PolotskSU

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЛЬНЮССКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. ГЕДЕМИНАСА

БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (УКРАИНА)

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ г. ЛЕЙРИИ (ПОРТУГАЛИЯ)

АРИЭЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (ИЗРАИЛЬ)

ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ

Электронный сборник статей
международной научной конференции,
посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета

(Новополоцк, 5-6 апреля 2018 г.)

Под редакцией
канд. техн. наук, доцента А. А. Бакатовича;
канд. техн. наук, доцента Л. М. Парфеновой

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2018

PolotskSU

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:
А. А. Бакатович (председатель), Л. М. Парфенова (зам. председателя),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Т. И. Королева, В. Е. Овсейчик

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ [Электронный ресурс] : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Рассмотрены организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.

Компьютерный дизайн К. В. Чулковой, В. А. Крупенина.

Технический редактор О. П. Михайлова.

Компьютерная верстка Т. А. Дарьяновой.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

ISBN 978-985-531-608-5 © Полоцкий государственный университет, 2018

PolotskSU

УДК 697: 721.011.025 (075.8)

ОСНОВЫ ТЕОРИИ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛОВОЗДУХООБМЕНА ЧЕРЕЗ ВЕНТИЛИРУЕМЫЕ ОКОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОЗАЩИТЫ И ГЕРМЕТИЧНОСТИ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

В.И. Липко, Е.С. Добросольцева, А.С. Лапезо
Полоцкий государственный университет, Беларусь
email: kafedratgsv@mail.ru

Рассмотрены конструктивно-технологические решения оконных стеклопакетов в энергоэффективных зданиях повышенной теплозащиты и герметичности, широко применяемые в практике градостроительства. Представлены результаты исследований аэродинамических процессов, происходящих в вентилируемых оконных конструкциях. На основании проведенного анализа подтверждаются многофункциональные возможности применения вентилируемых оконных конструкций для помещений зданий с наружными ограждениями повышенной теплозащиты и герметичности. Представлен расчет количества воздухопропускных каналов с учетом нормативного воздухообмена и в зависимости от диаметров каналов и аэродинамического сопротивления на проход воздуха.

Ключевые слова: тепловоздухоснабжение; энергоресурсосбережение; комфортные условия.

FUNDAMENTALS OF THE THEORY OF AERODYNAMICS AND HEAT AND AIREXCHANGE THROUGH VENTILATED WINDOW DESIGN OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS INCREASED THERMAL INSULATION AND AIR-TIGHTNESS

V. Lipko, E. Dobrosoltseva, A. Lapezo
Polotsk state University, Belarus
email: kafedratgsv@mail.ru

The article considers structural and technological solutions of window glass in buildings increased thermal protection and air tightness, widely used in the practice of urban planning. The results of theoretical and analytical studies of the aerodynamic processes in the ventilated window designs are presented. On the basis of the analysis confirmed the possibility of the multifunctional use of ventilated window designs for buildings with external enclosures with advanced thermal protection and integrity. A calculation of the number of air pass channels considering the standard air change and depending on the diameters of the channels and the aerodynamic resistance to the passage of air.

Keywords: heat and air supply; energy and resource saving; comfortable environment.

Для зданий повышенной теплозащиты и герметичности наружных ограждающих конструкций вентилируемые окна найдут достойное применение в жилищнокоммунальной сфере градостроительной практики благодаря широким функциональным возможностям, таким как:

PolotskSU

– прямым функциям освещения помещений дневным светом;

– дополнительным функциям воздухозаборного устройства наружного приточного вентиляционного воздуха с эффектом саморегулирования расхода нормативного воздухообмена вентилируемых помещений;

– дополнительным функциям приемника теплоты прямой и рассеянной солнечной радиации в дневное время суток за счет «парникового» эффекта;

– дополнительным функциям обеспечения стабильного комфортного проживания в условиях активной естественной вентиляции, приобретающей особую значимость для герметичных зданий с повышенными теплозащитными характеристиками наружных ограждающих конструкций;

– дополнительным функциям энергосбережения за счет минимизации энергопотребления от внешних источников и широкого применения вторичных и природных энергоресурсов.

