



УДК 697:721.011.25

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ ПО РАСЧЕТУ ТЕПЛОВОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ С МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ РЕКУПЕРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

В.И. Липко, О.Н. Широкова, А.С. Лапезо

## SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL DEVELOPMENTS FOR CALCULATION OF THERMAL VENTILATION OF BUILDINGS WITH MULTISTAGE TECHNOLOGY OF RECOVERY OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES

V.I. Lipko, O.N. Shyroka, A.S. Lapezo

**Аннотация.** Для решения проблем энергоресурсосбережения в градостроительстве предлагается применение тепловой вентиляции с многоступенчатой технологией рекуперации возобновляемых энергоресурсов.

**Ключевые слова:** энергосбережение; рекуперация; утилизация вторичных энергоресурсов; светопрозрачный фасад.

**Abstract:** To solve the problems of energy conservation in town planning, it is proposed to use thermal ventilation with a multistage technology of renewable energy resources recuperation.

**Key words:** energy saving; recovery; utilization secondary energy sources; curtain wall.

В практике отечественного градостроительства широко применяются жилые здания повышенной этажности с «тёплыми» чердаками. С 1986 года 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. Но как отмечают авторы работы [1], 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. Авторы отмечают, что указанные недостатки неудовлетворительной работы вытяжных систем вентиляции приводят к нарушению воздушно-теплого и влажностного режима помещений, способствуют переувлажнению наружных ограждающих конструкций, стыковых соединений панелей зданий и приводят к грибково-плесневым образованиям с ухудшением микроклимата квартир [1,2,3].

В работе [3] дано описание оголовка вытяжного вентиляционного блока, отличающегося от всех известных технических решений возможностью использования высокопотенциальной энергии движения воздушного потока, выходящего из ствола вытяжного вентиляционного блока, для усиления тяги в каналах-спутниках, удаляющих отработанный воздух из помещений верхних этажей многоэтажных зданий с целью активизации воздухообменов и исключения явлений опрокидывания вентиляции, которое имеет место при существующей технологии естественного вентилирования жилых зданий с наружными ограждениями повышенной теплозащиты и герметичности.

Наряду с «тёплыми» чердаками за последнее десятилетие из всех известных в мировой практике методов утепления и внешней отделки зданий наиболее эффективными являются вентилируемые фасадные системы. Как отмечается в материалах [4], в практике фасадостроения в настоящее время используется более 40 вариантов навесных систем, которые отличаются не только облицовочными элементами фасада, но и размерами

воздушного зазора. В Финляндии навесные системы классифицируют следующим образом: если зазор между фасадом и стеной здания менее 80 мм, то он относится к категории неветилируемых, а при большей величине зазора (более 80мм.) навесной фасад считается вентилируемым. В Литве вентилируемым считается такой фасад, в котором площадь сечения воздушного зазора составляет более 2500 см.<sup>2</sup> на метр длины, т.е. ширина зазора составляет не менее 25 см. В РФ в зданиях повышенной этажности согласно пожарным требованиям зазор должен составлять 40-100 мм.

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 теплообмена 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  $\Delta t = t_1 - t_2 = 22^\circ\text{C}$ , где  $\Delta t$  - 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  $\Delta t = t_1 - t_2 = 5 \div 25^\circ\text{C}$ .

Отличие состоит в том, что в работе [5] рассмотрены процессы изменения температуры под действием солнечной радиации в замкнутом объёме застеклённой лоджии, а в работе [6] представлены результаты патентных, теоретических и экспериментальных исследований устройства приточной вентиляции здания с навесным светопрозрачным фасадом и «тёплым» чердаком, в котором наружный приточный вентиляционный воздух поступает снизу через входное щелеобразное отверстие в воздухопроводящий вертикальный канал, образованный навесным фасадом и внешней поверхностью наружного ограждения, и при движении вверх воспринимает трансмиссионную теплоту, теряемую зданием через вертикальные ограждающие конструкции и одновременно нагревается от прямой и рассеянной солнечной радиации в дневное время, а затем через верхнее отверстие открывается в объём «тёплого» чердака, где также воспринимает теряемую зданием трансмиссионную теплоту через ограждающую горизонтальную конструкцию перекрытия верхнего этажа и энергию солнечной радиации через покрытие «тёплого» чердака. Это конструктивно-технологическое решение позволяет утилизировать практически всю теряемую зданием трансмиссионную теплоту через вертикальные и горизонтальные наружные ограждения с одновременным использованием природного источника солнечной энергии от прямой и рассеянной радиации в дневное время для предварительного подогрева наружного приточного вентиляционного воздуха. Причём солнечная энергия, проникая через светопрозрачный навесной фасад и падая на внешнюю поверхность наружной стены повышает её температуру и интенсифицирует процессы теплообмена, увеличивая эффект предварительного подогрева приточного вентиляционного воздуха.

