

Литература

1. Бауэр Д., Кристенсен К. Подрывные технологии: как поймать волну/В сб. Управление в условиях неопределённости. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. С.151-176.
2. Кривицкий С.В. Использование инновационных технологий в природоохранной деятельности// Журнал «Природообустройство», 2008 г. , № 1. С.30-33.
3. Кривицкий С.В. Методы биоинженерной геоэкологии при проведении экологической реабилитации природных объектов/Вестник МГСУ, 2009. № 4. С.285-291.
4. Голубев Г.Н. Геоэкология. – М.: Изд-во ГЕОС, 1999. – 338 с.
5. Никитин Н.Е., Никитина О.Г. О сущности самоочищения воды//Сб. статей «Экология: инновации в науке и образовании» - М.: МАКС Пресс, 2009. С.86-87.
6. Ильичёв В.А. Биосферная совместимость: Технология внедрения инноваций. Города, развивающие человека. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 240 с.

**4.14 ПОСТРОЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ
К ВОПРОСУ ТЕОРИИ РАСЧЕТА РЕКУПЕРАТИВНОГО
ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ИНФИЛЬТРАЦИИ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА
ЧЕРЕЗ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫЕ ДВУХСЛОЙНЫЕ
СТЕКЛОПАКЕТЫ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТРАНСМИССИОННОЙ ТЕПЛОТЫ**

Липко В.И., Добросольцева Е.С., Ланкович С.В.
(ПГУ, г. Новополоцк, Беларусь)

В статье представлены материалы теоретических исследований двухслойных 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.

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.

Введение

Тенденция снижения энергозатрат, повсеместная экономия энергоресурсов во всех сферах экономики, включая и градостроительную, наблюдается во всех странах мира. Особенно это значимо для стран, импортирующих энергоресурсы, к которым относится и Республика Беларусь, где 2013 год объявлен го-

Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства, жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды

дом экономии и бережливости, в связи с чем научные исследования в области энергоресурсосбережения также являются приоритетными.

В жилищном строительстве в соответствии с действующей нормативной базой 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) организовано 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 воздухопропускающей 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 воздухонепроницаемые 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 [1, 2]. Одним из вариантов решения разгерметизации наружных ограждений зданий является создание вентилируемых оконных блоков [3] в 2003 году. Позднее в 2006 году аналогичные разработки предложены в работе [4]. 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.

**Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства,
жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды**

*Исследование процессов рекуперативного теплообмена при инфильтрации
наружного воздуха через вентилируемые оконные стеклопакеты*

Рассмотрим вентилируемый оконный стеклопакет, в котором наружный воздух поступает в межстекольное пространство снизу через любые воздухоприточные устройства (отверстия, щели и т. п.), а внутрь помещения поступает через аналогичные устройства сверху. По мере перемещения наружного воздуха в межстекольном пространстве оконного стеклопакета он нагревается за счет трансмиссионной теплоты от температуры наружного воздуха t_n до температуры приточного воздуха t_{np} .

Интенсивность нагрева наружного воздуха зависит от множества факторов, но основными являются количество нагреваемого воздуха L_{np} и его начальная температура t_n .

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

$$L_{r\delta} = \zeta \cdot F_n, \text{ м}^3/\text{ч},$$

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

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

Температура воздуха внутри жилых помещений поддерживается стабильно за счет бытовых теплопоступлений и работы системы отопления в пределах $t_a = +18 \div 20^\circ \text{Ñ}$.

Фактические потери теплоты через оконный стеклопакет определяются по формуле

$$Q_{i\hat{e}} = \hat{E}_{i\hat{e}} \cdot F_{i\hat{e}} \cdot t_a - t_i \cdot n; \quad (1)$$

где $\hat{E}_{i\hat{e}} = \frac{1}{R_{i\hat{e}}}$ – коэффициент теплопередачи, $\frac{\hat{A}\delta}{i^2 \cdot \hat{E}}$;

$F_{i\hat{e}}$ – площадь поверхности остекления, м^2 ;

n – коэффициент уменьшения расчетной разности температур, для вертикальных ограждений $n = 1$;

$R_{i\hat{e}}$ – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\frac{i^2 \cdot \hat{E}}{\hat{A}\delta}$.