Для снижения теплопотерь при переходе на энергоэффективное строительство зданий за последние десятилетия широко стали применять такие строительные материалы, как бетон, железобетон, стекло, металл, пластмассы, мастики, клеи, герметики, теплоизоляцию, гидроизоляцию, пароизоляцию, которые практически воздухонепроницаемы, но особенно эффект герметизации наружных ограждений стал заметным при широком использовании оконных конструкций из металла и пластика по европейским стандартам, при которых естественная вентиляция зданий перестала работатьиз-за полного отсутствия инфильтрации приточного воздуха и в жилых помещениях зданий стала появляться избыточная влажность и загазованность, при которых условия воздушной среды не соответствуют комфортным для проживания, но создавались условия для развития плесени и грибковых образований, разрушающих отделочные материалы, обои, деревянные конструкции, а избыточная влага снижала теплозащитные характеристики наружных ограждений зданий.

Негативные последствия герметизации наружных ограждающих конструкций зданий были исследованы и изложены в работах [1, 2]. Одним из вариантов решения разгерметизации наружных ограждений зданий является создание запатентованных вентилируемых оконных блоков [3], которые получили дальнейшее развитее в работах [4,5,6-8].

Использование каналов малых диаметров d_k=1,4÷10,0мм для вентиляции помещений герметичных зданий в практике градостроительства было впервые предложено в работах [1,2], а их научная новизна подтверждена патентами на изобретения [9,10,11].

Особенностью каналов оконного блока малых диаметров является возможность саморегулирования расхода приточного вентиляционного воздуха без специальных средств автоматики за счет зависимости аэродинамического сопротивления от скорости воздушного потока. При движении воздуха по каналам в ламинарном режиме малое аэродинамическое сопротивление обеспечивает нормируемый расход воздуха, но дальнейшее увеличение скорости воздуха в канале, например, за счет ветрового давления, приводит к резкому параболическому увеличению аэродинамического сопротивления и скорость воздушного потока в канале стабилизируется.

При строительстве домов используется множество разновидностей стекла и изделий из него. Листовое строительное стекло широко используется в домостроении для остекления оконных и дверных проемов, балконов и лоджий, навесных светопрозрачных фасадных систем. Стекольная промышленность освоила также выпуск стеклопакетов, профильного стекла, пустотелых стеклоблоков, армированного, матового, цветного, узорчатого, рифленого и других видов стекла со специальными низкоэмиссионными или селективными защитными покрытиями. Современные технологии позволяют изготавливать стеклопакеты с вакуумированием межстекольного пространства или заполнением инертными газами.

PolotskSU

Выше описанные конструктивные решения и технологические схемы по повышению сопротивления теплопередаче световых проемов требуют значительных финансовых затрат, которые не всегда оправдываются сэкономленной при этом тепловой энергией. Как показывает анализ, применение инертных газов, многослойных коробок и переплетов со сложным конструктивно- технологическим исполнением не всегда экономически и экологически целесообразно, а различные покрытия стекла значительно снижают их светопрозрачность и срок эксплуатации.

Необходимость дальнейшего конструктивно-технологического усовершенствования заполнений световых проемов зданий возникла после изменения нормативной базы Республики Беларусь по сопротивлению теплопередаче окон до значения $R \geq 1{,}0$ $м^2 \cdot {}^0C/Вт$. В Полоцком государственном университете запатентован приточный вентиляционный оконный блок [3], основным назначением которого является освещение дневным светом помещений в сочетании с функциями воздухозаборного устройства наружного приточного вентиляционного воздуха с эффектом саморегулирования расхода нормативного воздухообмена вентилируемых помещений; дополнительными функциями рекуперативного теплообменника с утилизацией трансмиссионной теплоты для предварительного подогрева наружного приточного вентиляционного воздуха круглосуточно; дополнительными функциями теплоприемника природной теплоты прямой и рассеянной солнечной радиации в дневное время суток за счет «парникового» эффекта; дополнительными функциями шумоглушения при ориентации фасада зданий на шумные транспортные магистрали; дополнительным функциям обеспечения комфортного проживания в условиях активной естественной вентиляции, приобретающей особую значимость для герметичных зданий с повышенными теплозащитными характеристиками наружных ограждающих конструкций; дополнительным функциям энергосбережения за счет минимизации энергопотребления от внешних источников и широкого использования возобновляемых вторичных и природных энергоресурсов.

