный с вакуумированием межстекольного пространства CIV стеклопакеты. По теплотехническим показателям три варианта близки, но сложность в изготовлении и повышенный расход исходных материалов для трехслойных стеклопакетов предпочтительнее отдадут двухслойному стеклопакету VI, что экономически обосновано и простотой конструктивного исполнения, и сравнительно умеренным холодным климатом Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03: Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2004.
2. Липко, В.И. Вентиляция герметизированных зданий / В.И. Липко. Т. 1. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2000. – 300 с.
3. Липко, В.И. Вентиляция герметизированных зданий / В.И. Липко. Т. 2. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2000. – 246 с.
4. Приточный вентиляционный оконный блок: пат. 947 Респ. Беларусь, МПК (2002) E06B7/02, 7/10 / В.И. Липко; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № 420020379; заявл. 04.12.2002; опубл. 30.09.2003 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2003.
5. Юрков, О. Эффективный способ сокращения теплотерь через окна многоэтажных жилых зданий / О. Юрков // Строительная наука и техника. – 2006. – № 5(8).

Поступила 10.09.2015

UTILIZATION OF TRANSMISSION WARMTH AT INFILTRATION ARRIVING AIR THROUGH VENTILATED GLAZED WINDOWS

V. LIPKO, E. DOBROSOLTSEVA, E. SINUKOVICH

Materials of theoretical researches of two-layer ventilated double-glazed windows are presented in article for the purpose of optimization heatexchange processes at a standard infiltration in the conditions of the compelled convection external air in interglass space and its heating at the expense of recovery transmission warmth.