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

$$P_z = h \cdot g \cdot (\rho_n - \rho_e), \text{ Па}; \quad (1)$$

где  $h$  – высота воздухопроводящего щелевого канала, определяемая как разность отметок нижнего входного и верхнего выходного отверстий, м;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $\rho_n$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_k$  – плотность воздуха при средней температуре в воздухопроводящем канале, кг/м<sup>3</sup>.

В работе [7] автором также используется навесной вентилируемый светопрозрачный фасад для предварительного подогрева приточного наружного воздуха, который через систему воздухопроводов сообщается с вертикальной вентиляционной шахтой, выполненной конструктивно в виде кожухотрубного теплообменника-утилизатора рекуперативного типа, в котором наружный приточный воздух движется по воздуховодам сверху вниз, а тёплый вытяжной воздух движется встречным потоком в межтрубном пространстве снизу вверх, по ходу движения обмениваясь теплотой с приточным воздухом. При этом, чем выше здание, тем больше время контакта теплообменивающихся сред, тем выше эффективность рекуперации. В конструкции устройства также предусмотрен подогрев приточного воздуха централизованно в приточных вентиляционных камерах, расположенных в подвальной части здания, которые включаются в работу при значительном понижении наружной температуры против расчётных значений, а также крышный вентилятор, необходимый для создания устойчивой циркуляции воздуха при сближении значений наружных и внутренних температур в начале отопительного сезона и его завершающего периода. Энергоэффективность системы повышается за счёт предварительного подогрева наружного приточного воздуха, проходящего по воздухозаборному щелевому каналу, образованному навесным светопрозрачным вентилируемым фасадом и наружной поверхностью вертикальных наружных ограждений (наружных стен, окон), с внешней стороны прямой и рассеянной солнечной радиацией в дневное время с одновременным тепловосприятием трансмиссионной теплоты, теряемой зданием через наружные вертикальные ограждающие конструкции стен и окон в течение всего отопительного периода, что является первой ступенью рекуперации теряемой зданием теплоты.

Наиболее привлекательной по энергоресурсоэффективному конструктивному и технологическому исполнению 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 перед 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.

Третья ступень рекуперации, предусмотренная в предлагаемой технологической схеме, обеспечивается через контактные поверхности совместно проложенных вертикальных приточных и вытяжных воздухопроводов, 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 имеем

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

где  $Q_{опр}$  - 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.

В предлагаемой технологической схеме приточный воздух подаётся в вентилируемые помещения организованно и, как уже описывалось выше, его подогрев происходит за счёт рекуперации трансмиссионной теплоты, теряемой зданием через наружные ограждения, теплоты суммарной прямой и рассеянной солнечной радиации с учётом бытовых тепловыделений.

Передача теплоты через наружные ограждения здания рассматривается как гармонически изменяющийся тепловой процесс, который характеризуется тремя параметрами: среднесуточными значениями теплового потока  $q_{10}$ , амплитудой колебания  $A_{q1}$  и временем наступления максимума  $Z_{q1}^{max}$ .

Передача теплоты при совместном действии разности температур и потока суммарной солнечной радиации  $J$ ,  $\frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bm}$ , в дневное время суток рассчитывается по выражению

$$t_{усл} = t_n + \Delta t_p = t_n + \frac{pJ}{\alpha_n}, \quad (3)$$

где  $t_{усл}$  - условная наружная температура,  $^\circ C$ ;

$p$  - коэффициент поглощения тепла солнечной радиации поверхностью ограждения;

$\alpha_n$  - коэффициент теплообмена на наружной поверхности ограждения,  $\frac{Bm}{M^2 \cdot ^\circ C}$ .