Величина термического сопротивления R определяется по формуле

$$R = \frac{1}{\alpha_a} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}; \quad (2)$$

где $\alpha_a = 8,7$ – коэффициент тепловосприятости от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения, $\frac{\hat{A}\delta}{i^2 \cdot \hat{E}}$;

δ – толщина единичного слоя остекления, м;

**Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства,
жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды**

λ – коэффициент теплопроводности материала остекления, $\frac{\dot{A}\delta}{i \cdot \hat{E}}$;

α_i – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждения наружному воздуху, $\frac{\dot{A}\delta}{i^2 \cdot \hat{E}}$.

При построении физической модели процессов теплообмена при инфильтрации наружного воздуха через двухслойный стеклопакет температуру воздуха t_{cp} в межстекольном пространстве примем как среднюю температуру входящего и выходящего воздуха, температуру внутреннего воздуха t_e примем постоянной за счет автоматического регулирования системы отопления, а наружная температура t_n изменяется в пределах отопительного периода.

Толщину каждого из слоев остекления стеклопакета примем равной $\delta = 0,005$ м, тогда согласно (2) величина R для каждого слоя определяется как

$$R_{ок} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,76} + \frac{1}{23} = 0,165 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт},$$

соответственно

$$K_{ок} = \frac{1}{0,165} = 6,06 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

Для внутреннего остекления количество теплоты $Q'_{i\hat{e}}$ определится из выражения (1)

$$Q'_{ок} = 6,06 \cdot F_{ок} \cdot (t_e - t_{cm}) \quad (3)$$

а для внешнего остекления $Q''_{i\hat{e}}$ равно

$$Q''_{ок} = 6,06 \cdot F_{ок} \cdot (t_{cm} - t_n) \quad (4)$$

Суммарная теплота $Q_{i\hat{e}}$, теряемая через двойное остекление определится

$$Q_{ок} = Q'_{ок} + Q''_{ок} = 6,06 \cdot F_{ок} \cdot t_e - 6,06 \cdot F_{ок} \cdot t_{cm} + 6,06 \cdot F_{ок} \cdot t_{cm} - 6,06 \cdot F_{ок} \cdot t_n$$

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

$$Q_{\hat{e}i\delta} = 0,28 \cdot L_{i\delta} \cdot \rho \cdot \tilde{n} \cdot (t_{i\delta} - t_i), \text{ Вт}; \quad (5)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

c – теплоемкость воздуха, кДж/кг·К;

0,28 – коэффициент перевода кДж в Вт.

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

$$Q_{i\hat{e}} = Q_{\hat{e}i\delta}; \quad (6)$$

т.е. при $L_{i\delta} = 3 \cdot F_i$ имеем $6,06 \cdot F_{ок} \cdot (t_e - t_n) = 0,28 \cdot 1,176 \cdot F_n \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot (t_{np} - t_n)$,

а после преобразования получим

$$6,06 \cdot F_{ок} \cdot t_e = 1,176 \cdot F_n \cdot t_{np} + (6,06 \cdot F_{ок} - 1,176 \cdot F_n) \cdot t_n \quad (7)$$

**Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства,
жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды**

Уравнение (7) будем решать относительно t_{np} при переменных значениях t_n и фиксированных значениях t_{δ} , $F_{ок}$, F_n .

В расчетах температуру внутреннего воздуха примем постоянной и равной $t_{\delta} = +20^{\circ}\tilde{N}$, а для параметров $F_{ок}$ и F_n рассмотрим несколько вариантов соотношения их значений.

