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 697:721.011.25

МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ С МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

В.И. Липко, О.Н. Широкова, А.С. Лапезо
Полоцкий государственный университет, Беларусь
email: kafedratgsv@mail.ru

Для решения вопросов энерго- и ресурсосбережения в практике градостроительства предлагается применение вентиляции с многоступенчатой технологией рекуперации возобновляемых энергоресурсов. Методика позволяет аналитически инженерными методами расчета определить снижение теплопотребления от внешних энергоисточников на цели отопления зданий повышенной теплозащиты и герметичности наружных ограждающих конструкций с использованием навесных вентилируемых светопрозрачных фасадов и технологических чердаков.

Ключевые слова: энергосбережение, теплоснабжение, отопление, вентиляция, реструктуризация, модернизация, утилизация.

METHODS OF CALCULATION AND DESIGN OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS WITH MULTI-USE TECHNOLOGY NATURAL AND RENEWABLE ENERGY

V. LIPKO, V. SHYROKAVA, A. LAPEZO
Polotsk State University, Belarus
email: kafedratgsv@mail.ru

In order to solve the issues of energy and resource saving in the practice of urban planning, it is proposed to use ventilation with multi - stage technology of renewable energy resources recovery. The method allows the analytical engineering methods of calculation to determine the reduction in heat from external energy sources for space heating in buildings increased thermal insulation and tightness of the outer shielding structures using ventilated glass facades and technological attics.

Keywords: energy saving, heat supply, heating, ventilation, restructuring, modernization, recycling.

В настоящее время в практике градостроительства проектируют жилые здания повышенной этажности с «тёплыми» чердаками. В 1986 году началось массовое строительство типовых серий жилых зданий с «тёплыми» чердаками во всех республиках СНГ, включая и Республику Беларусь, где заводы крупнопанельного домостроения изготавливают, а строители возводят и сдают в эксплуатацию жилые дома с «тёплыми» чердаками. В процессе эксплуатации зданий с «тёплыми» чердаками возникают серьёзные проблемы, связанные с невыполнением нормативных воздухообменов, «опрокидыванием» циркуляции, перетеканием удаляемого вытяжного воздуха по каналам вышерасположенных квартир, отсутствием эжекции воздуха из каналов-спутников в верхних этажах, открывающихся в объём «тёплого» чердака. Неудовлетворительная работа вытяжных систем вентиляции приводит к наруше-

PolotskSU

нию воздушно-теплового и влажностного режима помещений, способствует переувлажнению наружных ограждающих конструкций, стыковых соединений панелей зданий и приводят к грибково-плесневым образованиям с ухудшением микроклимата квартир [1-4].

В работе [5] авторами представлена методика инженерных расчётов температуры воздуха в приквартирных остеклённых пространствах при стационарных условиях в отсутствии фильтрационных и радиационных потоков. При разработке инженерной методики расчётным путём авторами получены закономерности изменения температур на внутренних и внешних остеклённых поверхностях лоджий с целью учёта снижения величины теплопотерь помещений путём математической модели физических процессов тепломассообмена на основе критериальных уравнений. Расчёты, выполняемые по данной методике, показали, что приращение температуры воздуха в зависимости от ориентации, радиационных и термодинамических характеристик остеклённых поверхностей, времени года и суток может достигать $\Delta t = t_1 - t_2 = 22°C$, где Δt – приращение температуры воздуха при нагревании его от начальной температуры t_1 до конечной t_2 за счёт солнечной радиации. Эти данные хорошо согласуются с результатами работы [6], в которой экспериментально и теоретически получены значения изменения температуры воздуха в щелевом воздухопроводящем канале в зависимости от погодных условий на величину $\Delta t = t_1 - t_2 = 5 \div 25°C$.