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

$$q_{II,p} = (S \cdot \kappa_n \cdot \kappa_{инс} + 0,75D \cdot \kappa_{обл}) \cdot \kappa_{пер} \cdot \kappa_{отр} \cdot \kappa_{атм} \cdot \kappa_{загр}, \quad (4)$$

где  $q_{II,p}$  - тепlopоступления за счёт суммарной солнечной радиации,  $Bm / M^2$ ;

$\kappa_n$  - коэффициент проникания солнечной радиации через одинарное остекление;

$\kappa_{инс}$  - коэффициент инсоляции, равный отношению освещённой солнцем поверхности остекления к общей площади остекления;

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

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

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

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

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

$$q_{II,T} = k_{II} \cdot (t_n^{ycl} - t_{n,\phi}), \quad (5)$$

где  $k_{II}$  - коэффициент теплопередачи светопрозрачного навесного фасада,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$ ;

$t_n^{ycl}$  - условная наружная температура,  $^\circ C$ ;

$t_{n,\phi}$  - осреднённая по высоте температура воздуха внутри воздухопроводящего канала, образованного навесным фасадом и наружной поверхностью наружного ограждения,  $^\circ C$ .

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  $t_{нач} = t_n$  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:

$$Q_{pen1} = 0,28 \cdot Z \cdot \rho \cdot C \cdot (t_k - t_n) \quad (6)$$

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

$\rho$  - плотность воздуха,  $кг/м^3$ ;

$C$  - теплоёмкость воздуха,  $кДж/кг$ ;

$t_n$  - начальная температура наружного воздуха в вертикальном канале,  $^\circ C$ ;

$t_k$  - конечная температура наружного воздуха в верхней части вертикального воздухопроводящего канала перед входом в «тёплый» чердак,  $^\circ C$ .

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

$$Q_T = \left( \frac{F_{н.с.}}{R_{н.с.}} + \frac{F_{ок}}{R_{ок}} \right) \cdot (t_в - t_{н,\phi}) \quad (7)$$

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,  $\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$ ;

$t_в$  - температура внутреннего воздуха вентилируемых помещений,  $^\circ C$ ;

$t_{н,\phi} = \frac{t_n + t_k}{2}$  - осреднённая по высоте температура воздуха внутри воздухопроводящего канала при начальной температуре  $t_n$  и конечной температуре  $t_k$  соответственно,  $^\circ C$ .

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

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

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  $t_k = +1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ , 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  $t_{нач} = t_n = -25 \text{ } ^\circ\text{C}$  до конечной его температуры при переходе из вертикального канала в объём «тёплого» чердака на величину  $\Delta t_{ноч}^{н.ф.}$ , равную

$$\Delta t_{ноч}^{н.ф.} = t_k - t_n = 1,5 - (-25) = 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

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

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

Подставив известные величины в уравнение (9), получим

$$\frac{0,28 \cdot 3 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 1,3 \cdot 1}{288 / 6} = \frac{20 - 0,5 \cdot t_{м.ч.} - 0,5 \cdot 1,5}{t_{м.ч.} - 1,5},$$

откуда  $t_{м.ч.} = 2,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Следует также отметить, что 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  $25 \text{ м}^3/\text{ч}$  только из туалета, тогда формулу (8) можно представить в виде

$$0,28 \cdot 25 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot (t_k - t_n) = \left( \frac{1404}{3,2} + \frac{756}{1,0} \right) \cdot (20 - 0,5 \cdot t_k + 12,5), \quad (10)$$

откуда  $t_k^{ноч} = 23,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ , 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  $t_{нач} = t_n = -25^\circ\text{C}$  до конечной при переходе из вертикального канала в объём «тёплого» чердака  $t_k = 23,3^\circ\text{C}$ , обеспечивая нагрев воздуха на величину  $\Delta t = t_k - t_n = 23,3 - (-25) = 48,3^\circ\text{C}$ .

Таким образом, нами рассмотрен минимальный режим рекуперации трансмиссионной теплоты зданием, оборудованным светопрозрачным навесным фасадом, в ночное время без учёта бытовых теплопоступлений и энергии воздействия суммарной прямой и рассеянной солнечной радиации на тепловой режим здания в дневное время суток.