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

$$6,06 \cdot 2 \cdot 20 = 1,176 \cdot 10 \cdot t_{np} + (6,06 \cdot 2 - 1,176 \cdot 10) \cdot t_n;$$

$$242,4 = 11,76 \cdot t_{np} + 0,98 \cdot t_n \quad (8)$$

Уравнение (8) решаем относительно t_{np} при различных температурах наружного воздуха, начиная от $t_i = +5^{\circ}\tilde{N}$ с интервалом $t = 10^{\circ}\tilde{N}$ до $t_i = -35^{\circ}\tilde{N}$ и получим:

1) $t_i = +5^{\circ}\tilde{N}$	$t_{np} = \frac{242,4 - 0,98 \cdot 5}{11,76} = 20,2^{\circ}\text{C}$
2) $t_i = -5^{\circ}\tilde{N}$	$t_{np} = \frac{242,4 - 0,98 \cdot (-5)}{11,76} = 21^{\circ}\text{C}$
3) $t_i = -15^{\circ}\tilde{N}$	$t_{np} = \frac{242,4 + 0,98 \cdot 15}{11,76} = 21,9^{\circ}\text{C}$
4) $t_i = -25^{\circ}\tilde{N}$	$t_{np} = \frac{242,4 + 0,98 \cdot 25}{11,76} = 22,7^{\circ}\text{C}$
5) $t_i = -35^{\circ}\tilde{N}$	$t_{np} = \frac{242,4 + 0,98 \cdot 35}{11,76} = 23,5^{\circ}\text{C}$

Аналогичные расчеты температуры t_{np} инфильтрующегося наружного воздуха через вентилируемые оконные стеклопакеты выполнены при различных вариантах соотношения расчетных параметров $F_{ок}$ и F_n , а их результаты сведены в таблицу 1, по которым составлены графики зависимости величины температуры t_{np} приточного воздуха от первоначальной наружной температуры t_n при переменных режимах теплообмена (рисунок 1).

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.

Следует отметить высокую энергоэффективность рассматриваемой технологической схемы воздухообеспечения отапливаемых помещений через вентилируемый оконный стеклопакет, так как при этом ранее теряемая трансмиссионная теплота $Q_{i\delta}$ полностью утилизируется и аккумулируется инфильтрующимся наружным воздухом, вызывая его существенный подогрев до температур t_{np} , зависящих от количества нагреваемого воздуха.

На графиках рисунка 1 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

**Секция 4. Актуальные проблемы градостроительства,
жилищно-коммунального комплекса и экологии городской среды**

воздуха, инфильтрующегося через оконные стеклопакеты, приближаются к температуре t_6 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.

Таблица 1 – 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

$t_n, ^\circ\text{C}$	$F_{ок}=5\text{M}^2$				$F_{ок}=2,8\text{M}^2$				$F_{ок}=4\text{M}^2$	$F_{ок}=2\text{M}^2$
	$F_n=10\text{M}^2$	$F_n=20\text{M}^2$	$F_n=30\text{M}^2$	$F_n=25\text{M}^2$	$F_n=10\text{M}^2$	$F_n=20\text{M}^2$	$F_n=30\text{M}^2$	$F_n=25\text{M}^2$	$F_n=20\text{M}^2$	$F_n=10\text{M}^2$
	$t_{np}, ^\circ\text{C}$									
+5	43,6	24,3	17,9	20,5	26,6	15,8	12,2	13,7	20,5	20,5
0	51,5	25,8	17,2	20,6	28,9	14,4	9,6	11,5	20,6	20,6
-5	59,4	27,2	16,5	20,8	31,1	13	7	9,4	20,8	20,8
-10	67,3	28,6	15,8	20,9	33,3	11,6	4,4	7,3	20,9	20,9
-15	75,2	30,1	15,1	21,1	35,5	10,3	1,8	5,2	21,1	21,1
-20	83,1	31,5	14,4	21,2	37,7	8,9	-0,8	3,1	21,2	21,2
-25	90,9	33	13,6	21,4	39,9	7,5	-3,4	1	21,4	21,4
-30	98,8	34,4	12,9	21,5	42,1	6,1	-6	-1,1	21,5	21,5