При движении воздуха внутри воздухопроводящего щелевого канала наружный холодный воздух нагревается через его греющие поверхности и устремляется восходящим потоком вверх, создавая при этом дополнительное гравитационное давление, равное

$$P_Г = h \cdot g \cdot (\rho_н - \rho_к), \quad (1)$$

где h –высота воздухопроводящего щелевого канала, определяемая как разность отметок нижнего входного и верхнего выходного отверстий, м;

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

$\rho_н$ – плотность наружного воздуха, кг/м^3;

$\rho_к$ – плотность воздуха при средней температуре в воздухопроводящем канале, кг/м^3.

Наиболее эффективной является комбинированная приточно-вытяжная система вентиляции герметичных зданий с использованием навесных светопрозрачных вентилируемых фасадов, усовершенствованных конструкций «тёплых» чердаков, трёхступенчатой схемой рекуперации теряемой зданием теплоты и природной теплоты солнечной радиации. Изначально «тёплые» чердаки предназначались для сбора вытяжного вентиляционного воздуха, поступающего из вытяжных каналов в объём «тёплого» чердака с последующим удалением тёплого воздуха через секционную вытяжную шахту в атмосферу. В предлагаемой технологической схеме секционная вытяжная шахта отсутствует, а тёплый вытяжной вентиляционный воздух пред выбросом в атмосферу обменивается теплотой с наружным приточным вентиляционным воздухом в рекуперативном пластинчатом теплообменнике-утилизаторе, расположенном в «тёплом» чердаке, что является второй ступенью рекуперации теряемой зданием теплоты [7].

Третья ступень рекуперации, предусмотренная в предлагаемой технологической схеме, обеспечивается через контактные поверхности совместно проложенных вертикаль-

PolotskSU

ных приточных и вытяжных воздуховодов, эффективность теплообменника пропорциональна этажности зданий, так как время контакта при теплообмене приточного и вытяжного воздуха увеличивается от высоты здания.

Теплота, воспринимаемая наружным приточным воздухом, движущимся вдоль теплообменивающих поверхностей навесного вентилируемого фасада и «тёплого» чердака, включает часть теплоты, теряемой зданием через наружные ограждающие горизонтальные (чердачное перекрытие и покрытие) и вертикальные (наружные стены, окна) конструкции в течение всего отопительного периода, а также часть теплоты суммарной прямой и рассеянной солнечной радиации с учётом ориентации здания, географической широты и бытовых тепловыделений. Из уравнения теплового баланса здания [8,с.86] имеем

$$Q_{от} = \Delta Q = Q_{огр} + Q_{вен} - Q_{быт}, \qquad (2)$$

где $Q_{огр}$ – потери теплоты через наружные ограждения зданий, Вт;

$Q_{вен}$ – расход теплоты на нагрев воздуха, поступающего в вентилируемые помещения, Вт;

$Q_{быт}$ – бытовые выделения теплоты в процессе эксплуатации здания, Вт.

Передача теплоты через наружные ограждения здания рассматривается как гармонически изменяющийся тепловой процесс [9], который характеризуется тремя параметрами: среднесуточными значениями теплового потока q_{Io}, амплитудой колебания A_{q1} и временем наступления максимума $Z_{q1}^{\max}$. Передача теплоты при совместном действии разности температур и потока суммарной солнечной радиации J, $(м^2 \cdot °C)/Вт$, в дневное время суток рассчитывается по формуле

$$t_{усл} = t_н + \Delta t_р = t_н + \frac{pJ}{\alpha_н}, \qquad (3)$$

где $t_{усл}$ – условная наружная температура, °C;

р – коэффициент поглощения тепла солнечной радиации поверхностью ограждения;

$\alpha_н$ – коэффициент теплообмена на наружной поверхности ограждения, Вт/(м²°C).