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 применительно к навесному фасаду, определяется из выражения

$$Q_{н.ф.} = (q' \cdot F'_0 + q'' \cdot F''_0) \cdot \beta_{с.з.} \cdot K_0 \cdot K_a + \frac{t_n - t_e}{R_0} \cdot F_0, \quad (11)$$

где  $q'$  и  $q''$  - количество теплоты, поступающее через одинарное остекление от прямой и рассеянной солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>;

$F_0 = F'_0 + F''_0$  - площадь остекления фасада, м<sup>2</sup>;

$F'_0$  и  $F''_0$  - площади остекления фасада, соответственно облучаемые и не облучаемые прямой солнечной радиацией, м<sup>2</sup>;

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

$R_0$  - сопротивление теплопередаче остеклённой поверхности,  $\frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$ , для одинарного остекления  $R_0 = 0,15 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$ ;

$t_n$  и  $t_{н.ф.}$  - температура наружного воздуха и осреднённая по высоте температура воздуха внутри воздухопроводящего канала при начальной  $t_n$  и конечной  $t_k$  температурах,  $^\circ\text{C}$ ;

$K_0$  - 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  $\frac{t_n - t_e}{R_0} \cdot F_0$  не учитывается.

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

$$Q_{н.п.} = \frac{t_{нов.} - t_{н.ф.}}{R} \cdot F \quad (12)$$

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

F – площадь нагретой поверхности наружного ограждения, м<sup>2</sup>;

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

$$R = \frac{0.086}{\sqrt{v}} \quad (13)$$

где  $v$  - 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

$$q' = (q_{в.н.} + q_{в.р.}) \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \quad (14)$$

$$q'' = q_{в.р.} \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \quad (15)$$

где  $q_{в.н.}$  и  $q_{в.р.}$  - поступления теплоты соответственно от прямой и рассеянной радиации через одинарное остекление, Вт/м<sup>2</sup>;

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

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

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

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

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

$$Q_{пен2} = 0,28 \cdot Z \cdot \rho \cdot C \cdot (t_k^{unc} - t_n) \quad (17)$$

где  $t_k^{unc}$  - конечная температура наружного воздуха в верхней части воздухопроводящего канала перед входом в «тёплый» чердак, подогретого за счёт солнечной радиации, °С.

Приравняв на основе теплового баланса правые части уравнений (16) и (17), получим уравнение



$$\left[ (q_{e.n.} + q_{e.p.}) \cdot F_0' + q_{e.p.} \cdot F_0'' \right] \cdot 0,7 = 0,28 \cdot Z \cdot \rho \cdot C \cdot \left( t_k^{unc} - \frac{t_k^{unc} + t_n}{2} \right) \quad (18)$$

которое решается относительно  $t_k^{unc}$  при всех остальных известных величинах. Более точные значения  $t_k^{unc}$  определяются при решении уравнения (18) для каждого фасада в отдельности.

Таким образом, вышеизложенная методика позволяет аналитически инженерными методами расчета определить снижение теплотребования 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.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Липко В.И. Вентиляция герметизированных зданий: в 2-х томах. Т.1. Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 2000. 300 с.
2. Липко В.И. Вентиляция герметизированных зданий: в 2-х томах. Т.2. Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 2000. 246 с.
3. Патент № 5954А, Республика Беларусь, МПК F24F7/04/, E04F 17/04/ Оголовок вытяжного вентиляционного блока / В.И. Липко, В.А. Борвонов. опубл. 30.03.2004.
4. Фасадная система ПОЛИАПЛАН. Рекомендации по проектированию и применению для строительства и реконструкции зданий. М.: ЦНИИЭП жилища, 2003. 90 с.
5. Хрусталёв, Б.М., Акельев В.Д., Сизов В.Д. К вопросу теплового режима приквартирных остеклённых пространств, // Строительная наука и техника, 2011. № 1. С. 17-21.
6. Патент № 892, Республика Беларусь, МПК (2002) F24F13/08/ Устройство приточной вентиляции здания / В.И. Липко, А.Н. Бендо. опубл. 30.06.2003.
7. Патент № 1134, Республика Беларусь, МПК (2003) F24D7/00/ Отопительно-вентиляционная система здания / В.И. Липко. опубл. 30.12.2003.
8. Липко В.И., Ланкович С. В., Лапезо А.С. Энергоресурсоэффективное тепловоздухоснабжение чердачных зданий // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки, 2015. № 16. С. 89-97.
9. Липко В.И., Широкова О.Н., Лапезо А.С. Энергоресурсоэффективные системы тепловоздухоснабжения жилых зданий повышенной теплозащиты. Материалы докладов Международной научно-технической конференции. Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2015. С. 285-287.