Приточный вентиляционный оконный блок (рисунок 1) представляет собой раму, изготовленную из дерева, пластмассы, металла и в которой герметично закреплены три светопрозрачные перегородки из стекла, оргстекла и т.п. В раме имеются три выступающие стеклодержателя со сквозными отверстиями малых диаметров, расположенные в определенном порядке: во внешнем 1 – снизу, в промежуточном 2 – сверху и во внутреннем стеклодержателе 3 – снизу. Работает приточный вентиляционный оконный блок следующим образом.

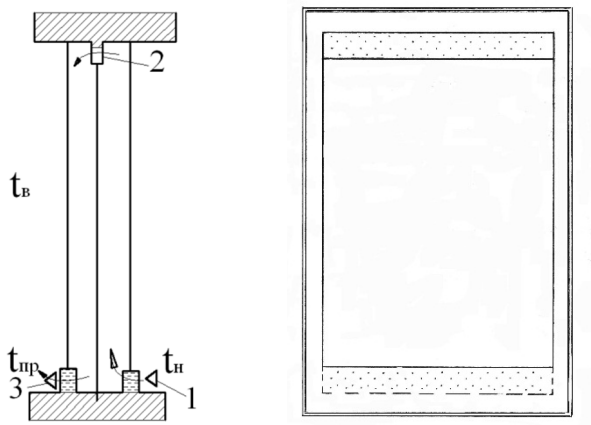

Рисунок 1. – Приточный вентиляционный оконный блок

PolotskSU

Из-за перепада давлений внутри и снаружи помещений, связанного с работой вытяжных систем вентиляции по принципу инфильтрации, холодный наружный приточный вентиляционный воздух в расчетно- нормативных количествах входит через наружные отверстия внешнего стеклодержателя 1 в наружное межстекольное пространство и поднимаясь вверх через отверстия промежуточного стеклодержателя 2 поступает во внутреннее межстекольное пространство, опускается вниз и сквозь отверстия внутреннего стеклодержателя 3 поступает в вентилируемое помещение.

При движении внутри вентилируемого приточного оконного блока холодный наружный приточный воздух воспринимает и аккумулирует трансмиссионную теплоту, теряемую помещением через внутреннюю поверхность остекления круглосуточно в отопительный период, а с наружной поверхности остекления ежедневно воспринимает и аккумулирует природную энергию прямой и рассеянной солнечной радиации для дополнительного подогрева приточного вентиляционного воздуха, поступающего в помещение в нормируемых количествах за счет регулируемого количества каналов и их диаметра, определяемых специальным расчетом, суть которого состоит в следующем.

В многоэтажных зданиях системы вытяжной вентиляции создается гравитационное давление *Рг*, пропорциональное высоте канала *h* и разности плотностей наружного и внутреннего воздуха $\rho_н, \rho_в$, определяемого по формуле

$$P_г = 0{,}9 \cdot h \cdot g \cdot (\rho_н - \rho_в), \qquad (1)$$

где 0,9 – коэффициент запаса на неучтенные потери;

h – высота канала, м;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

$\rho_н, \rho_в$ - плотность наружного и внутреннего воздуха, кг/м^3.

Часть гравитационного давления *Рг* затрачивается на преодоление аэродинамического сопротивления самого канала, определяемого как сумма потерь давления на трение и местные сопротивления по формуле (2) и аэродинамического сопротивления $S_{вх}$ на вход воздуха через отверстия малых диаметров, расположенные в стеклодержателях приточного оконного блока, определяемого как остаточное давление по формуле (3), которое зависит от этажности помещений.

Аэродинамическое сопротивление канала Рс, Па,

$$P_c = \Sigma(R \cdot l \cdot \beta + Z) \qquad (2)$$

где $P_{тр} = R \cdot l \cdot \beta$ – потери давления на трение, Па/м;

R– сопротивление трению 1м воздуховода, канала, Па/м [12];

l – длина канала, м;

β – поправочный коэффициент, зависящий от шероховатости каналов, воздуховодов [12];

$Z = \Sigma\xi \cdot (\rho_в \cdot V_к^2 / 2)$ – потери давления в местных сопротивлениях, Па;

$\Sigma\xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений в зависимости от вида местного сопротивления на участке [12];

$V_к$ – скорость движения воздуха в канале, м/с.