При установке светопрозрачных навесных фасадов на ограждающие конструкции различной ориентации суммарные теплопоступления зависят от количества прямой «S» и рассеянной «D» солнечной радиации

$$q_{II,р} = (S \cdot к_п \cdot к_{инс} + 0,75Д \cdot к_{обл}) \cdot к_{пер} \cdot к_{отр} \cdot к_{атм} \cdot к_{загр}, \qquad (4)$$

где $q_{II,р}$ – теплопоступления за счёт суммарной солнечной радиации, Вт/м²;

$к_п$ – коэффициент проникания солнечной радиации через одинарное остекление;

$к_{инс}$ – коэффициент инсоляции, равный отношению освещённой солнцем поверхности остекления к общей площади остекления;

$к_{обл}$ - коэффициент облучения остеклённой поверхности рассеянной радиацией;

$к_{отр}$ - коэффициент, учитывающий отражённую от земной поверхности перед фасадом здания солнечную радиацию;

$к_{пер}$ - коэффициент, учитывающий затемнение конструкциями крепления навесного фасада;

PolotskSU

$\kappa_{атм}$ – коэффициент, учитывающий загрязнение атмосферы.

Количество теплоты, поступающей через светопрозрачный фасад за счёт разности температур, определяется из выражения

$$q_{П,Т} = k_П \cdot (t_н^{усл} - t_{н.ф}), \tag{5}$$

где $k_П$ – коэффициент теплопередачи светопрозрачного навесного фасада, $Вт/(м^2 °C)$;

$t_н^{усл}$ – условная наружная температура, $°C$;

$t_{н.ф}$ – осреднённая по высоте температура воздуха внутри воздухопроводящего канала, образованного навесным фасадом и наружной поверхностью наружного ограждения, $°C$.

В ночное время отопительного периода внутри вертикального щелеобразного воздухопроводящего канала наружный воздух подогревается за счёт трансмиссионной теплоты, теряемой зданием через наружные ограждения, и его температура изменяется от $t_{нач} = t_н$ до t_k при переходе из вертикального канала в объём «тёплого» чердака, т.е. количество теплоты, передаваемой от наружных поверхностей наружных ограждений наружному воздуху, движущемуся по вертикальному каналу снизу вверх, определяется из выражения

$$Q_{рен1} = 0,28 \cdot Z \cdot \rho \cdot C \cdot (t_k - t_н), \tag{6}$$

где $Z = 3 \cdot F_п$ – суммарный расход приточного наружного воздуха, равный трёхкратной суммарной площади $F_п$ вентилируемых помещений, м^3/ч;

ρ – плотность воздуха, кг/м^3;

С – теплоёмкость воздуха, кДж/кг;

$t_н$ – начальная температура наружного воздуха в вертикальном канале, $°C$;

t_k – конечная температура наружного воздуха в верхней части вертикального воздухопроводящего канала перед входом в «тёплый» чердак, $°C$.

Количество трансмиссионной теплоты, теряемой зданием в ночное время через вертикальные наружные ограждения (стены, окна), оборудованные светопрозрачным навесным фасадом, равно

$$Q_Т = \left(\frac{F_{н.с.}}{R_{н.с.}} + \frac{F_{ок}}{R_{ок}} \right) \cdot (t_в - t_{н.ф.}), \tag{7}$$

где $F_{н.с.}$ и $F_{ок}$ – суммарные площади наружных стен и окон, оборудованные навесным фасадом, м^2;

$R_{н.с.}$ и $R_{ок}$ – термические сопротивления наружных стен и окон соответственно, $(м^2 \cdot °C)/Вт$;

$t_в$ – температура внутреннего воздуха вентилируемых помещений, $°C$;

$t_{н.ф.} = \dfrac{t_н + t_k}{2}$ – осреднённая по высоте температура воздуха внутри воздухопроводящего канала при начальной температуре $t_н$ и конечной температуре t_k соответственно, $°C$.