#### REFERENCES

1. Lipko V.I. *Ventilyatsiy germitizirovannykh zdaniy: v 2 tomah* [Ventilation of sealed buildings]. V.1. Novopolotsk: Polotsk state University, 2000. 300 p.
2. Lipko V.I. *Ventilyatsiy germitizirovannykh zdaniy: v 2 tomah* [Ventilation of sealed buildings]. V.2. Novopolotsk: Polotsk state University, 2000. 246 p.
3. Lipko V.I., Borvonov V.A. Patent No 5954A, Republic of Belarus, MPK F24F7/04/, E04F 17/04/. *Ogolovok vityazhnogo ventilyacionnogo vozdyha* [Hood of exhaust ventilation unit] *opubl.* 30.03.2004.
4. *Fasadnaja sistema POLIAPLAN* [Facade system POLIAPLAN]. *Rekomendacii po proektirovaniju i primeneniju dlja stroitel'stva i rekonstrukcii zdaniy.* [Recommendations on design

and application for building and reconstruction of buildings]. Moscow: CNIIJEP zhilishha, 2003. 90 p.

5. Hrustal'jov B.M., Akel'ev V.D., Sizov V.D. *K voprosu teplovogo rezhima prikvarturnyh ostekljennyh prostranstv* [On the Thermal Regime of Prikvarturnye Glazed Spaces]. *Stroitel'naja nauka i tehnika*, 2011. No 1, pp. 17-21.

6. Lipko V.I., Bendo A.N. Patent No 892, Republic of Belarus, MPK (2002) F24F13/08/ *Ustrojstvo pritochnoj ventiljacii zdanija* [Supply air ventilation of the building] *opubl.* 30.06.2003.

7. Lipko V.I. Patent No 1134, Republic of Belarus, MPK (2003) F24D7/00/ *Otopitel'no-ventiljacionnaja sistema zdanija* [Building heating and ventilation system] *opubl.* 30.12.2003.

8. Lipko V.I., Lankovich S.V., Lapezo A.S. *Energoresursoeffektivnoe teplovozduhosnabzhenie cherdachnyh zdaniy* [Energyresourceefficient heat and air supply of attic buildings]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*, 2015. No 16, pp. 89-97.

9. Lipko V.I., Shirokova V.N., Lapezo A.S. *Jenergoresursojeffektivnye sistemy teplovozduhosnabzhenija zhilyh zdaniy povyshennoj teplozashhity* [Energy and resource effective heat supply systems for residential buildings with increased thermal protection]. *Materialy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Vitebsk: Vitebskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet*, 2015, pp. 285-287.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Липко Владимир Иосифович*

Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоводоснабжения и вентиляции,

E-mail: [kafedratgsv@mail.ru](mailto:kafedratgsv@mail.ru).

*Lipko Uladzimir Iosifovich*

Polotsk state University, Novopolotsk, Belarus, associate professor, Candidate of Technical Sciences, associate professor of department of heat, gas and water supply and ventilation,

E-mail: [kafedratgsv@mail.ru](mailto:kafedratgsv@mail.ru).

*Широкова Ольга Николаевна*

Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры теплогазоводоснабжения и вентиляции,

E-mail: [shi81@yandex.by](mailto:shi81@yandex.by)

*Shyrokava Volha Nikolaevna*

Polotsk state University, Novopolotsk, Belarus, Master of Technical Sciences, Lecturer of department of heat, gas and water supply and ventilation,

E-mail: [shi81@yandex.by](mailto:shi81@yandex.by)

*Лапезо Анжела Сергеевна*

Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь, магистр технических наук, ассистент кафедры теплогазоводоснабжения и вентиляции,

E-mail: [las\\_05@mail.ru](mailto:las_05@mail.ru)

*Lapezo Anzhela Sergeevna*

Polotsk state University, Novopolotsk, Belarus, Master of Technical Sciences, assistant of department of heat, gas and water supply and ventilation,

E-mail: [las\\_05@mail.ru](mailto:las_05@mail.ru)

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи:  
211440, Беларусь, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 29, каб. 282. Липко В.И., Широкова О.Н., Лапезо А.С. +375 (214) 53-61-96, +375 (29) 596-40-04, +375 (29) 510-49-44