PolotskSU

Аэродинамическое сопротивление на вход воздуха через отверстия малых диаметров $S_{вх}$, определяется как остаточное давление по формуле

$$S_{вх} = \Delta P_э = P_г - P_с . \quad (3)$$

На рисунке 2 представлены графически экспериментально определенные зависимости суммарного аэродинамического сопротивления $S_{вх} = \Delta P_э$ от скорости в отверстиях различных диаметров *dк*=3 ÷9мм, из которых по величине остаточного давления $\Delta P_э$ можно определить скорость $V_к$ в отверстиях (каналах) разных диаметров *dк,* а затем и расход воздуха $L_к$ через единичный канал. Количество отверстий $n_к$ определяется по нормативному воздухообмену, равному тройной площади пола помещения, деленного на пропускную способность единичного отверстия $L_к$, по формуле

$$n_к = L_в^н / L_к , шт. , \quad (4)$$

где $L_в^н$ – нормативный воздухообмен, м^3/ч, принимаемый с учетом воздушного баланса в помещении;

$L_к = 3600 \cdot V_к \cdot F = 3600 \cdot V_к \cdot (\pi \cdot d_к^{\ 2} / 4)$ – расход воздуха в отверстии, м^3/ч.

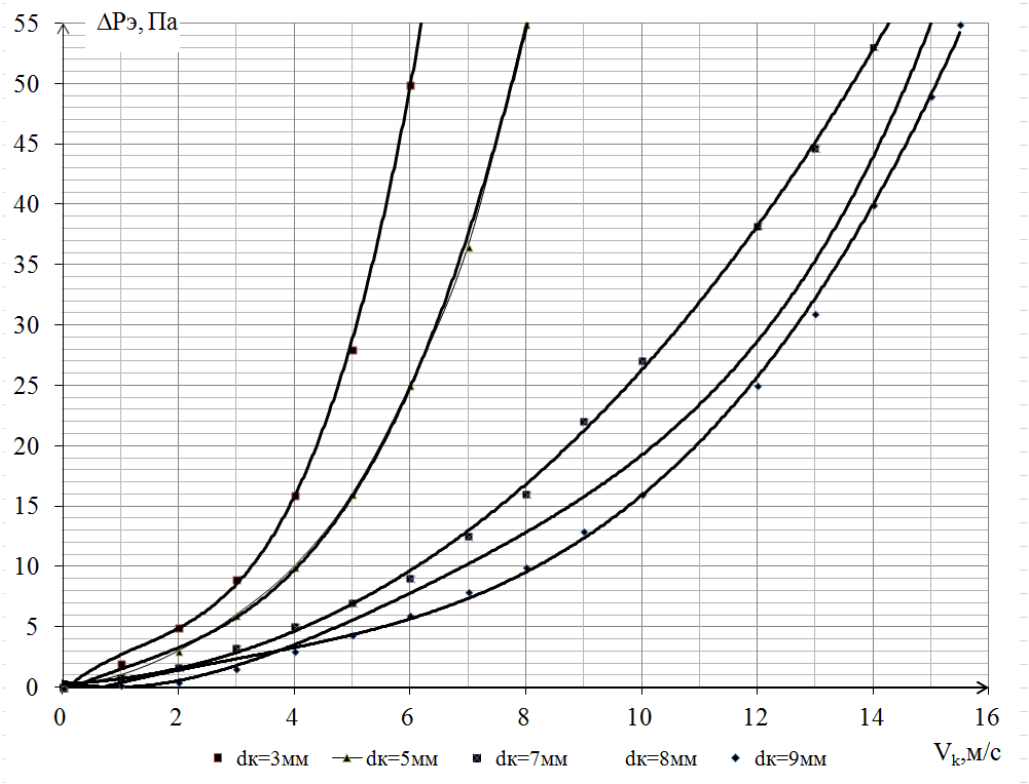

Рисунок 2. – Зависимости аэродинамического сопротивления на проход воздуха для разных диаметров отверстий

На основе классической теории аэродинамики рассмотрим для примера аэродинамический расчет процессов естественной вентиляции 9-ти этажного жилого здания, расположенной в Минске с жилой площадью $F_п$=16м^2 с совмещенным туалетом и ванной комнатой. Согласно действующей нормативной базе [13] объемный расход приточного воздуха

PolotskSU

равен $L_{пр} = 3 \cdot F_п = 3 \cdot 16 = 48 м^3/ч$, а объемный расход вытяжного воздуха равен $L_{выт} = L_т + L_в = 25 + 25 = 50 м^3/ч$. В соответствии с воздушным балансом принимаем воздухообмен в помещении равным 50м^3/ч.