Приравняв правые части в уравнениях (6) и (7), получим

PolotskSU

$$0,28 \cdot Z \cdot \rho \cdot C \cdot (t_k - t_н) = \left(\frac{F_{н.с.}}{R_{н.с.}} + \frac{F_{ок}}{R_{ок}} \right) \cdot (t_в - t_{н.ф.}), \quad (8)$$

Приняв нормативные и фактические значения входящих в формулу (8) величин для односекционного 10 этажного здания с размерами 12х24х30 и коэффициентом оконного остекления $\kappa_{ост}$ =0,35 для Витебска получим уравнение

$$\frac{0,28 \cdot 3 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 1,4 \cdot 1}{1404 / 3,2 + 756 / 1} = \frac{20 - 0,5 \cdot t_k - 0,5 \cdot (-25)}{t_k + 25},$$

которое решается для $t_к$ =+1,5 °С, т.е. наличие навесного вентилируемого светопрозрачного фасада только за счёт теряемой зданием трансмиссионной теплоты через наружные стены и окна в ночное время без воздействия солнечной радиации обеспечивается нагрев наружного приточного воздуха, движущегося внутри вертикального щелеобразного воздухопроводящего канала, от начальной температуры $t_{нач} = t_н = -25°C$ до конечной его температуры при переходе из вертикального канала в объём «тёплого» чердака на величину $\Delta t_{ноч}^{н.ф.}$, равную

$$\Delta t_{ноч}^{н.ф.} = t_к - t_н = 1,5 - (-25) = 26,5°C.$$

Рассуждения по поводу теплообменных процессов, протекающих в объёме «тёплого» чердака, приводят к уравнению

$$0,28 \cdot Z \cdot \rho \cdot C \cdot (t_{т.ч.} - t_k) = \frac{F_{пок}}{R_{пок}} \cdot (t_в - \frac{t_{т.ч.} + t_k}{2}). \quad (9)$$

Подставив известные величины в уравнение (9), получим

$$\frac{0,28 \cdot 3 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 1,3 \cdot 1}{288 / 6} = \frac{20 - 0,5 \cdot t_{т.ч} - 0,5 \cdot 1,5}{t_{т.ч} - 1,5},$$ следовательно $t_{т.ч}$=2,2 °С.

В ночное время обычно кухней и ванной пользуются очень редко и совсем не обязательно удалять тёплый воздух из этих помещений, т.к. вредности не выделяются, а оставить вытяжку в объёме 25м^3/ч только из туалета, тогда формулу (8) можно представить в виде

$$0,28 \cdot 25 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot (t_k - t_н) = \left(\frac{1404}{3.2} + \frac{756}{1.0} \right) \cdot (20 - 0,5 \cdot t_k + 12,5), \quad (10)$$

откуда $t_к^{ноч}$ =23,3 $°C$, т.е. вся теряемая зданием трансмиссионная теплота будет ассимилироваться небольшим количеством воздуха, движущимся по вертикальному щелевидному воздухопроводящему каналу, образованному светопрозрачным навесным фасадом и наружной поверхностью вертикальных наружных ограждений и при этом его температура будет подниматься за счёт рекуперации от начальной $t_{нач} = t_н = -25\ °C$ до конечной при переходе из вертикального канала в объём «тёплого» чердака $t_к = 23,3°C$, обеспечивая нагрев воздуха на величину $\Delta t = t_k - t_н = 23,3 - (-25) = 48,3°C$.

PolotskSU

Влияние солнечной радиации на тепловой режим здания, оборудованного солнцепрозрачным навесным вентилируемым фасадом и рекуперативным «тёплым» чердаком без вытяжной шахты, неоднозначно. С одной стороны освещённая солнцем часть навесного фасада воспринимает теплоту солнечной радиации, вызывая значительный прогрев наружной поверхности наружного ограждения, в результате чего перепад температур между внутренними и наружными поверхностями наружного ограждения уменьшается, а при интенсивной инсоляции принимает отрицательные значения. Тогда массив стены становится не источником трансмиссионных потерь теплоты, а работает как отопительная греющая панель помещения, передающая теплоту солнечной радиации внутрь отапливаемого помещения. В этом случае эффект рекуперации трансмиссионной теплоты для нагрева приточного наружного воздуха либо уменьшается, либо полностью отсутствует.