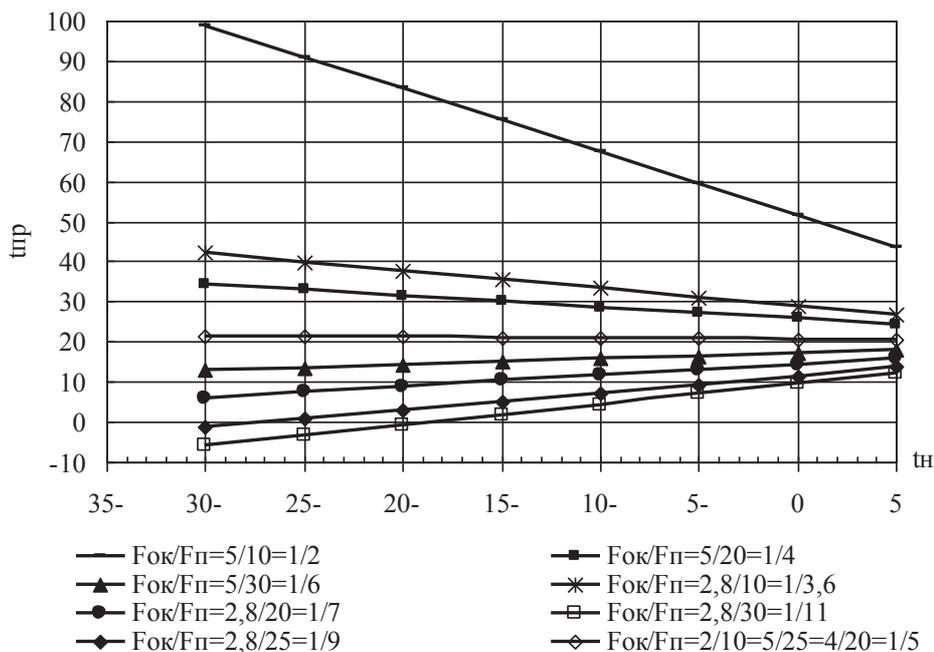


Рисунок 1 - Интенсивность нагрева приточного наружного воздуха t_{np} за счет рекуперативного теплообмена двухслойного вентилируемого оконного стеклопакета при инфильтрации в зависимости от соотношения $F_{ок}/F_n$ и в соответствии с действующей нормативной базой теплотехнического расчета наружных ограждений

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

Заключение

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 $F_{ок}/F_n \geq 1/5$, т.к. при этом полностью исключаются теплопотери 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.

Литература

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

4.15 ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ АВТОНОМНОЕ ТЕПЛОВОЗДУХО-СНАБЖЕНИЕ МАЛОЭТАЖНЫХ ГЕРМЕТИЧНЫХ ЗДАНИЙ

Липко В.И., Широкова О.Н., Липко С.В. (ПГУ, г. Новополоцк, Беларусь)

Представлена технологическая схема, дано описание теплофизических и аэродинамических процессов. Разработана математическая модель основных положений теории тепломассообмена при автономном тепловоздухоснабжении малоэтажных зданий коттеджного типа с ограждающими конструкциями повышенной теплозащиты и герметичности.

The technological scheme is presented, the description of thermophysic and aerodynamic processes is given. The basic-point mathematical model of heat-and-mass exchange theory applying to independent heat-and-air supplying cottage type low-rise buildings with raised heat-shield and airtight non-load-bearing constructions is developed

Введение

Предлагаемая к реализации технология автономного тепловоздухоснабжения малоэтажных зданий коттеджного типа с индивидуальным котлом, рабо-