Для естественной вентиляции в вытяжном канале задаемся скоростью $V_к$<1 м/с и из выражения для определения расхода воздуха в канале с учетом скорости $V_к$=0,5 м/с определим диаметр вытяжного канала

$$d_к = \sqrt{4 \cdot L/(3600 \cdot \pi \cdot V_к} = \sqrt{4 \cdot 50/(3600 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}5} = 0{,}18 м.$$

Для вытяжного канала из помещения первого этажа аэродинамическое сопротивление P_c определено по формуле (2):

$$P_c = 0{,}035 \cdot 30 \cdot 1{,}148 + (2+1) \cdot (1{,}2 \cdot 0{,}5^2/2) = 1{,}74 Па.$$

Естественное гравитационное давление, определенное по формуле (1) составило

$$P_г = 0{,}9 \cdot 30 \cdot 9{,}8 \cdot (1{,}4 - 1{,}2) = 52{,}9 Па.$$

Для входных отверстий через приточный оконный блок ограничим скорость движения воздуха ламинарным режимом при критериальном коэффициенте Рейнольдса Re≤ 2000. Для диаметра отверстий*dк*=0,009 м, зная остаточное давление, определенное по формуле (3),

$$S_{вх} = \Delta P_э = 52{,}9 - 1{,}74 = 51{,}2 Па,$$

по графику (рис. 2) определили скорость движения воздуха в приточном отверстии оконного вентиляционного блока *Vк*= 15,2м/с. Пропускная способность по воздуху единичного отверстия составила

$$L_к = 3600 \cdot 15{,}2 \cdot (3{,}14 \cdot 0{,}009^2/4) = 3{,}47 м^3/ч.,$$

а для обеспечения нормативного воздухообмена требуется число отверстий, определенное по формуле (4)

$$n_к = 50/3{,}47 = 14{,}4,$$

принимаем 15 шт.

Аналогичные расчеты выполнены для окон, расположенных на других этажах, а результаты расчетов представлены в таблице.

Если величина остаточного давления $\Delta P_э$ стремится к нулевому значению или при повышении температуры наружного воздуха в формуле (1) при определении гравитационного давления разность плотностей наружного и внутреннего воздуха приближается к нулевым значениям, то необходимо включение параллельно установленной механической вытяжной вентиляции, а в неотопительный период естественное проветривание помещений осуществляется через форточки или индивидуальные канальные вентиляторы, что предусмотрено действующей нормативной базой.

PolotskSU

Таблица. – Количество отверстий в приточном оконном блоке в зависимости от остаточного давления на различных этажах жилого дома

Номер этажа	Высота канала h, м.	Потери давления на трение $P_{тр}$, Па/м	Потери давления в местных сопротивлениях Z, Па	Аэродинамическое сопротивление канала Pc, Па	Гравитационное давление *Pг*, Па	0,9·*Pг*	Остаточное давление $\Delta P_э$, Па	Скорость воздуха в приточном окном отверстии*Vк, м/с*	Расход воздуха в единичном отверстии Lк, $м^3$/ч	Число отверстий *n*, шт.
1	30	1,2	0,54	1,74	58,8	52,9	51,2	15,2	3,47	15
2	27	1,08	0,54	1,62	52,9	47,6	46,0	14,7	3,36	15
3	24	0,96	0,54	1,5	47,04	42,3	40,8	14,1	3,2	16
4	21	0,84	0,54	1,38	41,16	37,0	35,6	13,4	3,1	16
5	18	0,72	0,54	1,26	35,28	31,8	30,5	12,9	2,94	17
6	15	0,6	0,54	1,14	29,4	26,5	25,3	12,0	2,74	18
7	12	0,48	0,54	1,02	23,52	21,2	20,2	10,9	2,49	20
8	9	0,36	0,54	0,9	17,64	15,9	15,0	9,7	2,22	23
9	6	0,24	0,54	0,78	11,76	10,6	9,8	8,0	1,83	27

Примечание: Данные таблицы представлены при температуре наружного воздуха минус 24^0С, воздухообмене в помещении L= 50$м^3$/ч., для вытяжного канала диаметром *dк*=0,18м., выполненного из бетона, скорости воздуха в этом канале $V_к$=0,55 м/с и диаметре входного отверстия в оконном блоке *dк*=9 мм.