В дневное время отопительного периода количество теплоты, поступающей через светопрозрачный навесной вентилируемый фасад за счёт разности температур и солнечной радиации согласно [10, с. 53] применительно к навесному фасаду, определяется из выражения

$$Q_{н.ф.} = \left(q' \cdot F_0' + q'' \cdot F_0''\right) \cdot \beta_{с.з}. \cdot K_0 \cdot K_a + \frac{t_н - t_в}{R_0} \cdot F_0, \qquad (11)$$

где q' и q'' – количество теплоты, поступающее через одинарное остекление от прямой и рассеянной солнечной радиации, Вт/м^2;

$F_0 = F_0' + F_0''$ – площадь остекления фасада, м^2;

F_0' и F_0'' – площади остекления фасада, соответственно облучаемые и не облучаемые прямой солнечной радиацией, м^2;

$\beta_{с.з}$ – коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств, при их отсутствии $\beta_{с.з}$ =1;

R_0 – сопротивление теплопередаче остеклённой поверхности, $(м^2 \cdot °C)/Вт$, для одинарного остекления R_0 =0,15 $(м^2 \cdot °C)/Вт$;

$t_н$ и $t_{н.ф}$ – температура наружного воздуха и осреднённая по высоте температура воздуха внутри воздухопроводящего канала при начальной $t_н$ и конечной $t_к$ температурах, $°C$;

K_0 – коэффициент типа остекления, при одинарном остеклении K_0 =1;

K_a – коэффициент, учитывающий аккумуляцию теплоты ограждающими конструкциями, например, для бетона, красного кирпича, известковой штукатурки K_a =0,7; при наличии средств солнцезащиты K_a =1.

При расчёте вентиляции величина $\frac{t_н - t_в}{R_0} \cdot F_0$ не учитывается.

Количество теплоты, передаваемой от нагретой поверхности к воздуху, определяется из выражения

$$Q_{н.п.} = \frac{t_{пов.} - t_{н.ф}}{R} \cdot F, \qquad (12)$$

PolotskSU

где $t_{пов.}$ и $t_{н.ф}$ - температура соответственно нагретой поверхности и воздуха внутри воздухопроводящего канала, образованного навесным фасадом и наружной нагретой поверхностью наружного ограждения, $°C$;

F – площадь нагретой поверхности наружного ограждения, м^2;

R – сопротивление теплопередаче от нагретой поверхности к воздуху, определяется по формуле

$$R = \frac{0,086}{\sqrt{\upsilon}}, \tag{13}$$

где υ – скорость движения воздуха внутри воздухопроводящего канала, м/с.

Для вертикально расположенного навесного светопрозрачного вентилируемого фасада значения величин q' и q'', входящих в формулу (11) определяются

$$q' = \left(q_{в.п.} + q_{в.р.}\right) \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2, \tag{14}$$

$$q'' = q_{в.р.} \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2, \tag{15}$$

где $q_{в.п.}$ и $q_{в.р.}$ – поступления теплоты соответственно от прямой и рассеянной радиации через одинарное остекление, Вт/м^2;

κ_1 – коэффициент, учитывающий загрязнение атмосферы, для чистой атмосферы $\kappa_1 = 1$;

κ_2 – коэффициент, учитывающий загрязнение поверхности остекления, для чистого стекла $\kappa_2 = 1$.