Результаты аналитических и теоретических исследований аэродинамических процессов в вентилируемых оконных конструкциях зданий повышенной теплозащиты и герметичности наружных ограждений подтверждают многофункциональные возможности применения вентилируемых окон, как для освещения помещений дневным светом, так и для выполнения дополнительных функций:

– воздухозаборного устройства наружного приточного вентиляционного воздуха с эффектом саморегулирования расхода нормативного воздухообмена жилых помещений без дополнительных средств автоматики;

– рекуперативного теплообменника с утилизацией трансмиссионной теплоты для предварительного подогрева наружного приточного вентиляционного воздуха;

– теплоприемника природной теплоты прямой и рассеянной солнечной радиации за счет «парникового» эффекта;

– обеспечения стабильного комфортного проживания в условиях активной естественной вентиляции, приобретающей особую значимость для зданий с повышенными характеристиками теплозащиты и герметичности наружных ограждающих конструкций;

– энергосбережения за счет минимизации теплопотребления от внешних энергоисточников и широкого применения возобновляемых вторичных и природных энергоресурсов, которые подтверждаются исследованиями в работах [14, 15].

PolotskSU

ЛИТЕРАТУРА

1. Липко, В.И. Вентиляция герметизированных зданий. В 2 т. / В.И. Липко. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2000. – Т. 1. – 300 с.

2. Липко, В.И. Вентиляция герметизированных зданий. В 2 т. / В.И. Липко. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2000. – Т. 2. – 246 с.

3. Приточный вентиляционный оконный блок : пат. BY947 / В.И. Липко ; дата публ.: 30.09.2003.

4. Липко, В.И. Энергоэффективное тепловоздухоснабжение гражданских зданий. В 2 т. / В.И. Липко. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2000. – Т. 1. – 212 с.

5. Липко, В.И. Энергоэффективное тепловоздухоснабжение гражданских зданий. В 2 т. / В.И. Липко. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2000. – Т. 2. – 392 с.

6. Липко, В.И. Утилизация трансмиссионной теплоты при инфильтрации приточного воздуха через вентилируемые оконные стеклопакеты / В.И. Липко, Е.С. Добросольцева, Е.К. Синюкович // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. Инженерные сети, экология и энергоресурсосбережение. – 2015. – № 16. – С. 103–108.

7. Липко, В.И. Построение физических и математических моделей к вопросу теории расчёта рекуперативного теплообмена при инфильтрации приточного воздуха через энергосберегающие вентилируемые двухслойные стеклопакеты с утилизацией трансмиссионной теплоты./ В.И. Липко, Е.С. Добросольцева, С.В. Ланкович // Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально- экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах : материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф., 9-10 апр. 2013 г., Брянск : в 2 т. – Т. 2. – Брянск, 2013. – С. 75–81.

8. Lipko, V. DobrosoltsevaE., SinukovichE. System sofheatandair supply of hermetic buildings / V. Lipko // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сб. научн. тр. по материалам междунар. заоч. науч.-практ. конф. –2015. – № 7, ч. 1 (18-1) (Volume 3, issue 7, part 1). – С. 20–23.

9. Вентиляционное приточное устройство : пат. BY4410 / В.И. Липко, В.А. Борвонов ; дата публ.: 30.03.2002.

10. Рекуперативный приточный вентиляционный элемент : пат. BY4651 / В.И. Липко, В.А. Борвонов ; дата публ.: 30.09.2002.

11. Воздухоприточное устройство : пат.BY4963 / В.И. Липко. ; дата публ.: 30.03.2003.

12. Внутренние санитарно- технические устройства. В 2 ч. / под ред. И.Г. Староверова. – Изд. 3-е. – Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – М. : Стройиздат, 1978. – 509 с.

13. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха = Ацяпленне, вентыляцыя і кандыцыяніраванне паветра : СНБ 4.02.01-03. – Введ. 30.12.2003 (с отменой на территории РБ СНиП 2.04.05-91). – Минск : Минскстройархитектура, 2004. –78 с.

14. Юрков, О. Эффективный способ сокращения теплопотерь через окна многоэтажных жилых зданий / О. Юрков // Архитектура и строительство. – 2010. – №1. – С. 88–89.

15. Данилевский, Л.Н. Теплофизические характеристики окон из комбинированного материала дерево–полиуретан–дерево / Л.Н. Данилевский, Б.И. Таурогинский // Строительная наука и техника. – 2006. – № 5. – С. 8–15.