Исходя из принятых величин, формулу (11) можно переписать в виде

$$Q_{н.ф.} = \left[\left(q_{в.п.} + q_{в.р.}\right) \cdot F_0' + q_{в.р.} \cdot F_0''\right] \cdot 0,7. \tag{16}$$

В дневное время суток под действием солнечной радиации наружный приточный воздух при движении снизу вверх по воздухопроводящему щелеобразному каналу подогревается от начальной температуры $t_{нач} = t_н$ до температуры $t_к^{инс}$ при переходе из вертикального канала в объём «тёплого» чердака, а количество теплоты, воспринимаемой приточным вентиляционным воздухом, равно

$$Q_{реп2} = 0,28 \cdot Z \cdot \rho \cdot C \cdot (t_k^{инс} - t_н), \tag{17}$$

где $t_к^{инс}$ – конечная температура наружного воздуха в верхней части воздухопроводящего канала перед входом в «тёплый» чердак, подогретого за счёт солнечной радиации, $°C$.

Приравняв правые части уравнений (16) и (17), получим уравнение

$$\left[\left(q_{в.п.} + q_{в.р.}\right) \cdot F_0' + q_{в.р.} \cdot F_0''\right] \cdot 0,7 = 0,28 \cdot Z \cdot \rho \cdot C \cdot (t_k^{инс} - \frac{t_k^{инс} + t_н}{2}), \tag{18}$$

решаемое относительно $t_к^{инс}$ при всех остальных известных величинах. Более точные значения $t_к^{инс}$ определяются при решении уравнения (18) для каждого фасада в отдельности.

PolotskSU

Вышеизложенная методика позволяет аналитически инженерными методами расчета определить снижение теплопотребления от внешних энергоисточников на цели отопления зданий повышенной теплозащиты и герметичности наружных ограждающих конструкций с использованием навесных вентилируемых светопрозрачных фасадов и технологических чердаков, функционирующих как объемные приточные вентиляционные камеры с многоступенчатой технологической схемой рекуперации возобновляемых вторичных и природных энергоресурсов [11, 12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Грудзинский, М.М. Отопительно-вентиляционные системы зданий повышенной этажности / М.М. Грудзинский, В.И. Ливчак. – М. : Стройиздат, 1982. – 255 с.

2. Рекомендации по проектированию железобетонных крыш с «тёплым» чердаком для многоэтажных жилых зданий // ЦНИИЭП жилища. – Стройиздат, 1986. – 24 с.

3. Липко, В.И. Вентиляция герметизированных зданий : в 2 т. / В.И. Липко. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2000.

4. Оголовок вытяжного вентиляционного блока : пат. 5954А / В.И.Липко, В.А. Борвонов ; дата публ.: 30.03.2004.

5. Хрусталёв, Б.М. К вопросу теплового режима приквартирных остеклённых пространств / Б.М. Хрусталёв, В.Д. Акельев, В.Д. Сизов // Строительная наука и техника. – 2011. – № 1. – С. 17–21.

6. Устройство критичной вентиляции здания : пат. 892 / В.И. Липко, А.Н. Бендо ; дата публ.: 30.06.2003.

7. Отопительно-вентиляционная система здания : пат. 1134 / В.И Липко ; дата публ.: 30.12.2003.

8. Богословский, В.Н. Отопление : учебник для вузов / В.Н. Богословский, А.Н. Сканави. – М. : Стройиздат, 1991. – 735 с.

9. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. – М. : Стройиздат, 1979. – 248 с.

10. Русланов, Г.В. Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий: Проектирование : справ / Г.В. Русланов, М.Я. Розкин, Э.Л. Ямпольский. – Киев : Будівельник, 1983. – 272 с.

11. Липко, В.И. Энергорессурсоэффективное тепловоздухоснабжение чердачных зданий / В.И. Липко, С.В. Ланкович, А.С. Лапезо // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2015. – С. 89–97.

12. Василевич, Н.А. Энергорессурсоэффективные системы тепловоздухоснабжения жилых зданий повышенной теплозащиты / Н.А. Василевич, В.И. Липко, О.Н. Широкова // Материалы докладов Международной научно-технической конференции. – Витебск, 2015. – С. 68–70.